

节水灌溉技术培训教材

水土资源评价与节水灌溉规划

水利部农村水利司

中国灌溉技术开发培训中心



 中国水利水电出版社

考和引用了国内外有关专家的大量文献；《灌溉排水》编辑部的郭苓、齐凯霞、李香萍、胡志芬、庞颖参加了书稿的录入、绘图等工作，在此一并表示最衷心的感谢！由于编者水平所限，书中难免有疏漏和错误，敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 1 月

农业科技出版社

目 录

序

前 言

第一章 农业生产与节水灌溉技术的发展	(1)
第一节 灌溉在我国农业发展中的重要作用	(1)
第二节 我国用水和缺水现状及 21 世纪用水预测	(4)
第三节 我国传统灌溉面临的困难与问题	(6)
第四节 我国农业节水的巨大潜力	(8)
第五节 节水灌溉技术标准	(9)
第六节 节水灌溉技术的现状与展望	(13)
第二章 农业水土资源评价的基本原则	(18)
第一节 农业水土资源的定义	(18)
第二节 农业水土资源评价的含义	(18)
第三节 水资源评价的基本原则	(19)
第四节 土地资源评价的基本原则	(20)
第三章 农业水资源的评价与分析	(23)
第一节 农业水资源量的计算	(23)
第二节 水资源总量及可利用量计算	(37)
第三节 农业用水的水质评价与水质标准	(39)
第四节 地下水资源量及灌溉水质评价实例	(47)
第四章 农业土地资源的评价与分析	(49)
第一节 农业土地资源评价的主要程序	(49)
第二节 农业土地资源评价方缺	(58)
第三节 土地适宜性评价实例	(63)
第五章 农业水土资源的合理开发利用	(66)
第一节 “四水”的合理开发利用	(66)
第二节 劣质水处理与利用	(73)
第三节 农业水资源的联合利用与管现	(76)
第四节 水源保护	(78)

第五节	土地资源的合理开发利用与保护	(82)
第六节	多种水源联合调度与管理实例	(88)
第六章	节水灌溉区划	(93)
第一节	节水灌溉区划的性质与作用	(93)
第二节	节水灌溉区划编制的内容及程序	(94)
第三节	节水灌溉区划的分区	(97)
第四节	节水灌溉区划的分区方法	(105)
第七章	节水灌溉规划	(117)
第一节	节水灌溉规划的工作步骤	(117)
第二节	节水灌溉规划方法简介	(121)
第三节	节水灌溉发展相关因素的分析与预测	(124)
第四节	规划相关参数的统计分析	(125)
第五节	制定规划方案及计算	(128)
第六节	规划方案的决策分析	(129)
第八章	节水灌溉综合技术体系	(132)
第一节	节水灌溉综合技术体系的内涵	(132)
第二节	海河平原区引黄补黄节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(132)
第三节	黄土丘陵缺水地区节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(137)
第四节	海河平原严重缺水地区节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(143)
第九章	节水灌溉综合技术体系专家系统	(147)
第一节	建立专家系统的基础和意义	(147)
第二节	专家系统的组成和结构及其作用	(148)
第三节	NCWSA 系统咨询内容	(152)
第四节	专家系统功能及运行方式	(158)
第五节	专家系统开发工具	(167)
第十章	节水灌溉效益分析	(171)
第一节	社会效益分析	(171)
第二节	经济效益分析	(173)
第十一章	节水灌溉发展对策措施	(177)
附 录		(182)
参考文献		(191)

第一章 农业生产与节水灌溉技术的发展

节水灌溉是以节约农业用水为中心的高效技术措施，它是科技进步的产物，也是现代化农业的重要内涵。其核心是在有限的水资源条件下，通过采用先进的水利工程技术，适宜的农业技术和用水管理等综合技术措施，充分提高农业水利用率和水的生产效率及效益，保证农业持续稳定发展。节水灌溉技术体系包括渠道防渗、低压管道输水、喷微灌等节水工程技术；农田保水技术、节水耕作和栽培技术、适水种植等节水农业技术；节水灌溉制度、量测水技术、灌溉管理自动化等，以及与这些技术相应的节水新材料、新设备。

第一节 灌溉在我国农业发展中的重要作用

一、不同自然条件下农业生产对灌溉的需求

我国陆地面积约 960 万 km^2 ，大部分地区受季风影响，形成东南多雨、西北干旱和夏秋季多雨、冬春干旱的特点。东南沿海年降水量超过 1600 mm，西北的荒漠地区降水量则不到 200 mm。以多年平均降水量 400 mm 的等雨量线为界，全国由东北斜向西南被分解成东西两部分。东部湿润多雨，是我国主要农业区，全国 90% 左右的人口和耕地都集中在这一地区；西部属于干旱、半干旱地带，没有灌溉就很难发展农业。全国大部分地区降水量在年际、年内季节分布上很不均匀。长江以南多雨地区丰水年降水量为少水年的 1.5~2 倍，多雨季节的 4~7 月间的降雨量约占全年的 50%~60%，而华北地区和东北地区丰水年降水量一般为少水年的 3~5 倍，正常年份多雨季节的 6~9 月间的降雨量约占全年的 70%~80%。根据降水量的大小和农作物对灌溉的要求，可将全国分成三个不同的灌溉地带。即多年平均降水量少于 400 mm 的常年灌溉地带，多年平均降水量大于 400 mm、小于 1000 mm 的不稳定灌溉地带，和多年平均降水量大于 1000 mm 的水稻灌溉地带，见图 1-1。

(1) 常年灌溉地带。主要包括西北内陆和黄河中上游部分地区，土地面积 410 万 km^2 ，约占全国国土的 42.6%。在这一地带，由于年降水总量和各季节的降水分配，都难以满足作物正常生长发育的需要，灌溉需要系数（即灌溉水量占农作物总需水量的比值）一般均大于 0.5~0.6，常年灌溉是农业发展的必要条件。

(2) 不稳定灌溉地带。主要包括黄淮海地区和东北地区，土地总面积 196 万 km^2 ，约占全国国土的 20.5%。这一地带由于受季风的强烈影响，降水变化极不均匀，因而农作物对灌溉的要求很不稳定，特别是秋熟作物。在干旱年份，黄淮海地区秋熟作物的灌溉需要系数高达 0.7~0.8，湿润年份只有 0.3 左右。但是生长期在冬春的小麦，对灌溉的要求较高，也较稳定，需要系数在 0.5 左右。在东北，水稻灌溉需要系数较高，达到 0.5 左右，旱作要求较低，干旱年份为 0.2~0.3，湿润年份则无灌溉要求。

(3) 水稻灌溉地带（又称补充灌溉地带）。包括长江中下游地区，珠江江地区及部分西南地区，土地总面积 344 万 km^2 ，约占全国国土面积的 35.9%。年降水量虽然丰沛，但因

年际及季节分配不均，加之大面积种植水稻及作物复种指数高，各季水稻仍需人工补充水量，灌溉需要系数在 0.3~0.6 之间，旱作物在湿润年间不需要灌溉，但在干旱年份，也需要进行补充灌溉，需要系数在 0.1~0.3 之间。三个不同地带的灌溉需求，见表 1-1。

表 1-1 三个地带的灌溉需要系数

项 目			干 旱 年			湿 润 年		
			总需水量 (mm)	要求灌溉量 (mm)	灌溉需要 指 数	总需水量 (mm)	要求灌溉量 (mm)	灌溉需要 指 数
常年灌溉 地 带	西北内陆 地 区	春小麦	450~520	300~450	0.7~0.9	300~450	200~350	0.7~0.8
		玉 米	375~450	250~350	0.7~0.8	375~450	250~300	0.7~0.8
		棉 花	600~750	450~500	0.6~0.7	600~750	300~450	0.5~0.6
不 稳 定 灌溉地带	黄 淮 海 地 区	水 稻	1000~1200	600~800	0.6~0.7	850~1000	400~600	0.5~0.6
		冬小麦	600~750	300~450	0.5~0.6	500~600	200~300	0.4~0.5
		玉 米	400~600	300~450	0.7~0.8	300~500	100~200	0.3~0.4
	东北地区	棉 花	750~900	300~450	0.4~0.5	550~675	100~200	0.2~0.3
		水 稻	900~1100	500~700	0.5~0.6	800~1000	300~500	0.4~0.5
		春小麦	300~450	0~150	0.2~0.3	225~375	0	0
水稻灌溉 地 带	长江中下 游 地 区	玉 米	400~500	100~150	0.2~0.3	300~400	0	0
		水稻(早)	675~825	300~500	0.4~0.5	450~600	100~150	0.3~0.4
		水稻(晚)	825~1000	400~600	0.5~0.6	750~900	150~300	0.2~0.3
		冬小麦	400~600	0~100	0.1~0.2	225~375	0	0
	珠江江地 区及西南 部 地 区	棉 花	750~975	150~300	0.2~0.3	575~700	0~100	0~0.1
		水稻(早)	600~750	300~400	0.5~0.6	450~600	100~150	0.2~0.3
		水稻(晚)	750~825	300~450	0.4~0.5	600~750	150~300	0.3~0.4
		冬小麦	400~600	0~50	0~0.1	250~350	0	0

二、灌溉发展在农业发展中的作用及效益

灌溉是人类文明发展的结晶。早在 4000 多年前，我国就有了临河挖渠、凿井汲水的灌溉工程，大约在公元前 2000 年前后的大禹治水、公元前 1600~1100 年商代出现的用灌排沟洫分开的井田、春秋战国时期修建的都江堰、郑国渠及楚国在安徽兴建的芍陂等举世闻名的水利灌溉工程无不当时农业的发展做出过巨大贡献，有些工程，如都江堰等至今仍在发挥着效用。

但是随着历史变迁，灌溉发展历经兴衰，到 1949 年我国农田灌溉基础仍十分薄弱。全国总库容超过 1 亿 m^3 的大型水库仅 6 座（其中 3 座还是电站水库），库容 1000 万~1 亿 m^3 的中型水库只有十几座，灌溉用电机井很少，机电排灌总动力只有约 6 万 kW。全国灌溉总面积约 0.16 亿 hm^2 。而且标准很低，农业生产基本上靠天吃饭。

新中国成立后，我国灌溉事业得到迅速发展。回顾 40 多年的历史，不难看出，我国农业的发展在很大程度上依赖于灌溉的发展。

从 1949~1957 年，全国开展了大规模的水利建设，恢复和扩建了原有灌区，使农业供

水量从 1000 亿 m^3 增加到 1900 多亿 m^3 ，净增 900 多亿 m^3 ；灌溉面积从 0.16 亿 hm^2 增加到 0.273 亿 hm^2 净增 0.113 亿 hm^2 ；粮食产量从 1132 亿 kg 增加到 1950 亿 kg，净增 800 多亿 kg。

从 1958~1970 年，由于大量兴建大、中型水库蓄水工程，建设新的大、中型灌区，建成灌溉面积在 2 万 hm^2 以上的大型灌区近 150 处，同时兴建了一大批塘坝、堰，小型引蓄水工程及人、畜提水灌溉工程，使全国农业供水量增加到 3000 多亿 m^3 ，净增 1100 多亿 m^3 ；灌溉面积增加到 0.36 亿 hm^2 ，净增 0.087 亿 hm^2 ，粮食产量增加到 2600 亿 kg，净增约 450 亿 kg。

从 1970~1980 年，随着我国机电工业的发展，给大规模开发利用地下水创造了必要的条件，北方围绕抗旱增产，大力发展井灌，使农业供水量增加到 3900 亿 m^3 ，净增 1000 亿 m^3 ；灌溉面积增加到 0.487 亿 hm^2 ，净增 0.127 亿 hm^2 ；粮食产量增加到 3200 多亿 kg，净增 800 多亿 kg，扭转了南粮北调的局面。

从 1980~1994 年，由于农田水利基本建设投入不足，加上大量的农业用水转向城市、工业及乡镇企业，全国农业用水量降为 3800 多亿 m^3 ，不但没有增加，反面减少了 1.6%。但这一时期，我国灌溉工作的重点转移到加强经营管理，提高经济效益方面上来，主要是改革灌溉管理体制，提高管理单位自给能力，推广节水增产技术。发展喷、滴灌等新型节水工程；渠道防渗，低压管道输水灌溉等节水工程得到大规模发展；沟畦改造、水稻浅湿灌溉、小麦优化灌溉、玉米坐水种等田间节水技术措施也在大面积上推广应用，取得了显著的节水增产效益。同时农村实行的家庭联产承包责任制和农业购销体制改革极大地调动了农民的生产积极性，加上推广先进的农业科技和肥料的大量增加等，1996 年粮食产量增加到 4900 亿 kg。

全国历年灌溉面积与粮食产量的关系见表 1-2。表 1-2 1949~1996 年各阶段灌溉面积与粮食产量对照表

综上所述，灌溉面积的增减与粮食产量有密切关系，且往往具有一定的超前作用。40 多年来，我国人口增长了 1 倍，人均耕地减少 50%，但人均灌溉面积却增加了 50%，全国粮食总产量净增 2.6 倍，其中占全国总耕地面积不足 40% 的灌溉土地上生产出了占全国总产量 80% 的粮食。尽管粮食增产是各种农业技术措施综合作用的结果，但灌溉的发展所起的主导作用则是毋庸置疑的。

据全国 40 年灌溉经济效益的调查，从 1949~1987 年的 38 年间，全国累计实灌面积为 10.9 亿 hm^2 ，灌溉分摊的粮食增产量为

年份	耕地面积 (万 hm^2)	有效灌溉面积 (万 hm^2)	有效灌溉面积 占耕地面积 (%)	粮食产量 (亿 kg)
1949	9786	1563	16.3	1132
1957	11800	2560	22.4	1950
1965	10360	3200	30.9	1945
1978	9940	4807	48.3	3048
1988	9573	4793	50.0	3947
1990	9567	4840	50.6	4462
1992	9540	4947	51.8	4472
1993	9510	4984	52.4	4565
1994	9491	4994	52.6	4451
1995	9497	5041	53.1	4666
1996	9497	5116	53.9	4900

13.3 亿 t，若按 1980 年不变价格计算为 4433 亿元。在同一时期全国灌溉总投资为 1133 亿元，其中基建费、水利事业费及群众自筹资金共 750.5 亿元，占 68%；运行管理费 362.5 亿元，占 32%。此外群众投劳折资 576 亿元，合计为 1689 亿元，包括群众投劳折资，灌溉

工程的投入效益比为1:2.6,如果不包括投劳折资则为1:4。灌溉工程除提高农业产量的直接效益外,还有改良土壤、改善生态环境和田间小气候等作用。结合灌溉工程,还发展了水产养殖、水力发电、植树造林、农村供水和航运、旅游等事业,从而改善了居民生产生活条件,促进了整个地区经济的发展,其间接经济效益和社会效益十分巨大。可见,灌溉的确为我国以占世界7%的耕地养活了占世界22%的人口发挥了巨大作用。

第二节 我国用水和缺水现状及21世纪用水预测

我国是一个水资源紧缺的国家。虽然水资源总量2.8万亿 m^3 ,居世界第6位,但因人口众多,按现在12.32亿人口计算,人均年占有量仅2200 m^3 ,不足世界人均占有量的1/4,居世界第109位。每公顷占有量为28320 m^3 ,为世界的4/5,见表1-3。

表 1-3 各国年径流总量、人均、公顷均水量

国 家	年 径 流 量 (亿 m^3)	产 水 量 (m^3/km^2)	人 口 (亿人)	人 均 水 量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕 地 (万 hm^2)	耕地平均占水量 (m^3/hm^2)
巴 西	51912	60.9	1.61	32240	6550.0	79255
前 苏 联	47140	21.1	2.64	17860	22667	20775
加 拿 大	31220	31.2	0.30	104070	4550.0	68615
美 国	29702	31.7	2.66	11040	18777.6	15818
印 尼	28113	147.6	1.06	14060	3018.0	93151
中 国	27115	28.4	12.32	2200	9584.3	28291
印 度	17800	51.4	9.45	1680	16970.0	10489
日 本	5470	147.0	1.25	80	4378.0	124943
全 世 界	468000	31.4	57.68	8111	147637.8	31599

注 除前苏联仍用1991年以前资料外,其他国家均为1996年资料。

表 1-4 我国用水量增长情况

年 份	1949	1957	1965	1980	1993
农业用水 (亿 m^3)	1001	1938	2545	3912	3850
工业用水 (亿 m^3)	20	79	119	299	1150
火电用水 (亿 m^3)	4	17	62	158	—
城市生活用水 (亿 m^3)	6	14	18	68	250
总计 (亿 m^3)	1031	2048	2744	4437	5250
人均用水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	187	316	378	450	451

由表1-4中可以看出:我国总用水量大体每10年增加1000亿 m^3 ;农业用水量从80年代开始呈下降趋势,13年来减少了62亿 m^3 ,减少了1.6%;工业与城市生活用水从80年代的525亿 m^3 增长到1993年的1400亿 m^3 ,增长了1.7倍。从用水结构来看农业用水量从占总用水量的88%下降为73%。人均用水量70年代以前几乎每年增加100

m^3 ,80年代以来,基本没有增长。按现状用水统计,全国在中等干旱年,农业缺水300亿 m^3 ,工业与城市缺水58亿 m^3 ,合计358亿 m^3 。按“九五”发展目标测算,农业发展333万 hm^2 灌溉面积需增加用水量300亿 m^3 ,工业与城市生活用水量需增加120亿 m^3 ,合计为420亿 m^3 ,即在本世纪末需新增供水量700亿~800亿 m^3 ,见表1-5。就缺水形式而言,全国可分为以下四种类型。

表 1-5

全国用水量预测

项 目 年 份	农 业 用 水		工 业 用 水			生 活 用 水		总用水 (亿 m ³)
	灌溉面积 (万 hm ²)	用水量 (亿 m ³)	产 值 (亿元)	用水指标 (m ³ /万元)	用水量 (亿 m ³)	人日用水量 [L/(人·天)]	用水量 (亿 m ³)	
1990	4790	4400	23851	210	500	25	100	5000
2000	5323	4700	69900	165	1153	35	167	6020
2010	5700	5000	150984	120	1812	50	230	7042
2030	5700	5000	531460	90	4783	70	365	10148

(1) 当地水资源总量少, 且时空分布不均衡, 不能适应经济发展需要的资源型缺水。如华北、西北、东北地区人口占全国 43.5%, 耕地占全国 58.2%, 而水资源只占全国的 18%。人均占有量只有 938 m³, 耕地单位面积占有量仅为 6810 m³/hm², 见表 1-6。特别是北京市人均占有水量已下降到 350 m³, 低于世界绝对缺水指标值 500 m³。

表 1-6

各流域片人均水资源量与公顷均水资源比较表

流域片名称		流域片面积 占全 国 百 分 数 (%)	水资源量 (亿 m ³)	占全国 水资源 百分数 (%)	占全国 人 口 百分数 (%)	占全国 耕 地 百分数 (%)	人均水量 (m ³ /人)	耕 地 平 均 占水量 (m ³ /hm ²)	
内流区	内陆河片(含额尔齐斯河)	35.5	1303.9	4.6	2.1	5.8	6290	22050	
外流区	北方五片	黑龙江流域片	9.1	1357.8	4.6	5.1	13.0	6290	10185
		辽河流域片	3.6	553.2	2.1	4.7	6.7	1230	8370
		海滦河流域片	3.3	421.1	1.5	9.8	10.9	430	2765
		黄河流域片	8.3	743.6	2.6	8.2	12.7	912	5730
		淮河流域片	3.5	961.0	3.4	15.1	14.9	623	6315
		小 计	28.2	4054.2	14.4	33.5	38.2	938	6810
	南方四片	长江流域片	19.0	9613.4	34.2	34.8	24.0	2760	39300
		珠江流域片	6.1	4708.1	16.8	13.9	13.8	4300	67950
		浙闽台诸河片	2.5	2591.7	9.2	7.2	3.4	3590	73800
		西南诸河片	8.9	5853.1	20.8	1.5	1.8	38400	327000
		小 计	36.5	22766.3	81.0	54.4	36.0	4180	61950
	合 计		64.7	26820.5	95.4	97.9	94.2	2750	7900
全 国		100.0	28124.4	100.0	100.0	100.0	2730	28050	

注 1980 年统计资料。

(2) 从地区总量看水资源并不短缺, 但因工程建设跟不上, 造成供水不足的工程缺水。主要包括长江、珠江、松花江流域、西南诸河流域以及南方沿海等地区。

(3) 由于工农业废污水排放量和农药、化肥施用量的不断增加, 致使水资源遭受污染而加重了水资源短缺的污染型缺水。如长江三角洲和珠江三角洲。此外华北地区水资源遭受污染情况也相当严重。据统计部门 1983~1986 年对全区河流水质评价的结果, 约有 20%

的河段不符合灌溉用水标准, 17%的河段受到严重污染。北京、天津、太原、保定、石家庄、郑州、唐山、邯郸、大同、运城、新乡等城市的地下水受到中度以上污染。

(4) 因已建水源工程不配套、设施功能得不到充分发挥而造成的设施型缺水。这种情况在全国许多地区普遍存在。

当前由于缺水, 导致受旱成灾面积不断扩大。50年代全国受旱面积平均 1333 万 hm^2 , 80年代达 2333 万 hm^2 , 90年代以来扩大到 2667 万 hm^2 , 1994年全国受旱面积 3000 万 hm^2 , 成灾面积 1733 万 hm^2 , 减产粮食 260 亿 kg 。

由于缺水, 导致过量引用地表水和超量开采地下水, 致使旱季常发生河流干涸断流, 地下水位大幅度下降。如 1997 年黄河断流已超过 150 天; 北京郊区自 70 年代以来, 地下水位逐年下降, 形成面积达 1000 多 km^2 的水位降落漏斗; 河北沧州地区地下水位降落漏斗区中心水位下降超过 50m; 天津、胶东半岛龙口、莱州和寿光等沿海地区, 因地下水位下降发生海水入侵, 造成地下水咸化。

由于缺水, 全国有 7000 万人吃水困难, 666 个城市中有 300 个用水紧张, 其中 104 个严重缺水, 每年因缺水而影响工业产值达 1200 多亿元。并且随着国民经济的迅速发展, 人民生活水平的不断提高和人口的迅速增加, 工业用水和城市用水都将大幅度增加, 预计到 2020 年我国人口将达到 14.4 亿~16.1 亿, 人均占有水量将降至 1700~1900 m^3 , 不可避免地要大量挤占农业用水, 进一步加剧农业用水的紧张状况, 见表 1-7。

我国还是一个人多地少, 耕地后备资源有限的国家。全国人均耕地 0.079 hm^2 , 相当于世界人均水平的 1/3 强。并且近几年仍以每年 106.67 万~40 万 hm^2 的速度锐减, 而随着人民生活水平的不断提高和人口的持续增加, 对粮食的需求量也在不断增长, 1994 年与 1991 年相比, 工业用粮年均增长 20%, 饲料用粮年均增长 10%, 口粮年均增加 25 亿~30 亿 kg 。据有关部门预测, 今后几年全国每年大约增加 1400 万人, 到本世纪末总人口将达到 13 亿, 仅新增人口即需要 400 亿 kg 粮食。由于耕地资源不足, 随着新开荒地难度加大, 我国增加农作物产品的重点已转向提高单位面积产量, 而灌溉则是提高单产的重要途径。

表 1-7 2000~2050 年中国人口增长的不同预测

项目 年份	当年自然增长率 (%)			平均增长率 (%)			人口估计 (亿)		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高
2000	9	11	11.7	11.85	12.85	13.2	13.1	13.2	13.3
2010	4	7.3	8.7	6.5	9.15	10.2	14.1	14.6	14.8
2020	0	3.6	5.7	2	5.45	7.2	14.4	15.5	16.1
2030	0	0	2.7	0	1.8	4.2	14.4	16.2	16.8
2040	0	0	0	0	0	1.35	14.4	16.2	17.0
2050	0	0	0	0	0	0	14.4	16.2	17.0

第三节 我国传统灌溉面临的困难与问题

一、灌溉工程设施老化

新中国成立以来的前 30 年, 我国灌溉面积平均每年增长 106.67 万 hm^2 , 但由于灌溉设

施大都建于50~60年代,且建设标准较低,经过三四十年的运行,工程普遍老化失修严重,机电设备长期带病运行,处于低能高耗状态,灌区已有10%的工程丧失了功能,60%的工程设施受到不同程度的损坏。进入80年代,虽然平均每年以79.33万hm²的速度增长(1980年我国有效灌溉面积曾达到4887万hm²),十年间新增了793万hm²,但同期减少了840万hm²,增减相抵后,仍然减少了47万hm²。以华北地区为例:1984年山西全省108个567hm²(约1万亩)自流灌区有18个超过折旧年限,占这些自流灌区有效灌溉面积的39%;使用年限30~40年的灌区有40处,占有效灌溉面积的43.8%;有40%的机电排灌设备老化失修,每年约8%的机井报废。河北省50万眼配套机井中已有20万眼到了更新年限,1985年报废4万眼;有30%的闸涵,40%的扬水站,25%的堤防已不能正常运行,供水能力大幅度衰减。农田灌溉面积逐年减少,单位流量日浇地效率明显下降。这种状况,严重制约着该地区农业生产的发展。进入90年代,灌溉面积虽有所增加,但效益衰减局面尚未得到根本好转。

据统计各地农田水利事业费“六五”比“五五”平均每年减少5.15亿元,灌溉工程的基建投资减少2.65亿元。“七五”期间水利投入有所回升,但农田水利费比“五五”期间仍然少3.5亿元,由于原材料价格上涨,实际完成量只相当于过去同样投资的一半。在水利基本建设总投资减少的情况下,各地对灌溉基本建设投资减少幅度都比较大,以致灌溉工程占水利基本建设投资的比重下降

表 1-8 华北地区有效灌溉面积变化表

项目 省(市)	有效灌溉面积(万 hm ²)			年递增(减)率 (%)
	1985 年	1986 年	1987 年	
河 北	355.94	354.63	358.80	+4
山 西	112.82	109.29	111.92	-4
北 京	34.06	33.77	33.66	-6
天 津	35.17	24.22	34.03	-16.30
河南(豫北)	98.18	98.12	97.93	-1.30
山东(鲁北)	290.34	288.46	283.63	-11.60
合 计	926.51	922.09	919.96	-3.54

降到18%,使农田灌溉工程经费不足的状况更加突出,新增灌溉面积增不抵减。以华北为例,1985~1987年,全地区有效灌溉面积年平均递减3.54%,两年减少6.53万hm²,见表1-8。造成这种状况的原因很多,如工程老化失修、水源不足,基建占地及管理水平低等。归根到底是投入不足、无力对灌区进行有效更新、维护和重建,更谈不上大规模发展,见表1-9。

表 1-9 1987 年华北地区灌溉面积下降原因分析

项目 省(市)	总面积 减少	工程报废		长期无水		基建占地		其他原因	
		面积 (万 hm ²)	比例 (%)	面积 (万 hm ²)	比例 (%)	面积 (万 hm ²)	比例 (%)	面积 (万 hm ²)	比例 (%)
河 北	231807	181427	78	37387	16	1540	1	11453	5
山 西	25693	8467	33	6060	24	4273	17	6893	26
北 京	10740	613	6	480	4	1347	13	8300	77
天 津	7487	2567	34	440	6	1813	24	2667	36
河南(豫北)	10313	4087	40	4393	42	1707	17	127	1
山东(鲁北)	7900	352.80	45	25233	32	7405	9	11260	14
合 计	365273	232440	64	73993	20	18140	5	40700	11

二、灌水技术比较落后

由于我国灌区目前大部分采用比较落后的传统地面灌水技术,因此在灌溉水资源利用上,浪费现象还相当严重。特别是在一些水源相对比较丰富的地区,每公顷次净灌水量往往在 1500 m^3 以上,大水漫灌现象仍不少见。因渠系渗漏和管理不善等原因,渠系水的利用系数一般只有 0.55 左右。据山东省统计,全省目前灌溉水利用系数平均在 0.5 左右。在地下水补给较充分的引黄灌区和水库灌区中的井灌区,畦田一般平整差,且较长,灌水量每公顷次 $1200\sim 1500\text{ m}^3$,灌溉水的利用系数为 0.6~0.7。水库自流灌区,不少渠道防渗较差,配套不完整,工程老化严重,灌溉水的利用系数仅 0.4 左右,有的每公顷灌水量达 3000 m^3 。引黄灌区中,输水渠道多为土渠,渠系配套很不完善,田面不平整,灌溉水利用系数多在 0.4 左右。在大水漫灌的自流灌区,每公顷次灌水量高达 $4500\sim 6000\text{ m}^3$,跑漏水严重,灌溉水利用系数仅 0.2~0.3。实行沟引灌的灌区,灌溉水利用系数可达 0.5。引河引湖灌区,灌溉水利用系数一般在 0.4 左右。陕西省泾惠渠自流引水灌区灌溉水利用系数为 0.53;交口抽渭灌区,有效灌溉面积 8 万多 hm^2 ,灌溉水利用系数平均值为 0.55;蒲城龙阳抽水站,有效灌溉面积 2000 km^2 ,灌溉水利用系数为 0.63。陕西全省灌区灌溉水利用系数平均为 0.55 左右。黑龙江省灌区的灌溉水利用系数一般不到 0.5。贵州省对省内 10 个 667 hm^2 以上灌区未经防渗处理的渠道,用动水法测渗,渠系水利用系数一般在 0.3~0.4 之间,最低的只有 0.27,最高的也只有 0.48。华北地区现状土渠的渠系水利用系数仅为 0.37~0.5。据统计分析,我国目前灌区的灌溉水利用系数平均为 0.45 左右,也就是说,从水源到作物根层,有一半以上的灌溉水因渗漏、蒸发和管理不善等原因没有被作物利用。

三、管理水平低

80 年代以来,由于农业体制改变后水管体制改革跟不上,形成工程管理差、群众浇地难、水利工程难以为继的被动局面。加之水利管理单位一时还难以做到按成本收费,不能自我维持。如华北地区能自给的一般只占 1/3。全国许多地区国有灌区在管理体制上,目前实行的是“事业性质,企业管理”,实行按量计费。管理部门为了维持自身生存,节水则意味着减少收入,因而节水意识淡薄。从而造成大量灌溉水在输水配水和田间灌水过程中被白白损失掉了,这不仅引起灌区地下水位的升高,土壤的盐碱化,导致农业减产,而且恶化灌区生态环境。

第四节 我国农业节水的巨大潜力

当前,随着全球性人口增长对粮食及其他农产品的需求迅速增加,世界各国都积极采取措施,力求大幅度提高农作物产量。据近 20 年的资料表明,世界上粮食增产中 25% 归功于扩大耕地面积,74% 归功于提高单产。在单产的提高中,灌溉是非常重要的措施之一。因此在现有耕地上发展灌溉,提高单产,受到普遍重视。根据联合国粮农组织统计,1992 年,全世界灌溉面积共计 2.5 亿 hm^2 ,比 50 年代初的 1 亿 hm^2 扩大了一倍多。灌溉面积占世界总耕地面积的 18.54%,却生产了占世界总产量 40% 的粮食。而今后全世界进一步可开发与扩大的灌溉面积约 1.1 亿 hm^2 ,灌溉面积在世界总耕地面积中的比重将由现在的 22% 增加到 29%。到本世纪末,世界新开垦耕地中,估计约 2/3 是来自干旱荒漠地区兴修水利面

扩展的灌溉地。但是由于世界性的水资源日益紧缺，要进一步发展灌溉面积就必须节约灌溉用水，发展节水农业。

目前我国灌溉面积占总耕地面积不足一半，农业用水量占总用水量的 73%，约 3800 亿 m^3 ，灌溉水的利用率只有 40% 左右，也就是说每年经过水利工程引、蓄的 3800 多亿 m^3 水量，有一半以上是在输水、配水和田间灌水过程中被白白浪费掉了。而发达国家的灌溉水利用率可达 80%~90%，因此，如果采用先进的节水灌溉技术，将全国已建成灌区灌溉水利用率提高 10%~20%，则每年可节约水量约 380 亿~760 亿 m^3 ，等于正在规划的南水北调中线工程年引水量的 2.7~5.4 倍，这对缓解我国水资源供需矛盾将起到很大作用。

当前我国包括灌溉水和降水在内的农田水利用效率也很低，每立方米水生产粮食不足 1 kg，而以色列已达到 2.32 kg，一些发达国家大体都在 2 kg 以上。目前我国水稻、小麦、玉米、棉花、大豆平均每公顷分别为 5670、3150、4725、780 kg 和 1230 kg，而发达国家分别为 8160、7920、10200、1680 kg 和 3360 kg，差距很大。提高农作物产量需要有科学灌溉和农业综合技术措施作为技术依托，因此，研究综合节水农业技术，并将这些技术组装配套，高度集成推广应用，对提高我国农作物产量达到节水增产、优质高效的目的，有着极为重要的意义。

第五节 节水灌溉技术标准

一、节水灌溉的涵义

节水灌溉是用尽可能少的水投入，取得尽可能多的农作物产品的一种农业高效用水模式。它是技术进步的产物，是发展高产、优质、低耗、高效农业的重要环节。

灌溉用水由水源到作物利用，一般要经过从水源到田间的输水、储存在田间转化为土壤水、经作物根系吸收通过生理活动到形成产量这三个过程。节水灌溉就是通过采取各种相关技术与方法，将水从水源到被作物吸收利用全过程的损失减少到最低限度。

从水源到作物产量的形成，水的损失可分为三个部分：①水从水源到田间入口过程中的输水损失，包括渗漏与蒸发。②水进入田间后的储水损失，包括渠系渗漏和田间蒸发。③水从作物根系到形成产量过程中的用水损失，主要是无效蒸腾。第一、二部分用水损失决定水的利用率，这部分损失越小，水的利用率越高，则从水源到达作物根层的水越多。第三部分损失影响水的利用效率，这部分损失越小，则作物形成单位产量所需的水越少，水被利用来生产作物产量的效率就越高。

采用各种节水工程技术措施，可以减少第一、二部分的损失，采用节水农业技术措施可减少第三部分损失。为达到高效用水之目的，在这三部分中都要进行用水管理，将节水贯穿在整个用水过程中。此外还应对农业水资源进行合理开发利用（包括劣质水的利用），使有限的水资源发挥最大的增产效益。

二、节水灌溉衡量指标

什么才是节水灌溉？用哪些指标来衡量？国内外都没有一个统一的标准。这就给统计和宏观决策带来困难。当前国内大多以工程形式作为判断尺度，没有一个量的概念，工程之间的标准相差较大，如低压管道输水灌溉，有的地方地埋管道密度为 90~120 m/hm^2 ，有

的只有 30~45 m/hm²，有的甚至不到 15 m/hm²。因此不考虑工程标准，仅以工程形式作为判断是否节水的尺度是片面的，也是不科学的。

节水灌溉标准是一个相对的概念，具有明显的时间性和地域性。不同国家、不同时期，其衡量标准不同。随着社会的发展和科学技术的进步，它所包括的内容会不断更新，要求达到的水平也会逐步提高。

节水标准的拟定，应在分析本地区现有水平的基础上，确定出 2020 年以前达到的，略高于本地区平均先进水平的各项指标的最低值，作为奋斗目标。即 2020 年以前各项指标只规定一个控制数，而以达到面积作为分年度规划目标。各地方规定的指标数目可以等于或多于全国性节水灌溉指标的数目。其控制数也只能等于或高于全国性的规定数，以保证国家制定的节水目标的实现。

灌溉用水从水源到田间、到被作物吸收和形成产量，包括水资源调度、输水、配水、灌水、土壤蒸发、植物蒸腾等许多环节，节水灌溉必须在这些环节上采取相应的节水措施。为全面客观地反映节水灌溉的实质，又不使问题过于复杂，选择具有广泛代表性的三项指标作为衡量节水灌溉的标准。

(一) 地面灌溉条件下灌溉水利用系数

灌溉水利用系数为田间所需要的净水量(渠首引进的水量扣除渠系和田间损失水量)与渠首引入水量的比值，即

$$\eta_{\text{水}} = W_{\text{净}} / W_{\text{引}} \quad (1-1)$$

或

$$\eta_{\text{水}} = \eta_{\text{渠系}} \eta_{\text{田间}} \quad (1-2)$$

式中： $\eta_{\text{水}}$ 为灌溉水利用系数； $W_{\text{净}}$ 为田间所需要的净水量，m³； $W_{\text{引}}$ 为渠首引入水量，m³； $\eta_{\text{渠系}}$ 为渠系水利用系数； $\eta_{\text{田间}}$ 为田间水利用系数。

灌溉水利用系数是集中反映灌溉工程和管理水平的一项综合性指标。要求大、中、小型灌区灌溉水利用系数分别不应低于 0.45、0.55 和 0.65，井灌区不低于 0.75。

1. 渠系水利用系数

渠系水利用系数为末级固定渠道放出的总水量与渠道引进的总水量的比值。由于水量损失中既包含渗漏、蒸发损失，也包括泄水、退水以及工程失事后造成的跑水损失，故渠系水利用系数既反映了输配水工程质量，也反映了水源调度及渠系管理运行质量。就全国来说，2020 年前大、中、小型灌区渠系水利用系数控制指标，分别不应低于 0.55、0.65 和 0.75，井灌区不应低于 0.9。

考虑到我国大多数灌区没有渠系水利用系数实测资料，为便于操作，可采用渠道防渗衬砌率间接表示渠系水利用系数。对某一特定灌区而言，渠道防渗衬砌率与渠系水利用系数具有一定的对应关系。根据对部分灌区资料分析并经过概化处理，得到满足上述渠系水利用系数规定值时所对应的防渗衬砌率为：大、中、小型灌区分别不低于 40%、50% 和 70%，井灌区应全部实行管道输水或渠道衬砌。

渠道防渗衬砌率可用全灌区渠道已衬砌的总面积与全部固定渠道最大过水总表面积比值百分数来表示。

2. 田间水利用系数

田间水利用系数为按灌溉制度计算的灌水定额与末级固定渠道放出的单位面积灌水量

的比值，其控制值为：水稻田不应低于 0.95，水浇地不应低于 0.90。为此水稻田应避免串灌，旱作物单位面积灌水畦数原则上应符合表 1-10 的要求，但在缺少具体资料条件下，为了便于掌握，要求每公顷畦数一般不少于 45 个。

（二）喷、微灌条件下的技术要求

喷、微灌形式及设备的选择应符合 GBJ85—85《喷灌工程技术规范》和 SL103—95《微灌工程技术规范》中对技术参数提出的具体要求，即灌溉水利用系数分别不低于 0.8 和 0.9，灌水均匀系数分别不低于 0.75 和 0.90，喷灌强度不超过允许值，灌溉保证率不低于 85%。

（三）水分生产率

单位面积平均产量与单位面积平均净灌溉水量与有效降水量及地下水补给量之和的比值称为水分生产率。

净灌溉水量是不包括渠系和田间损失的水量，所以水分生产率是集中反映作物对水分的利用效率的一项综合性指标。是耕作、栽培等措施所产生的节水效果。目前世界上以色列的水分生产率最高，每立方米水可生产 2.32 kg 粮食，预计到本世纪末可达 4 kg 左右，印度的水分生产率目前已达 1 kg/m³ 左右，我国的水分生产率还达不到 1 kg/m³，因此潜力很大。

但由于水分生产率不宜在生产条件差异较大和单产悬殊的情况下进行比较，故要求实现节水灌溉目标后的水分生产率与实现前相比应大于 1.2。水稻田应广泛推行“浅、湿、晒”等节水灌溉制度。

表 1-10 旱作物单位面积畦数表

土壤透水性	强透水性			等透水性			弱透水性		
灌水畦比降	>1/200	1/200~1/500	<1/500	>1/200	1/200~1/500	<1/500	>1/200	1/200~1/500	<1/500
单位面积畦数 (个/hm ²)	>30	>45	>60	>15	>30	>45	>15	>30	>45

三、节水灌溉工程面积的确定方法

输配水和田间灌水都全面达到节水灌溉衡量指标要求的面积称为节水灌溉工程面积。具体统计计算方法如下。

（1）实行喷灌与微灌。符合技术要求的喷、微灌面积全部为节水灌溉工程面积。

（2）实行低压管道输水灌溉。田间管道密度应大于或等于 90 m/hm²，如不足 90 m/hm² 则按比例折算节水灌溉工程面积 A_T 为

$$A_T = (n/n_0)A_{\text{灌}} \quad (1-3)$$

式中： n 为有效灌溉面积 ($A_{\text{灌}}$) 中的地埋管道密度，m/hm²； n_0 为田间地埋管道密度的标准，90 m/hm²。

低压管道只解决了输水部分节水问题，只有相应的田间部分也达到节水标准才能计算为节水工程面积。

（3）实行地面灌溉。渠道输水和田间灌水二者都能达到节水标准的面积为节水灌溉工

程面积。只有其中一项达到标准，不作为节水灌溉工程面积，也不进行折算。

1) 输水节水面积。渠系水利用系数达到规定要求，按全部有效灌溉面积计算为输水节水面积；达不到规定要求，则不计算输水节水面积。

无实测渠系水利用系数资料时，渠道防渗衬砌率达到规定要求的，全部有效灌溉面积为输水节水面积，达不到规定要求，则按比例折算输水节水面积，即

$$A_{\text{输}} = (X_{\text{实}} / X_{\text{规}}) A_{\text{灌}} \quad (1-4)$$

式中： $A_{\text{输}}$ 为输水节水面积， hm^2 ； $X_{\text{实}}$ 为实际达到的防渗衬砌率，%； $X_{\text{规}}$ 为规定要求的防渗衬砌率，%。

2) 田间节水面积。①稻田推行“浅、湿、晒”等节水灌溉制度的面积为田间节水面积。②旱作物单位面积畦数或实测田间水利用系数达到规定要求的面积，以及覆膜灌溉面积均为田间节水面积，但不得重复计算。

3) 地面灌溉节水灌溉工程面积。输水部分和田间部分同时达到节水标准的面积为地面灌溉节水工程面积。

四、节水灌溉工程现状

鉴于我国水资源日益短缺的形势，早在 50~60 年代，水利部就开展了节水灌溉技术的研究，到 70 年代初，某些技术已大面积在生产中推广应用。如在自流灌区大力推广衬砌渠道减少输水渗漏损失，田间开沟平整土地，划小畦块，推行短沟或细流沟灌，建立健全用水组织，实行计划用水，按方收费。70 年代中期在机电泵站和机井灌区进行节水节能技术改造。70 年代中到 80 年代初，在丘陵山区推广透水性强的膜上灌、抗旱坐水种等。80 年代到 90 年代初，在全国范围内推广低压管道输水灌溉技术。从 90 年代开始，进一步将节水灌溉工程技术、农业技术和管理技术有机组合，形成配套技术，并大面积推广田间灌溉科学用水技术，如小麦优化灌溉、水稻浅湿灌溉、膜上灌、抗旱坐水种等，使我国的节水灌溉技术提高到了一个新的水平。

据全国 27 个省、自治区、直辖市的省级灌溉农业节水规划初步成果提供的资料统计，截止 1992 年全国达到节水标准的节水灌溉工程面积如下。

1. 地面灌溉节水工程面积

全国共有各级各类输水渠道 306.87 万 km，其中干支渠道长度 118.81 万 km，占渠道总长的 39.7%，斗、农渠道长度 185.06 万 km，占渠道总长的 60.3%。

已防渗衬砌渠道总长 55.11 万 km，占渠道总长的 18%。其中干、支渠道防渗长度 29.24 万 km，为干、支渠道总长的 24.0%；斗、农渠道防渗长度 25.87 万 km，为斗、农渠总长度的 14.0%。从防渗衬砌面积看，已达 19.69 亿 m^2 ，防渗率累计达到 11.7%。

根据各省、自治区、直辖市上报输水节水、田间节水面积，以各地分区数为基础进行分析统计，按输水和田间两部分均达到节水标准计算，全国地面灌溉节水灌溉工程面积为 929.7 万 hm^2 。

2. 低压管道输水灌溉工程面积

全国已有固定式低压管道输水灌溉控制面积 241.362 万 hm^2 。其中每公顷平均管道长度在 90 m 以上的控制面积为 108.600 万 hm^2 ，每公顷平均管长在 45~90 m 之间的控制面积为 109.867 万 hm^2 ，每公顷平均管长不足 45 m 的控制面积为 22.874 万 hm^2 。按标准计

算, 固定式管灌达到节水标准面积为 186.520 万 hm^2 。

移动式管道输水灌溉控制面积 163.08 万 hm^2 , 管道长度 14.32 万 km , 按标准折算, 达标面积为 103.49 万 hm^2 。

两者相加, 并根据其输水和田间两部分都达到节水标准计算, 全国有管道输水灌溉达标工程面积 290.01 万 hm^2 。

3. 喷、微灌节水工程面积

全国共有喷微灌工程面积 81.547 万 hm^2 。其中固定式 8.273 万 hm^2 , 半固定式 13.153 万 hm^2 , 移动式 60.12 万 hm^2 。喷灌面积在 6.667 万 hm^2 (100 万亩) 以上的省、市有安徽、山东、北京、浙江; 在 3.333 万 hm^2 (50 万亩) 以上的有湖北、黑龙江、河北、江苏。

全国微灌面积达 3.46 万 hm^2 。其中固定式 2.167 万 hm^2 , 半固定式 1.293 万 hm^2 。微灌工程面积较大的省依次为山东、辽宁、河北、黑龙江、江西、山西。喷、微灌合计面积为 85.007 万 hm^2 。

4. 节水灌溉工程总面积

根据以上统计, 1992 年全国节水灌溉工程面积达 1306 万 hm^2 , 经过 5 年的发展, 截止到 1997 年上半年统计, 全国节水灌溉工程总面积已达 1900 万 hm^2 。

第六节 节水灌溉技术的现状与展望

一、国内外节水灌溉技术现状

国内外现阶段采用的主要节水灌溉技术包括节水工程技术、节水农业技术和节水管理技术。主要节水工程措施为: 渠道防渗技术、低压管道输水灌溉技术、喷微灌技术及各种地面灌溉改进技术等。

(一) 渠道防渗技术

渠道是大多数国家的主要输水手段, 渠道防渗衬砌是提高渠系利用率的主要措施。渠道防渗效果在很大程度上取决于衬砌材料。目前各国普遍采用衬砌材料为刚性材料、土料和膜料三类, 其中刚性材料 (尤其是混凝土) 占主导地位。美国的混凝土渠道占全部渠道长度的约 52%; 罗马尼亚占 70%~80%; 意大利几乎全为混凝土渠道; 日本输水干渠一般采用预制混凝土衬砌。

随着化学工业的发展和机械化施工技术的推进, 膜料衬砌的比重日益增大。美国已实现从开挖渠床、铺设塑料薄膜直到填土或浇筑混凝土保护层都由机械完成。

在我国, 渠道衬砌逐步由单一材料向复合材料发展, 梯形断面向弧形断面发展。探索出许多结构新颖、省材、抗冻、抗变形, 防渗效果好的衬砌方法。

(二) 低压管道输水技术

管道输水效率高、占地少、易管理, 灌溉渠道管道化已经成为各国的共同发展趋势。美国约有 50% 的大型灌区实行了输水的管道化。日本土地有限, 因此非常重视发展管道输水, 60 年代初, 先在旱地灌溉系统中用渠道取代斗、农渠; 70 年代末开始用大口径管道取代输水干渠; 到 80 年代中期, 全国新建灌溉渠道的 50% 以上都实现了管道化。东欧各国也十分重视发展管道输水技术, 罗马尼亚的灌溉系统中, 斗渠以上采用 V 型渠槽, 农渠以下全部

采用管道输水。

除新建灌区采用管道输水外，亦有不少国家将旧灌区改建成管道输水系统，如澳大利亚南部伦马克灌区，灌溉面积 0.412 万 hm^2 ，1975 年改建为管道输水系统后，节约灌溉用水量 33%，年运行费减少约 22%。

国外低压管道输水灌溉技术已趋成熟，今后的方向是开发性能更好，价格更低的新管材和各种先进量、放水设备及适合于多目标利用的系统与形式。

我国低压管道输水灌溉技术从 80 年代开始发展，“七五”期间，水利部组织了专项科技攻关，解决发展中出现的各种技术问题，取得较为丰硕的成果。在管材开发方面，研制开发出一批输水性能好、机械性能优，用料省的新型管材。在管件方面，研制开发出数十种出水口、给水栓、安全装置及量水装置。在工程规划设计方面，运用系统工程理论进行优化设计，使工程建设更加经济合理。

（三）喷灌与微灌技术

由于世界性淡水资源的短缺，各国都十分重视研究、推广最具节水效果的喷、微灌技术。世界观察研究所托克斯指出：“本世纪末，主要粮食生产国都将面临严重缺水的问题，都在搞大规模运河调水工程，但若采用喷灌、滴灌措施，其费用仅为修运河、建水库的一小部分，而且对于生态平衡亦大有好处，应大力发展”。

到 80 年代，全世界喷、微灌面积已突破了 0.2 亿 hm^2 （3 亿亩），其中美国和前苏联均已超过 666.67 万 hm^2 （1 亿亩），分别占两国灌溉面积的 40% 左右。干旱缺水的以色列，其灌溉几乎全都采用喷、微灌。日本的旱地灌溉面积中，喷、微灌占到 90% 以上。欧洲诸国已都广泛采用喷、微灌技术。由于这一灌溉新技术的普遍运用，较大程度地缓解了全球水危机，保证了农业及其他产业的可持续发展。

我国的喷、微灌研究始于 50~60 年代，但真正起步却是 70 年代之后的事。1970 年国家将喷灌技术列为重点科研项目，组织水利、农机、农业等部门联合攻关，1978 年又将其列入农田水利基本建设计划，有力地促进喷、微灌技术的快速发展，其间虽几经波折，但全国喷、微灌面积仍稳定在 80 万 hm^2 左右。

（四）地面灌溉改进技术

地面灌仍是当今世界采用较多的灌水方式，由于这一古老方法存在较为严重的浪费水现象，因此在水资源日趋紧缺的今天，各国都在研究改进办法，使之朝着节水方向迈进。最具代表性的研究可归纳为以下几种。

1. 波涌灌溉

波涌灌溉也称间歇灌溉，它是 70 年代美国学者推出的一种地面灌水新技术。做法是先用水泵把水推进一段距离，暂停灌水，间隔一定时间之后再次放水，如此断断续续，使水流呈波涌状推进。由于这种灌水方法水流推进速度快，土壤孔隙会自动关闭，在土壤表面形成一个薄封闭层，大大减小深层渗漏。

2. 地面浸润灌溉

地面浸润灌溉是 80 年代日本研究出的一种新型地面灌溉技术。灌水作业时由土壤借助毛管吸力自动地从一个含水层的散发器吸水，当土壤达到一定饱和度时，吸力变小，系统自动停止供水。

3. 负压差灌溉

负压差灌溉的做法是将多孔管埋入地下，依靠管中水与周围土壤产生的负压差进行自动灌溉，整个系统能适应管四周土壤的干湿状况，自动调节水量，水管理方便。

4. 膜上灌

膜上灌是我国新疆科研人员在覆膜种植基础上探索出的一种灌水新方法。其突出特点是可通过调整膜畦首尾的渗水孔数及孔的大小来调整畦（沟）首尾的灌水量，以获得较普通地面灌溉方法相对高的灌水均匀度，实现节水、增产之目的。

（五）节水农业技术

在节水工程技术的基础上发展节水农业技术，从而实现节水、高产、优质、高效是当今世界各国研究的重点之一。美国、以色列等国家利用滴灌系统对作物同步供给水分及养分，做到水肥同步，促进了农作物的生长发育，提高了水肥利用率。美国、前苏联在利用耕作措施调控农田水分利用状况，充分发挥水、光、热等自然资源，提高农田生产率和水分利用效率方面提出了许多行之有效的技术措施。

我国节水农业技术研究也取得一定进展，耕作保墒、覆盖保墒、化学制剂节水、选育耐旱品种等技术在一定范围内开始试验推广，收到明显节水增产效果。

（六）节水灌溉管理技术

节水灌溉管理技术是指根据作物的需水、耗水规律，来控制、调配水源，以最大限度的满足作物对水分的需求，实现区域效益最佳的农田水分调控管理。它包括土壤墒情监测与预报技术，节水高效灌溉制度的制订，以区域总效益最大为目的的灌溉预报技术，输配水与灌水水量的量测和流量调节控制技术等方面。

土壤墒情监测与预报在国内外均有悠久的历史。70年代后期以来，美国、澳大利亚等发达国家采用高空红外线遥感遥测，大范围监测土壤墒情，但由于费用高，技术难度大，正逐步转向计算机模拟。我国干旱、半干旱地区历来十分重视土壤墒情的监测与预报，如播种日期、种植面积、作物品种选择等都要通过中长期墒情预报决定。

从80年代初开始，许多国家的研究者，一改传统的丰产灌溉制度的研究，转向非充分灌溉的试验研究。以色列大量的试验统计表明，在大量节水的情况下可获得相当于最高产量85%~95%的产量。我国从50年代即开展灌溉制度方面的研究，绘制出全国主要农作物需水量等值线图，建立了全国灌溉试验资料数据库，为灌区的规划和科学用水提供了基础资料。

二、我国近期节水灌溉发展方向

节水灌溉是一项综合技术，只有对灌溉系统引水、输水、配水、灌水、用水等各个环节采取相应的节水措施，才能最大限度地提高水的利用率和利用效益。我国幅员辽阔，各地自然条件差异较大，发展节水灌溉的模式也不相同，必须遵循因地制宜的原则。我国近期节水灌溉的发展方向如下。

1. 以节水增产为目标对灌区进行技术改造

我国不少大中型灌区都是50~60年代修建的，由于工程老化失修或已到报废年限，使灌溉效益衰减，灌溉用水浪费严重。因此要根据当地自然、水资源、农业生产和社会经济特点，以节水高效为目标，对灌区实施技术改造。陕西省从1988年开始，用三年多的时间，

对泾惠渠、宝鸡峡和交口抽渭三大灌区实施节水改造收到明显效果：减少渠道占地约 386 hm^2 ，每年可节约用水 5300 万 m^3 ，灌溉效益提高 31%，创造单产 9195 kg/hm^2 的历史最高水平。

近期技术改造的重点是渠道防渗、灌区建筑物的维修与更新及田间工程配套。

2. 加强用水管理推广节水灌溉制度

工程是基础，管理是关键。在加强工程管理的同时，积极研究和推广节水灌溉制度，把有限的水量集中用于农作物需水的关键期，以扩大灌溉面积，使灌溉总体效益最大。陕西洛惠渠灌区近年实行节水灌溉制度后，一般干旱年平均每公顷用水量为 1800~2250 m^3 。冬小麦为常规灌溉量的一半，每公顷产量由 1970 年的 2910 kg 提高到 7500 kg 。广西近年推广水稻节水灌溉（浅湿晒）面积 178.133 万 hm^2 。总节水 25 亿 m^3 ，增产稻谷 7 亿 kg ，相当于增加耕地 2.333 万 hm^2 。

3. 平田整地开展田间工程改造

地面灌溉是我国目前采用最多的一种灌水方式，预计在今后相当长的一段时间内，仍将占主导地位，据调查分析，地面灌溉用水损失中，因田间工程不配套，耕地不平整等引起的用水损失约占到 30% 左右，说明田间节水有较大潜力。近年，我国北方不少省、市、自治区都狠抓了田间工程改造工作，收到节水又增产的良好效果。

因地制宜开展田间工程改造、平整土地，减少深层渗漏，提高灌水均匀度，花钱少、见效快，近期将继续推广。

4. 加速发展节水灌溉工程

统计资料表明，对大型灌区实施渠系防渗衬砌后，可使渠系水利用系数提高 0.2~0.4，减少渠道输水渗漏损失 50%~90%。我国的渠道防渗率仅为 10% 左右，发展潜力巨大。我国在“六五”、“七五”期间已取得混凝土衬砌、塑料薄膜衬砌、现浇混凝土 U 型渠防渗和机械化施工等成功经验，并提出复合防渗、季节性冻区采用梯形渠道坡角抛物线形断面等措施，以改善渠道衬砌防渗性能。总之，此项技术已经成熟，已具备大面积发展的条件。

低压管道输水灌溉目前在北方井灌区已累计发展约 300 余万 hm^2 ，发展势头方兴未艾。“七五”期间水利部组织开展了薄壁 PVC 管、内光外波纹双壁聚乙烯管、内衬塑膜外护水泥等各种管材及相应的配套管件、保护装置的研制，为这项技术的进一步发展提供了良好的技术装备。

喷、微灌是当今最先进的节水灌溉技术，与传统地面灌溉方法相比，一般可省水 30%~50%，增产 10%~30%。喷、微灌还具有省工、节地、不受地形条件限制等许多优点，对无灌溉条件的丘陵、坡地尤为适用。随着经济的发展和技术的进步，在水资源严重紧缺的地方，喷、微灌技术将会有长足的发展。在推广应用过程中，需要进一步解决的问题：①如何解决喷、微灌系统能耗过高。②怎样利用灌溉系统开展施肥、施药、调节田间小气候。③如何实现产品的标准化、系列化、国产化。

5. 重视节水农业技术的应用

各种节水工程技术只有与相应的节水农业技术相结合，才能发挥综合优势，达到节水、高产、优质、高效的最终目标。节水型农业技术措施包括抗旱节水品种、秸秆覆盖、少耕免耕、节水增产栽培、农业结构调整等，都具有投资少、节水增产效果显著、技术成熟等

特点，推广前景广阔。

6. 由单项技术向综合技术发展

目前我国节水灌溉技术的推广应用仍以单项技术为主，虽然已开始重视研究节水综合技术，但应用尚不普遍。节水灌溉综合技术的目标不但要提高灌溉水的利用率，而且也要使灌溉水的利用效率得到提高，真正起到节水增产的作用。因此节水灌溉技术今后发展的主要方向是将工程技术、农业技术与管理技术，因地制宜进行有机组合，形成节水高效的节水灌溉综合技术体系，并在大面积上推广应用。

农业科技

第二章 农业水土资源评价的基本原则

第一节 农业水土资源的定义

什么是农业水土资源?从字面上解释,它是由农业水资源和农业土地资源两部分组成。

农业水资源,主要包括大气降水、地表水、地下水、土壤水、回归水和净化处理后的废污水等一切可以用来灌溉和被作物利用的水源。

农业土地资源,是由地形、土壤、气候、水文、植被等各种自然因素长期作用以及人类活动影响在内所形成的一个自然综合体。

土地是人类利用的最宝贵的资源,是人类生产和生活所依赖的物质条件,土地作为农业生产的劳动对象和基本的生产资料,成为农业资源中最重要、最基本的组成部分。对土地资源的开发利用集中反映了农业生产的规模 and 水平。土地资源有两个特点:①土地有一定的生产能力,能生产出人类需要的各种各样的植物产品和动物产品。当然,农产品的多少,质量的好坏,与土地的肥力及其利用、水平等有直接的关系。如果利用得合理、手段适宜、方法得当,土地的肥力将不断提高,土地的潜在生产能力得以发挥,就能日益增加越来越多的农产品,农业经济效益就会显著提高;反之,若利用不当,滥垦、滥伐、滥牧,利用不当,则土地平衡日益恶化,自然灾害日趋频繁,农业生产效益就会显著降低,甚至导致农业生产恶性循环。②土地面积和分布区域的固定性以及不可代替性。由于土地面积是固定不变和不可代替的。因此,人类为了更好的生产,则必须更好地研究土地,更加充分合理利用土地和保护珍惜土地,使之更好地为人类服务。

农业水资源和农业土地资源都是有限的资源,它们相辅相成,又相互制约。农业水资源是农业土地资源发挥最大优势的最基本条件之一,农业水资源利用得合理与否,灌溉手段先进与否,都直接影响到农业土地资源的生产效率;而农业土地资源的利用程度也制约着水资源的利用。若土地资源利用效率比较高,又为水资源的合理开发及利用创造了条件。两者的相互依赖与制约又说明了农业水土资源定义为灌溉农业土地资源较为恰当。

第二节 农业水土资源评价的含义

农业水土资源具有自然属性,又具有社会属性。这主要是由于组成水土资源的自然、社会因素决定的。因而水土资源的数量、质量及其利用的方向途径如何,能否正确评价水土资源,是合理开发利用水土资源,使其发挥最大生产效率的基础工作。

(1) 水资源评价。主要任务是对水资源数量、质量、时空分布特征和开发利用条件进行分析评定,为水资源合理开发利用、管理和保护提供依据。水资源评价的重点对象是地表水资源和地下水资源。水资源开发利用价值,不仅取决于水量,亦取决于水质。因此,在评价水资源数量的同时,还应该根据用水要求,对水质进行评价。

(2) 土地资源评价。是根据一定的目的和要求,对土地数量、土地质量进行量算、鉴定、分类、评级和估价。其主要内容包括对土地各个要素和有关土地利用的社会经济条件的综合考察,土地质量等级评定,土地利用合理程度和改变用途的可能性阐明等。并据以提出提高其生产力的措施,为土地资源合理开发利用、管理和保护提供依据。土地资源评价的重点是评定土地对特定用途的适宜性,对节水灌溉而言,就是评价土地对不同节水灌溉技术的适宜性。土地评价的主要成果是能表明各种土地对特定土地用途的适宜性分类。

第三节 水资源评价的基本原则

一、合理利用原则

根据对水资源的利用目标不同,评价时侧重点也应不同。如以供水为目标的水资源评价,主要研究地表水和地下水的补给来源、储存条件、转化关系、水质状况、时空分布规律,分区估算水资源总量和可利用水量等。以农业区水资源评价时,还应研究土壤水的补排条件、时空变化规律和可利用量,为制定合理的灌溉定额和灌溉制度、规划节水农业和节水灌溉技术提供依据。

二、高效利用原则

目前我国一方面是水资源危机越来越加重,另一方面水的浪费,尤其是用水大户——灌溉农业用水利用率很低,灌水技术落后,浪费和效益损失十分惊人。因此,在对水资源评价时要十分注意资源的高效利用,注意投入与产出的比例,注意经济效益。对于节水灌溉而言就是要提高水的利用率和水的生产效率。

三、可持续发展利用原则

这是评价水资源开发利用的重要内容。当前由于水资源供需矛盾尖锐,超采地下水的情况非常严重,已经到了破坏自然环境和生态平衡的地步,超过了水资源的承载能力,诱发了诸如大面积的地下降水漏斗区、地而下沉、地裂、泉水枯竭、地下水污染等,损失十分严重。因此,在对区域水资源进行评价时,要合理计算可利用的地表水和地下水资源的数量,确定经济合理的可供水量,以达到水资源的可持续发展利用的目的。

开采中经常出现的一种情况是:地下水的天然补给量本来只能维持开采,但在开采激化下,获得了开采补给量,或者减少了天然消耗量,使得开采量可以大大增加。因此在进行水资源评价时,不能以天然补给量的多寡作为唯一依据,必须充分考虑开采条件下的各种补给量,才能作出符合实际的评价结论。如沼泽地区、盐碱化地区等地下水位埋深较浅的地区,开发地下水后地下水位将会大幅度降低,导致蒸发量大为减少,使原来的消耗量转化为增加开采量的有利因素。

四、动态评价原则

自然界中的地表水和地下水在一定条件下是互相转化的,这种转化在开采条件下往往更为明显与强烈。因此,在有可能截取地表水的地区进行水资源评价时,既不能用天然补给量作为评价地下水资源的唯一依据,也不能取地表水与地下水的简单叠加结果作为整个水资源的评价标准,而必须用动态的观点对地表水和地下水作全面的分析和计算,考虑开采条件下一切可能出现的补给量(包括复渗量),才能得出较为可靠的评价结论。

在主要靠降雨入渗补给的地区，其补给量是随季节变化的，雨季补给量大，旱季补给量小。在多年气象周期内，有丰水年、平水年、枯水年和许多过渡年份，不同年份的平均补给量可能相差很大。这时，应该用以丰补歉的方法，即枯水期借用储存量，丰水期再补偿它，充分利用储存量的调节作用，来评价开采量。

五、因地评价原则

开采方案必须因水文地质条件和不同供水目的而异。从最大限度夺取补给量和天然消耗量的观点出发，在不同的水文地质条件下要采用不同的开采方案。

(1) 补给区或天然排泄区附近的补给潜力最大，天然的消耗也多，所以开采井宜尽量围绕这些地区布置。

(2) 远离排泄区时：若含水层很薄，储存量少，调节能力差，均匀布井效果较好；含水层很厚，储存量大，调节能力相对较强，采用分段取水的开采效果较佳。

(3) 在有侧向补给、径流条件良好的河谷或山前地区，最好利用平行或垂直补给边界的井排开采。在有均匀补给、径流条件较差的地区，例如主要依靠降雨补给或越流补给的地区，最好按均匀布井开采。

(4) 当开采埋深大且分布面积较广的承压含水层时，主要靠消耗弹性储存量和越流补给，为了延长开采期限应尽量均匀布井。当开采中小型自流盆地或自流斜地承压水时，为了充分利用自流和截取补给量，应尽量在中下游横向布井或布置截槽取水。

(5) 为不同供水目的而设计的地下水开采方案，应有区别。农业灌溉用水季节性强，可采取一定时期内进行超出补给量的过量开采，而且一般以使用平均布井或分段取水效果较好。某些有限期的供水工程，虽然在一定时期内超越补给量大量开采地下水，但在预期的开采时间内又不至于疏干全部储存量，随后就放弃了水源地的开采，或将开采量缩减到补给量范围以内。这种类型，一般应选取最佳布井地段，用集中布井的方法供水。城市和厂矿的开采，均系长期的连续供水，而且供水量往往逐年增大，一般应结合当地水文地质条件，采取多系统的组合开采方案。如大厚度分段取水和大口径取水相结合，渗渠和辐射井相结合，管井和大口径井以及截潜工程相结合，有的还同时利用地表水或设置人工回灌设施等，总之必须保证开采量的连续与稳定。

六、因水评价原则

(1) 浅层含水层组，主要接受就地补给。如地表水或降雨补给，一般补给源充分且周转快，年度或跨年度调节作用强，在开采过程中，可以指望建立新的动平衡，形成稳定型或调节型水源地。这时，可采用稳定流理论计算开采量，用一年或多年的平均补给量评价开采量的可靠程度。

(2) 深部含水层组，距补给区远，补给途径长，补给周转慢。在开采过程中主要消耗弹性储存量，不易建立新的动平衡，常常形成非稳定的消耗型水源地。这时，一般采用非稳定流理论计算开采量，同时进行多年的调节分析或同人工补给结合起来综合进行开采量的评价。

第四节 土地资源评价的基本原则

土地评价是一个系统工程，必须同时兼顾生态效益、经济效益、社会效益，因此土地

评价必然涉及许多学科的知识。如土壤、地质、水文、地理、气象、地貌、农学、植物生理、经济和社会等等，只有利用了这些学科的知识进行综合分析，才能系统全面地进行土地评价。

一、合理利用原则

要针对特定的用途种类进行土地适宜性评价和分类。这是因为不同的土地用途种类对土地的性状有不同的要求。例如：水稻需要一定的淹水条件，排水困难的冲积泛滥平原就适宜种水稻，而不适宜种小麦、果树。不同的土地用途对土地性状的要求大不一样。如水稻必须要一定条件的淹水，而果树的根则不能生长在地下水位以下。因此，土壤水分有效性高低或旱涝程度，都是对每种用途的要求比较而言的。

二、效益最佳原则

土地评价要求对不同的土地类型在可能获得的利益和需要的投入之间进行比较。所有土地利用都需要投入，投入和产出分析可以比较不同的土地类型的好坏，这是土地适宜性评价的一个重要的指标。例如：要在坡地种植小麦，为了防止水土流失或便于灌溉，就必须修建梯田，尽管最后可以获得跟平地一样的产量，但由于修筑梯田需要较大的投入，便认为坡地没有平地适宜于种小麦。由于投入总是有限的，因此人们总是希望用有限的投入获得最大的收益，即将投入放在最适宜的土地类型上。

三、因地制宜原则

评价要切合当地的自然、经济和社会条件。土地评价时，必须同时考虑各种土地因素，以及与当地土地条件有关的因素。这些因素包括自然因素，如：气候、地质、地貌、水文、土壤、植被、畜禽等；经济和社会因素，如：居民素质和生活水平、劳力供应状况和劳动费用、交通与通讯、市场与销售、科学与文化、政策等。不同的地区，这些因素的变化很大，由于实际情况和技术上的需要，评价中不可能将所有因素都作为评价的因子。但对那些没有作评价的因素也要认真的分析，否则可能会造成很大的失误。如在半干旱、干旱地区，认为灌溉条件下适宜于种小麦就大面积推广，而没有对该地区的地表水及地下水源作认真分析论证，或灌水技术方式选择不当，便可能造成几年之后，再没有水可灌溉的结果。在偏远地区推广种桃，便会造成由于没有保鲜技术和交通不便使桃子烂掉。又如长江中下游平原、黄淮海平原自然条件适宜于种粮食，是我国的主要粮食产区，为国民经济的发展起到重要作用，若再进行宜农、宜林、宜牧的适宜评价，就没有实际意义了。所以，土地评价要因地制宜，充分分析当地的自然、经济和社会条件，使土地评价的结果具有科学性和实用性。

四、可持续利用原则

随着时间的推移，土地及其环境有一个演变的过程，人为的扰动会改变或加速这种演变。土地及其环境的演变又反过来改变土地的性状及至土地的生产能力，进而影响土地的利用。因此，在改变土地的生产行为时，必须仔细分析这种扰动带来的演变过程，尽量使之朝着有利于生产的方面发展，避免不利的发展趋势。只有这样，才能保持土地的持续利用性，才能说这种土地利用方式是适宜性的。应该注意的是，有些利用方式在短期内似乎十分有利，如在坡度较大的地上毁林造田，1~2年内可能获得较满意的收成，但3~5年之后坡地上的土壤会受到严重的侵蚀而流走，使坡地变成基岩裸露的不毛之地，其后果造成

的损失远远大于短期内所获得的利益，这就是说这些土地利用方式是不适宜的。

五、可靠性原则

有些影响土地适宜性的因素是固定不变的，而另一些是经过努力可以改变的。在土地评价过程中，应该确定各项必要的改良措施的成本，以便能够预测开发的经济和环境后果。土地固定性特征有温度、土壤质地、基岩深度和宏观地形；可改变的特征包括植被、盐渍度、地下水深度、微地貌及某些社会和经济条件。

评价要在几种用途之间进行比较。土地评价的主要目的就是分析各种土地用途的优劣，以便在土地利用规划中，为选择最佳的土地利用方式提供依据。如一块肥力较差的地，不管种什么产量都比较低，种谷子能达到二等适宜性，而种小麦只能达到三等适宜性或不适宜性，比较说明种谷比种小麦好。还可在当前用途与设想用途之间，或在不同作物和不同灌溉方法之间进行比较。通过比较若干供选方案的投入和产出，可以提高评价的可靠性，以确保所选土地用途不仅是适宜的，而且是适宜供选方案中的最佳的。

灌溉农业土地评价的主要目标，是预测开发进行后将来的条件。在评价时应考虑到将来土壤、水、作物和经济、社会和政治条件间相互作用的一个潜在适宜性的分类。

第三章 农业水资源的评价与分析

农业水资源泛指自然资源中可用于农业生产的部分，一般包括降水、地表水、地下水和土壤水。随着国民经济的发展和科学技术水平的提高，废污水、地下咸水、海水等劣质水经一定的处理后亦可用于农业生产，因此，这部分水也是农业水资源的组成部分。在我国现行水资源评价中不包括对土壤水资源的评价，但对于农作物而言，直接利用的是土壤水，其他水资源只有转化为土壤水时才能被作物吸收利用。因此，缺少对土壤水资源的评价，对于农业水资源评价来说是不完全的。

第一节 农业水资源量的计算

一、降水

大气降水是陆地上各种形态水资源总的补给来源，它是一个流域或封闭地区当地水资源量的最大值，降水量的多少基本上反映了水资源的丰枯情况。降水量的计算主要根据实测降水资料进行统计分析，确定降水量的特征值，计算不同频率年、月降水量。对于农作物而言，需要分析计算有效降水量。

(一) 降水量特征值的计算

降水量特征值一般用均值、变差系数和偏态系数这三个统计参数来表示。据此，便可推求不同频率的时段降水量。以下介绍年降水量特征值的计算方法，月降水量特征值的计算与之类似。

1. 矩法

若对连续系列或不连续系列不进行特枯水处理时，均值的计算公式为

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3-1)$$

式中： $\bar{P}$ 为多年平均年降水量，mm； n 为降水系列年数； P_i 为各年的年降水量，mm。

变差系数的计算公式为

$$C_v = \sigma \sqrt{P} \quad (3-2)$$

$$\sigma = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right] / (n - 1)} \quad (3-3)$$

将式 (3-3) 代入式 (3-2)，并令 $K_i = P_i / \sqrt{P}$ ，则有

$$C_v = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 \right] / (n - 1)} \quad (3-4)$$

以上式中： C_v 为变差系数； σ 为均方差，mm； K_i 为模比系数。

偏态系数的计算公式为

$$C_s = \left[\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 \right] / \left[(n - 3) C_v^3 \right] \quad (3-5)$$

式中: C_s 为偏态系数。

2. 三点法

用三点法确定统计参数的步骤为: 首先在概率格纸上通过点群中心目估绘制一条光滑的经验频率曲线, 再从曲线上读取对称的三个点, 其频率为 p_1 、 p_2 、 p_3 , 相应的降水量为 P_{p1} 、 P_{p2} 、 P_{p3} (如图 3-1), 然后用以下各式计算参数:

$$S = (P_{p1} + P_{p3} - 2P_{p2}) / (P_{p1} - P_{p3}) \quad (3-6)$$

$$\sigma = (P_{p1} - P_{p3}) / (\Phi_{p1} - \Phi_{p3}) \quad (3-7)$$

$$\bar{P} = P_{p2} - \sigma \Phi_{p2} \quad (3-8)$$

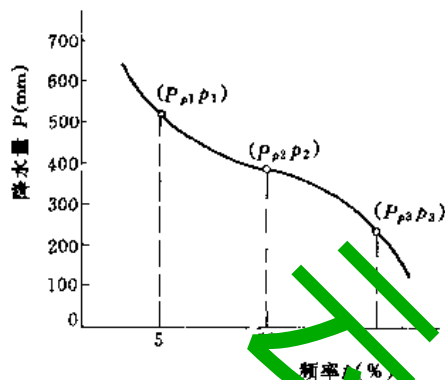


图 3-1 三点法示意图

式中: S 为偏度系数, 为频率 p 和 C_s 的函数。当频率 p 取定值时, S 为 C_s 的函数, 可查附表 1 得到 C_s 值; Φ_{p1} 、 Φ_{p2} 、 Φ_{p3} 分别为相应于 p_1 、 p_2 、 p_3 的离均系数, 其值可由 C_s 与 Φ_{p2} 、 C_s 与 $\Phi_{p1} - \Phi_{p3}$ 的关系表 (附表 2) 查得。

三点中的频率 p_2 一般取 50%, p_1 、 p_3 应取对称值, 如 p_1 取 5%, 则 p_3 取 95% 等。具体计算时, 先用公式 (3-6) 求得 S 后, 查附表 1, 得到相应的 C_s 值。再由附表 2 查得 Φ_{p2} 和 $\Phi_{p1} - \Phi_{p3}$ 值, 代入公式 (3-7) 和式 (3-8), 求得 σ 值和 $\bar{P}$ 值, 最后由公式 (3-2) 求得 C_v 值。

用以上所述的矩法和三点法计算出的统计参数 C_v 和 C_s 值存在抽样误差, 尤其是 C_s 值抽样误差较大, 因此, 实际工作中常常将这两种方法求得的参数值作为统计参数的初始值, 再用图解适线法最后确定参数值。

3. 图解适线法

用该法确定统计参数时, 先用下式计算经验频率:

$$p = [m / (n + 1)] \times 100\% \quad (3-9)$$

式中: p 为经验频率, %; m 为年降水量按大小排列的序号; n 为降水资料的年数。

然后用纵坐标表示年降水量, 横坐标表示对应的经验频率, 点绘年降水量的经验频率点据。再将用矩法或三点法求得的 $\bar{P}$ 、 C_v 值为参数初值, 假定不同的 C_s 值, 查皮尔逊 III 型曲线模比系数 K_p 值表 (附表 3), 得出不同的皮尔逊 III 型曲线, 其中与经验频率点据配合最好的曲线所对应的统计参数 $\bar{P}$ 、 C_v 、 C_s , 即为所求的统计参数。若所有的皮尔逊 III 型曲线与经验点据配合不好, 就需调整 $\bar{P}$ 和 C_v 值, 再假定不同的 C_s , 重新进行适线, 直到配合较好为止。

(二) 不同频率年、月降水量的计算

不同频率年、月降水量的计算公式为

$$P_p = K_p \bar{P} \quad (3-10)$$

式中: P_p 为表示频率为 p 的年或月降水量, mm; $\bar{P}$ 为多年平均年降水量或多年逐月平均降水量, mm; K_p 为频率为 p 的年或逐月降水量模比系数, K_p 为 $\bar{P}$ 、 C_v 和 C_s 的函数, 其

值可用图解适线法得出的 $\bar{P}$ 、 C_e 、 C_s 值反求得到，可查附表确定。

(三) 有效降水量的计算

1. 有效降水量的概念

联合国粮农组织 (FAO) 把有效降水量定义为：年（或季）降水量中可在降水地点，不须提水，能就地直接或间接用于作物生长的那部分水为年（或季）的有效降水量。对于旱作物，有效降水量为降水渗入土壤被作物及其环境所利用的那部分，即降水量减去径流量和深层渗漏量。有效降水量的大小与降水特性（雨量、雨强、降雨历时等）、地形、土壤质地及结构、降水前的土壤含水量、作物种类及生育阶段、耕作措施等因素有关。如当降水量一定时，降水强度大，则产生径流多，有效降水量就小。当降水前的土壤含水量高时，降水入渗量小，地表径流多，此时的有效降水量就小。确定有效降水量的基本原理是水量平衡，一般由农田水量平衡的实测资料确定。下面介绍有效降水量的计算方法。

2. 有效降水量的计算

(1) 旱作物的有效降水量计算。依据水量平衡原理，有效降水量可由降水期的田间水量平衡方程确定，即

$$P_e = P - R - W_f - E_0 \quad (3-11)$$

式中： P_e 为有效降水量，mm； P 为降水量，mm； R 为地表径流量，mm； W_f 为降水入渗超过土壤最大贮水能力后产生的深层渗漏量，mm； E_0 为降水期间的蒸发量，mm。

由于降水期间的蒸发量很小，常常可以忽略不计，因此，式 (3-11) 变成

$$P_e = P - R - W_f \quad (3-12)$$

若不考虑地表径流，并且时段内无滴水时，当降水量大于计算时段内土壤最大储水量与降水时土壤实际储水量之差时，有效降水量可用下式计算

$$P_e = (W_{\max} - W_0) + ET - G \quad (3-13)$$

式中： $W_{\max}$ 为土壤最大储水量，mm； W_0 时段初土壤储水量，mm； ET 为时段内作物蒸发蒸腾量，mm； G 为时段内地下水补给土壤水量，mm。

若时段内降水量小于时段内土壤最大储水量与降水时土壤实际储水量之差时，则有效降水量等于降水量，即

$$P_e = P \quad (3-14)$$

(2) 水稻有效降水量的计算。在水稻生长期，田面有水层，水层深浅随生育阶段不同而不同，有其最大适宜水层深 H ，降水把田间水层深 h_t 补到深度 H 的部分，以及供作物蒸发蒸腾的 ET 和改善土壤环境的深层渗漏 W_{f1} 均为有效降水，而形成的径流和无效的深层渗漏为无效降水。此时有效降水量用下式计算：

$$P_e = (H + ET + W_{f1}) - h_{t-1} \quad (3-15)$$

式中： H 为水稻生长最大适宜水深，mm； h_{t-1} 为 t 时段初的稻田水深，mm； W_{f1} 为改善土壤环境的深层渗漏量，mm；其余符号意义同前。

当田面落干时，即 $h_{t-1} = 0$ ，此时降水量把田面水层提高到最大适宜水深 H ，把土壤水由雨前的土壤储水量 W_0 增加到最大储水量 $W_{\max}$ ，并满足作物需水和稻田渗漏，则有效降水量为

$$P_e = (H + ET + W_{\max} + W_{f1}) - W_0 \quad (3-16)$$

由上可见, 计算有效降水量比较繁琐, 因此, 产生实践中常常采用以下的简化方法计算, 即

$$P_e = \sigma P \quad (3-17)$$

式中: σ 为降水有效利用系数, 其值与一次降雨总量、雨强、降雨历时、土壤性质、作物生长、地面覆盖和计划湿润层深度等因素有关, 一般应根据实测资料确定。

根据刘昌明院士等人的分析研究, 海滦河平原的降水有效利用系数(σ)为 0.67~0.78, 黄河下游平原 σ 为 0.66, 淮河平原和山东滨海平原 σ 为 0.53~0.70 (参见《华北平原农业水文及水资源》)。又据康绍忠等人的研究, 陕西省冬小麦生育期降水有效利用系数的多年平均值为 0.85~1.0, 水稻生育期降水有效利用系数见表 3-1。根据河南、山西等省的资料, σ 为 0.7~0.8; 而黑龙江省 σ 值见表 3-2。若当地没有实测的降水有效利用系数值时, 可参考上述值选用。

表 3-1 汉中站水稻生育期降水有效利用系数

P (mm)	<300	300~400	400~500	500~600	600~700	700~800	>800
σ	1.00	0.78	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50

表 3-2 黑龙江省 σ 值

P (mm)	<5	5~50	50~100	100~150	150~200
σ	0.0	1.0	0.8	0.75	0.65

二、地表水

广义上讲, 在地球表面上覆盖的自然水体(包括液态和固态)都属于地表水, 包括河流水、湖泊水、冰川水、海洋水和沼泽水。而通常所说的地表水属于狭义地表水概念, 即不包括海洋水, 并且把降水视为地表水的重要补给源。地表水资源的定量特征为河川径流量, 它包括当地地表水量和上游径流量。

(一) 河川径流量的计算方法

河川径流量的计算方法主要有代表站法、等值线法和年降水径流关系法。

1. 代表站法

这种方法是在设计区域内, 选择一个或几个基本能够控制全区、实测径流资料系列较长并且具有足够精度的代表站, 从径流形成条件相似性出发, 把代表站的年径流量按面积比或综合修正的方法移用到设计区域范围内, 从而推算出设计区多年平均径流量和不同频率的年径流量。

用代表站法计算年径流量的基本公式为

$$W_{\text{设}} = \frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{代}}} W_{\text{代}} \quad (3-18)$$

式中: $W_{\text{设}}$ 为设计区域的年径流量, 亿 m^3 ; $W_{\text{代}}$ 为代表站区域的年径流量, 亿 m^3 ; $F_{\text{设}}$ 为设计区域面积, km^2 ; $F_{\text{代}}$ 为代表站区域面积, km^2 。

在式 (3-18) 中, $W_{\text{代}}$ 不是代表站实测的河川径流量, 而是经还原计算后的天然径流量。天然径流量的确定方法多采用分项调查法, 计算公式为

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{灌溉}} + W_{\text{工业}} + W_{\text{库塘}} + W_{\text{库塘}} \pm \Delta W_{\text{库蓄}} \pm W_{\text{引水}} \pm W_{\text{分洪}} \quad (3-19)$$

式中： $W_{\text{天然}}$ 为还原后的年径流量，亿 m^3 ； $W_{\text{实测}}$ 为水文站实测径流量，亿 m^3 ； $W_{\text{灌溉}}$ 为灌溉耗水量，亿 m^3 ； $W_{\text{工业}}$ 为工业耗水量，亿 m^3 ； $W_{\text{库蒸}}$ 为水库水面蒸发损失量，亿 m^3 ； $W_{\text{库渗}}$ 为水库渗漏损失量，亿 m^3 ； $\Delta W_{\text{库蓄}}$ 为水库蓄水变量，蓄水量增加取正号，蓄水量减少取负号，亿 m^3 ； $W_{\text{引水}}$ 为跨流域引水量，引出取正号，引入取负号，亿 m^3 ； $W_{\text{分洪}}$ 为河道分洪水量，分出取正号，分入取负号，亿 m^3 。

根据公式 (3-18) 计算设计区域逐年径流量，常常要视代表站数及其自然地理条件等而采取不同的途径。

(1) 当区域内可选取一个代表站且该站基本上能够控制全区，上、下游产水条件差别不大时，可直接用式 (3-18) 进行设计区域逐年径流量的计算。

(2) 当代表流域不能控制设计区域大部分面积，其上下游产水条件有较大差别时，应采用与设计区域产水条件相似的部分代表流域的径流量和面积，如区间径流量与相应的集水面积，代入式 (3-18) 计算设计区域逐年径流量。

(3) 当区域内可选取两个以上的代表站，且设计区域内气候及下垫面条件差别较大时，可按地形、地貌、气候等条件，将设计区域划分为两个以上的分区域，每个分区域均用式 (3-18) 计算分区逐年径流量，然后相加得出整个设计区域的年径流量。计算式为

$$W_{\text{设}} = \frac{F_{\text{设}1}}{F_{\text{代}1}} W_{\text{代}1} + \frac{F_{\text{设}2}}{F_{\text{代}2}} W_{\text{代}2} + \cdots + \frac{F_{\text{设}n}}{F_{\text{代}n}} W_{\text{代}n} \quad (3-20)$$

式中： $F_{\text{设}1}$ 、 $F_{\text{设}2}$... $F_{\text{设}n}$ 为各设计分区面积， km^2 ； $F_{\text{代}1}$ 、 $F_{\text{代}2}$... $F_{\text{代}n}$ 为各代表站区域面积， km^2 ； $W_{\text{代}1}$ 、 $W_{\text{代}2}$... $W_{\text{代}n}$ 为各代表站区域天然年径流量，亿 m^3 ； n 为代表站数。

(4) 当区域内可选取两个以上代表站，且设计区域内气候及下垫面条件差别不大时，仍可将设计区域视为一个区域，不再分区，其年径流量可用下式计算：

$$W_{\text{设}} = \frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{代}1} + F_{\text{代}2} + \cdots + F_{\text{代}n}} (W_{\text{代}1} + W_{\text{代}2} + \cdots + W_{\text{代}n}) \quad (3-21)$$

(5) 当设计区域与代表流域的自然地理条件差别过大时，一般不宜用简单的面积比法计算全区年径流量，而在式 (3-18) 的基础上进行必要的修正。常用修正因子的是区域平均降水量和多年平均径流深，计算公式如式 (3-22) 和式 (3-23)。

$$W_{\text{设}} = \frac{\bar{P}_{\text{设}}}{\bar{P}_{\text{代}}} \frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{代}}} W_{\text{代}} \quad (3-22)$$

$$W_{\text{设}} = \frac{\bar{R}_{\text{设}}}{\bar{R}_{\text{代}}} \frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{代}}} W_{\text{代}} \quad (3-23)$$

式中： $\bar{P}_{\text{设}}$ 、 $\bar{P}_{\text{代}}$ 分别为设计区域和代表流域的年平均降水量， mm ； $\bar{R}_{\text{设}}$ 、 $\bar{R}_{\text{代}}$ 分别为设计区域和代表流域的多年平均年径流深， mm 。

(6) 当设计区域内缺乏实测年降水、年径流量资料时，可直接借用与该设计区域自然地理条件相似的典型流域的年径流系列，乘以设计区域与典型流域多年平均年径流深的比值，再乘以设计区域面积得设计区域的逐年年径流量。计算公式为

$$W_{\text{设}} = \frac{\bar{R}_{\text{设}}}{\bar{R}_{\text{典}}} R_{\text{典}} F_{\text{设}} \quad (3-24)$$

式中： $\bar{R}_{\text{典}}$ 为典型流域多年平均年径流深， mm ； $R_{\text{典}}$ 为典型流域某年的径流深， mm 。其余符号意义同前。

式(3-24)中的 $\bar{R}_{\text{设}}$ 可用等值线图量算的值。

根据用上述方法求得的设计区域的年径流系列,进行频率计算,即可求得设计区域不同频率的年径流量。

2. 等值线法

等值线法是我国用于计算缺乏实测资料地区多年平均及不同频率年径流量的主要方法。下面着重介绍利用该法推求区域多年平均及不同频率年径流量的计算步骤,至于多年平均径流深和年径流变差系数等值线图的绘制及其合理性检验可参阅有关文献。

用等值线法推求多年平均径流量的步骤如下:

(1) 在包括设计区域在内的较大面积的多年平均年径流深等值线图上,用求积仪量算设计区域范围内相邻两条等值线的面积 F_i ,可用求积仪读数 n_i 表示。则设计区域面积可用求积仪总读数 N 来表示,即 $N = \sum_{i=1}^m n_i$ 。

(2) 计算相应于 F_i 的平均年径流深 $\bar{R}_i$,其值可取相邻两条等值线值的算术平均值。

(3) 计算设计区域多年平均年径流深 $\bar{R}$,其计算式为

$$\bar{R} = (\bar{R}_1 n_1 + \bar{R}_2 n_2 + \cdots + \bar{R}_m n_m) / N \quad (3-25)$$

(4) 计算设计区域多年平均径流量,其计算式为

$$W_{\text{设}} = \bar{R} F_{\text{设}} \times 10^{-5} \quad (3-26)$$

式中: $W_{\text{设}}$ 为设计区域多年平均年径流量,亿 m^3 ; $\bar{R}$ 为设计区域多年平均年径流深,mm; $F_{\text{设}}$ 为设计区域面积, km^2 。

参照求设计区域多年平均年径流量的方法,可求出整个设计区域年径流变差系数,据此可求出不同频率的年径流量。

3. 年降水径流关系法

该法是在代表流域内,选取具有充足实测年降水量和年径流资料的代表站,统计其逐年年平均降水量和年径流深,建立年降水径流关系。若设计区域与代表流域的自然地理条件比较接近,则可根据设计区域的实测逐年年平均降水量在降水径流关系图上查得逐年径流深,再乘以设计区域面积即得设计区域逐年年径流量。最后求其算术平均值即为设计区域多年平均径流量。

在降水量充沛、植被条件比较好的山区丘陵地区,年降水径流关系一般比较稳定,容易确定出年降水径流关系曲线。但在平原或降水量较小的干旱、半干旱地区,常常遇到年降水径流关系点据比较散乱,难以确定出年降水径流关系曲线,此时需要根据实际情况设法改善年降水径流关系。

(二) 河川径流量的年内分配计算

河川径流量的年内分配计算包括正常年河川径流的年内分配计算和不同频率年径流的年内分配计算。

1. 正常年径流的年内分配计算

对于农业用水来说,正常年径流的年内分配计算主要指年径流的月分配过程计算。方法是选择代表站,计算其各月径流量的多年平均值,并求出它们与多年平均年径流量的比值,作为相应月份的年内分配的相对值,其分配过程可用柱状图表示。

2. 不同频率年径流的年内分配计算

不同频率年径流的年内分配计算采用典型年的年内分配形式,即从代表站实测资料中选出某一年作为典型年,以其年内分配形式作为设计年径流的年内分配形式。通常选取三种典型年,即丰水年(设计频率 $p=20\%$)、平水年($p=50\%$)和枯水年($p=75\%$),推求相应频率年径流的年内分配形式。

选择典型年的一般原则是:①典型年的年水量或供水期水量应与设计频率相应时段的水量相近。②选择对工程不利的年内分配年份作为典型年。

不同频率年径流年内分配的计算方法有两种,即以年水量为控制的同倍比缩放法和以供水期水量为控制的同倍比缩放法。

(1) 年水量控制同倍比缩放法。这种方法的具体步骤是:首先根据逐年年平均流量系列求得多年平均径流量 $\bar{Q}$ 、 C_v 和 C_s ,并据此查得不同频率的模比系数,计算得到所需频率的年平均流量 Q_p 。再从实测资料中选出年平均流量接近 Q_p 的年份,分别进行年、月平均流量缩放计算,其计算式为

$$Q_i = K_i Q_{im} \quad (3-27)$$

其中

$$K_i = Q_p / \bar{Q}_i$$

式中: Q_i 为经缩放后的某年各月平均流量, m^3/s ; K_i 为某年的缩放系数; Q_{im} 为某年的实测各月平均径流量, m^3/s ; Q_p 为设计频率为 p 的年平均流量, m^3/s ; $\bar{Q}_i$ 为某年的年平均流量, m^3/s 。

选取缩放后的逐月平均流量与实测值最接近,且经调节计算其调节库容最大的年份为典型年。最后根据典型年缩放后的逐月平均径流量及其总和,求出各月平均流量占全年总量百分率,即作为该频率年径流的逐月分配过程。

(2) 供水期水量控制同倍比缩放法。该法的计算步骤与年水量控制同倍比缩放法类似。一般用年水量控制与供水期水量控制的典型年径流的年内分配是不一致的。由于供水期水量控制同倍比缩放法考虑了直接与工程规模有关的供水期水量,因而在实际工作中应用较多。

3. 缺乏径流资料时河川径流量的年内分配计算

缺乏径流资料时,河川径流量的年内分配计算可采用水文比拟法,即选择与设计区域自然地理条件相似的代表流域,将其典型年各月径流量占年径流量的百分比,作为设计区域年径流的年内分配过程。最后用这些百分比乘以设计区域年径流量,即得设计区域年径流量的年内分配。

若代表流域难以选定时,可直接查用当地水文手册、水文图集中典型年径流的年内分配成果。

三、地下水

地下水是指贮存于地下岩石或土壤孔隙中的水,它是自然界水文循环过程的重要组成部分,它是农业上灌溉的主要水源之一,同时也是农田排水的对象。因此,正确评价合理开发利用地下水资源,是解决我国乃至全球水资源问题的一个重要课题。

地下水资源评价是根据水文地质勘测资料,算清在开发地区自然界存在的地下水资源量——即所谓天然资源,然后按照需要,通过技术经济分析确定合理的地下水开采量。具

体说水资源评价就是地下水天然资源的计算和所谓开采资源的确定。在实际工作中, 所谓一个地区或一个地段的地下水合理开采量(简称可开采资源量)是指在规定的开采期限内, 在最大限度满足用水要求的同时, 又不引起水质和开采条件恶化的那个经济合理的开发量。因而正确评价地下水资源是全面规划、合理开发、有效利用地下水的一项关键性工作。但是由于评价资源涉及到水文地质条件, 人们现阶段掌握的获得它们的勘测技术和地下水本身又处在它和地面水、大气降水、土壤水等自然综合水体的不断相互转化的过程, 因而在具体实践工作中, 应根据当地的实际条件, 选用不同的评价方法。如: 分开计算静储量、动储量和调节储量方法; 基于水循环规律和水量守恒原理的方法——水量均衡法; 相关分析法; 解析法、有限差分法、有限单元法; 模拟计算法和开采试验法等等。

我们通常所说的地下水资源是指地下含水层的动态水量, 其定量特征为入渗补给量, 包括降水入渗补给、地表水入渗补给、灌溉渠系渗漏补给等。在进行地下水资源计算时, 需先确定有关计算参数, 包括给水度、降水入渗补给系数、潜水蒸发系数、灌溉入渗补给系数和渗透系数等。下面先介绍这些参数的确定方法, 然后介绍地下水资源量的计算。

(一) 地下水资源计算参数的确定

1. 给水度

给水度是衡量岩土给水性能大小的数量指标, 是指在重力作用下, 饱和岩土自由排出重力水的体积与饱和岩土体积的比值。给水度的大小主要受岩性和地下水埋深等因素的影响。近年来的研究将给水度分为完全给水度、瞬时给水度和平均给水度等, 下面主要介绍生产上常用的平均给水度(以下简称给水度)的确定方法。

(1) 筒测法。在均衡试验场内, 用地中渗透仪或特制测筒的饱和土柱进行排水试验, 直接测定给水度。计算式为

$$\mu = V_{\text{水}} / V_{\text{土}} \quad (3-28)$$

式中: μ 为某一时刻所测土柱的给水度; $V_{\text{水}}$ 为该时刻由筒底排出的水量体积, m^3 ; $V_{\text{土}}$ 为装满土样的测筒体积, m^3 。

不同时刻的 μ 值是不同的, 但随着时间的增长, μ 值逐渐趋于稳定, 则稳定后的 μ 值即为所测土样的给水度。

(2) 田面灌水试验法。当潜水埋深大于毛管强烈上升高度时, 饱和土体的饱和含水量与田间持水量之差, 等于给水度, 即

$$\mu = W_{\text{饱}} - W_{\text{持}} \quad (3-29)$$

(3) 漏斗疏干法。该法确定的给水度为 t 时段内抽水量 Q_t 与相应时段的漏斗疏干体积 V_t 的比值, 即

$$\mu = Q_t / V_t \quad (3-30)$$

(4) 实际开采量法。这种方法是观测统计无雨期地下水开采量和地下水位下降的变幅, 用下式计算给水度

$$\mu = (Q_{\text{开}} - Q_{\text{侧}} - Q_{\text{回}}) / (\Delta h F) \quad (3-31)$$

式中: $Q_{\text{开}}$ 为计算时段内地下水的开采量, m^3 ; $Q_{\text{侧}}$ 为计算时段内实测区周边地下水补给量, m^3 ; $Q_{\text{回}}$ 为计算时段内灌溉回归补给量, m^3 ; Δh 为地下水位降幅, m ; F 为实测区面积, m^2 。

(5) 地下水动态资料分析法。在地下水位观测资料中, 选出无降水、无开采、无其他

补给时候的地下水位观测资料, 利用阿维扬诺夫公式计算给水度。计算式为

$$\mu = E_0(1 - \Delta/\Delta_0)^n/\Delta h \quad (3-32)$$

式中: E_0 为水面蒸发量, mm; Δ 为地下水埋深, m; Δ_0 为潜水蒸发临界埋深, m; n 为经验指数, 一般为 1~3; Δh 为潜水位落差, mm。

确定给水度的方法还有非稳定流抽水试验法, 具体计算步骤可参阅曹万金所著《地下水资源计算与评价》等有关文献。

表 3-3 为黄淮海平原区不同岩性土壤的给水度经验值, 可作为无实测资料地区使用时参考。

表 3-3 黄淮海平原区给水度值			
岩 性	μ	岩 性	μ
中 砂	0.10~0.13	粉 砂	0.050~0.070
中细砂	0.08~0.12	亚 砂 土	0.040~0.065
细 砂	0.07~0.10	亚 粘 土	0.030~0.040
粉细砂	0.055~0.085	粘 土	0.020~0.030

2. 降水入渗补给系数

降水入渗补给系数是指降水入渗补给量与该降水量之比, 可用下式表示

$$\alpha = P_r/P \quad (3-33)$$

式中: α 为降水入渗补给系数; P_r 为降水入渗补给量, mm; P 为降水量, mm。

降水入渗补给系数值与潜水埋深、包

气带岩性、降水特性和地形等因素有关。其值的确定方法主要有地下水动态资料计算法和均衡场试验法。

(1) 地下水动态资料计算法。该法的计算公式为

$$\alpha = (\sum \Delta h)/P \quad (3-34)$$

式中: α 为降水入渗补给系数; μ 为给水度; $\sum \Delta h$ 为年内各次降水入渗补给形成的地下水位升幅, mm; P 为年降水量, mm。

在式 (3-34) 中, 当 P 为次降水量, $\sum \Delta h$ 为该次降水入渗补给形成的地下水位升幅时, 求得的 α 为次降水入渗补给系数。

这种方法适用于地下水侧向径流微弱与降水是地下水补给的主要来源的平原地区。

(2) 均衡场试验法。利用均衡场的试验资料, 即试验场内某次降水量、降水产生的地表径流量、洼地蓄水量、降水期陆面蒸发量及降水后土壤水分增加量等资料, 直接计算降水入渗补给系数。计算公式为

$$\alpha = [P - \sum(R_{\text{次}} + E_{\text{次}} + I_{\text{次}} + \Delta W_{\text{次}})]/P \quad (3-35)$$

式中: $R_{\text{次}}$ 为某次降水产生的地表径流量, mm; $E_{\text{次}}$ 为该次降水期的陆面蒸发量, mm; $I_{\text{次}}$ 为该次降水的洼地蓄水量, mm; $\Delta W_{\text{次}}$ 为该次降水后土壤水分增加量, mm。其余符号意义同前。黄淮海平原降水入渗补给系数的经验值见表 3-4。

表 3-4 黄淮海平原降水入渗补给系数值

岩 性	α	岩 性	α
砂卵石	>0.35	亚 砂 土	0.20~0.25
细 砂	0.30~0.35	亚 粘 土	0.15~0.20
粉 砂	0.25~0.30	黄土质亚粘土、粘土	0.05~0.15

3. 潜水蒸发系数

潜水蒸发系数是指潜水蒸发量与水面蒸发量的比值, 即

$$C = E_g/E_0 \quad (3-36)$$

式中: C 为潜水蒸发系数; E_g 为潜水蒸发量, mm; E_0 为水面蒸发量, mm。

影响潜水蒸发系数的因素有潜水埋深、包气带岩性、气候和植被状况等。 C 值的确定方法有经验公式法和均衡场试验法。

(1) 经验公式法。由阿维扬诺夫公式可推出

$$C = (1 - \Delta/\Delta_0)^n \quad (3-37)$$

(2) 均衡场试验法。利用地中渗透仪观测的特定岩性、地下水埋深、作物及其生长季节等因素影响下的潜水蒸发资料和相应的水面蒸发资料,通过式(3-36)直接计算出潜水蒸发系数。

表 3-5 给出了我国华北地区渗透仪实测的潜水蒸发系数值,可供使用参考。

表 3-5 地中渗透仪实测潜水蒸发系数

试验站	水面蒸发皿类型	岩性	有无作物覆盖	不同潜水埋深(m)的C值							
				0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
石家庄	Φ20	亚粘亚砂 夹粉砂	无作物	0.33	0.145	0.053	0.034	0.029	0.021	0.019	0.017
			有作物	0.634	0.385	0.139	0.070	0.043	0.029	0.020	0.017
北京 廖公庄	Φ20	亚粘亚砂 黄土质亚砂 粉细砂 沙砾石	无作物	0.526	0.298	0.147	0.082		0.046		
			有作物	0.740	0.255	0.032	0.017				
			无作物	0.80	0.430	0.194	0.087		0.028		
			有作物	0.626	0.472	0.168	0.044				
			无作物	0.433	0.041	0.014	0.004		0.001		
			有作物								
德州	E-601	粘土	无作物		0.050	0.020	0.010	0.010	0.010		
			有作物		0.060	0.010	0.070	0.050	0.040		
		亚粘土	无作物		0.230	0.135	0.110	0.060	0.025		
			有作物		0.430	0.370	0.270	0.180	0.105		
茌平	E-601	亚砂	无作物	0.660	0.450	0.280	0.150	0.090	0.050	0.040	0.030
			有作物	0.940	0.690	0.480	0.320	0.200	0.110	0.080	0.060
禹城	Φ20	粘土	无作物		0.030	0.020	0.020	0.010	0.010		
			有作物		0.160	0.060	0.050	0.020			
		亚粘土 (中壤)	无作物			0.030	0.040		0.020		
			有作物			0.190	0.130	0.070			
		亚粘土 (轻壤)	无作物			0.100	0.060		0.030		
			有作物		0.200	0.180	0.130				
太原	E-601	亚砂土	无作物			0.240	0.080	0.070	0.030		
			有作物		0.250	0.240	0.080	0.070	0.030		
		亚粘亚砂互层	无作物	0.660	0.435	0.293	0.187	0.100	0.060	0.050	
			有作物	0.331	0.215	0.133	0.073	0.041	0.020	0.015	

4. 灌溉入渗补给系数

灌溉入渗补给系数是指灌溉入渗补给量与灌溉水量的比值,即

$$\beta = W_r/W \quad (3-38)$$

式中： β 为灌溉入渗补给系数； W_i 为灌溉入渗补给量，mm； W 为灌溉水量，mm。

灌溉入渗补给系数可根据不同土质、不同地下水埋深和不同灌水定额时的野外试验资料来确定。

5. 渠系渗漏补给系数

渠系渗漏补给系数是指渠系渗漏补给量与渠首引水量的比值，可用下式计算：

$$m = \gamma(1 - \eta) \quad (3-39)$$

式中： m 为渠系渗漏补给系数； γ 为修正系数； η 为渠系水利用系数。

修正系数 γ 值反映渠道输水过程中水量消耗于水面蒸发和土壤浸润蒸散发的参数，其值大小与渠道输水时间、渠床土质、地下水埋深和渠道衬砌情况等因素有关。根据对一些典型渠道进行的观测分析， γ 值为 0.32~0.55。

华北地区渠系渗漏补给系数如表 3-6 所示。

表 3-6 华北地区渠系渗漏补给系数 m 值

分 区	省 市	η	γ	m
山前平原及中东部平原	北京市	0.65~0.75	0.4~0.55	0.10~0.18
	天津市	0.5	0.4~0.55	0.10~0.28
	河北省	0.5~0.8	0.4~0.55	0.10~0.27
	河南省	0.4~0.5	0.4~0.50	0.20~0.50
山 间 盆 地	河北省	0.4~0.75	0.32~0.48	0.10~0.18
	山西省	0.4~0.83	0.32~0.48	0.05~0.24

6. 渗透系数

渗透系数是指地下水水力坡度等于 1 时的渗流速度，是表征含水层透水能力的参数。渗透系数值受含水层岩性、颗粒粗细与级配结构的影响，常用的确定渗透系数的方法为抽水试验法。

(1) 稳定流抽水试验法。当抽水持续时间较长，地下水处于稳定状态时，对于单孔抽水而无观测孔的情况，渗透系数可用下列公式计算：

承压完整井

$$K = [0.366Q(\lg R - \lg r_0)] / (MS) \quad (3-40)$$

承压非完整井

$$K = 0.366Q \cdot \lg(1.6L/r_0) / (LS) \quad (3-41)$$

潜水完整井

$$K = [0.733Q(\lg R - \lg r_0)] / [2(H - S)S] \quad (3-42)$$

潜水非完整井

$$K = 0.73Q / \{S[(L + S) / \lg(R/r_0) + L / \lg(0.66L/r_0)]\} \quad (3-43)$$

以上各式中： K 为渗透系数，m/d； Q 为井孔稳定抽水量，m³/d； R 为影响半径，m； r_0 为抽水井半径，m； H 为潜水含水层厚度，m； S 为抽水井水位降深，m； M 为承压含水层厚度，m； L 为过滤器有效进水长度，m。

对于有一个或两个观测孔情况下的渗透系数计算公式可详见西北农学院、华北水利水

电学院主编的《地下水利用》一书。

(2) 非稳定流抽水试验法。根据泰斯公式：

$$S = \frac{Q}{4\pi KM} W(u) \quad (3-44)$$

其中

$$u = r^2 / (4at)$$

$$a = KM/\mu$$

式中：\$S\$ 为水位降深，\$m\$；\$Q\$ 为抽水流量，\$m^3/d\$；\$W(u)\$ 为井函数；\$r\$ 为观测孔到抽水孔中心距离，\$m\$；\$a\$ 为压力传导系数，\$m^2/d\$；\$t\$ 为抽水时间，\$d\$。其余符号意义同前。

当抽水时间较长时，\$u\$ 值就小，式 (3-44) 可简化为

$$S = \frac{0.183Q}{KM} \left(\lg t - \lg \frac{r^2}{2.25a} \right) \quad (3-45)$$

在式 (3-45) 中，\$S\$ 和 \$\lg t\$ 在半对数纸上成直线关系，其斜率 \$i\$ 为

$$i = 0.183Q/(KM)$$

由此可得

$$K = 0.183Q/(iM) \quad (3-46)$$

表 3-7 给出了渗透系数的经验值，可供使用时参考。

表 3-7 渗透系数 \$K\$ 的经验值

项目 地层岩性	地 层 颗 粒		(m/d)
	粒 径 (mm)	所占比重 (%)	
砂质粘土			0.1~0.25
粉土质砂			0.5~1.0
粉 砂	0.05~0.1	<70	1~5
细 砂	0.1~0.25	>70	5~10
中 砂	0.25~0.5	>50	10~25
粗 砂	0.5~1.0	>50	25~50
极细砂	1~2	>50	50~100
砾石夹砾			75~150

(二) 地下水资源量计算方法

1. 分项计算法

在平原地区，可以通过分项计算地下水的补给量或排泄量来求得地下水资源量。

(1) 用补给量计算地下水资源量。浅层地下水的补给量包括降水入渗补给量、河道渗漏补给量、渠系渗漏补给量、渠灌田间入渗补给量、地下径流流入量、越流补给量、人工补给量和井灌回归量等。由于井灌回归量是地下水资源量本身的重复，虽然可以看作地下水的补给量，但不能将其计入地下水资源量中。

因此，用补给量计算地下水资源量的公式为

$$Q_{\Sigma} = P_r + Q_{\text{侧}} + Q_{\text{河}} + Q_{\text{渠系}} + Q_{\text{渠灌}} + Q_{\text{越流}} + Q_{\text{人工}} \quad (3-47)$$

式中：\$Q_{\Sigma}\$ 为地下水资源量，\$m^3\$；\$P_r\$ 为降水入渗补给量，\$m^3\$；\$Q_{\text{侧}}\$ 为地下径流流入量，\$m^3\$；\$Q_{\text{河}}\$ 为河道渗漏补给量，\$m^3\$；\$Q_{\text{渠系}}\$ 为渠系渗漏补给量，\$m^3\$；\$Q_{\text{渠灌}}\$ 为渠灌田间入渗补给量，\$m^3\$；\$Q_{\text{越流}}\$ 为越流补给量，\$m^3\$；\$Q_{\text{人工}}\$ 为人工补给量，\$m^3\$。

式 (3-47) 右边各项可用下面公式计算

$$P_r = \alpha PF \times 10^3 \quad (3-48)$$

$$Q_{\text{侧}} = KIHLt \quad (3-49)$$

$$Q_{\text{河}} = Q_{\text{上}} - Q_{\text{下}} \pm Q_{\text{区}} \quad (3-50)$$

$$Q_{\text{渠系}} = mQ_{\text{渠首}} \quad (3-51)$$

$$Q_{\text{渠灌}} = \beta Q_{\text{渠田}} \quad (3-52)$$

$$Q_{\text{越流}} = K' \frac{h_0}{M'} t F'_1 \quad (3-53)$$

$$Q_{\text{人工}} = \mu \Delta H F \times 10^6 \quad (3-54)$$

上述各式中： α 为降水入渗补给系数； P 为降水量，mm； F 为计算区面积， km^2 ； K 为计算断面含水层渗透系数，m/d； I 为计算断面的水力坡度； H 为计算断面处含水层厚度，m； L 为计算断面长度，m； t 为时间，d； $Q_{\text{上}}$ 、 $Q_{\text{下}}$ 分别为计算区上游河道和下游河道实测水量， m^3 ； $Q_{\text{区}}$ 为计算区间引入河道（取正号）或引出河道（取负号）水量， m^3 ； m 为渠系渗漏补给系数； $Q_{\text{渠首}}$ 为渠首引水量， m^3 ； β 为渠灌田间入渗补给系数； $Q_{\text{渠田}}$ 为渠灌进入田间水量， m^3 ； K' 为弱透水层（相对隔水层）的渗透系数，m/d； M' 为弱透水层厚度，m； h_0 为深浅层含水层的压力水头差，m； F'_1 为越流补给区面积， m^2 ； μ 为给水度； ΔH 为人工补给引起的地下水位升幅，m。

(2) 用排泄量计算地下水资源量。浅层地下水的排泄量包括潜水蒸发、河道排泄、侧向流出和人工开采净消耗等。计算式为

$$Q_{\text{排}} = E_{\text{潜}} + Q_{\text{河排}} + Q_{\text{侧排}} + Q_{\text{开}} \quad (3-55)$$

式中： $E_{\text{潜}}$ 为潜水蒸发量， m^3 ； $Q_{\text{河排}}$ 为地下水排向河道水量， m^3 ； $Q_{\text{侧排}}$ 为地下水流向下游的水量， m^3 ； $Q_{\text{开}}$ 为地下水人工开采净消耗量， m^3 。

式(3-55)中， $Q_{\text{河排}}$ 计算方法与河道渗漏补给量计算方法相同。 $Q_{\text{侧排}}$ 计算可用(3-49)式。 $E_{\text{潜}}$ 和 $Q_{\text{开}}$ 可分别用下面公式计算：

$$E_{\text{潜}} = C E_0 F \quad (3-56)$$

$$Q_{\text{开}} = Q_{\text{农}}(1 - \beta_{\text{农}}) + Q_{\text{工}}(1 - \beta_{\text{工}}) \quad (3-57)$$

式中： C 为潜水蒸发系数； E_0 为水面蒸发， mm ； $Q_{\text{农}}$ 、 $Q_{\text{工}}$ 分别为用于农田灌溉、工业及城市生活的地下水实际开采量， m^3 ； $\beta_{\text{农}}$ 为井灌回归系数； $\beta_{\text{工}}$ 为工业用水回归地下水系数。

在山丘区，由于地下水补给量难于计算，只能以地下水的排泄量近似作为补给量，来计算山丘区地下水资源量。计算公式为

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{基}} + Q_{\text{侧}} + Q_{\text{潜}} + Q_{\text{泉}} + E_{\text{潜}} + Q_{\text{开}} \quad (3-58)$$

式中： $Q_{\text{基}}$ 为河川基流量， m^3 ； $Q_{\text{侧}}$ 为山前侧向流出量， m^3 ； $Q_{\text{潜}}$ 为河床潜流量， m^3 ； $Q_{\text{泉}}$ 为未计入河川径流的山前泉水出露量， m^3 。其余符号意义同前。

河川基流量一般用分割流量过程线的方法确定，具体计算方法详见《区域水资源分析方法》等有关文献。山前侧向流出量和河床潜流量可用式(3-49)计算。山前泉水出露量用调查统计法确定， $Q_{\text{开}}$ 用式(3-57)计算。

2. 水量均衡法

根据地下水均衡原理，一个地区某一时段地下水补给量与地下水消耗量之差，等于地下水含水层中水体积的变化量，可用下式表示：

$$\mu \Delta H F = Q_{\text{补}} - Q_{\text{开}} - E \quad (3-59)$$

式中： ΔH 为计算时段内地下水位变幅，m；水位上升为正，水位下降为负； $Q_{\text{补}}$ 为地下水综合补给量， m^3 ，包括降雨入渗补给量、侧向径流补给量、河渠渗漏补给量和灌溉回归水补给量等； $Q_{\text{开}}$ 为下水开采量， m^3 ； E 为地下水蒸发量， m^3 。

粒可引起灌溉系统的渠系淤积，特别是喷、滴头的堵塞等，同时还会影响土壤的透水性。因此，需要采取适当的措施加以处理。

二、灌溉用水的水质评价

当前，对灌溉用水的水质评价缺乏统一的方法，因此，下面所介绍的几种方法并不具有普遍适用性，各地需要根据当地的具体情况、资料来源及其可靠性程度选择使用。

表 3-9 用矿化度指标进行水质评价

矿化度 (g/L)	水 质 评 价
0.2~0.5	优质灌溉水
1~2	用于灌溉可能导致盐化或碱化
3~7	只能用于良好排水和淋洗条件下的地区

注 引自朱庭芸，《灌区土壤盐渍化防治》，1985。

(一) 用矿化度指标进行水质评价

根据前苏联的资料：灌溉水的矿化度不超过 1.7 g/L 时，对植物无害；矿化度在 1.7~3 g/L 时，水的适用性取决于其中溶解盐的成分及土壤特性；矿化度为 5 g/L 被认为是最大的允许含盐量。前苏联曾有人根据表 3-9 进行灌溉水质的评价。

由于矿化度是指水中溶盐的总含量，而这些盐分有些对作物有害（如钠盐），有的无害

① 1 毫姆欧/厘米 (mmho/cm) = 1/540 mg/L

星光科技

星光科技

星光科技

星光科技

(如钙盐), 有的有益 (如硝酸盐和磷酸盐), 因此用该指标进行灌溉水质评价时, 必须辅之以盐类成分分析。当有害盐分含量高, 尤其是 Na_2CO_3 的含量高时, 即使水的矿化度较低, 也会对作物产生不利影响。当无害盐类含量较高时, 水的矿化度即使高一些也可用于作物灌溉。这是用矿化度指标进行灌溉水质评价时没有统一标准的主要原因。

目前联合国灌溉用水标准总盐量 (即矿化度) 为 $0.7 \sim 2.1 \text{ g/L}$ 。我国农田灌溉水质标准总盐量为 $1 \sim 2 \text{ g/L}$, 并规定在以下具体条件的地区, 水质标准可适当放宽: 水资源缺乏的干旱、半干旱地区; 具有一定的水利灌排工程设施的地区; 能保证一定的排水和地下水径流条件的地区; 有一定淡水资源能满足冲洗土体中盐分的地区; 土壤渗透性好, 土地平整, 并能掌握耐盐作物类型和生育阶段的地区。

(二) 灌溉系数 (K_s) 法

表 3-10 灌溉系数 (K_s) 计算表

该方法是前苏联人提出的灌溉水质评价方法, 并曾得到广泛地应用。所谓灌溉系数 (K_s) 是指以英寸表示的水层厚度, 该水层蒸发后, 所剩余的盐量能使土壤累积盐分达到作物难以忍受的程度。灌溉系数的计算方法见表 3-10。表中离子的计算单位为毫克当量/升 (me/L)。

水的化学成分	灌溉系数计算式
当 $\text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 时 有 NaCl 存在	$K_s = \frac{288}{5\text{Cl}^-}$
当 $\text{Cl}^- < \text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 时 有 NaCl 和 Na_2SO_4 存在	$K_s = \frac{288}{\text{Na}^+ + 4\text{Cl}^-}$
当 $\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 时 有 NaCl 、 Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 存在	$K_s = \frac{288}{10\text{Na}^+ - 5\text{Cl}^- - 9\text{SO}_4^{2-}}$

按上述方法计算出灌溉系数 K_s 的数值后, 可将灌溉水分级如下:

- $K_s < 1.2$ 水质坏, 不宜用于灌溉。
- $K_s = 1.2 \sim 5.9$ 水质不适宜, 必须进行人工排水。
- $K_s = 6 \sim 8$ 水质适宜。
- $K_s > 18$ 水质良好, 完全适用于灌溉, 不需专门排水。

(三) 用残余碳酸钠 (RSC) 评价灌溉水质

艾顿 (Eaton) 认为灌溉水中的金属碳酸盐 (游离的 MgHCO_3 和 Na_2CO_3) 对土壤性质的影响很大, 并称这些游离的碳酸盐为残余碳酸钠。其计算式为

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (3-76)$$

根据一些试验结果, 艾顿认为当 $\text{RSC} > 2.5 \text{ me/L}$ 的水不适于灌溉; 当 $\text{RSC} < 1.25 \text{ me/L}$ 的水是安全的; 而 RSC 值在 $1.25 \sim 2.5 \text{ me/L}$ 之间为临界值。

(四) 河南省水文地质队方法

河南省水文地质队把灌溉水对农作物和土壤的危害分成四种类型, 即盐害、碱害、盐碱害和综合危害。

(1) 盐害。主要指氯化钠 (NaCl) 和硫酸钠 (Na_2SO_4) 这两种盐分对作物和土壤的危害, 其盐害指标用盐度来表示。盐度是指液态条件下氯化钠和硫酸钠的允许含量, 计算公式如下:

$$\begin{aligned} &\text{当 } \text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) \text{ 时} \\ &\text{盐度} = (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) \end{aligned} \quad (3-77)$$

当 $\text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 时

$$\text{盐度} = \text{Na}^+ \tag{3-78}$$

(2) 碱害。主要指碳酸钠 (Na_2CO_3) 和重碳酸钠 (NaHCO_3) 对作物和土壤的危害, 其碱害指标用碱度来表示。碱度是指液态条件下碳酸钠和重碳酸钠的允许含量计算公式如下:

$$\text{碱度} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \tag{3-79}$$

用上式计算时, 若结果为负, 则为盐害起作用。

(3) 盐碱害。即盐害与碱害共存。当盐度大于 10 me/L, 并有碱度存在时, 即为盐碱害。这种危害一方面使土壤迅速盐化和碱化, 另一方面对作物有极强的腐蚀作用, 可使作物致死。

(4) 综合危害。水中的氯化钙 (CaCl_2)、氯化镁 (MgCl_2) 等有害成分与盐害、碱害一起对作物和土壤的危害称为综合危害。综合危害的程度取决于水中所含各种可溶盐的总量, 因此可用矿化度来表示。

由以上盐度、碱度和矿化度等指标来评价灌溉水质, 可将其分为淡水、中等水、盐碱水和重盐碱水等四类。

属于盐害、碱害、综合危害类型的灌溉水按表 3-11 规定的指标进行评价。属于盐碱害类型的灌溉水按表 3-12 的几项指标进行评价。

表 3-11 灌溉用水水质评价指标表

水质类型		淡水	中等水	盐碱水	重盐碱水
危害类型及表示方法					
盐害	碱度为零时的盐度 (me/L)	<15	15~25	25~40	>40
碱害	盐度小于 10 时的碱度 (me/L)	<4	4~8	8~12	>12
综合危害	矿化度 (g/L)	<2	2~3	3~4	>4
灌溉水质评价		长期浇灌对主要作物生长无不良影响	长期浇灌或灌溉不当时, 对土壤和主要作物有影响, 但合理浇灌能避免土壤发生盐碱化	浇灌不当时, 土壤盐碱化, 主要作物生长不好, 必须注意浇灌方法, 方得当, 作物生长良好	浇灌后土壤迅速盐碱化, 对作物影响很大, 即特别干旱时, 也尽量避免过量使用

注 1. 本指标适用于非盐碱化土壤, 对于已盐碱化的土壤可视盐碱化程度调整使用。
2. 本指标是根据豫东地区主要农作物: 小麦、高粱、玉米、棉花、黄豆等对灌溉后的反应程度确定的。对于蔬菜、果树类, 应视地区具体情况调整指标再用。

表 3-12 盐、碱害类型双项评价指标表

盐度 (me/L)	碱度 (me/L)	水质类型
10~20	4~8, >8	盐碱水、重盐碱水
20~30	<4, >4	盐碱水、重盐碱水
>30	微量	重盐碱水

(五) 综合危害系数 (K) 法

综合危害系数 (K) 法是河北省沧州地区农业科学研究所结合当地具体条件提出的一种兼顾盐害和碱害的灌溉水质评价方法。他们根据沧州地区地下水的化学成分, 建立了灌溉效果与灌溉水的钠吸附比 (SAR) 和矿化度 (Sm) 间的关系, 并以综合危害系数

(K) 表示, 即

$$K = 12.4Sm + SAR \quad (3-80)$$

按 K 值大小, 结合灌溉效果, 将灌溉水分成淡水、一般水、微咸水或微碱水、咸水或碱水四类, 如表 3-13 所示。

表 3-13 用综合危害系数评价灌溉水质

水质类型		综合危害系数 K	灌溉效果	
级别	名称		高钠水	低钠水
一	淡水	$K < 25$	灌后无不良作用, 增产显著, 允许按作物需要进行长年灌溉	灌后无不良作用, 允许按作物需要进行长年灌溉
二	一般水	$25 < K < 36$	灌后土壤发板, 增产效果较好, 可适当灌溉, 灌后应及时中耕	灌后田埂沟边有返白现象, 增产效果较好, 宜适当灌溉
三	微咸水或微碱水	$36 < K < 44$	灌后土壤板结, 有增产效果, 宜抗旱灌溉。应增施有机肥, 灌后及时中耕	灌后地面有返白现象, 但有增产效果, 宜抗旱灌溉
四	咸水或碱水	$K > 44$	灌后土壤易碱化, K 值偏低者可用点种起到保苗作用, 偏高者一般不宜灌溉	灌后土壤易于盐化, K 值偏低者, 可用点播起到保苗作用, 偏高者一般不宜灌溉

注 钠离子占 70% 以上为高钠水, 低于 70% 为低钠水。

式 (3-80) 中的钠吸附比用下式计算:

$$SAR = [Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}] \quad (3-81)$$

式中: Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 分别为灌溉水中钠离子、钙离子和镁离子的浓度, me/L。

(六) 肥水水质

肥水是指含有一定数量氮素肥料的地下水。一般将地下水中硝态氮含量是否大于 $15g/m^3$ 作为划分肥水与一般灌溉用水的界限。

对于肥水的水质评价尚无统一标准。但肥水水质的评价可以从肥水中硝态氮含量的高低、全盐量大小及有害成分的多少三个方面来衡量。表 3-14 为河南省开封地区评价肥水的水质指标, 可供评价肥水水质时参考。

表 3-14 肥水水质评价指标

肥水类型	硝态氮含量	硝酸盐在全盐量中的比例	肥盐比 ^①	肥水水质评价
优良	高	大	> 0.1	最理想的肥水, 含氮量超过 $100g/m^3$ 时, 需与淡水掺淡, 扩大保浇面积
良	中~较少	大	$0.1 \sim 0.01$	可直接灌溉的肥水
可用	高	小	$0.01 \sim 0.005$	需掺入淡水稀释, 方可使用的肥水
不良	低	小	< 0.005	一般不宜使用的肥水

① 硝态氮含量与含盐量的比值称肥盐比。

(七) 微灌用水水质评价

由于在含盐量较高的土壤上进行微灌或是利用咸水微灌时可能引起盐分积累, 并且微

灌的灌水器容易堵塞等问题，有必要对微灌用水水质指标做进一步的规定。表 3-15 为国际农业灌溉用水微灌部分水质判别表，从中可看出对易引起堵塞问题的化学成分做了特别规定。

表 3-15 国际农业灌溉用水水质判别表（微灌）

水质分析项目	发生问题的程度		
	没有问题	可能出现问题	问题严重
1. 全盐量 EC (毫姆欧/cm) TDS (mg/kg)	0.0~0.8 0.0~500	0.8~3.0 500~2000	>3.0 >2000
2. 低含盐量引起的渗透性问题 EC (毫姆欧/cm) TDS (mg/kg) 钠吸附比 SAR	>0.5 >320 0.0~5.0	0.5~0.2 320~0.0 6.0~9.0	0.2~0.0 >9.0
3. 毒害性问题 钠 (以吸附比 SAR 表示) 氯 (me/l.) (mg/kg) 硼 (mg/kg)	0.0~3.0 0.0~4.0 0.0~140 0.0~0.5	3.0~9.0 4.0~10.0 140~350 0.5~2.0	>9.0 >10.0 >350 >2.0
4. 堵塞问题 铁 (mg/kg) 镁 (mg/kg) 硫 (mg/kg) 碳酸钙 (mg/kg)	0.0~0.5 0.0~0.5 0.0~0.2 0.0~0.2	0.1~0.4 0.2~0.4 0.1~0.2 没有标准	>0.4 >0.4 >0.2

我国对微灌水质的要求，除了必须符合 GB5084《农田灌溉水质标准》的规定外，还应满足以下几点。

- (1) 进微灌管网的水不应含有泥沙、杂草、鱼卵、藻类等物质。
- (2) pH 值一般在 5.5~8.0 范围内。
- (3) 总含盐量不应大于 2000 mg/kg。
- (4) 含铁量不应大于 0.4 mg/kg。
- (5) 总硫化物含量不应大于 0.2 mg/kg。

(八) 回归水灌溉的水质评价

灌溉回归水来自受灌土地的田间弃水和穿过土壤的地下渗流，它是灌溉水的重复利用，亦是农田排水的再利用。灌溉回归水的水质具有以下基本特性。

- (1) 回归水水质主要取决于灌溉水源和灌溉土地的性质。
- (2) 回归水的矿化度与水的流量成反比。
- (3) 回归水的水温比河水高，并含有大量有机质和其他营养物质。
- (4) 稻田的生物过程影响回归水的离子和气体含量。

根据灌溉回归水水质的这些基本特性，并结合回归水的灌溉试验结果，朱庭芸于 1976 年提出了滨海地区稻田回归水灌溉的水质标准，见表 3-16，可供类似地区参考试用。

表 3-16

滨海地区稻田回归水灌溉的水质标准

项 目		盐 害			碱 害		备 注
		氯 离 子 (mg/L.)	矿 化 度 (mg/L.)	盐 度 (me/L.)	碱 度 (me/L.)	钠 吸 附 比	
苗 期	安全浓度	<500	<1500	<10	—	<6	长期灌溉,对水稻无不良影响,也不致使土壤积盐
	加大浓度	500~750	1500~2000	10~20	—	6~10	必须采取控制盐度和碱度的措施
	危险浓度	750~1000	2000~2500	20~25	<0.5	10~15	只可短期使用,超过此限,则不宜用于灌溉
返青期	可用浓度	<750	<2000	<20		<6	在良好排水条件下,可以长期使用
	加大浓度	750~1000	2000~2500	20~25	0.5~1.0	6~10	必须采取控制盐度和碱度的措施
	危险浓度	1000~1750	2500~3500	25~30	1.0~1.5	10~15	只可短期使用,超过此限制不宜用于灌溉
分蘖期	可用浓度	<1000	<2500	<25	—	<6	在良好排水条件下,可以长期使用
	加大浓度	1000~1400	2500~3000	25~30	1.0~1.5	6~10	必须采取控制盐度和碱度的措施
	危险浓度	1400~2000	3000~4000	30~40	1.5~2.5	10~15	只可短期使用,超过此限制不宜用于灌溉

注 表中的盐度计算用式 (3-77) 和式 (3-78); 碱度计算用式 (3-79); 钠吸附比计算用式 (3-81)。

三、农业用水水质标准

农业用水主要是灌溉和农村人畜饮用水。本节将介绍生活饮用水水质标准和农田灌溉水质标准。

(一) 生活饮用水水质标准

对生活饮用水的要求主要有以下几个方面。

- (1) 感官良好,无色、无味、无臭,没有悬浮物。
- (2) 饮用水的水质应满足人体的生理要求,所含元素应不会损害身体健康。
- (3) 水中含有的有毒物质或有毒物质的浓度在近期或长期饮用不会产生毒害作用。
- (4) 由于以水为媒介传播的疾病很多,因而要求饮用水卫生可靠,不传播疾病。

我国现行生活饮用水的水质指标分四大类,共计 35 项。即感官性状和一般化学指标 (15 项)、毒理学指标 (15 项)、细菌学指标 (3 项) 和放射性指标 (2 项)。对上述各指标的具体要求详见表 3-17。

(二) 农田灌溉水质标准

灌溉用水的水质,应满足作物正常生长,改善土壤理化性状,不污染地下水和保证农产品质量的要求。我国制定农田灌溉水质标准的主要出发点是保护环境,除考虑了河川中的地表水,着重考虑废污水排放对灌溉水资源的污染和污水灌溉带来的一些负效应,如死苗、减产、土壤肥力性状恶化、作物污染以及某些有机化合物、病菌、病毒和寄生虫卵等

的残留污染，使农产品质量下降并影响人体健康等问题。因而该标准适用于地表水、地下水和工业废水、生活污水作为水源的农田灌溉用水。我国现行的农田灌溉水质标准详见表 3-18。

表 3-17 生活饮用水卫生标准

项	目	标	准
感官性状和一般化学指标	色	色度不超过 15 度，并不得呈现其他异色	
	浑浊度	不超过 3 度，特殊情况不超过 5 度	
	臭和味	不得有异臭、异味	
	肉眼可见物	不得含有	
	pH	6.5~8.5	
	总硬度（以碳酸钙计）	450.0	mg/L
	铁	0.3	mg/L
	锰	0.1	mg/L
	铜	1.0	mg/L
	锌	1.0	mg/L
毒理学指标	挥发酚类（以苯酚计）	0.002	mg/L
	阴离子合成洗涤剂	0.30	mg/L
	硫酸盐	250.00	mg/L
	溶解性总固体	1000.00	mg/L
	氟化物	1.00	mg/L
	氰化物	0.05	mg/L
	砷	0.05	mg/L
	硒	0.01	mg/L
	汞	0.001	mg/L
	镉	0.01	mg/L
	铬（六价）	0.05	mg/L
	铅	0.05	mg/L
	银	0.05	mg/L
	硝酸盐（以氮计）	20.00	mg/L
	氯仿	60.00	μg/L
	四氯化碳	3.00	μg/L
	苯并（a）芘	0.01	μg/L
	滴滴涕	1.00	μg/L
	六六六	5.00	μg/L
细菌学指标	细菌总数	100	个/mL
	总大肠菌群	3	个/L
	游离余氯	在与水接触 30 min 后应不低于 0.3 mg/L。集中式给水除出厂水符合上述要求外，管网末梢不应低于 0.05 mg/L	
放射性指标	总 α 放射性	0.1	Bq/L
	总 β 放射性	1.0	Bq/L

- 注 1. 引自 GB5749—85，该标准是试行标准。
 2. 中华人民共和国卫生部 1985—08—16 发布 1986—10—01 实施。
 3. 水质检验方法，应按 GB5750—85《生活饮用水水质检验方法》执行。

表 3-18

农田灌溉水质标准

项 目	一 类 (指工业废水或城市污水作为农业用水的主要水源,并长期利用的灌区)	二 类 (指工业废水或城市污水作为农业用水的补充水源,而实行清污混灌、轮灌的灌区)
水温 $^{\circ}\text{C}$	≤ 35	≤ 35
pH 值	5.5~8.5	5.5~8.5
全盐量	$\leq 1000 \text{ mg/L}$ (非盐碱土地区) $\leq 2000 \text{ mg/L}$ (盐碱土地区) 有条件的地区可以适当放宽	$\leq 1500 \text{ mg/L}$ (非盐碱土地区) $\leq 2000 \text{ mg/L}$ (盐碱土地区) 有条件的地区可以适当放宽
氯化物	$\leq 200 \text{ mg/L}$	$\leq 200 \sim 300 \text{ mg/L}$
硫化物	$\leq 1 \text{ mg/L}$	$\leq 1 \text{ mg/L}$
汞及其化合物	$\leq 0.001 \text{ mg/L}$ $\leq 0.005 \text{ mg/L}$ (绿化地)	$\leq 0.001 \text{ mg/L}$
镉及其化合物	$\leq 0.002 \text{ mg/L}$ (轻度污染灌区) $\leq 0.005 \text{ mg/L}$	$\leq 0.003 \text{ mg/L}$ (轻度污染灌区) $\leq 0.001 \text{ mg/L}$ $\leq 0.05 \text{ mg/L}$ (绿化地)
砷及其化合物	$\leq 0.05 \text{ mg/L}$ (水田) $\leq 0.1 \text{ mg/L}$ (旱田)	$\leq 0.1 \text{ mg/L}$ (水田) $\leq 0.5 \text{ mg/L}$ (旱田及绿化地)
六价铬化合物	$\leq 0.1 \text{ mg/L}$	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$
铅及其化合物	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$
铜及其化合物	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (土壤 pH <6.5) $\leq 3.0 \text{ mg/L}$ (土壤 pH <6.5) $\leq 3.0 \text{ mg/L}$ (土壤 pH <6.5) $\leq 5.0 \text{ mg/L}$ (土壤 pH <6.5)
锌及其化合物	$\leq 2.0 \text{ mg/L}$	$\leq 0.02 \text{ mg/L}$ $\leq 3.0 \text{ mg/L}$ (高氟区) $\leq 4.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)
硒及其化合物	$\leq 0.02 \text{ mg/L}$	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)
氟化物	$\leq 2.0 \text{ mg/L}$ (高氟区) $\leq 3.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)
氯化物	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (一般地区)
石油类	$\leq 5.0 \text{ mg/L}$ (轻度污染灌区) $\leq 10.0 \text{ mg/L}$	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$
挥发性酚	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 3.0 \text{ mg/L}$	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 3.0 \text{ mg/L}$
苯	$\leq 2.5 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 5.0 \text{ mg/L}$	$\leq 2.5 \text{ mg/L}$ (土层小于 1 m 地区) $\leq 5.0 \text{ mg/L}$
三氯乙烯	$\leq 5.0 \text{ mg/L}$ (小麦) $\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (水稻、玉米、大豆)	$\leq 5.0 \text{ mg/L}$ (小麦) $\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (水稻、玉米、大豆)
丙烯醛	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$	$\leq 0.5 \text{ mg/L}$
硼	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (西红柿、马铃薯、笋瓜、韭菜、洋葱、黄瓜、梅豆、柑桔) $\leq 2.0 \text{ mg/L}$ (小麦、玉米、茄子、青椒、葱、小白菜) $\leq 4.0 \text{ mg/L}$ (水稻、萝卜、油菜、甘蓝)	$\leq 1.0 \text{ mg/L}$ (西红柿、马铃薯、笋瓜、韭菜、洋葱、黄瓜、梅豆、柑桔) $\leq 2.0 \text{ mg/L}$ (小麦、玉米、茄子、青椒、葱、小白菜) $\leq 4.0 \text{ mg/L}$ (水稻、萝卜、油菜、甘蓝)
大肠菌群	$\leq 10000 \text{ 个/L}$ (生吃瓜果,收获前一星期)	$\leq 10000 \text{ 个/L}$ (生吃瓜果,收获前一星期)

注 引自 GB5084—89。

第四节 地下水资源量及灌溉水质评价实例

一、用水量均衡法确定地下水资源量算例

【例】 某平原区面积 227.1 km^2 , 含水层给水度为 0.034。1981 年初地下水位平均埋深为 8.68 m, 而 1991 年初地下水位平均埋深为 7.64 m, 10 年间水位下降了 1.04 m。通过

对地下水开采量的调查分析, 1981~1991 年间浅层地下水开采量为 41782 万 m^3 , 试分析计算该区浅层地下水的资源量。

根据式 (3-59) 可推出求地下水综合补给量的计算式, 即

$$Q_{\text{补}} = \mu \Delta H F + Q_{\text{开}} + E$$

由上述已知条件知, $\mu=0.034$, $\Delta H=-1.04 \text{ mm}$, $F=227.1 \times 10^6 \text{ m}^2$, $Q_{\text{开}}=41782 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

由于在计算时段内地下水埋深均大于 5 m, 可认为 $E=0$ 。

将以上数据代入上式, 得

$$\begin{aligned} Q_{\text{补}} &= 0.034 \times (-1.04) \times 227.1 \times 10^6 + 41782 \times 10^4 + 0 \\ &= 40979 \times 10^4 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

则计算期内年均地下水综合补给量为 4097.9 万 m^3 。由于计算期内年均地下水位下降 0.1 m, 从较长时域分析, 水位相对比较稳定, 说明该区在计算时段内浅层地下水采补基本平衡。因此, 年均地下水补给量 4097.9 万 m^3 可作为该区浅层地下水的资源量。

二、灌溉水质评价算例

【例】某河水的水体学分析结果见下表所列, 试评价其作为灌溉水源的适宜性。

离子名称	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
含量 (me/L)	2.80	1.02	2.36	0.44	2.70	1.41	2.57

(1) 用灌溉系数法评价水质。由于 Na^+ 的含量为 2.57 (me/L), Cl^- 的含量为 2.80 me/L, $\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$, 所以用表 3-10 中的第一公式计算灌溉系数。

$$K_a = \frac{288}{5\text{Cl}^-} = \frac{288}{5 \times 2.80} = 20.6$$

按照灌溉系数法对水质的分级标准, 该河水的 K_a 值大于 8, 因此水质良好, 完全可以作为灌溉水源。

(2) 用河南省水文地质队方法评价水质。先计算河水和盐度和碱度。由于 $\text{Na}^+ < (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = (2.80 + 1.02) = 3.82 \text{ (me/L)}$, 因此盐度用式 (3-78) 计算, 即

$$\text{盐度} = \text{Na}^+ = 2.57 (\text{me/L})$$

碱度计算用式 (3-79), 即

$$\begin{aligned} \text{碱度} &= (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \\ &= (2.36 + 0.44) - (2.70 + 1.41) \\ &= -1.31 (\text{me/L}) \end{aligned}$$

由于碱度计算结果为负, 说明盐害起作用。此时可认为碱度为零, 根据表 3-11, 按盐害类型处理, 因盐度为 2.57 me/L 小于 15 me/L, 说明该河水为淡水类型, 可作为灌溉水源。

第四章 农业土地资源的评价与分析

第一节 农业土地资源评价的主要程序

一、收集资料

(一) 土地利用现状调查

耕地、草地、林地以及荒地等各种类型土地都有相对的资源价值，应全面、如实调查。

1. 土地利用现状调查的主要内容

- (1) 查清单位（乡—乡、村—村）之间的土地权属界线及行政管辖范围界线。
- (2) 编制土地利用现状图。
- (3) 查清土地类型并量算出各类土地面积。
- (4) 按土地权属单位及行政范围汇总出总面积及各类面积。
- (5) 调查、分析土地利用的经验、教训等。

2. 土地利用现状调查工作的四个阶段

(1) 第一阶段。

1) 组织准备。包括确立领导班子、组建工作队伍、制订工作计划、开展技术培训、拟订检查制度等。

2) 资料准备。包括收集和整理各种图件资料和社会经济统计资料等。开展详查的地区，必须收集近期的航片与地形图或者影像图、薄片平面图等基本图件。同时向各有关部门收集行政区划、地名、地貌、土壤、植被、交通、水文等专业调查图件、资料和土地权属的文据资料，以及其他社会经济方面的资料。

3) 用品准备。包括配置仪器、工具，记录表格，文具纸张，以及生活、交通和劳保等方面的用品。依据方法选择必要的转绘仪器、面积量测仪器、补测用的仪器及相应的工具。常用工具有：标杆、钢尺（皮尺）、复式比例尺、绘图用品、计算工具、放大镜、制图板、调绘板（调绘夹）、作业包等。

(2) 第二阶段。

1) 室内预备。将调查地区内的航片进行编辑接片。根据航片成像规律，参照人们对实地情况的反映及有关资料，在出发到野外之前先初步了解调查范围、境界、地类分布，以及不同地类的成像特征，拟定调查线路及重点，对调绘片（图）进行作业面积界线的勾画。

2) 野外调绘。野外调绘是运用航片或地形图进行实地现状调查。包括各种境界的位置，查明地类，确定地物的种类及位置等。

3) 补测。将地面发生的变化，补测到图件上去。使航片上或图上内容与实地完全一致。

4) 线性地物宽度选点及实测。

5) 土地利用情况调查。

(3) 第三阶段。

1) 航片转绘。将航片上调绘补测的成图要素进行纠正, 并且归化为地形图的比例尺, 绘到地形图上。

2) 土地面积量算。包括控制面积量算、碎部面积量算与面积统计汇总等三项工作。

3) 编制土地利用现状图。

4) 编写土地利用现状调查报告。

(4) 第四阶段。这一阶段为验收存档, 包括成果检查验收及成果资料归档。

(二) 土地质量调查

土地质量调查是根据评价的需要查清土地的质量性状指标。土地质量性状指标, 通常是指土地的一些可度量或可测定的属性。总的来讲有土地自然性状和土地利用的社会经济因素两种属性。土地自然性状通常包括: 地形方面的调查、土壤方面的调查、地段形态特征的调查、农业气候调查、水文调查、植被调查等。土地利用的社会经济因素常需对土地的地理交通条件、农业经济条件、水利条件和农业生产技术条件等进行调查。

土地质量调查可以通过多种方式进行。一是野外调查及测定。二是通过收集、借用相关学科的调查成果, 主要依靠土壤普查及其他专业调查资料。三是通过野外粗线条的普通调查, 如通过观察土壤颜色、手捏土块、植被覆盖等来判断土壤质量性状。四是访问调查, 尤其是诸如灾害、天气、产量、生产投入水平、土地利用等情况, 采用访问调查是获取资料的重要途径。

1. 土地自然性状调查

土地自然性状调查, 对于农用土地尤为重要。其内容主要包括: 地形、土壤、农业气候、植被等。

(1) 地形地貌调查。

1) 地貌类型。从大的方面来讲, 划分为山地、丘陵、平原。

2) 坡度。坡度大小与土壤厚度、质地、土壤水分及肥力等直接相关, 制约着土壤中水分、养分、盐分的运动规律对土地质量性状影响很大。是选择灌溉方式的重要因素之一。

3) 坡向。坡向是坡地接受太阳辐射的基本条件。它对地面气温和土温, 对土壤水分状况都有直接的影响, 对于某些农业生产(果树病害、作物适应性)尤为重要。坡向可从地形图上或实地判断。

4) 绝对高度。即海拔高程。地面高度通常是一些农作物、树种适宜种植的临界指标, 对于农林牧分布也极为重要。

5) 相对高度。表示地面上两点间在高程上的差值, 可用地形图推算。

(2) 土壤调查。对农业土地利用来讲, 土地的生产性能主要取决于土壤肥力, 即土壤供给和调节作物所需水分、养料、空气和热量的能力。因而土壤调查的主要目的应当是反映土地的肥力水平, 应当承认农作物产量是反映土地质量水平的重要标志。土壤调查中需调查的项目主要是土壤质地、土层厚度及土层构造、土壤养分、土壤酸碱度和土壤侵蚀等。

1) 土壤质地。通常指土壤中不同大小颗粒的组合比例。土壤质地对土壤的耕性、保水性、供给性、通透性等有影响。土壤质地分级标准及土壤颗粒分级标准分别见表 4-1 及表 4-2。

2) 土层厚度及土层构造。对供给农作物水、肥、气、热有较大影响的土层主要是有效

表 4-1 中国土壤质地分级表

质地名称		颗粒组成(%)		
		砂粒	粗粉粒	细粘粒
砂土	粗砂土	>70	--	<30
	细砂土	60~70	--	
	面砂土	50~60	-	
壤土	砂粉土	≥20	≥40	<30
	粉土	<20	≥40	
	砂壤土	≥20	<40	<30
	壤土	<20	<40	
	砂粘土	≥50	-	≥30
粘土	粉粘土	-	-	30~35
	壤粘土	-	-	35~40
	粘土	-	-	40~50
	重粘土	-	-	>60

表 4-2 土壤颗粒分级表

颗粒名称		颗粒直径 (mm)
砂粒	粗砂粒	1~0.25
	细砂粒	0.25~0.05
粉粒	粗粉粒	0.05~0.01
	中粉粒	0.01~0.005
	细粉粒	0.005~0.002
粘粒	粗粘粒	0.002~0.001
	细粘粒	<0.001

上层,尤其是耕作土层。有效土层厚度,对于多数多年生作物来说,最佳土层厚度为150 cm以上,临界厚度为75 cm。块根作物的最佳厚度为75 cm以上,临界厚度为50 cm。谷类作物最佳厚度为50 cm以上,临界

厚度为25 cm。对于一般农作物来说,耕层厚度应在20~25 cm以上,对于果树来讲在50 cm以上为佳。土层中是否存在障碍层是调查中需要认真调查的项目,因为在离表土30 cm以内有障碍层,且量多范围大时,会严重影响作物生长。

3) 土壤养分。通常应调查土壤中的有机质、氮、磷、钾等元素的含量,有时也需要有针对性调查其他元素(微量元素)的含量。

4) 土壤酸碱度(pH值)。土壤酸碱度测定,常常是土壤调查中的主要项目之一。该性状对土壤中营养元素的转化(释放、固定),对作物根系活动环境都有直接的影响,因为当土壤酸碱度过大时某些元素会转化为对植物有毒的物质,影响植物的生存。

5) 土壤侵蚀。土壤侵蚀调查的任务是区分侵蚀类型。侵蚀程度分级指标见表4-3。

表 4-3 土壤侵蚀强度分级指标

级 别	年均侵蚀模数 (t/km ²)	年均流失厚度 (mm)
一、微度侵蚀(无明显侵蚀)	<200、500、1000	<0.16、0.4、0.8
二、轻度侵蚀	(200、500、1000)~2500	(0.16、0.4、0.8)~2
三、中度侵蚀	2500~5000	2~4
四、强度侵蚀	5000~8000	4~6
五、极强度侵蚀	8000~15000	6~12
六、剧烈侵蚀	>15000	>12

(3) 农业气候调查。主要包括光照、积温、无霜期、降水、主要风向、最大风速等。

(4) 植被调查。主要查清植被群落、覆盖度、植被高度、产草量和草质,以及利用程度等。

2. 土地利用的社会经济因素调查

这方面的有关项目指标很多，这里仅介绍主要调查指标。

(1) 地理位置与交通条件。对于农业利用来说，地理位置是决定土地利用方向、集约利用程度和土地生产力的重要因素。

(2) 人口和劳动力。应当查清人口、劳动力数量及其构成情况。尤其应调查统计人均土地、劳均耕地等直接关系到土地利用集约程度的指标。

(3) 农业生产及农业生产环境条件。根据研究土地资源的目的，可有选择地对农业生产及农业生产环境条件，如作物品种、布局、轮作制度、复种指数、农产品成本、用工量、投肥量、单产、总产、产值、纯收入等，以及水利（灌溉、排水）条件等进行调查。

(4) 地段形态特征。指一定范围土地的外形及内部利用上的破碎情况。是机械化作业情况下一项重要的调查项目。

3. 土地动态监测

土地从形态到质地、从类型到分布乃至土地的数量与权属，都是在不断变化着的。因此有必要进行动态监测，以便随时更新原有资料。土地监测的主要内容如下。

(1) 监测土地质量性状变化。尤其要监测“三废”（废气、废水、废渣）对土地和环境的污染，监测水土流失的威胁及危害等。

(2) 监测土地权属变化。

(3) 监测土地的用途。

(4) 监测土地利用规划的实施情况。

(5) 监测土地利用的措施。通过监测及时发现土地使用单位采用的具体措施是否合理

4. 土地利用现状调查资料整理

(1) 土地利用现状调查设计任务书。

(2) 各种边界协议书。

(3) 航片接合表。

(4) 外业调绘补测记录及土地利用调查记录。

(5) 线状地物实测原始记录。

(6) 转绘中的原始计算。

(7) 航片及缩小片。

(8) 图幅接合表。

(9) 土地利用现状图。

(10) 面积量算原始记录。

(11) 分级土地面积汇总统计表。

(12) 田埂系数及田埂面积计算。

(13) 耕地坡度统计表。

(14) 耕地坡度图。

(15) 调查报告。

(16) 其他材料。

以上各项成果中除了编绘土地利用现状图及编写调查报告外，其他各项都是在调查作业的过程中逐步形成的。因此在最终整理资料中，大量的工作在于编绘土地利用现状图及

编写调查报告。

(三) 土地资源调查表格设计

土地资源调查表格见表 4-4~表 4-7。

表 4-4 土壤调查记录表

总号:	田间号:	土壤代号:	年	月	日
地点:	县	乡	村	组	
土壤名称		地形:			
地下水深及水质情况		海拔:	坡位:	坡度:	坡向:
灌溉及排水情况					
盐渍或侵蚀情况					
种植或植被情况					
作物产量 (kg/hm ²)	小麦	水稻:	其他		
施肥情况	施肥种类	施肥量:	施肥期:		
改土措施					
土壤鉴定			调查人:		

表 4-5 土壤剖面性态

土层 (cm)	颜 色	质 地	结 构	松 紧 度	孔 隙	根 系	湿 度	备 注

表 4-6 荒地调查表

编 号	地 点	面积 (hm ²)	土 宜	等 级	土壤类型	海 拔	地 形	地下水埋深及水质	植被及覆盖度

表 4-7 盐渍区调查

盐渍区级别	盐渍区名称	非盐斑表土 (0~20 cm) 含盐量(%)	盐斑所占 面积比例 (%)	盐斑盐结皮 平均含盐量 (%)	盐斑 0~20 cm 含 盐 量 (%)	地 下 水 平均埋深 (cm)	地下水平均 矿 化 度 (g/L)
0	非盐渍区						
I	微盐渍区						
II	轻盐渍区						
III	中盐渍区						
IV	重盐渍区						

二、作物种植、灌溉和管理的优化

1. 确定要评价的土地利用方式

土地利用分类是农村土地利用的主要分类，如粗放农业、集约农业、草地等。土地利用方式是在一定自然、经济和社会背景下的土地利用种类。根据评价的目的，应尽可能详细、准确地描述土地利用方式（或农作制度）。有时在评价之初土地利用方式就是明确的（例如种植水稻）。在另外一些项目中，研究开始时，未来供选的土地用途尚不清楚，此时需先对土地利用方式作尝试性的笼统划分。随着调查的进展和新的定量数据的获得，对土地利用方式的确定越来越明确。为了使土地利用方式的要求与土地本身的条件之间达到令人满意的匹配，应根据投入和土地改良情况对土地利用方式的作物种植、灌溉和管理制度进行调查。

表 4-8 给出了描述土地利用方式的标题清单。

表 4-8 土地利用方式描述标题清单

标 题	描 述 内 容
1. 种植制度	单一、多种或综合的土地利用方式。种植的作物种类、品种、种植强度、复种指数
2. 市场	自用、出售或二者兼之
3. 水分供应	季节性供水、质量
4. 灌溉方法	自流或提升、地面灌溉、喷灌、滴灌等
5. 资本集约度	每公顷资本投入量和经常费用
6. 劳力集约度	家庭和雇用的劳动力，每公顷用工数，季节性用工高峰期
7. 机械化农场操作	哪些农事操作是机械化的或半机械化的
8. 土地大小和程度	土地面积，土地利用方式的面积，土地分割程度，旱作和灌溉的面积
9. 灌溉的基础设施	灌溉与排水的基础设施和进、灌溉沟的设计
10. 物质投入	特别是种子、肥料、农药等投入的数量和质量的先期设想
11. 栽培措施	为灌溉进行的整地、耕作措施、施肥、除草、植物保护、收获和加工
12. 牲畜	畜力、粪肥、饲料要求、放牧、圈养等
13. 单产与总产	土地的单产与总产，单位用水量的产量，特别是在缺水时的产量
14. 环境影响	公共卫生问题，对下游供水及质量、淤积、洪涝等的影响
15. 经济信息	市场价格、投入费用和可用量、补贴、信贷

2. 建立土地适宜性等级指标

土地适宜性等级，可以按以实物产量来表示的土地生产力指数或经济报酬进行评价。如果在给定的区域内，土地的自然条件与按经济指数表示的土地性能具有非常确定的关系，就可以按照土地特性确定每种土地适宜性等级的指标。不同的作物、灌溉方法和管理制度都有不同的要求。在确定土地适宜性指标时，要以土地利用要求和限制性为依据，同时还应当考虑投入和土地改良的需要。而不要直接根据土地特性来确定。

在建立土地适宜性等级分级指标的过程中，研究人员必须先确定哪些因素是“等级决定”因素。在任一给定的评价中，可以根据下列各项的影响方式对单个因素进行分组：①作物单产或总产（即农艺因素）；②管理；③土地开发和土地改良；④保护与环境；⑤社会与经济条件。

等级决定因素大多数能用作物种植、灌溉和管理制度的要求或限制性来表示。作物需要光和适宜的温度、持续供应的水分和养分，适于根系生长的环境、适宜发芽的苗床条件、

适于灌溉或收割、机械化操作、后熟的土地条件。相反，由于作物对洪涝、盐碱、虫害、霜冻、风暴等的敏感性或耐力不同，因而所受的限制也不相同。与之相类似的，灌溉方法如地面灌溉、喷灌或滴灌，有其不同的要求和限制性，管理制度也不一样（例如人工、机械）。

三、环境和经济评价

1. 环境评价

环境评价包括对由于灌溉可能引起的次生盐碱化、地下水位下降、土壤侵蚀等不良影响预测与评估。需与灌溉适宜性、土壤肥力水平、水源条件等综合进行。目前国内对这方面的研究尚不够重视、故有待深入研究。

2. 经济评价

土地经济评价，是运用社会经济指标对土地质量进行评定，为制定有关费用的级差标准提供科学依据。在农业生产中，土地质量最终表现为同等耗费条件下的产品数量。农业土地的经济价值除受位置制约外，还受土地肥力的制约。在选择土地经济评价指标时，选用的社会经济指标应能客观地反映出土地的经济价值，要能正确地揭示出土地在区位和自然肥力方面的差异，并且要有可比性，各种指标代表的时间性要一致。

四、土地分类与制图

（一）土地分类

我国对土地分类的系统研究起步较迟，还没有统一的划分。近年来在荒地调查、自然资源综合考察、土地调查等工作中所运用的和技术界研究比较多的分类体系有三种。

- （1）以土地的自然属性作为主要标志，形成土地自然类型体系。
- （2）按土地利用现状划分，形成土地利用分类体系。
- （3）按土地质量或生产力水平划分，形成土地评价分类体系。

土地利用现状分类是比较实用的分类，它体现了以农业利用土地为重点。它是土地利用现状调查中运用的土地分类体系，也是土地管理分类体系的组成部分。它采用的是多层次的等级续分制。全国统一的土地利用现状分类，由两个级（一级类型和二级类型）组成，其中一级类共有 8 个类，二级类共有 46 个类其中农业土地部分列于表 1-9。为了有利于今后运用现代化手段管理土地资源的信息，各类型编有统一的号码。

（二）制图

1. 工作底图

土地利用现状调查的许多工作是在图上进行的。在很多情况下，为了使工作底图适应现状调查的需要，必须通过野外测绘等方法来对它进行修正和补充。比较多见的基础图件有以下几种类型。

（1）航空摄影像片和地形图相结合。这种组合方式是当前大多数地区都容易收集到的图件，也是比较好的一种组合方式。地形图可起到工作底图的作用。航片上影像的深浅色调反映出地面物体及形态特征，具有形态逼真，信息全面的特点。航片上收集到的信息基本上都是同一时间的信息。这一优点是通常的地面测量成图所不能达到的。

利用航片和地形图的组合作为土地利用现状调查的工作图件，要求的技术比较简单，投资不很大，室外基本上不用仪器，较多工作转入室内进行，且适用范围极广。

表 4-9

土地利用现状分类及含义 (农业土地部分)

一级类型		二级类型		含 义
编号	名 称	编号	名 称	
1	耕 地			种植农作物的土地,包括新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地;以种植农作物为主间有零星果树、桑树或其他树木的土地;耕种三年以上的滩地与海涂。耕地中包括南方宽小于 1.0 m,北方宽小于 2.0 m 的沟、渠、路、田埂。其下的第二级划分
		11	灌溉水田	有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉,用以种植水稻、莲藕、席草等水生作物的耕地,包括灌溉的水旱轮作地
		12	望 天 田	无灌溉工程设施,主要依靠天然降水,用以种植水稻、莲藕、席草等水生作物的耕地,包括无灌溉设施的水旱轮作地
		13	水 浇 地	指水田、菜地以外,有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉的耕地
		14	旱 地	无灌溉设施,靠天然降水生长作物的耕地,包括没有固定灌溉设施,仅靠引洪灌溉的耕地
		15	菜 地	种植蔬菜为主的耕地,包括温室、塑料大棚用地
2	园 地			种植以采集果、叶、根茎等为主的集约经营的多年生木本和草本作物,覆盖度大于 50%,或每亩株数大于合理株数 70% 的土地,包括果树苗圃
		21	果 园	种植果树的园地
		22	桑 树	种植桑树的园地
		23	茶 园	种植茶树的园地
		24	橡 胶 园	种植橡胶树的园地
		25	其他园地	种植可可、咖啡、油茶、胡椒等其他多年生作物的园地
4	牧 草 地			生长草本植物为主,用于畜牧业的土地
		41	天然草地	以天然草本植物为主,未经改良,用于放牧或割草的草地,包括以牧为主的疏林、灌木草地
		42	改良草地	采用灌溉、排水、施肥、松耙、补植等措施进行改良的草地
		43	人工草地	人工种植牧草的草地,包括人工培植用于牧业的灌木
8	未利用土地			目前还未利用的土地,包括难利用的土地
		81	荒 草 地	树林郁闭度小于 10%,表层为土质,生长杂草,不包括盐碱地、沼泽地和裸土地
		82	盐 碱 地	表层盐碱聚集,只生长天然耐盐植物的土地
		83	沼 泽 地	经常积水或渍水,一般生长湿生植物的土地
		84	砂 地	表层为砂覆盖,基本无植被的土地,包括沙漠,不包括水系中的沙滩
		85	裸 土 地	表层为土质,基本无植被覆盖的土地
		86	裸岩、石砾地	表层为岩石或石砾,覆盖面积大于 50% 的土地
		87	田 坎	主要指耕地中南方宽不小于 1 m,北方宽不小于 2 m 的地坎或堤坝
		88	其 他	指其他未利用土地,包括高寒荒漠、苔原等

(2) 地形图。单纯用地形图开展工作，既把地形图当作工作底图，同时也是调查用图。由于图上要素不足等原因，需对地形图进行补充与修改。只有当地形起伏不大，且地形图是近期所绘，图上内容与实地基本上一致，只需稍加补测便可使用时，可仅利用地形图来进行土地利用现状调查。

(3) 像片平面图或者影像地图。是对航片进行处理后，使所有的航片成为具有同一比例尺的水平像片，然后根据定向点镶嵌而成。可直接用于实地调查，通过调绘、补测使像片平面图上不仅有地面各种地物的影像，同时，具备与地形图相同的地物符号及地形符号等。将来运用这类图件进行调查将成为较普遍的方法。

(4) 其他现代化的图件。如彩红外遥感图像和大幅多光谱航空像片。它们的共同特点是信息量更加丰富、分辨率高，增加了影像的色彩，也就提高了判别能力，但费用昂贵。

2. 土地利用现状图的绘制

土地利用现状图是在工作底图的基础上编绘而成的。在整个土地利用现状调查过程中，有大量工作在网上进行，这些工作实质上正是在形成土地利用现状图，经过调绘、补测和转绘使土地利用现状在网上得到全面反映，各种境界也都被全面如实标绘出来。在面积量算工作之后进一步的整饰主要是：图斑编号、图斑面积的注记，以及全面的图面整饰。如比例尺的绘制，图头，图例的设计，图例符号说明，土地类型着色、绘制方位标志等。

在土地利用现状调查过程中形成的图是土地利用现状分幅图。这些图非常宝贵，许多其他图件将以此为基础而形成，这些分幅图也是土地登记、统计的基础图件，必须认真绘制。

土地利用现状调查，不仅要完成分幅土地利用现状图，还要完成行政单元编图。即按乡或县为整体编制土地利用现状图。它一方面可以全面反映乡、县范围内土地资源的现状，展示调查工作的成绩，同时还可用于乡、县各个部门的指挥和筹划布局。图上的界线、面积、分类等标记具有相当的权威性，因而也可供领导在决策中参考。

乡土地利用现状图的比例尺通常应与工作底图相同，一般为1:10000~1:25000；县图则视图幅大小而定，一般为1:25000或1:50000。这些图往往打破原分幅体系，形成分幅图。但是整个图幅不宜过大。以室内挂图的实用需要及图形特征，确定幅面大小。

乡土地利用现状图拼贴前可先分幅制晒蓝图。拼贴蓝图时，不能简单地按图幅边缘地物为准，从一边开始逐张拼接，而要以图廓点和公里网作控制，严密拼贴，在有控制的拼贴下重视消除接边处误差。拼贴好的蓝图，用透明描图纸或者聚脂薄膜进行透绘。

透绘过程不是一个简单的描图过程，而是一个连编带绘的作业过程。为了能反映土地利用现状，不使图面负载过大、过小图斑太多，要综合或者去掉某些次要的内容、突出重要的内容。

编制县级土地利用现状图与乡级图相似，但涉及到图幅内容缩小的问题。为了保证一定的精度，不能用简单的缩小方法。应当首先保证县图有较好的数学基础。所有的图廓线、公里网及测量控制点，应当是通过比较精确的方法移植到图上。而一般内容可在上述要素的基础上通过网格转绘、缩放仪转绘或者照相缩放转绘等方法来完成。

县级土地利用现状图范围大，而地类图斑较小，为了醒目起见，可按土地分类对调查成果图进行着色。

第二节 农业土地资源评价方法

一、土地适宜性评价

土地适宜性评价大多以发展农业为目的，评定土地对发展农业的适宜性、限制性和生产能力，通过土地利用取得最佳生态效果、经济效果和社会效果。

土地适宜性评价，可分为总体评价和单项评价。总体评价是根据土地用于农业生产的适宜程度和限制性程度，确定土地质量等级。单项评价是根据土地对栽培某种作物的适宜程度和限制因素评定土地质量等级。

总体评价与单项评价既有区别，又相互关联。前者在总体上确定了土地最佳利用方式，为单项评价奠定了基础。后者是在总体评价基础上的深入，以进一步确定农业用地的最佳利用方式。

（一）土地适宜性评价的程序

土地适宜性评价程序是：划分土地评价单元、选择评价项目（参评因素）及确定土地评级标准、比配、评定土地等级、成果资料整理。见图 4-1。



图 4-1 土地适宜性评价程序框图

1. 划分土地评价单元

土地评价单元是土地评价对象的最小单位，同一评价单元中土地的基本属性应基本一致。土地评价的最终结果是通过土地评价单元的质量鉴定得出的，因此，评价单元的划分与土地评价工作量的大小和评价成果应用有密切的关系。目前，土地适宜性评价中划分土地评价单元的方法大致有以下三种。

（1）采用土壤发生学分类某一级（如耕地采用土种）作为评价单元。土种是土壤分类的基本单元，是具有相同地形、母质、质地、剖面构型的地块的集合。

（2）按土地类型体系划分评价单元。土地类型可看成是一定气候条件下的地貌、土壤、植被的共同体。

（3）按耕作地块划分评价单元。同一耕作地块经过长期农耕，其地形、土壤、水利状况基本是一致的，采用耕作地块作评价单元，对于合理利用土地，完善农业联产承包责任制具有较大的实用价值。

划分土地评价单元的方法，应根据评价的目的及被评价地区的自然条件和技术资料状

况确定。

2. 选择评价项目和确定评级标准

评价项目又称质量鉴定因素或参评因素，是指参与评定土地质量等级的一种可度量或可测定的土地属性。例如坡度、地下水埋深、土壤质地等。正确选择评价项目，是科学地揭示土地质量差异的前提，一般应符合以下基本要求。

(1) 所选的评价项目应能正确地反映出土地自然属性的差异，并根据地区特点，有所侧重。例如，丘陵地区的坡度，平原地区的土壤条件，都是影响各自土地质量的主导因素，应选为评价项目。

(2) 对于不同用途的土地，应分别选择相应的评价项目，因为不同的作物（或植物）对土地质量有不同的要求。

(3) 选择影响土地质量的稳定性因素作评价项目。为使土地评价成果资料在较长一段时间内具有应用价值，必须选择对土地肥力状况具有显著影响，且又不易改变的稳定性因素，如坡度、土层厚度等作为评价项目。通常，速效养分不宜列为评价项目，因为它们经常变化，是一些动态因素。

(4) 既要选择自然因素，也要选择有关的社会经济因素。如产量、土地位置、交通条件等。

评价项目确定后，根据评价目标和地区特点，分别拟定各评价项目的分级标准。

有关参评项目分级指标列于表 4-10～表 4-18。

表 4-10 地区坡度（坡度）评级参考表

地 区	平 区					山 区				
坡 降	>1%	1%~0.5%	0.5%~0.2%	0.2%~0.05%	<0.01%	<3°	3°~8°	8°~15°	15°~25°	>25°
评 级	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ

表 4-11 耕层与有效土层厚度评级参考表

项 目	耕 层 厚 度 (cm)					有 效 土 层 厚 度 (cm)				
	>40	25~40	15~25	10~15	<10	>100	50~100	30~50	15~30	<15
评 级	1	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ

3. 比配

比配是指土地质量与土地利用要求之间的比较，按选中的评价项目，逐项进行质量鉴定。

4. 评定土地等级

在比配的基础上，综合评定土地质量等级，得出土地适宜性评价最终结果。

5. 成果资料整理

绘制土地适宜性总体评价图和土地适宜性单项（各个农作物）评价图，以及评价说明书等。

表 4-12 土层厚度分级参考表

地 区 评 级	寒温带、温带山地 或亚热带高山地区	热带、亚热带 红壤地区
Ⅰ 厚 层 (cm)	>80	>100
Ⅱ 中厚层 (cm)	60~80	80~100
Ⅲ 中土层 (cm)	30~60	40~80
Ⅳ 薄土层 (cm)	<30	<40

注 当砾石含量大于 70% 时，不作为土层计算。

表 4-13

土壤养分含量评量参考表

评 级	养 分 含 量				
	有 机 质 (%)	全 氮 (%)	水 解 氮 (mg/kg)	速 效 磷 (mg/kg)	速 效 钾 (mg/kg)
I	>4	>0.2	>150	>40	>200
II	3~4	0.15~0.2	120~150	20~40	150~200
III	2~3	0.1~0.15	90~120	10~20	100~150
IV	1~2	0.075~0.1	60~90	5~10	50~100
V	0.6~1	0.05~0.075	30~60	3~5	30~50
VI	<0.6	<0.05	<30	<3	<30

表 4-14

华北地区土壤养分含量评级参考表

评 级	养 分 含 量				
	有 机 质 (%)	全 氮 (%)	磷 解 氮 (mg/kg)	速 效 磷 (mg/kg)	速 效 钾 (mg/kg)
I	>2.0	>0.15	>100	>30	>80
II	2.0~1.5	0.15~0.10	100~70	30~15	80~60
III	1.5~1.0	0.10~0.05	70~40	15~8	60~40
IV	1.0~0.5	0.05~0.03	40~10	8~4	40~20
V	<0.5	<0.03	<10	<4	<20

表 4-15

土壤酸碱度评级参考表

土 壤 酸 碱 度	pH 值	评 级	适 应 栽 培 的 作 物
强 酸 性 土	<4.5	IV~V	一般作物难以生长
酸 性 土	4.5~5.5	III~IV	茶、油菜、大麦、荞麦
微 酸 性 土	5.5~6.5	II~III	一般作物可以生长
中 性 土	6.5~7.5	I~II	一般作物均宜生长
微 碱 性 土	7.5~8.0	I	一般作物均可生长
碱 性 土	8.0~9.0	II	田菁、棉花、高粱等作物还可生长
强 碱 性 土	>9.0	N~V	一般作物难以生长

表 4-16

土壤侵蚀程度分级指标参考表

侵 蚀 类 型		侵 蚀 强 度 分 级			
		轻 度	中 度	强 度	剧 烈
片蚀	耕作土壤按侵蚀后土壤存留程度划分	表土小部分被蚀	表土 50% 被蚀	表土全部被蚀	心土部分被蚀
	非耕作土壤根据植被覆盖度划分	覆盖度>70%	覆盖度 30%~70%	覆盖度<30%	
沟蚀	按侵蚀沟面积占总面积的比例划分	<10%	10%~25%	25%~50%	>50%
崩塌	按崩塌面积占山丘面积的比例划分	<10%	10%~20%	20%~30%	>30%

(二) 土地等级评定方法

1. 经验判断指数和法

这是一种根据经验判断来确定参评项目权重的方法。其特点是以当地多年生产经验为依据, 选出参评项目, 并确定各参评项目对土地质量影响程度的经验权重 (即指标指数),

然后按评价单元累加诸参评项目的指标指数求得指数和，再对照指数范围，评定各土地评价单元的质量等级。

经验判断指数和法是一种简单易行的土地适宜性评价方法。缺点是参评项目的选择及其权重常常依据多年生产实践经验来确定，不同人员的评价结果会有较大差异，不可类比。应用此法时，应加强实地调查研究，充分利用不同质量土地产量对比实验资料。

表 4-17 盐碱土地区地面排水坡降分级参考表

地面坡降分级	坡 降	排水产生的问题
平 坦	<0.0001	自然排水困难
微 倾 斜	0.0001~0.002	自然排水有一定困难
倾 斜	0.002~0.005	自然排水较适合
很 倾 斜	0.005~0.01	自然排水易产生冲刷
极 倾 斜	>0.01	自然排水产生冲刷和崩塌

表 4-18 盐碱土地区潜水埋深分级参考表

分 级	潜水埋深 (m)	土壤中产生的危害	改 良 利 用 措 施
沼泽化深度	<1.0	盐度过高，主要是土壤沼泽化。盐碱化一般不重	如地下水矿化度低，可以疏平或种稻改良
强烈积盐深度	1.0~1.5	处于强烈上升高度，土壤积盐重	必须建立完整的排水系统，迅速降低地下水位
积盐深度	1.5~2.0	处于强烈上升高度以上，积盐可能稍轻	必须建立完整的排水系统，迅速降低地下水位
较安全深度	2.0~3.0	积盐迅速下降，还在临界深度上下	建立完整的排水系统，间距可增大
安全深度	>3.0	在临界深度以下，盐基水停止	建立排水系统，防止次生盐碱化

2. 回归分析指数和法

该方法是依据土地质量与土地生产力（作物产量或产值）之间的相关关系，通过回归分析，筛选并确定参评项目及其权重。具体步骤如下。

(1) 初步选定若干参评项目。

(2) 抽样调查样本的经济指标和自然属性指标。均匀布点抽样，样本数量要大于 30 个。

(3) 建立多元线性回归方程，计算回归系数。以产量为因变量 y ，参评项目指标为自变量 $x_1, x_2 \dots x_k$ ，建立多元线性回归方程：

$$y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_kx_k + \epsilon \quad (4-1)$$

式中： B_0 为回归常数项； $B_1, B_2 \dots B_k$ 为回归系数； ϵ 为剩余误差。

根据样本的自变量和因变量进行多元回归运算，计算出各回归系数的估计值 $b_0, b_1, b_2 \dots b_k$ ，得到经验回归方程：

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (4-2)$$

(4) 计算复相关系数 R

$$R = \sqrt{u/L_{yy}} \quad (4-3)$$

式中： u 为回归平方和； L_{yy} 为离差平方和。

R 值一般在 0~1 之间， R 越接近 1 时，回归效果越好。

(5) 进行方差分析

$$F = (R^2/K)/[(1 - R^2)/(N - K - 1)] \quad (4-4)$$

式中： K 为自变量个数； N 为样本容量。

计算出 F 值后，根据给定的显著性水平 α ，自由度 K 及 $(N-K-1)$ ，利用 F 分布表，查出相应的临界值 F_α ，若 $F > F_\alpha$ ，则回归效果显著，回归方程有使用价值。

(6) 进行 t 检验

$$t_i = b_i / \sqrt{c_{ii}s_y} \quad (4-5)$$

式中： c_{ii} 为正规方程系数矩阵逆阵对角线上各元素； s_y 为剩余标准差。

若 t_i 大于临界值 t_α ，则认为该自变量作用显著。 t_i 愈大， x_i 愈重要。在土地评价中，当 t_i 小于 1 时，可以认为该自变量作用不显著，应予剔除。

(7) 计算标准回归系数 b'_i 和参评项目的权重 P_i 。

$$b'_i = b_i \sqrt{(L_{xx}/L_{yy})} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4-6)$$

式中： L_{ii} 为 X_i 的离差平方和。

标准回归系数 b'_i 与原度量单位无关，可以互相比，可作为确定评价项目权重的依据。

$$P_i = (b'_i / \sum b'_i) \times 100 \quad (4-7)$$

(8) 确定评价指数、 α_j 指数和 β_j 指数范围。首先要为每等地确定等级权重 α_j (j 为等级号)，则：评价指数 = 评价项目权重 (P_i) $\times$ 等级权重 (α_j)。计算出每等地的指数和，再用等距法可求出每等地的指数范围。

(9) 评定土地等级。按回归分析法筛选出来的评价项目及指数，对土地评价单元逐个进行质量鉴定，求出每个评价单元的指数和，并对照指数范围，评定出最终土地等级。与经验判断指数和法相比较，回归分析指数和法具有较强的科学性。

二、土地经济评价

土地的经济评价是以土地经营投入产出为标准，评价土地利用及其适宜性的一种土地评价。在进行土地经济评价时，应把土地因素孤立起来，即将土地作为独立的变量，而其他非土地的因素固定下来，从而计算土地的投入产出经济指标，准确地反映土地因素对经济效果和经济效益的影响。通过这样的经济度量指标，就可以比较不同土地类型对某种利用的适宜性程度，也可以比较同一土地类型对不同利用的适宜性程度。

土地经济评价所依据的因素如价格、市场容量等变化较频繁，因此土地经济评价往往变化性较大，必须对土地进行经常的经济评价，以便及时地反映土地生产力水平的变化。

土地经济评价指标，一般有单位面积土地总产值、纯收入、利润等指标。在进行较大土地改造工程的情况下，还要对土地投资进行贴现分析，计算土地投资的回收期等指标。

在进行土地经济评价时，往往还要结合自然的、社会的标准进行分析。使各种土地利用指标及标准结合起来的方法之一是评分法。

评分法是在调查收集待评价区各土地评价单元的社会经济指标的基础上，以某单元的有关指标之绝对值为基准，核算出其他各单元与该基准单元之间的相对比值，用分数形式表示，以表达相互间的相对价值度。或者在评分基础上将全部评价单元按分数区分为若干等，通过加权平均求算各等土地的平均分数。

社会经济指标的选用，根据评价目的来选择。现以投入产出比为指标概述评分过程

如下。

1. 核算各评价单元（土种或土块）的产投比

(1) 投入方面。计算各评价单元包括物化劳动及活劳动在内的投资额。

(2) 产出方面。将各评价单元各种作物的产量都换算成货币表现的产值。

2. 计算各土地评价单元的分数

以某一土地的产投比为基准（作为 100 分），按以下公式计算各单元的分数。

$$B = \frac{G}{G_0} \times 100 \quad (4-8)$$

式中： B 为被评单元的分数； G_0 为选为基准单元的经济指标（产投比）值； G 为被评单元的经济指标（产投比）值。

一般选取经济指标值最高的单元作为基准单元。

(1) 划分等级。根据各评价单元的分数，将全部评价单元划分成若干个等级。每一等级包括的分数段可以根据土地等级之间的差异情况而定，亦可等段划分。

(2) 计算每等土地的平均分数。用加权平均法计算每等土地的平均分数，计算公式为

$$\bar{B}_i = (B_{i1}P_{i1} + B_{i2}P_{i2} + \cdots + B_{in}P_{in}) / (P_{i1} + P_{i2} + \cdots + P_{in}) \quad (4-9)$$

式中： $\bar{B}_i$ 为第 i 等土地的加权平均分数； $B_{i1}, B_{i2}, \cdots, B_{in}$ 为第 i 等土地中各评价单元的分数； $P_{i1}, P_{i2}, \cdots, P_{in}$ 为第 i 等土地中各评价单元占第 i 等土地总面积的比重。

至此，各评价单元的分数或者等级已经计算出来，便可以相对地区别出各单元经济价值上的差异。

第三节 土地适宜性评价实例

南方某水稻区（资料参见过宝兴主编《土地科学与区域开发》1992 年）位于亚热带范围之内，多山。海拔 400 m 以下年均温度在 19℃ 以上，年降水量 1500~1600 mm；海拔 800 m 以上年均温度为 15~16℃，年降水量 1800~1850 mm。海拔 500 m 以下的岗丘、丘陵和低山多为红壤。海拔 500~700 m 之间为黄红壤。海拔 700 m 以上的低、中山以黄壤为主。低山下部和鞍部及岗丘有紫色土，盆地和河谷为水稻土。

土壤是影响水稻生长发育的重要因素，土地的耕作性状与水稻的生长发育和产量关系密切。该区水热条件较优，但因多山，热量的垂直差异显著，故水热状况及其热量状况在评价中必须予以考虑。此外，该区雨量多且集中，天然植被多遭破坏，地表又多易风化母质，许多地区水土流失甚为严重，故评价中也须考虑侵蚀因素。据此，选定了耕作难易性、防止侵蚀难易性、土壤条件和水热条件四项土地质量用于水稻的土地适宜性评价。对土地性质进行分级，即：A—高度适宜、B—中等适宜、C—临界适宜以及 D—不适宜，并对修正因素的修正方法作出适当规定（表 4-19~表 4-22）。

在获得四项土地质量的分级后，再两两综合，即根据耕作难易性与防止土壤侵蚀难易性的分级综合成水稻耕作条件的分级，以及据土壤条件与水势条件的分级综合成水稻生长条件的分级（表 4-23、表 4-24）。这一步，在一定程度上考虑到了不同土地质量的权重。例如，水热条件在本区多数地方可满足水稻生长需要，但土壤条件则不然，故给予后者稍大

表 4-19

耕作难易性的分级

土地性质	A	B	C	D
坡 度	$<5^{\circ}$	$5^{\circ}\sim 15^{\circ}$	$15^{\circ}\sim 25^{\circ}$	$>25^{\circ}$
土壤湿润状况	--	稍 湿	湿	过 湿
耕层厚度 (cm)	>20	20~15	15~10	<10
表土含石量 (%)	—	1~5	5~20	>20
修正因素	修 正 方 法			
植被状况、坡长与区位条件	若土地已有特定利用(植被或其他作物),或坡长较大则相应降级;若土地的区位条件好则相应升级			

表 4-20

防止侵蚀难易性的分级

土地性质	A	B	C	D
坡 度	$<5^{\circ}$	$5^{\circ}\sim 15^{\circ}$	$15^{\circ}\sim 25^{\circ}$	$>25^{\circ}$
表土质地	壤土	砂壤、粘壤	粉砂、粘土	砂土、砾石土、粗骨土
修正因素	修 正 方 法			
植被状况与岩性	若周围植被覆盖度大,生长良好,则相应升级;若岩性易风化侵蚀(如粗粒花岗岩、紫色砂页岩)则相应降级			

表 4-21

土壤条件的分级

土地性质	A	B	C	D
耕作土壤的综合属性	乌泥田,灰泥田,潮沙田	黄泥田,赤泥田	青泥田,烂泥田,冷水田	非耕作性土壤
土层厚度 (cm)	>100	100~60	60~25	<25
障碍层出现深度 (cm)	>50	50~40	40~20	<20
表土层 pH	6.5~5.5	5.5~5.0	5.0~4.5	<4.5

表 4-22

水热条件的分级

土地性质	A	B	C	D
水稻安全生长季积温($^{\circ}\text{C}$)	4860~4570	4570~4300	4300~3485	<3485
水源条件	稳 定	一 般	勉 强	无保证
地下水埋深 (cm)	200~100	100~50	50~30	<30
修正因素	修 正 方 法			
排水状况坡度与坡向	若排水状况不良,地表长期积水,或坡度较大,或为阴坡、狭窄沟谷边半阴坡,则相应降级;若坡度较小,或位于阳坡,日照条件好,则相应升级			

权重。防止侵蚀难易性仅对山丘缓坡梯田及部分山丘间沟谷地较重要,故相对于耕作难易性而言,给予“防止侵蚀难易性”以较小权重。分级数为从 A~G,其中 A 为最适宜, A~F 适宜性依次减小, G 为不适宜。

表 4-23 水稻耕作条件的分级

防止侵蚀难易性		D	E	F	G
耕作难易性	D	A	C	F	G
	E	B	D	F	G
	F	D	E	G	G
	G	G	G	G	G

表 4-24 水稻生长条件的分级

土壤条件		D	E	F	G
水热条件	D	A	C	F	G
	E	B	D	F	G
	F	D	E	G	G
	G	G	G	G	G

表 4-25 水稻的土地适宜性分级

水稻生长条件		A	B	C	D	E	F	G
水稻耕作条件	A	A	B	C	D	E	E	G
	B	A	B	C	D	E	F	G
	C	B	C	D	E	F	F	G
	D	C	C	E	F	F	G	G
	E	D	D	F	F	F	G	G
	F	E	E	F	F	G	G	G
	G	G	G	G	G	G	G	G

据水稻耕作条件和水稻生长条件的分级综合成水稻的土地适宜性等级（见表 4-25）。

将该区各土地单元的有关土地属性与上述评价标准相对照，即可得到水稻的适宜级。为简化和便于应用，作进一步归并：A~B 级为一等地，C~D 级为二等地，E~F 级为三等地，G 级为四等地。一等地为高度适宜，热量充足，土壤耕层厚度超过 18cm，耕性好，肥力高，排灌条件好。二等地为中等适宜，热量较充足，但土壤稍粘或偏少，常有轻度潜育化。三等地为临界适宜，热量条件较差，泉水外溢，多侧渗水，土壤较严重潜育化，形成“冷水田”或“烂泥田”。四等地为不适宜，海拔高、热量差，或坡度大、土层薄，无水源保证，耕作易引起水土流失，故不宜栽种水稻。

第五章 农业水土资源的合理开发利用

第一节 “四水”的合理开发利用

所谓“四水”系指地表水（地面水）、地下水、大气水（降水）、土壤水。对四水的转化、开发及其利用，我国从 80 年代初期开始就进行了一系列研究，并取得很大的进展。

一、地表水资源的开发利用

地表水资源量通常指河流、湖泊、水库、冰川等地表水体的动态水量。广义地讲，即是以液态或固态形式覆盖在地球表面上的自然水体，它包括海洋水、湖泊（水库）水、冰川水、河流水和沼泽水。在我国，人们通常说的地表水并不包括海洋水，属于狭义的地表水的概念。主要包括河流、湖泊水、冰川水和沼泽水，并把大气降水视为地表水体主要补给源。

我国幅员辽阔，因而地表水资源的合理开发利用，随地理及气象条件差别甚大，各地利用地表水资源进行灌溉的形式就多种多样，各具特色。如：有单一的水库灌区，又有多种水源蓄、引、提相结合；山丘区长藤结瓜式系统；地表水和地下水联合运用；南方水网圩垸系统；滨海的潮灌、潮排；西北山陆河融雪灌溉；高含沙水源的灌溉；引黄补源，跨流域调水；灌溉渠系优化设计及优化配水等等。针对我国干旱缺水地区的水资源状况，现就水库灌区地面水资源的合理开发利用进行叙述。

水库灌区是指以水库作为主要水源的已成灌区或待建灌区。这类灌区的灌溉系统一般由渠首水库（或水库群）、各级渠道、一片或多片灌溉面积以及灌区内的中小型水库与塘堤等组成，有时还包括一些提灌站和结合灌溉用水进行发电的中小水电站等。

解决水库灌区的最优化决策问题。一般采用系统工程分析方法。如对于规划的水库灌区而言，为了获得最大的灌区开发效益或最经济的投资费用，如何确定水库或库群的规模、灌区灌溉面积大小、灌区土地的利用方式、渠系的规划设计以及灌区内水电站的装机等，可采用优化决策。对于已建的水库灌区，则存在水库来水和灌区内当地径流的优化调度、灌区的优化配水、灌区工程更新改造及扩建配套的优化规划等问题。

由于各个水库灌区的自然地理和社会经济等条件各异，现主要讨论水库灌区规模较小、决策问题较为简单的确定性优化决策方法。

数学模型主要包括目标函数和约束方程两部分。

（1）目标函数。

1) 以灌区的灌溉面积最大或粮食产量最高为目标，其数学表达式为

$$\max f(x) = C_1x_1 + C_2x_2 + \cdots + C_mx_m = \sum_{j=1}^m C_jx_j \quad j = 1, 2, 3, \cdots, m \quad (5.1)$$

式中：(x) 为目标函数值，表示各分灌区粮食产量之和； x_j ， C_j 分别表示第 j 分灌区的灌溉面积及单位灌溉面积的粮食增产量； j ， m 分别为各分灌区的序号及其总数目。

2) 以灌区净效益现值 (或年值) 最大为目标, 数学表达式:

$$\max f(x) = B(x_1, x_2, x_3)(P/A, i, n) - K(V)(P/F, i, 1) - M_1(V)(P/A, i, n) - M_2(x_1, x_2, x_3)(P/A, i, n) \quad (5-2)$$

式中: x_1, x_2, x_3, V 为灌区范围中各分片子区的灌溉面积及水库库容, $B(x_1, x_2, x_3), K(V)$ 分别为灌溉效益和水库投资, 它们又分别是 x_1, x_2, x_3 和 V 的函数; $M_1(V), M_2(x_1, x_2, x_3)$ 分别为水库及灌区的年运行费; $(P/A, i, n), (P/F, i, 1)$ 为现值因子, 其中 i 为社会贴现率, n 为计算期, P 为现值, F 为将来值, A 为年值。

3) 以费用现值最小为目标。当灌溉效益资料不足或效益是一个定值时, 常采用费用现值最小作为择优准则, 其数学表达式为

$$\min f(x) = K(V)(P/F, i, 1) + M_1(V)(P/A, i, n) + M_2(x_1, x_2, x_3)(P/A, i, n) \quad (5-3)$$

除上述几种建立目标函数类型外, 还可采用运行费用最小和效益费用比最大等作为经济量目标函数。

(2) 约束方程。由若干等式或不等式方程组成, 它没有固定或统一的模式, 但要求全面和完整地反映决策问题的各工程、各因素之间的相互联系和相互制约的关系, 常见有下述几种类型。

1) 水库水量平衡约束。

$$S_{t+1} = S_t + I_t - D_t - L_t$$

式中: S_{t+1}, S_t 分别表示地面水库 $t+1$ 时段初和 t 时段初的蓄水量, m^3 ; I_t, D_t, L_t 分别为地面水库在 t 时段的入流量、放水量、损失水量, m^3 。

2) 水库放水量约束。

$$D_t = \sum_{j=1}^n m_{t,j} A_j$$

式中: $m_{t,j}, A_j, m, \eta$ 分别为第 j 种作物种植区第 t 时间的灌区定额、种植区 j 的面积、种植区总数目及灌溉水利用系数; 其它符号同前。

3) 水库库容规模约束。

$$S_t \leq V_M - V_F - V_0 \\ V_n \geq S_t$$

式中: V_M 为极限库容; V_F, V_0, V_n 分别为防洪库容、垫底库容、兴利库容, m^3 ; 其它符号意义同前。

4) 灌溉面积约束。

$$\sum_{j=1}^n A_j \leq A_0$$

式中: A_j 为第 j 种作物种植面积, hm^2 ; A_0 为灌区宜灌面积, hm^2 。

5) 渠道工程规模约束。

$$Q_{mA'} \geq q_t A' / m$$

式中: q_t 为 t 时段灌水率值; A' 为 t 时段渠道断面控制的灌溉面积; $Q_{mA'}$ 为 t 时段渠道断面 A' 的设计流量, m^3/s 。

6) 输水渠道的连续性约束。见图 5-1。

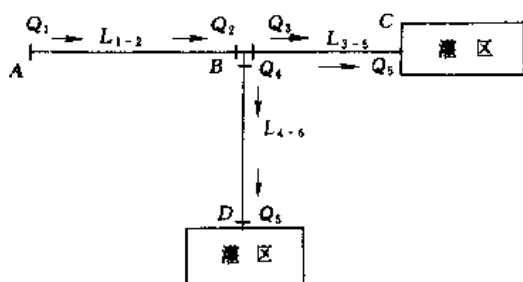


图 5-1 灌溉渠道输水流程图

$$Q_1 = Q_2 + L_{1-2}$$

$$Q_2 = Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + L_{3-5} + L_{4-6}$$

式中: Q_1, Q_2, Q_3 分别为渠段 AB、BC、BD 段首端流量; Q_4, Q_5, Q_6 分别为渠段 AB、BC、BD 段末端的流量, m^3/s ; $L_{1-2}, L_{3-5}, L_{4-6}$ 分别为渠段 AB、BC、BD 段的渗漏损失流量, m^3/s 。

7) 政策性约束。反映某些工程政策性要求的约束条件称为政策性约束。如在老、少、边、穷

地区, 在灌区规划设计中, 要求其开发面积必须大于某一值; 又如粮食作物种植面积必须保证, 以便在这基础上增加经济作物、蔬菜等。

8) 条件约束。所谓条件约束是反映某些工程设施的从属关系。如: 当渠道和河流交叉相遇时, 可以修建渡槽、倒虹管或立交道等。

9) 资金约束。即为一个灌区或某段配套工程的投资按投资计算进行, 不能超出计划投资值。

10) 非负约束。对所有变量均要求非负。

$$x_i \geq 0$$

综上, 建立了目标函数和约束方程后, 即可根据系统工程分析方法求解。

二、地下水资源的合理开发利用

(一) 开发利用地下水的途径与方法

1. 地下水取水建筑物

根据不同的开采条件, 大致可分为①垂直系统。即各种类型的井, 如筒井、管井 (机井)、筒管井、自流井等, 其适用条件最为广泛。从当前生产实际发展的情况来看, 绝大多数属于这种系统。②水平系统。如坎儿井和截潜流工程等。坎儿井多集中在新疆维吾尔自治区一带, 而截潜流工程在北方各省 (区) 的山区和平川区均有。③联合系统。主要为垂直与水平系统相结合的形式, 也包括几种建筑物的联合使用, 如筒管井、井群、辐射井、水柜等结合。④引泉工程。根据泉水出露的特点, 予以扩充、收集、调节与保护等的引取泉水的建筑物。

以上四种系统, 除引泉工程必须具有特殊的天然露头条件外, 其他各系统采用哪种, 在一般情况下, 均要按地下水的埋藏条件、开采条件和当地的经济技术条件合理确定。

2. 开发利用地下水的途径

地下水开发利用, 涉及水利、地质环境以及社会经济等学科, 而且由于地下水的形成、运移和分布比较复杂, 因而开发利用地下水的形式、途径也多种多样。

(1) 农田地下水调控。是指开采浅层地下水进行灌溉, 汛前降低地下水位, 腾出足够的蓄水空间, 增加汛期降雨的自然入渗量, 并通过坑塘、沟渠拦蓄降雨径流回补地下水, 使地下水达到当年或多年采补平衡。

(2) 平原浅层地下咸水利用与改造。咸水潜伏地下, 占据地下库容, 影响蓄纳降雨入渗, 不利于防涝抗旱, 又是土地盐碱的根源。因此利用与改造咸水, 扩大可利用的水资源, 对综合治理旱、涝、碱、咸, 克服干旱威胁, 保障农业生产具有重大意义。如河北水科所,

经过试验研究,取得了咸水灌溉抗旱增产、咸水灌溉的水管理、咸水灌溉土壤水盐动态调控、排咸用咸补淡改造浅层地下水的研究成果。使试验区比治理前盐碱地减少了57%,粮食总产及人均收入翻了两番,取得了显著的经济和社会效益。

(3) 利用组合井开发河道潜流。基本做法是在河床内布设多眼机井,在岸边适当位置建设泵站,泵站与各井用管道连接,实现井站联合开发潜流。这种组合井与其他截潜工程相比有很多优点:一是投资投工少;二是取潜流深度大,水量大;三是组合井不妨碍河道汛期行洪,又能保证水源工程的安全;四是工期短,见效快,能够尽快发挥工程效益;五是施工技术简单,便于推广。如山东水利厅和安丘县水利局联合试验研究了一整套技术,取得了明显的效果。

(4) 地下水人工补给。地下水人工补给形式很多,如在平原地区建立地下蓄水库(即通过地下水位的升降,来调节和储存地下水资源),不仅可以防治平原地区的旱、涝、碱,而且还具有保护生态环境,改善用水条件,控制地下水位,消除潜水蒸发,减少无效消耗等优点。在井渠结合灌区,可以通过渠灌来补给地下水,即灌中有补。还有的地区利用管井、大口井、浅机井、辐射井把水直接源入地下蓄水层中,效率更高。

(5) 打井技术机具改革。井是提取地下水的最基本设施,所以成井技术的高低及其机具的好坏直接影响到地下水的开发利用。在此方面,陕西省地下水工作队,曾用增大填充比的滤水结构在粉细砂含水层机井上的使用,取得了较理想的效果。洛阳市水资源勘测设计院,在洛阳邙山粉细砂地层进行成井工艺研究,其结果可以延长机井的使用年限。河北平原黑龙港地区粉细砂层混凝土管井滤水结构研究,使成井延长寿命,增大机井出水量,防止了淤积。再如钢筋骨架过滤器的应用、无砂混凝土管易淤堵性和预防对策,土工织物在粉细砂地层中打井防涌砂的应用等,都取得了良好的效果,为合理开发使用地下水创造了条件。

此外,提高机井装置效率,加强机井管理,对井灌区全面规划(包括井型的选择、单井灌溉面积的确定、合理井距与井数的确定、井群与井网的布置等),建立井灌区节水灌溉技术体系(提高水的利用率、提高作物水的利用效率、提高农业用水管理技术等),节约用水等等,都直接或间接地决定着地下水的开发利用程度。

(二) 地下水开发利用中存在的问题

(1) 地下水位持续下降。一些地区长期过量开采地下水,导致地下水位持续下降,不仅恶化了开采条件,还引发了地面沉降,海水入侵等一系列灾害性恶果。因而加强地下水管理,采取相应的措施,扭转地下水严重超采的局面,使地下水位得到控制和恢复非常迫切。

(2) 成井质量差,报废率高。据1984~1993年资料统计,我国农用机井报废率为4%~5%,有的地区高达10%~20%,即每年有10万眼以上的机井报废。其主要原因,一是打井不注意施工质量,井内涌砂或水质变咸而报废;二是地下水位下降,井水枯竭或抽不上水而报废;三是管理不善,遭人为破坏。为此,对农用机井应严格按《农用机井技术规范》要求打井,同时对打井队伍进行技术培训和严格考核,对机井管理人员推行责、权、利相结合的责任制,减少机井的报废率。

(3) 地下水污染,水质恶化。这主要是针对灌溉、排水、矿山开采、农业活动、污水

和污物排放、不合理的地下水开采、海水入侵等。在这些地区应按期对地下水水质进行监测，同时制定出防止地下水污染的具体措施，进行污染水的改良和利用的研究，减少或减轻地下水污染，防止水质恶化。

(4) 南北方开发利用地下水不平衡。在我国北方干旱，地面水十分缺乏，因此长期以来，地下水作为有力的抗旱水源，在我国北方得到相当规模的开发和利用，也带动了北方地下水科学的发展。在我国南方，人们长期利用溪涧、泉水或坑塘取水食用。随着河流和浅层地下水遭受污染以及水位下降，南方人民也要求打井取水，因此针对南方的地质和自然条件，加速地下水赋存运移规律及其开发利用技术的研究也势在必行。

综上所述，加强地下水开发利用的科学研究，建立健全地下水运行管理机制，建立节水灌溉技术体系，限制地下水的不合理开发使用，是合理利用地下水的有效途径。

三、土壤水资源的开发利用

(一) 土壤水在农业生产中的作用

土壤水分是农业用水中非常重要的水资源，这主要是由于无论是自然降水或是人工灌水都必须转化成土壤水才能被作物吸收利用。同时土壤水还具有一定的调蓄能力，即当降水超过作物耗水量时，多余的水量以土壤水的形态储存在土壤之中，当降水量不足，满足不了作物耗水时，储存于土壤之中的土壤水就可以源源不断地供给作物吸收和利用。借用土壤水的调蓄能力还能有效地解决降水量的间断性和作物需水的连续性这个矛盾。不同土壤对水分的调蓄能力也不同，一般来说，壤质土调蓄能力较强，沙性土调蓄能力较差。另外，土壤中的储水量，在任何水文年份也不可能全部被作物吸收和利用，也就是说，在最早的年份和最干旱的季节，2 m 土体的土壤水也不可能全部下降到凋萎湿度。如在冬春季，冬小麦耗水，使土壤水库造成亏损，到汛期再由降水对土壤进行补充恢复；夏播作物生长在雨季，多数年份降水量基本满足作物对水分的需求，但自然降水是间断地进行的，作物耗水是连续发生，所以必须依靠土壤对水分的调节才能适应作物对水分的需求。

由于降水分布不均，土壤水满足不了作物对水分的需求，靠人工灌水来调节土壤水状况，此时，由于土壤水状况发生了变化，作物耗水情况也发生变化，一般情况，水浇作物耗水量要大于旱地。

综上，土壤水在农作物生长中起到调蓄、转化外界水的作用，从而使作物更好地生长，因而是重要的农业水资源之一。

(二) 土壤水的调节与利用

调节土壤水，提高土壤水的有效利用率，关键在于建立和完善一个良性循环的土壤内外水分循环体系。首先采取促进降水入渗的措施，使天然降水尽可能多的渗入土壤之中，充分发挥土壤水库的蓄水作用，减少水土流失，做到蓄水于土；其次，对土壤水分，采取有效保护措施，尽量减少非生产性无效消耗。

1. 抑制蒸发，保蓄土壤水技术

(1) 秸秆覆盖技术对土壤水的调节。秸秆覆盖系指利用农业副产物（如茎秆、落叶、糠皮等）或绿肥为材料进行的地面覆盖。

1) 作用与效果：①调节地温。由于覆盖层对太阳直接辐射和地面有效辐射的拦截作用，使覆盖地冬季温度偏高，生长季节温度偏低，据测定，麦田 5 cm 地温，冬季覆盖地偏高 0.5

~1.9℃,冻土层厚度浅5 cm左右,解冻日期提前10天左右。②改善农田水分状况。据测定,麦田休闲期覆盖,麦播前0~100 cm,0~200 cm上层的含水量分别提高1.7%和2.5%,储水量分别增加15.0 mm和21.0 mm。③培肥地力。秸秆覆盖地面可使土壤免受雨滴的直接冲击,保护表层土壤结构,减少土壤中细小颗粒充填孔隙,防止土壤板结。据试验,连续覆盖秸秆两年以上的处理,耕层土壤容重降低0.07~0.12 g/cm³,土壤孔隙度增加2%~8%,有机质、全氮和速效磷的含量均有明显的增加。④提高水分利用效率。由于生育期覆盖对棵间土壤蒸发有抑制作用,因此农田生理生态需水与对照有显著的差异。据田间试验资料计算,覆盖麦田全生育期蒸腾量比对照增加15%,春玉米田覆盖的比对照增加10%。覆盖地小麦增产867 kg/hm²,覆盖地玉米增产2008.5 kg/hm²,水分利用效率分别提高0.30、0.46 kg/m³。

上述表明,秸秆覆盖技术具有明显的抑制蒸发、蓄水保墒、改土培肥、节水增产的作用。与地膜覆盖相比,其优点是覆盖材料充足,成本低,效益高,不污染土壤,是解决北方旱农地区“旱”与“薄”的有效途径之一。因此,研究、推广秸秆覆盖技术,是农业节水增产的重要措施。

2) 适用范围:从作物看,不仅冬小麦田适用,春、夏播作物田也适用。从地区看,在干旱、半干旱和半湿润地区,无论是平原还是丘陵坡地,都可推广应用。

(2) 保水剂在农业上的应用技术。保水剂即是吸水性树脂,是一种人工合成的高分子材料,它与水分接触时,能够吸收和保持相当于自身重量几百倍至几千倍的水分。

1) 作用与效果:国内外大量试验研究表明,保水剂能提高土壤保水保肥能力,节约农田用水,改良土壤结构,防止土壤侵蚀,提高种子出苗率,促进植物生长发育,增加产量。在干旱地区,其效果尤为显著。

2) 适用范围:适用于我国北方干旱半干旱地区,旱地作物及保苗困难的灌溉地作物,提高作物出苗率,节约种子用量,节省补种用工、用水。

(3) 水分蒸发抑制技术。水分蒸发抑制剂有不同剂型,分别用于水面、叶面和土面。其技术原理,在土壤表面形成分子膜,改变原来土壤直接裸露于空气中的状态,就象在土表面涂有一层油状保护膜一样。可以抑制水分自由地向空气中逸散,但其形成的网状薄膜却可使氧气或二氧化碳气体分子自由出入,从而不影响作物根部的正常呼吸。

1) 作用与效果:有效地抑制土壤中水分蒸发,减少了土壤内的热量损失,增强了对太阳辐射能吸收率及热导率,改变了地表热量的收支状况,使地温增高,同时还减少了由于水分蒸发通过毛细管作用带到地表的盐分积累,有利于农作物的根系生长发育,特别对浅根系作物的生长极为有利。

2) 适用范围:水分蒸发抑制剂无毒、无污染,对人畜安全,并能生物降解,且技术简单,无需增添专用设备,易于农民掌握,适合于我国北方广大地区。

2. 深松耕对土壤水的调节作用

棉花等宽行距作物苗期隔行深松土具有促进降水入渗、增加深层蓄水、增强土壤对降水的调蓄能力,以及保水、提高降水利用率等作用。

具体做法:①打破犁底层,播种前采用机械深松。②采用牲畜套耕(一耕一松)。③行间深松上。

3. 免耕法对土壤水的调节

免耕法在我国东北黑土区和西北黄土高原区试验研究比较活跃,从试验研究看,免耕法对保蓄土壤水分、减少水土流失、增加养分的积累,提高土壤肥力等都有较明显的作用,并且有投入少、成本低的特点。但由于第一,耕作机械没有配套;第二,除草剂需要配套;第三,施有机肥问题;第四,栽培体系;第五,地下害虫防治等方面的问题,目前还没有推广。

四、雨水资源的开发利用

降雨是水循环的重要要素之一,它不但参与整个水循环的过程,而且降雨的多少,时空分布情况直接决定着一个地区的水资源的变化。降雨与农业生产的持续发展有着密切的关系。

(一) 雨水利用与农业持续发展

我国对雨水利用有着悠久的历史。如黄土高原等干旱半干旱山区和塬区人民,在同干旱作斗争的过程中,创造出了许多雨水利用技术,如土窑(窖)、大口井、坎儿井、蓄水塘和屋顶集水等供生活用水技术。除此之外,传统的耕作措施,如修筑梯田、休闲晒垡、粮草轮作等就地蓄雨措施,在农业上也发挥了很大的作用。但由于降雨和农作物的生长期不完全同步,这些措施仍未摆脱农业生产“靠天吃饭”的局面。从80年代始,在我国甘肃、宁夏、陕西、山西和内蒙古等省区,相继开展了雨洪利用的集雨工程技术的研究,取得了较理想的效果,为农业生产的发展和人民生活水平的提高,开拓了新局面。

(二) 集雨工程技术

1. 雨水的汇集

西北干旱半干旱地区,由于降雨分配不均,利用率很低,约为降雨量的30%~40%,降雨生产效率仅为 $0.3\sim0.6\text{ kg/m}^3$,60%~70%的降水以地面径流和无效蒸发的方式损失,雨水利用的潜力很大。在西北地区人口密度小,人均土地较多,且多为丘陵坡地,坡度大于7°的坡地占土地面积的55%,这就给建造雨水汇集场提供了有利条件。

雨水汇集场地的选择,要考虑当地的地形、土质和植被等自然条件。凡具有一定产流面的山坡、道路、庭院、场院和屋顶面都可以作为集水场,也可以人工修建集水场。为提高集流效率,可进行集水场的表面防渗处理。集水场面积的大小与当地降雨量的大小、集水的容积和集水场的表面植被有关,一般按下式计算:

$$F = (W/h)\phi \quad (5-4)$$

式中: F 为集水场面积, m^2 ; W 为集水量, m^3 ; h 为设计日最大降雨深, m ; ϕ 为径流系数,采用当地实验值。若资料缺乏,可参考下值:对于植被好的山坡地 ϕ 值可取 0.45~0.50;植被差的取 0.65~0.75;对于庭院、场院、土石路面等 ϕ 值可取 0.75~0.85;对于沥青路面等 ϕ 值可取 0.85~0.95。

2. 雨水的存储与净化

(1) 集雨工程形式。

1) 混凝土拱盖水泥窖。窖深 4.5~5.5 m,呈上粗下细的圆台形,上部最大直径 4.5 m,下部直径 3 m,容积 50~60 m^3 ,窖体用混凝土码眼和水泥砂浆抹面。窖口直径 1.8 m,采取土模就地预制,有混凝土肋盖和铅丝网混凝土上盖两种,并设有进水管和胶泥垫层。

2) 土窖。容积 $40\sim 50\text{ m}^3$ ，深 4.0 m ，上部直径 $4\sim 4.5\text{ m}$ ，底部直径 $3\sim 3.5\text{ m}$ ，窖体用水泥砂浆抹面或胶泥处理，窖顶利用自然土拱或灰土草泥抹面。

3) 窖(窑)，又分为混凝土拱窖和土拱窖两种形式。①混凝土拱窖的施工，先以地面开挖，修窖拱，再开挖窖池，从上至下进行池壁、池底的防渗处理。②土拱窖可利用天然陡崖，以挖窖的形式修成数米长的土窖，窖顶用灰土草泥面以防剥落，窖壁用水泥砂浆或胶泥防渗处理，窖窖容积可视当地土质情况而定，一般为 $20\sim 200\text{ m}^3$ 。

4) 砖拱窖：其基本尺寸同土窖，只是窖拱用砖砌成，施工时要注意做好砖座的基础、搭接和接缝处理，窖体用水泥砂浆抹面进行防渗处理。

(2) 集雨工程的配套设施。

1) 沉沙池：其大小由来水量决定，一般采用长 $2\sim 3\text{ m}$ ，宽 $1.5\sim 2\text{ m}$ ，深 1.0 m ，高于水窖进水口，距窖口 $2\sim 3\text{ m}$ 远，以防渗水造成窖壁坍塌。

2) 拦污栅与进水管：拦污栅设在高于沉沙池底 0.5 m ，进水管的前面。直对进水管进水处窖底，应设石板或混凝土板消能，以防水流冲坏窖体防渗层。

3) 窖口井台：一般高出地面 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ ，平时用井盖封闭，以防污物进窖池。

(3) 集雨工程的日常管理

1) 下雨前要清理好进窖(窑)的水路，下雨时要及时引水入窖(窑)，水蓄满后立即封闭进水口。

2) 定期清理沉淀池和水窖(窑)的池底，对采用粘土防渗材料的水窖(窑)，不得将水用完，以保持窖(窑)内湿润，防止窖(窑)壁干裂面造成防渗层脱落。

3) 用于生活用水的水窖，根据经验，必须建立在地面以下 5 m 或水深 6 m 以上，以保证水质符合饮用标准。

(三) 旱作农业提高降水利用技术

我国北方干旱半干旱地区降雨量在 $250\sim 400\text{ mm}$ 的地区不少，且降雨集中，为收集利用创造了条件。但由于地形较复杂和大多以户为单位建造存储雨水的水窖(窑)，目前水窖容积多为 $50\sim 60\text{ m}^3$ ，水窑容积多为 100 m^3 左右，因水源的限制，不可能用传统的地面灌水方法，某些节水灌溉方式难度也较大，除前述用秸秆覆盖、适水种植、增加降水入渗等方法外，搞微灌(包括滴灌、微喷等)较为适用，有的采用大水浇旱点浇，适用于贫困山区。

对于我国干旱半干旱地区大部分的荒坡山地来说，若大田粮食作物的滴灌定额按 $225\sim 300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，果树的滴灌定额按 $90\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 计，对一个 60 m^3 的水窖，可灌 0.13 hm^2 大田或 0.33 hm^2 果园，一个 200 m^3 的水窖，可为 0.33 hm^2 大田或 0.667 hm^2 果园 2 次关键水保浇 $2\sim 3$ 次关键水。这在我国各地有不少成功的事例。

第二节 劣质水处理与利用

“劣质水”通常是指水质不能满足农业用水的要求但加以处理可以利用的水，如城镇工业及生活污水、微咸水等。利用污水灌溉农田的经济效益和环境效益是十分明显的。它能够充分利用污水中的水肥资源，有利于农业生产；能够取得污水中的腐殖质，有利于改良

土壤；能够减轻水体的污染负荷，有利于保持良好的生态平衡。但是，如果污水灌溉使用不当，反而会导致作物减产、恶化土壤、传染疾病、破坏生态平衡，危害国家经济发展和人民的身体健康等。

鉴于污水灌溉农田会产生两种不同的后果，因此必须根据我国国情，努力探索经济有效、技术可行、节省能源的污水处理与利用系统，这对于防止环境污染、保护人民健康、改善生态系统、发展农业生产等具有十分重要的意义。

一、污水灌溉

我国各地利用城市污水灌溉农田自 1958 年试验推广以来，取得了很大的成绩，目前污水已成为城镇近郊灌溉用水的一个重要水源。城镇污水中大部分均含有一定的肥效，据有关资料统计，我国城镇污水中所含氮肥约为 26.7~90 mg/L（总氮），22~48 mg/L（氨氮），其中磷为 3.2~3.9 mg/L，钾为 5.2~40 mg/L。据统计，污水灌溉旱田一般情况下可增产 50%~150%，水稻可增产 30%~50%，水生蔬菜可增产 50%~300%。采用污水灌溉除节约肥料、增加产量外，在农业上还有节省劳力、改良土壤和提高土壤肥力的效能。只要灌溉水质控制得当，就可使贫瘠、板结、坚硬的土壤提高肥力，形成团粒结构。在缺水地区，污水更有抗旱救灾的重大作用。

（一）污水灌溉原理

在我国污水灌溉的农田有旱田和水田之分，其净化过程和作用也各不相同。

1. 污水灌溉旱田

污水灌溉旱田的净化过程是由表层的过滤截留、土壤团粒结构的吸附贮存、微生物的氧化分解与固化吸收、作物的吸收作用以及土壤颗粒的交换过程组成，并在这一系列过程中不断补充新的腐殖质，从而又促进污水的利用和净化过程。因此在农业污水灌溉中，污水的利用与净化是同时进行的，并且互为因果地结合在一起。

另一方面污水灌溉旱田应受到一定条件的制约。其一是对水质的限制，特别是对含有有毒物质的工业废污水，应在出厂前进行无害化处理；其二是对灌溉水量的限制，灌溉污水量不能超过作物需水量，否则会产生污水的大量深层渗漏，污染地下水，影响环境卫生等；第三是在雨季和作物非生长期，勿进行污水灌溉。

2. 污水灌溉水田

污水灌溉水田，其净化作用是由藻菌共生、大气复氧、作物吸收等几部分组成，净化效果较高。当污水在水田中的停留时间为 3~8 天时，水中的 BOD₅ 均在 20 mg/L 以下，最低可达 1~2 mg/L，DOD₅ 的去除效果达 90% 以上，有的甚至高达 98.9%，细菌总数去除率为 50%~96%。

表 5-1 我国若干农作物的污水灌溉定额

作物	灌溉定额 (m ³ /hm ²)
小麦	1500~2250
水稻	9000~15000
蔬菜	750~3000

（二）污水灌溉方法

灌溉制度是设计灌溉系统的基础，也是灌溉系统管理的主要依据。正确的灌溉制度，可以提高作物产量，充分发挥污水的水肥功效，同时还可以防止污染地下水和改变土壤肥效。几种农作物的污水灌溉定额见表 5-1。

污水灌溉水稻，应选用耐肥品种，调配水肥，间歇晒田。应根据水稻的不同生育期，合理调配污水浓度，使田块各部分水

肥分布均匀。采用间歇晒田措施,可提高地温,改善土壤通气条件,提高土壤微生物降解有机物的能力,并可促进作物生长。

污水灌溉小麦、玉米,应以污水作底水基肥,掌握好不同生长期的需肥量与需水量,并根据土地肥瘠、作物生长壮弱情况,确定灌水次数和灌水量,每次灌水后注意松土保墒。对呈盐碱性土壤,以少灌或不灌为宜。

污水灌溉蔬菜,应清水育苗,分散进水,配合基肥,控制灌水。种菜前应平整土地,先用污水作底水基肥,幼苗期不宜灌溉污水,注意避免心叶部分沾染污水,清晨及晚上宜于灌水,切忌炎热时浇水。叶菜类需肥量大,宜多灌,果菜类应少灌。蔬菜收获前10天和生食蔬菜,不宜用污水灌溉。

二、微咸水利用

国内外利用微咸水灌溉已经积累了很多成功的经验。据国外资料,突尼斯没有1 g/L以下的淡水。对砂壤土采用5 g/L或矿化度更高的咸水灌溉;对重壤土用2~5 g/L的微咸水灌溉。意大利利用2~5 g/L微咸水灌溉已有20余年历史,印度还研究利用稀释的海水进行灌溉。我国西北地区的宁夏、甘肃、陕西等地也都有利用微咸水浇地的历史和经验。近年来,在黄淮海平原综合治理试验区利用微咸水灌溉方面也取得了许多成功经验,如抽咸换淡灌溉、咸淡交替灌溉、咸淡混合灌溉等。各地实践证明,利用微咸水灌溉是可行的。

(一) 微咸水灌溉的方法

(1) 选择耐盐作物和非耐盐作物进行合理轮作。如先种棉花,再种小麦,再次种玉米或苜蓿等作物,在此基础上进行微咸水灌溉。

(2) 根据作物不同生育期采用含盐量不同的水分进行灌溉。如小麦或甜菜的生育初期,耐盐力较低,宜采用矿化度小于1.5 g/L微咸水进行灌溉,其他生育期采用矿化度大于3.5 g/L的咸水进行灌溉。

(3) 咸淡交替灌溉。交替时间和数量取决于含盐量、作物种类、耐盐力强弱、气候条件和灌水方式等。

(二) 微咸水灌溉的技术措施

(1) 在春秋两季控制地下水位。春秋两季土壤水分运行是以蒸发返盐为主,要把地下水控制在临界深度以下,截断或减少地下水对盐分的补给,控制土壤盐分上行是防治盐害的基本措施。

(2) 咸水浇地要适时。小麦返青期抗盐能力弱不宜浇咸水,小麦拔节后,抗盐能力增强,可用微咸水灌溉。

(3) 微咸水灌溉适于大定额灌水。灌水定额要大于 $900\text{m}^3/\text{hm}^2$,使渗入地下的重力水造成排咸淋咸的条件,可降低土壤的含盐量。

(4) 咸淡(碱性水)混浇水,搭配比例要符合灌溉水的要求。因浅层水的含盐量、pH值受季节和降雨的影响而升降,故在用水前要进行含盐量和pH值的化验,根据化验结果进行比例搭配。

(5) 咸水灌溉后要及时中耕,控制土壤返盐。中耕松土切断土壤毛细管,使松土层的水分减少,控制下层水分蒸发,减少盐分向地表聚集。

第三节 农业水资源的联合利用与管理

随着人口的增长及国民经济的发展,水资源的供需矛盾愈来愈尖锐,因此,联合运用地面水和地下水资源的重要性逐渐为更多的人所认识。实践表明:地面水和地下水的联合运用不仅可以增加水资源的利用量,同时还可以使其他农业生产条件得以改善。合理开发利用地下水,可以有效地调节控制地下水位,防止在纯渠灌区地下水位恶性上升,造成渍渍成土壤次生盐碱化,防止在纯井灌区地下水超采,地下水位急剧下降,形成大面积的地下水降落漏斗。井渠结合一方面可以为农业提供灌溉水源能扩大灌溉面积,提高灌溉保证率,另一方面可以兼起排水作用。在许多干旱、半干旱地区,利用地下含水层调蓄地表水,极大地调节了水资源在时间分布上的不均匀性,有利于提高供水保证率,甚至还能减轻下游地区的洪涝灾害。即使在水资源较为充沛的地区,从经济、环境角度讲,也存在着地面水、地下水的合理开发利用问题。总之,地面水、地下水联合开发的最优规划以及最优调度,现在已得到了各级水利部门的重视。

一、地面水与地下水联合运用基本原理

地面水与地下水联合运行是根据地下水和地表水的动态特征,利用含水层空间的调蓄能力进行的。图 5-2 为河川径流量与地下水径流量在典型水文年的过程曲线。河川流量动态变化大,而地下水径流量则较稳定,而且后者的流量高峰期要比前者滞后一段时间,这些特征就为二者的联合运用提供了条件。

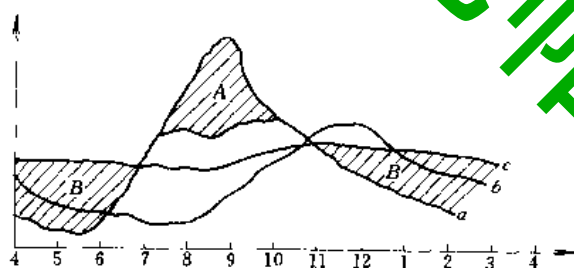


图 5-2 河川径流量与地下水径流量过程曲线
a—河川径流量动态曲线; b—地下水径流量动态曲线;
c—地面水与地下水联合调度的理想曲线

地面水与地下水联合运用的方式是:在枯水期(或干旱年份)地表水供水不足的情况下,要适量开采地下水来补充供水量 B,并且腾出地下含水层储水空间。在丰水期(或丰水年份),充分利用地表弃水 A 进行地下水人工补给,以补偿枯水期已超采了的地下水量。这样,地面水与地下水联合运行的结果将产生由地面水和地下水(包括由弃水回灌而产生的地下水人工补给量)组成的有保证的稳定供水量,并形成由弃水补给地下水的可利用的水资源增量。

应该注意的是,地表弃水 A 对地下水的人工补给量取决于弃水量的多少、渗漏补给或人工回灌的能力,以及含水层储水空间的大小。因此,如果弃水量大,入渗补给条件好,加上含水层储水空间足够大时,充分开发地下库容可以起到水资源多年调节的作用。

二、水量调配原则

地面水与地下水联合灌溉系统是由互有水力联系的地面水及地下水两种水源供水,组成一个灌区。地面水的年际、年内变化较大,但管理方便,灌溉成本低。地下水有水量较稳定、就近供水之优和灌溉成本高之弊,故可联合成灌溉系统,取长补短。调配原则必须是充分优先使用渠水(地面水),而以井水(地下水)作为灌区用水之补充,这样,可以降

低灌区的总灌溉成本。当地下水接近灌溉临界水位时，应及时抽取地下水灌溉，使之地下水位降低，有利农作物生长。

地下水的开采量，必须与地下水的补给量相适应，过量开采，将导致地下水位骤降、地面水下沉。因此，联合系统中应将地面水、地下水统筹安排，合理利用，注意有计划地将地面水（余水、弃水）进行人工回灌，以补充地下水源。

三、地面水与地下水联合系统的数学模型

地表水与地下水联合运用，就是在考虑地表水、地下水各自水文规律及相互作用的基础上，合理利用地表及地下水量，以满足区域经济发展及环境要求，并产生较大的经济效益。每一个联合运用优化模型都是针对具体的地表水、地下水联合运用问题而提出的。这种系统优化决策的数学模型无论是规划性质，还是运行管理性质，根据所采用的优化方法，可大致分为线性规划模型、非线性规划模型、动态规划模型、模拟模型、随机模型、大系统优化及多目标决策模型、模拟决策模型、网络模型、决策支持系统及其他改进模型（图 5-3）。各种模型的适用范围及优缺点见表 5-2。

上述各种模型都有其使用范围和适用条件，在具体应用上述模型时，应当根据所研究问题的性质，具体问题具体分析。

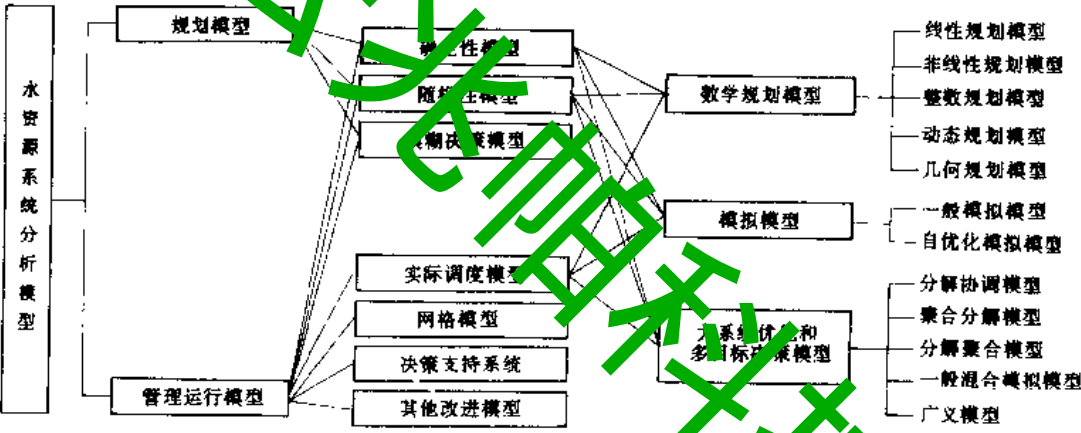


图 5-3 水资源系统分析现有模型一览表

表 5-2 各种模型的适用范围及优缺点

数学模型	优 点	缺 点	适 用 范 围
线性规划模型	简单，有通用求解方法及程序	仿真性差	仅限于目标函数和约束条件为线性的问题
非线性规划模型	能处理不可分目标函数和非线性约束问题	复杂，收敛慢无通用求解方法	适用广泛
动态规划模型	理论简单，可求解多阶段决策过程的最优策略问题	无通用解法，当变量个数太多时，易出现“维数灾”	离散性问题，多阶段决策过程
模拟模型	仿真性好，能求解比较复杂的优化问题	计算过程复杂，无法找到最优解，只能寻得较好的解	复杂的优化问题，数学规划无法解决的问题
大系统优化模型	简化复杂性，减少维数，充分利用现有模型，模型较逼真，可用于静态及动态系统	收敛性差，对随机入流的考虑有困难	大规模优化问题

续表

数学模型	优 点	缺 点	适 用 范 围
多目标决策模型	可求解多个目标,且目标间或是缺乏统一度量单位,或存在相互矛盾的优化问题	无最优解,只有满意解或最佳均衡解,方法有待进一步完善	多目标决策问题
模糊决策模型	可求解目标、约束及决策存在模糊性等问题	隶属度、隶属关系的确定较困难	模糊决策问题
网络模型	通用、灵活,能提供各种决策信息	计算较为复杂,方法有待完善	水库群优化调度问题
决策支持系统	仿真性好并能充分利用已有的知识和经验	计算较为复杂,操作要求较高	非结构或半结构化的问题

第四节 水 源 保 护

一、水污染及其危害

(一) 水污染类型

水污染是指排入水体的污染物在数量上超过了该物质在水体中允许的环境容量。水污染分为以下五种类型。

1. 水体的物理性污染

水体的物理性污染是指水体在遭受污染后,水的颜色、混浊度、温度、悬浊物以及泡沫等方面产生变化,这一类污染往往给人们以感官性的认识。

2. 酸、碱、无机盐类的污染

酸、碱水体的污染,除工业废水排放外,雨水清洗污染空气中的二氧化硫,产生酸雨也会污染水体。而酸性废水与碱性废水相互中和产生各种盐类,它们与地表物质相互反应,也可能生成无机盐类,因此,酸和碱的污染必然伴随着无机盐类的污染。

3. 氮磷等植物营养物质对水体的污染——富营养化

含氮化合物在水体中的转化分两部进行,第一步是含氮化合物(氮白质、多肽、氨基酸和尿素等有机氮转化为无机氮中的氨氮,第二步则是氨氮的亚硝化和硝化,使无机氮进一步转化,此后水中的无机氮化合物即以稳定的硝酸盐形式存在。

水体中的可溶性磷很容易与 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等离子生成难溶性沉淀物而沉积于水体底泥中,沉积中的磷,通过湍流扩散作用再度释放到上层水体中去,或者当沉积物中的可溶性磷大大超过水中磷的浓度时,则可能再次释放到水层中去。

富营养化是湖泊分类和演化的一种概念,是湖泊水体老化的一种自然现象,通常情况下,湖泊由贫营养湖发展为富营养湖,进一步又发展为沼泽地和干地,需时几万年甚至几十万年,但如果氮磷等植物营养物质大量而连续地进入湖泊、水库以及海湾等缓流水体,将促进各种水生物的活性,将大大地促进这一进程。

4. 重金属等有毒物质对水体的污染

重金属与一般耗氧的有机物不同,在水体中不能被微生物降解,只能产生各种形态之

间的相互转化以及分散和富集。在地表水体中，重金属化合物的溶解度很小，往往沉积于水底，而沉积在底泥中的重金属是一个长期的次生污染源，它们逐渐向下游推移，扩大污染面，而且每到汛期，径流对河床冲刷力增强，底泥中的重金属随底泥进入径流，重金属浓度增高。同时重金属在微生物的作用下，能够转化为毒性更大的化合物。

5. 有机物的污染

有机污染物进入水体，水中能量增加，如其他条件适宜，微生物必将得到增殖，有机物得到降解，从而消耗了水中的溶解氧。如果排入水体中的有机物在数量上超过水体环境容量（即自净能力），会大量夺去水中的溶解氧，当溶解氧完全消失或其含量低于某一限值时，就会影响到这一生态系统的平衡，甚至能使其遭到完全破坏。

(二) 水污染危害

(1) 水温升高能够加大水中有毒物质的毒性作用，降低水中溶解氧的含量，同时对鱼类的影响也特别显著。

(2) 水体被悬浮物污染，会大大降低光的穿透能力，减少了光合作用，同时也妨碍了水体的自净作用，且会使溶解氧含量大为降低，它还会成为各种污染物的载体。

(3) 酸碱污染水体，会使水体的 pH 值发生变化，破坏自然缓冲作用，消灭或抑制微生物生长，妨碍水体自净，增加水中的无机盐类和硬度。

(4) 水体富营养化的结果，将使藻类占据的空间越来越大，种类逐渐减少，并造成水中溶解氧的急剧变化，严重影响鱼类的生存。

(5) 地表水体中的重金属可以通过食物链，成千上万倍地富集，而达到相当高的程度。当水体中游离氰(CN⁻)含量达到 0.3~0.5mg/L 时，便可使鱼类中毒死亡，当灌溉水中氰含量超过 0.5mg/L 时，不能用于灌溉农作物。

(6) 有机物是水体的重要的污染物质。当有机物的排放量超过水体的自净能力时，就会影响到这一生态系统的平衡，甚至能使其遭到完全破坏。

(三) 污水灌溉的负作用

1. 污水灌溉对土壤质地的影响

城市污水含有大量的有机物和悬浮固体物质，当这些物质进入田间后，随着下行水的移动，逐渐沉积于土壤中，造成土壤孔隙堵塞。据观测资料（表 5-3），未经污水灌溉的土壤（简称清土）和已污水灌溉 20 年的土壤（简称污土），同时用清水和污水进行对比灌溉。田间试验表明，污灌比清灌气相率减少 15.4%；室内试验则减少 25.7%。由于气相所占的比例偏低，导致土壤透水通气减弱，处于缺氧状态，使作物根系发育不利，出现有机质下移现象。同时，长期污水灌溉（简称污灌）还会改变土壤微结构和吸水作用，以至改变土壤的含水状况等。

表 5-3 污水灌溉对三相物质组成比例的影响

试 验	田 间 (污 土)				室 内 (清 土)			
	总孔隙度	固相率	气相率	液相率	总孔隙度	固相率	气相率	液相率
污 灌	47.2	52.8	6.6	40.6	50.4	49.6	6.5	43.9
清 灌	48.2	52.2	7.8	40.0	51.1	48.9	8.7	42.4
污灌比清灌	-1.3	+1.2	-15.4	+1.5	-1.4	+1.43	-25.7	+3.5

10⁴ t.这些情况说明,防止土壤侵蚀是当前土壤资源利用中急待解决的问题。

2. 土壤肥力减退

目前世界上共有可耕地 $30.66 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 约占地球陆地面积的 $1/10$ 左右, 其中 50% 左右已开垦。由于可耕地分布不均匀, 不少国家和地区几乎没有扩大耕地的可能性, 而这些耕地中不少属于产量低的土壤, 由于自然和人为的原因, 许多耕地土壤肥力不断下降, 只有靠不断的增施化学肥料等, 才能维持或增加粮食等作物的产量。世界先进国家在 60 年代与 70 年代肥料用量的比较见表 5-5, 其中氮、磷、钾用量各国均大幅度地成倍增加, 但作物的产量却远远低于其增长的幅度。

表 5-5 世界先进国家 60 年代与 70 年代肥料用量比较

国 家	1961~1962 年至 1965~1966 年平均值 (kt)			1972~1973 年平均值 (kt)			1972~1973 年农地肥料 养成用量 (kg/hm ²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
加拿大	152	252	119	440	465	180	24
芬 兰	79	113	91	182	173	144	185
波 兰	358	287	397	979	782	1285	201
瑞 典	134	112	94	233	150	186	171
美 国	3922	3009	2460	7565	4601	4002	85
前苏联	1466	1090	1148	5624	2599	3233	49

我国耕地面积仅占土地总面积的 $1/10$, 为世界耕地面积的 $1/15$ 。在 $3.07 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 水稻面积中低产土壤占 $1/4$ 左右, 其中排水不良, 耕地甚差及积盐、污染的低产土壤各占 $1/3$ 。有的耕地虽愈种愈肥, 但不少耕地的肥力却不断下降, 我国每年仅水土流失的土壤相当于全国耕地被剥去 1 cm 厚的肥土层, 营养元素大量损失。例如, 东北地区初垦的黑土, 有机质含量 7%~10%, 但开垦不到百年, 土壤有机质已下降到 3%~4%, 有的甚至仅 2% 左

星光科技

星光科技

星光科技

星光科技

化的威胁。

我国治理沙漠的工作虽取得了很大成绩，固定和改造了不少沙漠，但由于滥垦、滥伐，以及上游盲目建设水利工程等不恰当的经济活动，使土壤沙漠化发展很快，30多年来，我国沙漠面积从 $6.7 \times 10^7 \text{hm}^2$ 扩大到 $1.3 \times 10^8 \text{hm}^2$ ，几乎扩大了一倍，占全国土地面积的13.6%。目前我国沙漠化还在以每年约 $6.7 \times 10^5 \text{hm}^2$ 的速度扩展着。仅鄂尔多斯高原近十年来，沙漠化面积达 $6.7 \times 10^5 \text{hm}^2$ 以上，青海的沙漠化面积扩大了23%。土壤沙化后，形成沙丘不断挺进，侵占农田，威胁交通与村镇。因此，防止土壤沙化，是世界上土地资源利用与保护中所面临的重大问题之一。

三、土地资源的合理利用与保护

合理开发利用某一地区的土壤资源，并对已存在的问题进行整治，研究其理论原则和措施，有助于建立合理的地域经济结构，恢复其生态平衡，使土地资源永续利用。土壤资源的合理利用与保护，应考虑以下的原则和措施。

(一) 土地资源合理利用、保护与整治的原则

1. 需贯彻因地制宜的原则

我国幅员辽阔，地理条件相当复杂，世界上主要的土壤类型在我国均有分布，且具有明显的地带性规律，因此对土地资源的开发利用与整治需贯彻因地制宜的原则。东部人口稠密，生产条件较好，生产较发达，西部则相反，为生产落后的牧业区，其间的半干旱、半湿润地区则为农牧过渡区。因此，因地制宜地开发利用土地资源是一个重要的原则。

2. 要遵循综合性原则

土地资源一般经受各种自然地理条件的综合影响，如何合理利用还受社会经济条件和技术条件的制约。如自然地理条件只为土地资源的多种类型提供了一种可能性，但地区的生产力发展水平、水利设施和其他物质基础都会影响土地利用的方式、方向和程度。因此，对土地资源开发利用进行治理时，既要考虑土地资源本身的自然属性，不利和有利的因素；又要考虑目前生产力水平对土地资源的改造能力和利用程度。

3. 要遵循生态学原则

由于对保护生态平衡长期缺乏科学的认识，近几十年来，土地资源受到相当严重的破坏，土壤生态系统的衰退和土壤质量的下降，给农业生产和人民的生活带来了不良的影响。因此，遵循生态学原则，协调生态平衡，讲究社会效益，改造和治理低产土壤，创建新的农业土壤生态系统是利用和治理改良的重要原则之一。

(二) 合理利用与保护土地资源的主要措施

1. 严格控制人口增长

控制人口增长与土地资源的合理开发利用与保护是一个问题的两个方面。为了解决吃饭问题，迫使人们扩大耕地，尽量提高单位面积产量。而扩大耕地的途径就是毁林开荒、围河、湖滩造田、开垦荒地等，其结果是使水土流失加剧，森林草场等资源遭受破坏，生态平衡严重失调。此外，住房、交通、卫生及其他公共服务设施等发展也难以满足人口急剧增长的需要，从而也大大加速了对土地资源的破坏。可见，一个地区土地资源的合理开发利用与保护，以及整治工作，应严格控制人口的增长，减轻对土壤资源的压力是首要条件。

2. 加强科学管理严格控制森林采伐量

森林的采伐不能违背自然规律。我国及世界其他国家和地区这方面的教训是极其深刻的。因此,对森林应合理采伐,使之永续经营,以发挥林区在水源涵养、保护土壤、保障农业生产的重要作用。我国热带和亚热带地区还有一些荒山荒坡,约占全区面积的1/4,可供多种经营之用。江南丘陵地区以发展林、果、茶、桑、麻和多年生牧草为主,西部山地以林木为主,热带山丘地区700m以下的丘陵以种橡胶、咖啡为主,700~1000m的丘陵土以种茶叶及油茶为主,1500m以上的山地主要发展多种用材林,合理实行多种经营,综合布局经济林,对发展经济、保持水土具有双重作用。

我国黄土高原地区占地60多万km²,水土流失极为严重,防止水土流失应实行“流域治理,农林牧并举,坚持改土、造林、种草相结合”的方针。对防止水土流失,采取了各种综合防治的途径,取得了巨大的成绩,收到良好的经济效益。如采取治山与治水相结合、治沟与治坡相结合、工程措施与生物措施相结合、田间工程与蓄水保土耕作措施相结合、治理与利用相结合、当前利益与长远利益相结合等。首先在水利工程措施上,实行“拦、排、放”相结合,以控制重点流失区的泥沙来源。同时,采取积极保护土壤资源的各种措施,如严禁滥砍滥伐,制止陡坡开荒,防止乱铲草皮等。总之,整个水土流失的防治,必须以土为主,水土林综合治理,从而提高土壤肥力及生产力。

在我国南方的湖南省开展以植树造林为主的综合治理,取得了成效,其具体的做法是以植树造林、封山育林育草、保护和恢复自然植被为主,结合采取适当的工程措施,在水土流失特别严重的地区,因地制宜地挖沉沙地,以削减地表径流,在沟底修谷坊,沟岸筑埂,防止冲刷。水土流失情况随坡度、坡长的增加而加重,因此应以治坡为主,首先要恢复坡地植被,减轻地表径流冲刷量,对于25°以上的坡地,只能营林,不可开垦种植粮食作物。以上都是当前防治水土流失,合理利用土地资源的有效措施。

3. 采取综合性措施防止土壤沙化和盐碱化

沙漠化实际上是干旱及半干旱地区在人为影响下,生态平衡遭受破坏,从而引起土壤退化的现象。因此,在沙漠化的治理上,应与区域性的环境保护与合理利用结合起来,采取综合性的措施,进行针对性的治理。应确定牧场生态系统的载畜量,估算各种草场类型的最适放牧率和轮牧期,同时还应计算一定面积上的牲畜单位数量,这不仅在于提高其生产力,同时还要考虑干旱时牧草的储备量,确定各类草场的最适利用的界限,以防止牧草退化。

盐碱土是我国分布面积很广的土壤,大都分布在平原地区,如能采取有效措施清除过多盐碱,改良土壤,就可以充分发挥土壤的潜在肥力。

盐碱地改良的主要措施有:①水利改良措施,主要包括排水、灌溉洗盐、引涝放淤。其中排水是一项带根本性的措施。②农业技术改良措施,主要包括种稻、平整土地、耕作客土、施肥等。③是生物土壤改良措施,主要是植树造林、种植牧草、绿肥等。④化学改良措施,即采取施用石膏及其他改良物可收到较好的效果。

4. 对土壤资源全面规划合理布局

为了正确处理好经济发展与土壤资源、生态平衡之间的关系,使生态效益和经济效益结合,必须通过对土壤资源的全面规划、合理的生产布局,对农村的产业结构进行合理的

调整,旨在确定最适合的土壤利用方式,包括农、林、牧业建设及其他用途等,这是土地资源合理利用与整治工作的重点。

四、土地环境污染及其防治

(一) 我国土壤环境污染现状与发展趋势

我国是正处于经济腾飞时期的发展中国家。随着我国工业的迅速发展,工业“三废”排放量日益增多,尽管采取了各种防治措施,但是处理率和达标率仍然很低,因此,我国受污染的土壤面积在一天天扩大。据统计,1980年全国工业“三废”污染农田266.7万 hm^2 ,1988年增加到666.7万 hm^2 ,而1992年全国遭受不同程度污染的农田面积已达1000万 hm^2 ,每年损失粮食120亿 kg 。其中污水灌溉污染农田330万 hm^2 ,大气污染农田约350万 hm^2 ,固体废物堆存侵占农田及垃圾、污泥农用不当污染农田90万 hm^2 。值得注意的是我国乡镇工业在取得较好效益的同时,也对土壤环境造成了很大的污染。据统计,1992年全国乡镇工业排放工业废水约18.3亿 t ,废气约12200亿 m^3 ,工业废渣约1.15亿 t ,虽然其量只占全国“三废”总量的10%左右,但在乡镇工业发达地区,局部污染是十分严重的。

据调查:①凡未经处理直接将城市污水灌溉农田的地区,或虽经简单处理而未达标的污水直接灌溉农田的地区,土壤和作物均受到了不同程度的污染,污灌区人民各种疾病在增加。其中污染危害比较严重的是重金属镉和汞的污染,有些地区居民已经出现“骨痛病”的象征。②在我国,城市的工业污染还在不断地向农村转移,那些在大城市因污染严重无法存在下去的工厂,正在以多种渠道向农村迁移,如果不能及时扭转这种趋势,那些土壤环境的污染将日趋严重。③农药、化肥及农用地膜的大量使用对土壤环境的污染也不能低估,虽然农药、化肥、农用地膜的使用,在保障农业高产丰收上起到了重要作用,但是不合理地施用化肥、农药,或使用农膜,不注意回收任其大量残留于土壤中,必然会给土壤环境带来污染,这在我国已成为严重的环境问题。

总之,我国土壤环境污染问题,局部地区有所改善,而从总体来看形势严峻,某些地区的污染则相当严重,特别是我国农村幅员辽阔、环境容量大以及农业环境问题的长期性掩饰了问题的严重性、紧迫性,妨碍了人们对农业环保的正确认识。很显然,深入研究各种环境污染物在土壤环境中的迁移、转化、降解、残留等行为特征和变化规律,探寻经济合理、有效的综合防治措施,加强立法与管理,创造出一个更加清洁的农业环境,保护土壤资源,保护人类自己,乃是土壤环境保护工作者的一项伟大而艰巨的历史任务。

(二) 土壤环境污染及其防治

土壤环境中污染物的输入、积累和土壤环境的自净作用是两个相反又同时进行的对立、统一过程。在正常情况下,两者处于一定的动态平衡状态,当土壤环境中所含污染物的数量超过土壤自净能力或当污染物在土壤环境中的积累量超过土壤环境基准或土壤环境标准时,即为土壤环境污染。土壤环境污染物根据其性质可大致分为无机污染物和有机污染物两大类。无机污染物主要有重金属(汞、镉、铅、铬、铜、锌、镍),以及类金属(砷、硒等)、放射性元素(铯¹³⁷、锶⁹⁰等)、氟、酸、碱、盐等。其中尤以重金属和放射性物质的污染危害最为严重。有机污染物主要有:人工合成的有机农药、酸类物质、氰化物、石油、稠环芳烃、洗涤剂,以及有害微生物、高浓度耗氧有机物等。其中尤以有机氯农药、有机汞制剂、稠环芳烃等性质稳定不易分解的有机物,在土壤环境中易累积,造成污染危害。

1. 重金属污染土壤环境的防治

土壤重金属污染的调控与防治包括两方面的任务。一方面是“防”，与水体的重金属污染相比，尽可能的防止土壤环境重金属污染显得更为重要；另一方面是对已被重金属污染的土壤进行改造、治理，以消除污染或调控限制其危害。具体防治措施有：发展清洁工业，严格执行灌溉水质的污泥施用标准，提高土壤的缓冲性和自净能力，加强土壤水分管理，施用改良剂、换土法和水洗法、电化法、利用植物吸收去除重金属、加强土壤环境及其生产产品的监测等。

2. 农药污染土壤环境的防治

当前各国为控制和减轻农药污染采取的主要措施如下。

(1) 加强管理。主要采取建立农药登记注册制度、制定农药的禁用和限用范围、制定农产品（包括食品）中农药的最大允许残留量、合理施用农药等措施。

(2) 大力开发高效低毒、安全性农药。

(3) 采用综合防止措施防治病虫害。

(4) 改进农药制剂的剂型及喷洒技术。

(5) 其他治理方法。

3. 其他物质对土壤环境污染的防治

土壤环境的有机污染物虽然以有机农药为主，但是，石油和其他有机物，包括天然和人工合成的有机物对土壤污染也不能忽视；另外，土壤环境中的氟危害也值得注意。

第六节 多种水源联合调度与管理实例

北方某中型渠灌区，总面积 60 km^2 ，灌溉面积 3600 hm^2 ，最高达 3880 hm^2 。灌区可利用的水源：一是泉水（自流水）；二是小泉水、汇集入小型库塘的灌溉回归水、雨水和零星泉水；三是浅层地下水。灌区水利设施有小（一）型水库 3 座，塘坝 13 处，小水池 32 个，总容量 660 万 m^3 ；有干渠 9 条，支渠 72 条，全部衬砌；有可用水井 112 眼，小型泵站 24 处。灌区渠系水利用率 74%，灌溉水利用率达 60%。主要种植作物为小麦、玉米、棉花。

该灌区多种水源联合开发利用技术，主要从以下几方面开展工作：灌区水资源评价、灌区节水型技术改造、灌区水资源统一管理、统一调度对策、灌区自流水、小泉水、井水联合运用优化调度、灌区优化配水。

灌区多种水源联合调度优化模型，是在不同水文年型条件下，以灌区净效益年值最大为目标函数，以灌区主要作物小麦、玉米生育期可供水量为决策变量。

1. 水利设施概化

I 库——由泉池源、三座小（一）型水库组成。其运用方式是灌水季节由干渠直接引泉水灌溉，非灌溉季节，蓄水于三座水库，再引库水灌溉。年调蓄水量 $422 \sim 528 \text{ 万 m}^3$ 。

II 库——由灌区 6 座小水库，13 处塘坝和 32 个水池组成，每年可调蓄 $600 \sim 750 \text{ 万 m}^3$ 。

III 库——机井。灌区 112 眼机井构成第三种水源，每年可提取地下水 $312 \sim 420 \text{ 万 m}^3$ 。

2. 决策变量

以灌区主要作物小麦、玉米的生育期为划分时段，以每时段灌区三种水源可供水量为

决策变量, 见表 5-6 中。

表 5-6 决策变量表

作物 时段	小 麦			玉 米			棉花、其他			
	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
日 期 (日/月)	1/10~ 30/11	1/12~ 10/2	11/2~ 31/3	1/4~ 30/4	1/5~ 20/5	21/5~ 15/6	16/6~ 2/7	3/7~ 7/8	8/8~ 24/8	25/8~ 30/9
自 流			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
抽 水			X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
井 水			X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}

3. 目标函数

$$\max f(X) = \sum_{i=1}^4 \epsilon_i A_i \left[\left(Y_{im} \prod_{t=1}^n \left(\frac{W_{it}}{W_{im}} \right)^{\lambda_{it}} C_i + Y'_i C'_i \right) - (Y'_{0i} C_i + Y'_i C'_i) \right] - (C_1 + C'_1 + C'_2 + C_2 + C_3 + C'_3 + C''_3)$$

式中: $f(X)$ 为灌溉工程净效益年值, 元; ϵ 为灌溉工程效益分摊系数, 随水文年型而变; A_i 为第 i 种作物的种植面积, hm^2 ; i 灌区作物种类的序号 ($i=1, 2, 3, 4$); t 为划分时段序号 ($t=1, 2, \dots, 10$); Y'_i, Y'_{0i} 为第 i 种作物灌溉不灌溉的主副产品产量, kg/hm^2 ; C_i, C'_i 为第 i 种作物主副产品的单价, 元; Y_{im} 为充分供水时第 i 种作物产量, kg/hm^2 ; W_{im} 为第 i 种作物充分供水 t 时段最大耗水量或最大需水量, m^3/hm^2 ; W_{it} 为第 i 种作物 t 时段实际耗水量, m^3/hm^2 ; n 为作物全生长期划分时段数; C_1 为灌区自流水费用, 包括维修费、管理费, 由灌区实际资料求得, 元/ m^3 , 为决策变量 $X_1 \sim X_8$ 的函数; λ_{it} 为作物 t 时段对水的敏感指数, 由试验资料与经验求得; C_2 为抽水动力和管理费, 与抽水量有关, 为决策变量 $X_9 \sim X_{16}$ 的函数, 其单位用水量的费用可根据实际资料求得, 元/ m^3 ; C'_2, C''_2 分别为抽水站的年维修及大修折旧费, 由实际资料求得为 700 元/(台·年)、800 元/(台·年); C_3 为井灌水动力费和管理费, 与提取地下水量和水文地质条件有关, 为 $X_{17} \sim X_{24}$ 的函数, 其单位用水量费用根据实际资料求得, 元/ m^3 ; C'_3, C''_3 分别为井灌年维修费、大修折旧费, 为 300 元/(台·年)、150 元/(台·年)。

4. 约束条件

(1) 水量平衡约束。

1) 1 库, 见图 5-4。

当 $S_{1,t+1} > W_1 = 264 \text{ 万 m}^3$ 时

$$S_{1,t+1} = 0.465(S_{1t} + Q_{\text{泉},t} - Q_{\text{工业},t}) - 0.483X_t + 132$$

当 $S_{1,t+1} < W_1 = 264 \text{ 万 m}^3$ 时

$$S_{1,t+1} = 0.93(S_{1t} + Q_{\text{泉},t} - Q_{\text{工业},t}) - 0.966X_t + 132$$

式中: $S_{1t}, S_{1,t+1}$ 为 1 库 t 时段初、末蓄水量, 万 m^3 ; $Q_{\text{泉},t}$ 为 t 时段泉来水量, 为一常量, 万 m^3 ; $Q_{\text{工业},t}$ 为 t 时段工业用水量, 为一常量, 万 m^3 ; X_t 为各时段灌溉净水量, 万 m^3 。

图 5-4 中: DM_{1t}, D_{1t} 为 t 时段不经水库直接引水灌溉水量与由水库引水浇地水量, 万 m^3 , 为 $X_1 \sim X_8$ 的函数。据多的资料:

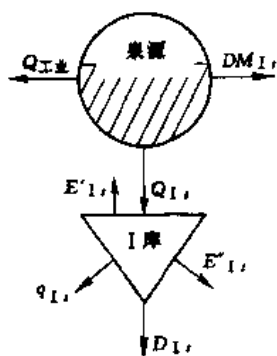


图 5-4 I 库连续性
约束示意图

$$DM_{1t} = 0.48(X_1 + X_2 + \dots + X_8)$$

$$D_{1t} = 0.52(X_1 + X_2 + \dots + X_8)$$

$E_{1t} = E'_{1t}$, E''_{1t} 为 t 时段 I 库水蒸渗损失量, 由实测资料 E_{1t} 为 I 库蓄水量的 7.2%。 $W_t = S_{1t} + Q_{1t}$, 故 $E_{1t} = 0.072W_t = 0.072(S_{1t} + Q_{1t})$

而

$$Q_{1t} = Q_{泉t} - DM_{1t} - Q_{工业}$$

$$q_{1t} = S_{1,t+1} - W_t = S_{1,t+1} - 264$$

式中: q_{1t} 为 t 时段 I 库泄水量, 万 m^3 ; W_t 为 I 库有效库容, 若 $S_{1,t+1} > 264$ 万 m^3 , 才会泄水。

2) I 库, 见图 5-5。

当 $S_{1,t+1} < 317$ 万 m^3 时

$$S_{1,t+1} = S_{1t} + Q_{1t} + q_{1t} - D_{1t}$$

当 $S_{1,t+1} > 317$ 万 m^3 时

$$S_{1,t+1} = 0.5(S_{1t} + Q_{1t} + S_{1,t+1} - D_{1t} + 27)$$

式中符号意义同前, S_{1t} 代表 I 库。

图 5-5 中, D_{1t} 为抽水量, 是 $X_{17} \sim X_{24}$ 的函数, 万 m^3 ; q_{1t} 为 t 时段 I 库泄水量, 万 m^3 , 为库容、时段 t 最小泉来水量、灌溉水量的函数, 即: $q_{1t} = f(W_t, Q_{1t}, D_{1t})$; W_t 为库有效库容, 317 万 m^3 ; $q_{1t} = S_{1,t+1} - 317$; E''_{1t} 为 t 时段 I 库的渗漏损失, 万 m^3 ; E'_{1t} 为 t 时段 I 库水面蒸发损失, 万 m^3 。

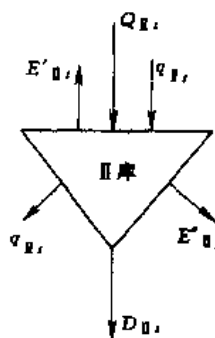


图 5-5 I 库水量平衡
示意图

3) 地下水量平衡 (即 II 库)。取井灌面和包气带加以约束:

$$D_{2t} \leq D_{2,m}$$

式中: D_{2t} 为 t 时段井灌提水量, 为 $X_{17} \sim X_{24}$ 的函数, $D_{2,m}$ 为 t 时段机井最大提水量, 万 m^3 。

(2) 水库的条件约束。

$$Q_{1t} - DM_{1t} \geq 0; \quad D_{1t} \leq W_t; \quad D_{1t} \leq q_{1t}$$

(3) 水库的特性约束。

1) I 库 t 时段蓄水的上下限约束:

$$S_{1t} \leq S_{1,m}; \quad S_{1t} \geq S_{1,m}$$

式中: S_{1t} 、 $S_{1,m}$ 分别为 I 库的最大库容量与死库容, 分别为 264 万 m^3 和 15 万 m^3 。

2) I 库各时段蓄水的上下限约束:

$$S_{1t} \leq S_{1,m}; \quad S_{1t} \geq S_{1,m}$$

式中: S_{1t} 、 $S_{1,m}$ 分别为 I 库的最大库容与死库容, 万 m^3 。

(4) 来水平衡约束。

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^4 A_{ij} m_{ij} \geq \sum_{j=1}^3 D_{ij}$$

式中: D_{ij} 为 t 时段 j 种水源供给 i 种作物水量, 万 m^3 , 为变量 $X_1 \sim X_{24}$ 的函数; j 为水源编号 ($j=1, 2, 3$); A_{ij} 为 t 时段第 j 种水源 i 种作物的灌溉面积, 万 hm^2 ; m_{ij} 为 t 时段第 i 种作物 j 种水源的毛灌水定额 (充分供水时), m^3/hm^2 。

(5) 各种水源灌溉面积约束。

$$\sum_{j=1}^4 A_{ij} \leq A_{jM}$$

式中: A_{jM} 为 j 种水源控制的最大可灌面积, 万 hm^2 ; A_{ij} 为 j 水源 i 种作物的灌溉面积, 万 hm^2 。

(6) 灌区总面积 (A_M) 约束。

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^4 A_{ij} \leq A_M$$

(7) 各干渠输水能力约束。

$$Q_L \leq Q_{LM}$$

式中: L 为渠道编号; Q_L 为 t 时段 L 渠道的输水流量, m^3/s ; Q_{LM} 为 L 渠道最大输水能力, m^3/s 。

(8) 非负约束。

$$x_1 \dots x_{24} \geq 0$$

(9) 其他政策性约束。据灌区多年的实际经验, 小麦灌浆水、玉米的抽雄水须保证灌水。

5. 求解

将灌区气象、水文、水利工程、水文地质、农业技术、经济指标等基本数据代入目标函数和约束方程即可进行求解。

(1) 目标函数。

$$\begin{aligned} \max f(x) = & 0.698(X_1 + X_9 + X_{17})^{0.51909} (X_2 + X_{10} + X_{18})^{0.51909} \\ & \times (X_3 + X_{11} + X_{19})^{0.41341} (X_4 + X_{12} + X_{20})^{0.41341} \\ & \times (X_5 + X_{13} + X_{21})^{0.41341} (X_6 + X_{14} + X_{22})^{0.0769} \\ & \times (X_7 + X_{15} + X_{23})^{0.22551} - 0.0290(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7) \\ & - 0.0170(X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15}) - 0.02400 \\ & \times (X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23}) - 71.57 \text{ (万元)} \end{aligned}$$

(2) 约束方程。

将已知数据代入约束方程, 共得方程 99 个, 经整理分析, 有效约束 $p=50\%$ 年份有 68 个; $p=75\%$ 年份有 69 个; $p=95\%$ 年份有 65 个, 因篇幅所限略。

编制计算机程序, 上机求解, 计算结果见表 5-7、表 5-8。

6. 成果分析

从表 5-7 可以看出, 灌区中等于旱年、干旱年、特旱年三种不同年型随着旱象的加剧, 年灌溉净效益增大, 这是符合生产实际的。

从表 5-8 可以提出, 灌区三种水源在不同作物及其不同时段的分化配水值 (这里以 75% 水平年为例)。若将此值用于指导灌区的用水管理, 就可获得 917.67 万元的年净效益, 从而值灌区的水资源发挥最大效益, 从根本上提高灌区的用水管理水平。

表 5-7 各水文年型作物产量及净灌溉效益表

水 文 年		项 目		
		面积 (hm^2)	产 量 (kg/hm^2)	净灌溉效益 (万元)
$p=75\%$	小麦	2880	4802.25	917.67
	玉米	2196	4067.7	
$p=50\%$	小麦	2880	4949.55	717.58
	玉米	2196	3206.7	
$p=95\%$	小麦	2880	3992.4	928.90
	玉米	2196	4351.65	

注 净效益中包括棉花及经济作物。

表 5-8 p=75 %年份电算成果表

项目 灌水量 (万 m ³) 时段	水												合计灌水量(万 m ³)											
	小 麦				玉 米				棉 花				其他作物				自流水		泵 站		机 井		合 计	
	自流 水	泵站 灌水	井水	小计	自流 水	泵站 灌水	井水	小计	自流 水	泵站 灌水	井水	小计	自流 水	泵站 灌水	井水	小计	灌水量 (%)	占总 量(%)	灌水量 (%)	占总 量(%)	灌水量 (%)	占总 量(%)	灌水量 (%)	占总 量(%)
一	73.56	34.67	17.34	125.57													73.56	5.38	34.67	2.54	17.34	1.27	125.57	9.19
二	86.82	40.93	20.46	148.21									7.27	3.41	3.41	15.17	94.09	6.89	46.10	3.36	23.69	1.72	163.08	11.96
三	40.66	70.62	52.46	163.74					5.083	8.83	5.823	19.74	5.17	3.23	15.67	3.88	84.62	6.19	61.52	4.50	199.15	14.58		
四	109.30	50.90	30.90	191.10									108.46	8.66	57.36	4.19	34.94	2.56	210.68	15.43				
五	116.60	34.20	20.90	171.70					13.95	4.25	2.61	20.81	12.73	9.04	5.68	27.43	10.48	47.52	3.48	29.17	2.13	219.65	16.08	
六													13.43	8.73	5.86	28.02	13.43	0.98	8.73	0.64	5.86	0.42	28.02	2.05
七													10.75	6.99	4.69	22.43	10.75	0.79	6.99	0.51	4.69	0.34	22.43	1.64
八					100.8	61.74	36.5	198.64	13.6	17.20	12.17	62.97	10.75	6.99	4.69	22.43	15.15	10.62	85.53	6.26	53.36	3.9	284.04	20.78
九					30.28	26.60	16.90	73.78					8.06	5.24	3.52	16.82	38.26	2.79	31.84	2.33	20.42	1.50	90.52	6.63
十													10.75	6.99	4.69	22.43	10.75	0.97	6.99	0.51	4.69	0.34	22.43	1.64
合 计			800.32				272.34				103.545				190.48		700.67	51.27	410.35	30.03	255.68	18.7	1366.69	100

注 1. 小麦面积 2880 hm², 产量 4802.25 kg/hm², 玉米面积 2196 hm², 产量 4067.7 kg/hm²; 棉花面积 212 hm², 产量 600 kg/hm²; 其他作物面积 2880 hm².
 2. 水量为净灌水量, 全年灌溉总用水量为 1366.69 万 m³.
 3. 水费中包括管理费、维修费及动力费, 共计 29.98 万元, 折旧费 11.49 万元.
 4. 灌溉净效益 917.669 万元.

第六章 节水灌溉区划

第一节 节水灌溉区划的性质与作用

一、节水灌溉区划在节水灌溉规划中的作用

节水灌溉区划和节水灌溉规划都是节水灌溉工程建设的前期工作，但工作上有先后之分，内容上也各有侧重。

节水灌溉区划是从摸清自然情况、分析自然规律出发，对不同地区的农业水资源开发条件、现有的农田灌溉现状、农业生产对发展灌溉的要求等进行深入的研究分析，并在此基础上划分不同的类型区，提出各区高效利用当地农业水资源的方向、战略布局和关键性措施，为制定节水灌溉规划提供依据。因此，节水灌溉区划是一个研究和认识农业水资源高效利用客观规律的过程。

节水灌溉规划是根据自然条件和农业生产发展的要求，研究一个地区如何高效地利用农业水资源，从技术经济论证入手，拟定近期发展目标和远景设想，着重于确定具体的节水灌溉措施、工程建设规模、以及人力、物力和投资的估算与投资来源分析，拟定工程建设程序实施方案。因此，节水灌溉规划是在认识农业水资源高效利用客观规律的基础上，研究采用何种措施来实现水资源高效利用的工作。

80年代末，我国总结了发展喷灌过程中的经验教训，水利部组织力量，编制了《中国喷灌区划》，根据地理位置、地形地貌、气候条件和主要喷灌对象将全国划分为10个一级区、35个二级区和103个三级区，并提出了各区发展喷灌的方向和适宜采用的形式。该《区划》的发布对指导各地喷灌的发展规划和计划起了重要的作用，很大程度上避免了以往发展喷灌过程中的盲目性，使我国喷灌技术的发展和喷灌工程建设走上了一条比较健康的道路。可见，节水灌溉区划是规划工作的重要组成部分，与规划工作相辅相成，都是决定一个地方发展节水灌溉时不可缺少的前期工作。

二、节水灌溉区划在水利区划和农业区划中的作用

节水灌溉区划是水利区划的组成部分，而水利区划又是综合农业区划的组成部分。因此节水灌溉区划必须遵循水利区划的一些原则，要与整个水利建设发展方向相一致，同时又要反映农业区划中对水利发展的要求。农业布局不当，必然导致节水灌溉措施不合理，而节水灌溉发展不遵循客观规律，也必然影响农业生产的发展。如有的地方以粮食作物为主，经济效益不高，农民投入能力较差，水资源又缺乏，本应发展雨养农业，但却不适当盲目地发展高效的节水灌溉技术，造成高投入低产出，节水灌溉工程难以巩固。有的地方本来地下水已开采过度，地下水位逐年下降，但为了增加农业产量，仍在扩大灌溉面积，采用节水灌溉技术措施的结果尽管减少了单位面积灌溉用水量，但总用水量却增加了，这种建立在破坏生态平衡基础上的节水灌溉，至今仍没有引起人们的足够注意。又如有的地方水资源比较丰富，农田灌溉用水十分方便，却不作充分论证，建设操作比较麻烦的节水灌溉

工程,农民积极性不高,工程效益难以发挥。这些都是违背客观规律的,必然要以失败告终。节水灌溉区划主要是根据农业气象、农业水资源条件、水利建设现状和农业生产发展要求等因素划分的,而综合农业区划则是根据土地利用要求、农业气象、农业种植和农业技术改良措施等主要因素制定。可见节水灌溉区划与综合农业区划关系密切,但由于侧重点不同,节水灌溉区划又保持了本身的特点。

节水灌溉区划是比水利区划范围更小的一种专业性农业区划,是直接为农业生产服务的。灌溉是发展农业生产的主要手段,节水灌溉是灌溉的一种形式。因此,节水灌溉区划必须服从水利区划中对灌溉发展的要求,只有需要灌溉的地方才有发展节水灌溉的可能性。从广义来说,节水灌溉区划是研究需要而又可能发展灌溉的地区,农业水资源高效利用的方向和发展模式;从狭义来说,是研究灌区节约灌溉用水、增产增收应采取的技术措施。

三、节水灌溉区划在国民经济发展中的作用

国民经济的发展和水利资源的利用息息相关。我国是一个缺水的国家,随着国民经济的发展,工业、农业和城市生活用水量都会迅速增长,而人口的增加又要求增加农产品的产量,从而要求灌溉面积亦随着增加。工业和城市生活用水与农业用水的矛盾将愈来愈突出,可以预见到下个世纪中国的水危机将愈来愈严重。如第一章所述,如果采用节水灌溉措施,将灌溉水利用系数在现有基础上提高0.1,则每年可节约380亿 m^3 灌溉水,相当于正在规划的南水北调中线工程年引水量的2.7倍,这对缓解我国水资源供需矛盾将起到重大作用。又如北京市郊区采取喷灌等节水灌溉技术措施,利用当地的地下水资源发展农田灌溉,保住了原有的灌溉面积,使密云和官厅两大水库的水全部供给北京市工业和城市生活使用,对北京市的发展起到很大支持作用。所以,搞好节水灌溉区划,摸清水资源家底,掌握农田灌溉发展情况,按照自然和经济规律拟定各地区农业水资源高效利用的方向和措施,对国民经济的发展有着重要的作用。

第二节 节水灌溉区划编制的内容及程序

节水灌溉区划是研究农业水资源合理开发与高效利用的重要手段之一,同属农学与水利工程学科,并涉及到地理、气象、作物、土壤、工程等诸多学科。其目的是通过调查研究揭示农业水资源分布及其利用条件方面的自然规律,判断各个地区因发展灌溉而引起的水资源紧缺程度,分析研究农业水资源高效利用的方向、应采取的方案和适宜的措施。

制定节水灌溉区划的一般工作程序包括:准备工作、基础资料的调查与整理、综合分析研究、确定分区、分区发展方向和模式、区划成果验收鉴定等6部分,各部分的关系和主要内容见图6-1。

一、准备工作阶段

节水灌溉区划的编制是一项跨学科、跨部门的综合性工作,其调查研究 and 实际工作任务面广量大,需要多部门通力协作才能完成。为此,应在正式开始工作前做好充分的准备工作,将其作为节水灌溉区划一项极重要的工作内容来对待。

1. 建立强有力的组织机构和工作队伍

节水灌溉区划工作的综合性、科学性和实践性很强,难度和工作量很大,需要水利、农

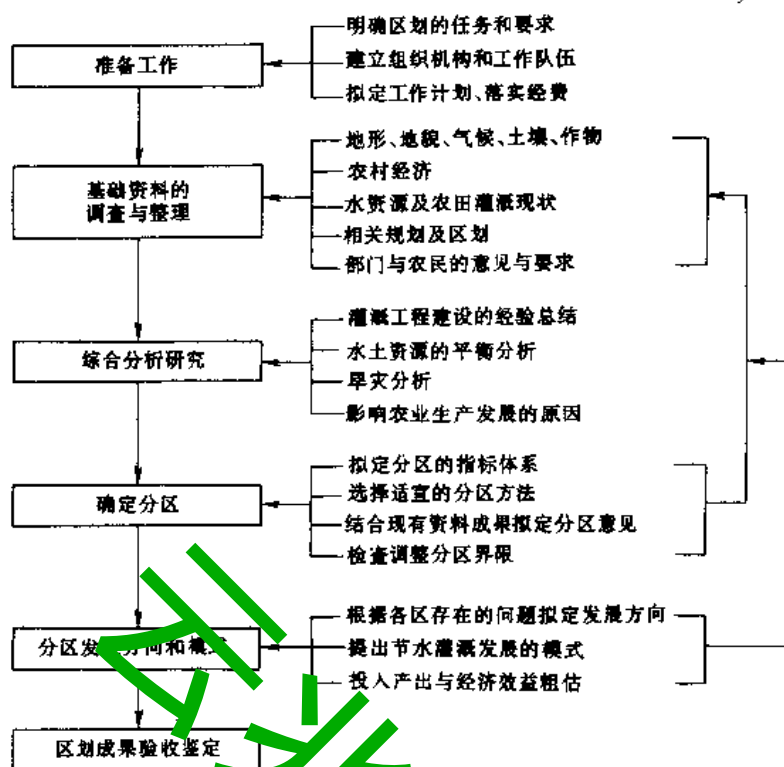


图 6-1 节水灌溉区划程序框图

业、气象、经济等部门密切配合，因此，应由主管这些部门的上级领导亲自挂帅。节水灌溉区划是水利区划的一个组成部分，和水利部门关系特别密切，在组织工作队伍时，应以水利部门为主，其他有关部门参加，这样有利于各项有关资料的取得，既可保证完成工作任务，又便于将来实施区划成果。

2. 认真选好技术负责人和编写成员

为了搞好节水灌溉区划这样一项实现农业水资源高效利用的重要基础工作，必须配备一支人才荟萃的专业队伍。关键要选好专业队伍的负责人，应选择热心区划工作、知识面广、熟悉节水灌溉情况、有较强组织能力和写作水平的技术人员担任负责人，最好过去曾参加过有关专业区划工作，已有过编写区划的经验。区划编写组的成员也应懂专业知识，熟悉情况，会调查研究，有一定的整理和分析资料的能力。

3. 拟定工作计划，落实经费

由区划技术负责人主持，编写组成员经过充分研究讨论，拟定节水灌溉区划工作计划，制定工作要点、规范和实施细则，明确工作人员的任务和要求。详细核算完成区划工作所需的经费、物质条件和生活服务等方面的要求，做出预算，报请区划领导部门批准。

二、基础资料的调查与整理阶段

基础资料调查与整理的内容，一般包括自然规律、社会经济、水土资源的潜力、灌溉设施以及部门与地方发展节水灌溉的意见和要求等方面。同时要充分了解区划工作必须涉及的问题和范围，并探讨解决问题的途径。

自然条件方面资料的获得包括地形、地质、气候、土壤等基本资料数据的搜集与调查。

社会经济方面的调查包括搜集土地利用、交通条件等经济地理资料,作物种类、种植比例、产量产值等农业经济资料,劳动力数量与素质、人均收入、乡镇企业利税等社会经济资料。水资源和灌溉现状的调查包括地表水和地下水开发利用条件、湖泊水库的调蓄能力、水资源总量及开发利用的潜力、水温水质情况、各部门的用水现状及发展趋势以及地区间或部门间有关水资源权利的规定和协议、灌溉面积和灌溉设施的功能与规模、经营管理的经验与教训、旱灾发生的原因和频次、受灾面积的大小与程度及防灾的措施和效果等项内容。

资料的收集和整理,除包括上述自然和社会经济方面的原始资料和已有工作成果外,还要包括各级政府部门的政策法令和国民经济发展的要求,如水法和农田基本建设及农业发展纲要等;业务部门的经验总结和规划设想,如流域规划和地区发展计划等;科研单位和教学单位的研究和建议。这些基础资料对于充实区划内容、完善区划方法和区划成果水平都是必不可少的。

资料搜集和调查的方法可采用搜集现有资料和实地调查相结合、传统调查手段与现代研究手段相结合的方法。现有的资料是前人经过辛勤劳动获得的,是区划工作的宝贵财富,在对其可靠性进行分析后要充分利用,这样可节省大量的经费和时间。但是,这些资料毕竟是间接性的,有些受当时的条件限制而不够完整和准确。因此,还必须根据需要和可能开展实地调查、典型调查,并总结群众经验以取得第一手资料,用于验证和补充原有资料,使分析论证的成果接近客观实际。传统的资料调查与整理以人工实地考察和手工作业为主要手段,花费的人力多、时间长,而且效率低。在我国目前的条件下,尤其是县级区划中,它仍是主要的方法手段。在有条件的地方,应选择采用如航空遥感技术、卫片(航片)判读、自动成图、应用计算机处理数据等新技术和新方法以大大加快资料搜集和整理的进程,提高区划的质量。

三、综合分析研究阶段

一个地区水土资源的数量和质量、开发利用的现状和潜力都直接影响到该区农业生产的发展,因此,必须对搜集到的有关水土资源的资料进行综合平衡分析。那些耕地资源丰富而水资源相对贫乏的地区,即是发展节水灌溉的重点地区。根据农业生产发展的要求,水土资源分布的特点,通过分析研究可以正确地选择适宜的节水灌溉方式。气候是影响节水灌溉发展的一个主要自然因素,应对气候资料做深入的分析研究,在干旱地区没有农业,灌溉是发展农业生产的主要手段,节水灌溉就十分重要。在旱灾频繁的地区,要研究旱灾的成因和发生规律,如旱灾常与作物的生长同步,则发展节水灌溉是缓解旱灾的一条有效途径。节水灌溉的最终目的是达到农作物增产增收,为此,需要将工程节水措施、农业节水措施和管理节水措施进行优化配套,发挥综合的节水增产效益。这就需要对影响当地农业生产发展的诸因素进行分析研究,为选择适宜的节水增产措施提供可靠的依据。

四、确定分区阶段

节水灌溉区划的分区必须根据调查搜集的资料和研究分析的成果,参考有关的区划和规划,以及长期生产实践中所形成的区划概念来进行。在分区前首先要根据节水灌溉区划的特点和要求,通过研究确定分区的指标体系。这个指标体系应有明确的概念或量化标准,而且所需的数据可通过调查、测定或计算等手段方便地取得。分区的方法要遵循“区别差异性、归纳相似性”的原则,即将分区指标相同或相似的地区纳入同一个区,各区之间应

在某些指标或某个指标上有显著的差别。当前可供选择的分区方法有多种，常用的有经验定性法、共区优选法、逐步判别分析法和模糊聚类法。在确定分区的过程中应参考有关的区划成果，特别是农业水利区划的成果，并根据行政区域调整最后的分区界线，绘制节水灌溉区划分区图。

五、拟定分区发展方向和发展模式阶段

分区确定后，应根据资料搜集和分析研究的成果，对各分区阻碍农业生产发展的主要问题进行论述，找出解决的途径以及今后发展的方向。针对存在的问题，根据农业生产发展的要求、水土资源利用现状和潜力、当地经济的承受能力、管理技术水平、各种节水灌溉技术措施的投入产出特点等，选择适宜本地区发展的节水灌溉模式。对于经济实力强、灌溉水源特缺的地区宜选择喷灌或微灌，如经济实力弱则可考虑采用简易的田间节水灌溉技术或节水灌溉制度。灌溉经济作物、果树、蔬菜等产值高的作物可考虑采用喷灌或微灌，灌溉大田作物宜选择渠道防渗或低压管道输水灌溉，渠灌区宜发展渠道防渗。高扬程灌区节水即是节能，宜选择喷灌或微灌。由于各种节水灌溉技术措施都有其最佳的适用范围，因此，在选择时必须因地制宜，进行多方案比较，切忌主观盲目、不按经济规律办事、不考虑当地条件或一味追求高新技术、追求降低投资等做法。

六、区划成果验收鉴定阶段

节水灌溉区划是为制定节水灌溉发展规划提供依据，指导某个地区发展节水灌溉宏观决策的重要文件。因此，必须取得政府主管部门的认定。为了保证区划成果的质量，可采取逐级评议审定验收的办法。区划成果完成后，应由主管业务机构报请主管领导部门组织各专业有关机构的专家评议，根据评议意见由主管业务机构修订审定，然后报上级主管业务机构审查，合格后即可邀请有关专家进行验收鉴定，写出验收鉴定意见。

在验收节水灌溉区划成果时，应掌握标准：①要基本查清所在区域的农业资源并做出切合实际的评价。②要对区内的地域差异进行比较透彻的研究分析，准确地划分出不同类型的节水灌溉区。③能提出符合实际的合理保护和利用水土资源、调整农业结构和布局、发挥节水增产效益的建议。④能对当前农业节水增产的关键措施及今后发展途径提出切实可行的方案。

第三节 节水灌溉区划的分区

一、分区的原则和依据

我国各地在发展节水灌溉的自然和经济条件、农林牧各业的发展和布局以及各种农业技术措施等方面都存在着明显的地域差异性。同时，所有这些方面又互相联系，互相影响，同时并存于一定的地区，从而形成各地区发展节水灌溉的不同特点。为了揭示各地节水灌溉发展的区间差异性和区内一致性，必须科学地划分出不同的节水灌溉区，阐明分区特点和发展优势，提出各区发展方向，以此作为发展宏观决策、分类指导和制定节水灌溉发展规划的科学依据。因此，节水灌溉区划必须建立在符合客观规律与现实条件的基础上，按照“归纳相似性，区别差异性，照顾行政区界”的原则进行分区。

根据节水灌溉区划的目的和要求，具体的分区原则一般应考虑以下几点。

(1) 自然要素的一致性, 即气候、地形、地貌、土壤等自然地理条件要具有一定的相似性, 水资源的开发利用条件也应基本相似。

(2) 节水灌溉发展方向和目标的一致性, 即在同一区域内, 主要灌溉作物对象及节水灌溉措施要基本一致。

(3) 行政区划的完整性, 即适当照顾现有行政区划, 尽可能保持分区的区界与行政区划相一致。

(4) 相对的独立性, 即要反映节水灌溉区划的特点。节水灌溉区划虽然是农业水利区划的一个组成部分, 在总体上应服从农业水利区划, 但节水灌溉又与其他水利措施有显著不同的特点, 保持其相对独立性有利于指导节水灌溉的发展。

二、分区的指标体系

分区指标的設置必須滿足全面性、概括性、易于取得的要求, 考慮到节水灌溉的特点, 采用地貌形态、气候特征、缺水程度、灌区类型及节水灌溉措施等 5 项指标组成节水灌溉分区的指标体系。

(一) 地貌形态指标

地貌是区分农业生产类型的重要因素。地势的起伏不仅直接影响光、热、水的再分配, 也影响农、林、牧用地的分布和灌溉系统的布局以及灌溉的难易程度, 在一定程度上决定着农业的生产方式、结构特点和发展方向。如地势起伏越小, 越有利于集中连片种植, 越易于修建大型的灌溉工程, 适宜发展渠道防渗、低压管道输水等节水灌溉技术。而在丘陵岗地, 由于地势高低起伏大, 耕地不易集中连片, 发展灌溉就比较困难, 适宜发展喷灌或微灌技术等等。

表 6-1 地貌形态分类指标

类 型	相对高度 (m)	绝对高度 (m)
平 原	<100	<500
丘 陵	<200	
山 地	>200	
高平原	<200	>500

参照中国农业科学院农业自然资源和农业区划研究所拟定的地貌形态指标及《中国自然区划概要》提出的大地形单元划分标准, 以相对高度为主, 并考虑绝对高度, 按表 6-1 中所列标准来确定地貌形态特征。

亦可参照《中国水利区划》, 将地貌形态划分为平原、低平原、高平原、盆地、丘陵、沟壑、深丘、低山、中山、山地、高山、河谷、峡谷、高原等。

(二) 气候特征指标

气候对农业生产影响极大, 直接决定农作物对灌溉的需求。在诸多气候因素中, 与灌溉关系最大的是降水和蒸发。降水不但直接供给作物需水, 而且也提供了发展灌溉的水源。因此, 降水充沛且与作物生理需水同步的地方对灌溉需求就不迫切, 反之, 即是发展节水灌溉的重点地区。蒸发量的大小也直接影响到农作物对灌溉的要求, 蒸发量大的地方, 作物耗水量大, 易发生干旱, 要获得高产稳产必须发展灌溉。在那些降水量小而蒸发量又大的地区, 节水灌溉则是发展农业生产的重要手段。由此可见, 应采用能反映气候干湿程度的指标来作为节水灌溉区划分的重要指标之一。

目前, 气候干湿划分的指标多采用干燥度, 它是一定时段内可能蒸发量与平均降水量的比值。由于最大可能蒸发量难以测定, 可采用《中国气候资源及区划》推荐的经验公式

进行计算，即

$$K = 0.16 \Sigma T / \Sigma P \tag{6-1}$$

式中： ΣT 为大于 10°C 期间的积温； ΣP 为同期的降水量。

大于 10°C 期间的积温和同期的降水量可通过对气象资料的统计得出，但比较繁琐。为方便计算，可采用月平均值求得。如根据表 6-2 给出的北京各月平均温度值，求北京大于 10°C 的积温方法如下。

表 6-2 北京各月的平均温度												
月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-4.7	-1.8	5.0	13.8	20.1	24.8	26.3	25.0	20.0	13.1	3.9	-2.9

因北京 10°C 的始现日期为 4 月 2 日，终现日期为 10 月 26 日，也就是说，4 月和 10 月内只有部分日子平均温度高于 10°C ，5~9 月这几个月整月的日平均温度均高于 10°C ，所以 5~9 月这几个月 10°C 以上的积温只要以各月的月平均温度乘以各该月的天数即可得到。4 月与 10 月两月高于 10°C 的积温可用求梯形面积的方法计算，梯形面积计算公式为 $(a+b)h/2$ ，其中 a 为始日或终日之平均温度（即所求之界限温度 10°C ）， b 为界限温度始现日期所在月份月末之日的平均温度或终现日期所在月份的月初平均温度，查气象资料得 17.0°C 和 16.3°C 。 h 为 a 到 b （始现月）或 b 到 a （终现月）的天数，查气象资料得 29 天和 26 天。则北京 10°C 以上的积温为：

4 月	$(10.0 + 17.0) \times 29 / 2 = 391.5$
5 月	$20.1 \times 31 = 623.1$
6 月	$24.8 \times 30 = 744.0$
7 月	$26.3 \times 31 = 815.3$
8 月	$25.0 \times 31 = 775.0$
9 月	$20.0 \times 30 = 600.0$
10 月	$(16.3 + 10.0) \times 26 / 2 = 341.9$
总计	4290.8 ($^{\circ}\text{C}$)

即北京 10°C 以上的积温等于 4290.8°C 。同理也可用此法求得同期的降水量。
干燥度 K 与气候干湿关系如表 6-3 所示。

（三）缺水程度
缺水程度是直接反映某地区灌溉水资源量丰缺程度的指标，是影响选择节水灌溉措施最主要的因素。灌溉水资源紧缺，该地区发展灌溉的难度必然大。要扩大灌溉面积，保持农作物稳产高产，需要采用高效的节水灌溉措施；相反，灌溉水资源很丰沛，发展节水灌溉就不会很迫切，即是发展也会选择那些投入少的节水灌溉措施。

表 6-3 干燥度 K
与气候干湿关系

干燥度 K	湿润状况
$K \geq 2.00$	干 旱
$1.50 \leq K < 2.00$	半 干 旱
$1.00 \leq K < 1.50$	半 湿 润
$0.50 \leq K < 1.00$	湿 润
$K < 0.50$	十分湿润

缺水程度可用耕地面积上的可用灌溉水量与综合作物需水量的比值 β 来表示, 即

$$\beta = W_y / W_s \quad (6-2)$$

式中: W_y 为可用灌溉水量, m^3/hm^2 ; W_s 为综合作物需水量, m^3/hm^2 。

可用灌溉水量可按下式求得

$$W_y = \frac{W_G - W_Q}{A} + P_0 \quad (6-3)$$

式中: W_G 为可供水量, m^3 ; W_Q 为现状除灌溉用水外的其他用水量, m^3 ; A 为耕地面积, hm^2 ; P_0 为有效降水量, m^3/hm^2 , 取保证率为 50% 水平年的有效降水量。

可供水量是指通过各种工程措施开发利用的水量, 不同的保证年可供水量有较大差别, 计算时取保证率为 50% 水平年的可供水量。可供水量分地表水和地下水两部分。地表水按蓄、引、提等工程类型分别计算。大中型工程可供水量应根据工程规模经径流调节计算来确定。小型工程设施的可供水量可通过典型调查, 采用年内复蓄系数或地区水资源利用系数等简化方法来计算。地下水以可开采量计算。可开采量为地下水综合补给量乘以开采系数。开采系数取决于水文地质、井的布局和提水机具等条件。计算不同水平年的地下水可开采量, 要充分考虑补给条件的变化和影响程度。

灌溉用水外的其他用水量主要是工业及城市生活用水, 可通过当地水资源使用情况调查统计得出。如缺乏调查手段, 可参考有关同期的万元产值取用水量、城市平均生活用水量, 按当地的工业产值和城市人口来计算工业及城市生活用水量。表 6-4 所列为《我国 2000 年用水需求分析研究报告》中预测的各行业用水量, 表 6-5 所列为《华北地区水资源供需现状发展趋势和战略研究》中预测

表 6-4 2000 年我国需水量预测

项 目	用水量 (亿 m^3)
总用水量	6375
农业用水量	5147
其中: 灌溉用水量	4800
农村生活用水量	134
大中型畜用水量	83
牧业及其他用水量	130
工业用水量	1060
其中: 火电厂用水量	360
其他工业用水量	700
城镇生活用水量	168

表 6-5 2000 年城市市区人均生活
用水量预测

单位: $\text{L}/(\text{日} \cdot \text{人})$

项目	生活用水	其中居民 住宅用水
城市		
北京市	320	120
天津市	250	120
省会、旅游城市	220~240	110~120
大中城市	180~220	100~120
中小城市	100~180	70~110

的 2000 年城市人均生活用水标准。从这些表中可见, 工业用水量约占总用水量的 17%, 约为农业用水量的 20%。

有效降水量是指能被农作物吸收利用的降水量。一次降水过程中, 少部分降水在降落过程中因漂移蒸发没能下到地表, 另一部分虽下到地表, 但因超过入渗强度形成地面径流流出区外, 还有一部分因重力作用渗入土层中。如超过田间最大持水量, 则形成深层渗漏。因此, 降水量中扣除蒸发漂移量、地面径流量、深层渗漏量后即有

效降水量。一般来说,一次降水量小于 5 mm 则不计为有效降水。目前各地对有效降水量的计算方法不尽相同,而且在定义上也有不同看法。表 6-6 列出有关省份农作物生育期有效降水量的计算公式,可供参考。

综合作物需水量取决于作物种类和复种指数,可按式计算

$$s = \sum_{i=1}^n W_i a_i \quad (6-4)$$

式中: n 为作物种类数; W_i 为第 i 种作物的需水量, m^3/hm^2 ; a_i 为第 i 种作物的种植比例, %。

表 6-6 有关省份农作物生育期有效降水量计算公式

项目 省份	计 算 公 式	备 注
山 西 省	$P_0 = \beta P$	P ——生育期降水量; β ——有效利用系数, $\beta = 1.1339 - 0.000569P$
河 北 省	$P_0 = P - R - L$	L ——入渗量; R ——径流量, $R = a(P - c)^b$, a, b 为回归系数, c 为常数项
河 南 省	$P_0 = 0.75P$	
山 东 省	当 $P > 100 \text{ mm}$ 时 $P_0 = 10P^{0.5}$	当月降水量 $< 100 \text{ mm}$ 全部有效

作物需水量是指作物生长在适宜土壤水分条件下,正常生长取得最大产量时,其棵间蒸发(水面或土壤)量、植株蒸发量与组成植株体的水量之和。由于组成植株体的水量与植株蒸腾量、棵间蒸发量相比很小,可以忽略,所以作物需水量一般指蒸发蒸腾量之和。根据大量灌溉试验资料分析,作物需水量的大小与气象条件(辐射、温度、日照、湿度、风速)、土壤水分状况、作物种类及其生长发育阶段、农业技术措施、灌溉排水措施等有关。这些因素对需水量的影响是相互联系的,也是错综复杂的,目前尚不能从理论上精确地确定各因素对需水量影响的程度。确定作物需水量最常用的方法是利用有关仪器设备,在专门的灌溉试验站和专业试验机构,经过长期观测试验测定。水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所建有全国的作物需水量资料数据库,某地、某作物、某时期的需水量资料基本上都可在该数据库中查到。在没有资料的地方,也可利用一些经验公式计算出作物全生长期或某一阶段的需水量。如彭曼公式是目前用得较为普遍且有较好精度的作物需水量计算公式,具体计算方法可参考有关作物需水量方面的教材。

(四) 灌区类型

我国目前的灌区一般可分为蓄水灌区、引水灌区、提水灌区和井灌区,不同灌区类型发展节水灌溉的形式亦有所不同。如在蓄水、引水灌区一般采用渠道输水,由于灌区面积较大,减少渠道输水损失是节水灌溉的重点,因此宜选择渠道防渗作为主要的节水灌溉措施。提水灌区和井灌区都是依靠动力来提水,节水即节电,应选择比较高效的节水灌溉措施,如渠道防渗或管道输水,田间再发般喷灌或微灌等。因此,灌区类型亦是分区的重要指标。

(1) 蓄水灌区是指修建蓄水灌溉工程,从水库或塘堰引水自流灌溉的灌区。蓄水灌溉工程是调蓄河水及地面径流对农田进行灌溉的水利工程设施,包括水库和塘堰。

(2) 引水灌区是指修建引水灌溉工程，从河流或泉源引水自流灌溉的灌区。根据河流或泉源水量、水位和灌区高程的不同，可分为无坝引水和有坝引水两类。

(3) 提水灌区是指修建提水灌溉工程，采用提水设备从水源取水灌溉的灌区。提水设备包括以人力、畜力、机电动力或水力、风力等为动力的提水机具，如水泵、水车等。最常用的提水灌溉工程是泵站。

(4) 井灌区是指用水井作为灌溉水源，从水井中汲取地下水进行灌溉的灌区。

(五) 节水灌溉措施

当前可供选择的节水灌溉措施主要有渠道防渗、低压管道输水、喷灌、微灌、水稻节水灌溉和田间节水灌溉等。

(1) 渠道防渗技术是为了减小渠床土壤的透水性或建立不易透水防护层而采取的各种技术措施。渠道防渗是我国目前应用最为广泛的节水工程技术措施，常用的有混凝土衬砌、浆砌块石衬砌、塑料薄膜防渗和混合材料防渗等。其中混凝土衬砌防渗用得最多，平均造价为 30~50 元/m²。渠道经过防渗处理后，可大幅度提高水的利用率。浆砌石防渗较土渠可减少渗漏损失 50%~60%，混凝土防渗较土渠可减少渗漏损失 60%~70%，塑料薄膜防渗较土渠可减少渗漏损失 70%~80%。

(2) 低压管道输水灌溉技术简称管灌，是我国北方井灌区发展较快的节水灌溉技术。它是利用机泵抽取井水，通过管道系统把水直接输送到田间对农田实施灌溉。管道输水是在低压条件下运行的，工作压力一般不超过 0.2MPa，水进入田间后仍属地面灌溉的范畴。低压管道输水灌溉最适用于我国北方平原的井灌区，尤其适应我国现阶段的生产责任制的种植方式，输水管道大多采用混凝土管或塑料管。低压管道输水灌溉有固定和移动两种形式，移动式管灌的投资一般为 450~600 元/hm²，其中机泵投资为 300~450 元/hm²，移动软管投资的 150 元/hm² 左右。固定式管灌的投资见表 6-7。管道输水利用系数平均在 0.95 以上，与土渠灌相比，平均每公顷每次毛灌水量可减少 450~600 m³，减少渠道占地相当于耕地的 1%，减少提水能耗 30%~40%。

表 6-7

固定式低压管道输水灌溉投资

单位：元/hm²

项目 管 材	首部	出水口	管 道	管 件	施 工	合 计
PVC 塑料管	450~600	150~225	1200~1650	75~150	50~225	2025~2850
混凝土管	450~600	150~225	1050~1200	75~150	225~300	1950~2475

(3) 喷灌技术是利用专门的设备（动力机、水泵、管道等）把水加压，或利用水的自然落差将有压水送到灌溉地段，并通过喷洒器（喷头）把水喷射到空中，使之散成细小的水滴，均匀地散布在田间进行灌溉。喷灌几乎适用于所有的旱作物，如谷物、蔬菜、果树等，既适用于平原也适用于山区，既可用于灌溉农作物又可用于喷洒肥料、农药，还可用来防霜冻和防干热风等。但为了充分发挥喷灌的节水增产作用，应优先应用于经济价值较高且连片种植、集中管理的作物；地形起伏大、土壤透水性强、采用地面灌溉困难的地方；水源有足够自然落差，适合采用自压喷灌的地方；灌溉季节风小的地区。现阶段适合在我国大面积推广的喷灌形式主要有固定式、半固定式和轻小型机组移动式等三种形式，其单

位面积投资见表 6-8。与地面灌溉相比,采用喷灌的大田作物一般可省水 30%~50%,增产 10%~30%,蔬菜及经济作物的省水和增产效果更大。

表 6-8 不同喷灌形式的单位面积投资 单位:元/hm²

项 目 \ 形 式	固 定 式	半 固 定 式	轻小型机组移动式
泵 房	450~600	450~600	600~750
水 泵 机 组	900~1200	900~1200	
地埋钢管	7500~9000	3000~3750	
地埋 PVC 管	3750~4500	1500~1950	
金属移动管道		1500~1800	1200~1500
喷头及竖管	750~900	450~600	300~450
阀门及管件	2250~3000	750~1200	150~300
施工及安装	4500~6000	2250~3000	
合 计	16300~20700 (钢管) 12500~15200 (PVC 管)	9300~12150 (钢管) 7800~10350 (PVC 管)	2250~3000

(4) 微灌技术是一种新型的节水灌溉技术,包括滴灌、微喷灌、涌泉灌等。它可根据作物需水要求,通过低压管道系统与安装在末级管道上的特制灌水器(滴头、微喷头、涌水器和滴灌带等),将水和作物生长所需的养分以较小的流量(2~200L/h)均匀、准确地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中。微灌常以少量的水湿润作物根区附近的部分土壤,因此主要用于局部灌溉。微灌适用于所有的地形和土壤,特别适用于干旱缺水地区,我国北方和西北地区是微灌最有发展前景的地区,南方丘陵区经济作物因受季节性干旱影响也很适宜微灌。微灌系统可分为固定式和半固定式两种,固定式管网全部固定在地表或埋入地下,灌溉时不再移动,常用于宽行作物,如果树、葡萄等;半固定式的干、支管固定,田间毛管可在数行作物中移动,灌一行后,移至另一行再灌,常用于密植的大田作物,如小麦、玉米等以及宽行瓜类作物。不同形式微灌系统的投资如表 6-9 所示。与地面灌比较,微灌一般可省水 50%~80%,大田作物可增产 15%~30%,蔬菜可增产 15%~30%,瓜果的增产幅度更大。

表 6-9 不同形式微灌系统的单位投资 单位:元/hm²

项 目 \ 形 式	首部设备	管 道	灌 水 器	施工安装	合 计
果园固定式	75~150	5250~7500	750~900	3000~3750	9000~12000
大田半固定式	75~150	3000~5250	300~450	2250~3000	6000~9000
保护地固定式	750~1050	5250~6750	2250~3000	3750~5250	12000~15000

(5) 水稻节水灌溉技术是对水稻采用间断淹水的间歇灌溉方法,构成浅水与湿润反复交替,浅、湿、干灵活调节,因地制宜地为水稻生长创造一个良好的水、肥、气、热环境,达到节水、高产的一种灌溉模式。与传统的淹水灌溉栽培相比,可使水稻田水分状况更符合水稻生长要求。在浅湿灌溉与合理施肥结合的条件下,可以做到促控结合,适时供水调

肥,促进水稻高产、优质、高效。水稻节水灌溉技术已在全国广泛应用,比常规灌溉省水10%~30%,每公顷节水约1500m³,增产5%~10%。

(6) 田间节水灌溉技术包括膜上灌、坐水种以及平整土地、沟畦改造等。膜上灌是用地膜输水,通过膜孔和膜边侧渗对作物进行灌溉,适用于实行地膜种的中耕作物。膜上灌与常规沟灌相比,膜上灌棉花节水40%,单产增加5%;玉米节水58%,增产51%。坐水种是利用坐水单体播种机,使开沟、浇水、播种、施肥、覆土一次完成,在东北地区发展很快。坐水点种玉米、每公顷投资仅几十元,每次用水量只150 m³,可增产粮食600~900 kg。平整土地划小畦块、细流沟灌、隔沟灌等是农民群众最易掌握、投入最低的田间节水灌溉技术。基于我国国情,今后相当长的时期内,传统的地面沟畦灌仍将占主导地位。因此,在有条件的地方积极发展高水平节水灌溉技术的同时,仍应在经济条件较差的地区大力推广行之有效的田间节水灌溉技术。

三、分区命名

全国一级区的划分,应与全国农业水利区划一致,二级区则根据节水灌溉的特点来划分,分区命名反映地理位置、地貌形态、气候特征、缺水程度等四方面。二级区可以跨流域、跨省界,如豫皖苏丘半湿润微缺水。二级区以下为三级区,三级区不跨省界,但要适当保持县界和同一灌区的完整性,分区命名由地理位置、地貌形态、气候特征、缺水程度、灌区类型五个方面组成。分区命名中的灌区类型以占50%以上灌溉面积的灌区类型命名,如该区中同时存在两种以上的灌区类型,且每种类型的面积均不超过全区灌溉面积的50%时,则以占比例最大和次大的两种灌区类型来命名,如胶东丘陵湿润极缺水引水提水灌区。对于县级节水灌溉区划分命名,因范围较小,气候特征基本变化不大,命名中可不反映,但应增加节水灌溉措施,即由地理位置、地貌形态、缺水程度、灌区类型、节水灌溉措施等五个因素组成,如古面寨沙岗地缺水井灌微湿区。县级节水灌溉分区还应保持村界的完整。

四、分区描述

对每个分区都应进行详细描述,分区描述应包括以下几部分。

(1) 本区所在范围,包括所属的行政单元、土地面积、耕地面积、灌溉面积、人口及劳动力情况。

(2) 自然条件,包括气候、灾害情况、土壤、作物、水资源开发利用情况、缺水程度等。

(3) 灌溉发展情况,包括灌溉设施、灌溉面积占耕地面积比例、灌溉水利用率情况、节水灌溉面积占灌溉面积的比例、发展灌溉面临的主要问题等。

(4) 节水灌溉发展模式,包括本区节水灌溉发展的重点以及选择适宜的节水灌溉技术措施。

五、分区图表

分区的最终成果应用区划系统表和区划分区图来表示。

(1) 节水灌溉区划系统表。对于全国性的区划,在表中应反映出各级区之间的关系,即一级区中包含有哪几个二级区,二级区中包含有哪几个三级区。对于县级节水灌溉区划,应反映每个区包括的范围,即乡、村名称。

(2) 节水灌溉区划分区图。根据分区的结果将各区的界线描绘到图上,并在每个区中标出区名。一般要求描绘分区图的底图上已绘有水系、地形、交通线、居民点、行政境界等,也可使用已正式出版的行政区划图来作底图。对于县级区划图的比例尺,一般可采用1:50000、1:75000或1:100000三种。这三种比例尺的量算和缩放都比较方便。在图上的分区编号通常用罗马数字表示,编号顺序为从左至右,从上到下。为了反映区划中较大或较重要的节水灌溉工程,亦可增绘节水灌溉工程定位图,在图中用相应符号标出这些工程所在的位置,反映其规模大小及类型。

第四节 节水灌溉区划的分区方法

当前,区划分区的方法很多,这里只重点介绍已在与节水灌溉区划相类似的区划分区中应用过,而且比较成熟及简便的几种分区方法。这些方法是经验法、指标法、类型法、重叠法、聚类法和模糊聚类法等。

一、经验法

对于任何一个区域来说,其内部的地形地貌特征、气候分异特点、水资源分布状况等都是客观存在的,都是物质实体的区域表现。节水灌溉区划所研究的农业地域综合体,不仅是客观存在的实体,而且是在长期的历史演变过程中发展形成的,有着传统的习惯和历史特点,因此划分节水灌溉区不能割断历史。农业结构是在长期的生产实践中形成的,作物布局是在自然的选择中决定的,灌区的类型及其范围是根据自然规律条件和农业生产发展需要逐渐形成的,分区时要借鉴历史的经验,对历史形成的各种农业区进行客观分析,从中找出规律性的东西作为分区的依据。另一方面,划分节水灌溉区又不能受传统习惯的限制,要根据农业资源调查获得的大量资料、数据,运用已有的知识、技术和经验,通过对比分析来划分节水灌溉区。

简而言之,这种方法不需计算手段,要在占有足够资料的基础上,凭借区划技术人员的经验,寻找分区地域内各单元的特点,归纳其相似性,区分其差异性,将主要特征相似的单元归入同一个区内,使不同区的主要特征有明显差异。划区的方法和步骤如下。

(1) 选择一张有足够精度,标有地形、水系、交通线、居民点、行政境界线等要素的地图作为划区用底图。行政境界线对于省级区划应精确到县,地市级区划应精确到乡,县级区划应精确到村。

(2) 如果拟分区的区域过去已做过水利区划、综合农业区划、气候区划等专业区划,则可将这些区划分区图进行对照研究,并考虑地形和现有灌区的范围,在底图上勾绘出气候、地形、水利条件大致相同的区界。如果拟分区的区域过去没有做过任何区划工作,则可在底图上依据地形、现有灌区范围、行政区界大致勾绘分区区界,再根据水资源等资料对区界做调整。

(3) 检查分区的区界有无分割最小行政单元的现象,如有应做进一步调整。

采用经验法分区,最适宜在过去已做过专业区划特别是水利区划的地区。节水灌溉区划是水利区划的一个组成部分,是水利区划中的一种更细分的专业区划,因此,在大的方面应遵循水利区划的分区原则。只要在已有的水利区划图上,参考有关的专业区划,并考

考虑节水灌溉的特点,适当进行调整,则可得出比较满意的分区结果。

二、指标法

指标法是通过分析与节水灌溉有关的自然条件、社会经济条件、生产特征、生态结构和技术条件等资料的分析计算,确定出能反映节水灌溉区域特征的主要指标进行分区的方法。自然条件指标主要以干燥度和地形地貌表示,生产特征主要以缺水程度表示,技术条件以灌区类型、节水灌溉技术措施表示,社会经济条件指标主要以人均占有耕地面积、每劳力占有耕地面积、役畜负担耕地面积、机械化程度和有效灌溉面积等表示,农、林、牧、副、渔业结构的指标主要以用地结构、产值结构来表示,生产水平指标主要以单位面积产量、农业人口人均占有粮食量、单位耕地纯收入、商品率等表示。

指标是划区原则的具体化。节水灌溉区划分区的指标,要尽量采用对形成地域差异起主导作用的指标和反映内容较多的综合指标,即地形地貌、气候特征、缺水程度、灌区类型和节水灌溉技术措施等指标。由于省、地(市)、县各自的地域差异特点不同,不同级的区划分区指标侧重点也应有区别。省级指标宜少些,内容宜粗些;县级指标宜多些,内容宜细些。为使划区符合客观实际,必须使各项指标概念明确,计量准确。同时,还要在综合分析、全面考察的基础上运用各项指标划定区界。

三、类型法

在每个农业地域综合体内,客观上存在着各具特点的不同类型的农业区。对与节水灌溉密切相关的类型特征相似的区,分别划类归纳,进行组合,划出不同规模的类型区。划类的方法是:首先将农业生产的自然、经济和技术条件分类,如按气候、地形地貌、水资源、灌溉措施、作物等进行分类;然后将复杂的多类分类,按其相似特征分为几个大类型,如极缺水型、缺水型、丰水型,甚至各相关特征组合的类型,如丘陵缺水型、平原缺水型等;最后将归纳出的各大类定位划线,落实到具体区划,以与节水灌溉密切相关的类型区位置重叠组合状况为依据划区。

划类型区首先要找准能代表一定类型的基本特征,以基本特征为主线归类。归类时要求大同、存小异,适当归并,组成若干节水灌溉区。如抓不住反映类型区的基本特征,就难以分区,或所划的区支离破碎,对生产就没有指导意义。

四、重叠法

重叠法又称套图法。首先根据调查和收集到的有关自然条件、生产特征、技术条件资料,编制与节水灌溉有关的各种区划图,如地形地貌区划图、气候区划图、水利区划图以及灌区分布范围图,水资源分布图、作物需水量等值线图。进行节水灌溉分区时,将这些图重叠在一起,根据重叠的情况确定共同的区界。全部重叠或基本重叠的界线,即是节水灌溉区划分区的界线。在采用重叠法分区时,重要的是选好基础图,即把对节水灌溉起最主要影响作用的因素图作为分区的基础,这个因素可选择气候或缺水程度。在基础图上再重叠其他相关的因素图,可以比较准确地找出节水灌溉区划的区界。在确定最后的分区界线时,还应照顾现有的行政区界,作必要的调整。

五、聚类法

聚类法是对某一研究对象进行客观的定量分类,是根据样品具有的自然属性和社会属性,用数学的方法定量地确定样品间的亲疏关系,即样品属性的相似性和差异性,把相似

性较大的样品聚成一类。每一小类之间的其属性差异最小,而各大类之间则有明显的差异。此法的特点是无需事先知道分类对象有多少类,只是通过一定的数理统计方法,最后客观地形成一个分类系统。

聚类方法有多种,现介绍辽宁省在节水灌溉区划分中采用的“共区优选法”,此法比较简单,容易掌握。

(一) 确定分区因素

根据辽宁省的具体情况,分区因素以缺水程度为主导因素,灌区类型为主要因素,地形为次要因素。

1. 缺水程度

缺水程度用下式表示

$$\beta = W_y / W_i$$
$$W_y = \alpha P_0 + \frac{W_G - W_Q}{A} \quad (6-5)$$

式中: β 为缺水程度, $\beta < 1$ 为极缺水, $1 \leq \beta < 2$ 为缺水, $2 \leq \beta < 3$ 为微缺水, $\beta \geq 3$ 为丰水区; W_y 为耕地平均可用灌溉水量, m^3/hm^2 ; α 为降雨有效利用系数, $\alpha = 1.06e^{-0.00109P_0}$; P_0 为多年平均降雨量, m^3/hm^2 ; W_i 为多年平均可供水量, m^3 ; W_Q 为工业及城市用水量, m^3 ; A 为耕地面积, hm^2 ; W_i 为综合作物需水量, m^3/hm^2 。

2. 灌区类型

全省灌区按水源情况分为自流灌区、提水灌区和井灌区 3 种, 由这 3 种类型组成以下 6 种组合形式。

- (1) 自流灌溉区, 自流水源灌区面积大于总灌溉面积的 50%。
- (2) 提水灌溉区, 提水灌溉面积大于总灌溉面积的 50%。
- (3) 井灌区, 井水灌溉面积大于总灌溉面积的 50%。
- (4) 自流提水灌溉区, 自流灌和提水灌的面积之和大于总灌溉面积的 70%。
- (5) 自流井灌灌溉区, 自流灌与井灌面积之和大于总灌溉面积的 70%。
- (6) 井灌提水灌溉区, 井灌和提水灌溉面积之和大于总灌溉面积的 70%。

3. 地形

全省的地形分为以下 5 种类型。

- (1) 山地, 山地面积大于总面积的 50%。
- (2) 丘陵, 丘陵面积大于总面积的 50%。
- (3) 山丘, 山地与丘陵面积之和大于总面积的 70%。
- (4) 平原, 平原面积大于总面积的 50%。
- (5) 丘平, 丘陵与平原面积之和大于总面积的 70%。

(二) 分区因素指标计算

(1) 拟定区划单元。将参加区划的各个地区, 根据情况拟定区划单元, 即参加区划的最小地域单元。辽宁省取与灌溉有关的因素基本相似的地域为区划单元, 全省共分为 17 个单元, 主要地区以市为单元。

(2) 计算和确定各单元的分区因素指标。经过计算, 各单元的缺水程度、灌区类型和

地形指标如表 6-10~表 6-12 所示。同理亦可计算得出各单元的地形类型。

(3) 将各单元的因素指标归纳为计算数据表, 见表 6-13。

表 6-10 各单元的缺水程度

序号	单元名	耕地平均 可用水量 (m^3/hm^2)	综合作物 需水量 (m^3/hm^2)	β
1	沈 阳	3636	7532	0.48
2	大 连	8758	7177	1.22
3	鞍 山	3087	6765	0.46
4	抚 顺	23050	6203	3.71
5	本 溪	43276	4726	9.16
6	丹 东	32374	5708	5.67
7	锦 州	2737	5920	0.46
8	锦 西	6209	5920	0.46
9	营 口	3092	9222	0.33
10	敖 县	13253	9272	1.43
11	阜 新	2366	5560	0.43
12	辽 阳	5720	6990	0.81
13	盘 锦	2339	9821	0.21
14	朝 阳	4581	4620	0.99
15	铁岭北	1783	6550	0.27
16	铁岭山	7933	6550	1.21
17	铁岭中	3477	6550	0.53

表 6-11 各单元的灌区类型

序号	单元名	自流灌面 积/总 灌溉面积	提灌面 积/总灌溉 面积	井灌面 积/总灌溉 面积	灌区 类型
1	沈 阳	0.22	0.32	0.45	井提灌
2	大 连	0.47	0.17	0.36	自井灌
3	鞍 山	0.10	0.28	0.62	井 灌
4	抚 顺	0.69	0.14	0.17	自流灌
5	本 溪	0.74	0.07	0.19	自流灌
6	丹 东	0.69	0.24	0.07	自流灌
7	锦 州	0.08	0.04	0.88	井 灌
8	锦 西	0.29	0.05	0.65	井 灌
9	营 口	0.07	0.90	0.03	提水灌
10	敖 县	0.42	0.08	0.50	自流灌
11	阜 新	0.28	0.05	0.67	井 灌
12	辽 阳	0.55	0.07	0.38	自流灌
13	盘 锦	0.00	0.96	0.04	提水灌
14	朝 阳	0.22	0.09	0.69	井 灌
15	铁岭北	0.13	0.34	0.54	井 灌
16	铁岭山	0.77	0.12	0.10	自流灌
17	铁岭中	0.59	0.16	0.25	自流灌

表 6-12 各单元的地形类型

序号	单元名	地形类型
1	沈 阳	平 原
2	大 连	丘 陵
3	鞍 山	平 原
4	抚 顺	山 地
5	本 溪	山 地
6	丹 东	山 地
7	锦 西	丘 平
8	锦 州	山 丘
9	营 口	平 原
10	敖 县	丘 陵
11	阜 新	丘 平
12	辽 阳	平 原
13	盘 锦	平 原
14	朝 阳	山 丘
15	铁岭北	丘 平
16	铁岭山	山 地
17	铁岭中	平 原

表 6-13 各单元的因素数据

序号	分区单元名	主导因素	主要因素	次要因素
1	沈 阳	0.48	井提灌	平 原
2	大 连	1.22	自井灌	丘 陵
3	鞍 山	0.46	井 灌	平 原
4	抚 顺	3.71	自流灌	山 地
5	本 溪	9.16	自流灌	山 地
6	丹 东	5.67	自流灌	山 地
7	锦 西	0.46	井 灌	丘 平
8	锦 州	0.46	井 灌	山 丘
9	营 口	0.33	提水灌	平 原
10	敖 县	1.43	自井灌	丘 陵
11	阜 新	0.43	井 灌	丘 平
12	辽 阳	0.81	自流灌	平 原
13	盘 锦	0.21	提水灌	平 原
14	朝 阳	0.99	井 灌	丘 平
15	铁岭北	0.27	井 灌	丘 平
16	铁岭山	1.21	自流灌	山 地
17	铁岭中	0.53	自流灌	平 原

(三) 拟定分区方案

共区优选法可用计算机对共区范围先进行随机组合, 然后优选最佳方案, 也可根据对全省自然条件、社会经济条件和灌溉发展情况的调查分析, 拟定各种方案, 再从中进行优选。这里采用后一种方法拟定了 5 种方案如下:

- (1) 第一方案。按自然条件分, 见表 6-14。
- (2) 第二方案。按灌区类型分, 见表 6-15。
- (3) 第三方案。按缺水程度分, 见表 6-16。
- (4) 第四方案。按地形分, 见表 6-17。
- (5) 第五方案。按综合因素分, 见表 6-18。

表 6-14 第一种分区方案的范围

分区序号	所在范围
1	朝阳、锦西
2	锦州、阜新、铁岭北
3	丹东、本溪、铁岭山、抚顺
4	盘锦、营口
5	大连、盖县
6	沈阳、鞍山、辽阳、铁岭中

表 6-15 第二种分区方案的范围

分区序号	所在范围
1	朝阳、锦西、锦州、阜新、铁岭北
2	铁岭中、沈阳、辽阳、鞍山
3	营口、盘锦
4	大连、盖县
5	本溪、抚顺、丹东、铁岭山

表 6-16 第三种分区方案的范围

分区序号	所在范围
1	锦州、阜新、铁岭北
2	朝阳、锦西
3	本溪、丹东、抚顺、铁岭山
4	沈阳、鞍山、辽阳、铁岭中
5	营口、盘锦
6	大连、盖县

表 6-17 第四种分区方案的范围

分区序号	所在范围
1	朝阳、锦西
2	锦州、阜新、铁岭北
3	铁岭中、沈阳、辽阳
4	盘锦、营口、鞍山
5	大连、盖县
6	本溪、本溪
7	抚顺、铁岭山

(四) 优选最佳方案

按照上述原则, 将各数据代入共区计算公式, 可计算出各分区各因素的共区率, 然后算得总共区率, 选取共区率最高的为最佳方案。

1. 计算分区因素的共区率

对于任一方案都有不同的分区, 每个分区都有不同的因素, 按下式计算分区因素的共区率

$$P_{ij} = A_{ij} / M_i \quad (6-6)$$

式中: P_{ij} 为第 i 个分区第 j 个因素的共区率, %; A_{ij} 为第 i 个分区第 j 个因素共区单元数; M_i 为第 i 个分区的单元数。

根据各分区的主导因素、主要因素、次要因素分别计算出 P_{ij} 值。

表 6-18 第五种分区方案的范围

分区序号	所在范围
1	朝阳、阜新、铁岭北
2	锦西、锦州
3	铁岭中、沈阳、辽阳
4	鞍山、营口、盘锦
5	抚顺、铁岭山
6	本溪、丹东
7	大连、盖县

2. 计算分区的共区率

分区的共区率由因素共区率加权按下式求得

$$P_i = \sum K_j P_{ij} \quad (6-7)$$

式中: P_i 为某分区的共区率; K_j 为不同因素的权系数, 取主导因素的权系数为 0.5, 主要因素为 0.3, 次要因素为 0.2。

3. 计算方案共区率

由各分区的共区率按下式求得方案的共区率

$$P = \sum P_i / n \quad (6-8)$$

式中: n 为分区个数。

以上计算结果见表 6-19。

表 6-19 各方案的共区率

方 案	分 区	分 区 单 元 数	主导因素(缺水程度)		主要因素(灌区类型)		次要因素(地形)		分区共 区率 (%)	方案共 区率 (%)
			权系数(0.5)		权系数(0.3)		权系数(0.2)			
			共区数	共区率(%)	共区数	共区率(%)	共区数	共区率(%)		
第一 方案	朝阳、锦西	2	2	100	2	100	2	100	100	92.64
	锦州、阜新、铁岭北	3	2	66.7	3	100	3	100	83.35	
	丹东、本溪、铁岭山、抚顺	4	3	75	4	100	4	100	87.5	
	盘锦、营口	2	2	100	2	100	2	100	100	
	大连、盖县	2	2	100	2	100	2	100	100	
	沈阳、鞍山、辽阳、铁岭中	4	4	100	2	50	4	100	85	
第二 方案	朝阳、锦西、锦州、阜新、铁岭北	5	2	40	5	100	3	60	62	86.9
	铁岭中、沈阳、辽阳、鞍山	4	4	100	2	50	4	100	85	
	营口、盘锦	2	2	100	2	100	2	100	100	
	大连、盖县	2	2	100	2	100	2	100	100	
	本溪、抚顺、丹东、铁岭山	4	3	75	4	100	4	100	87.5	
	锦州、阜新、铁岭北	3	2	66.7	3	100	3	100	83.35	
朝阳、锦西	2	2	100	2	100	2	100	100		
本溪、丹东、抚顺、铁岭山	4	3	75	4	100	4	100	87.5		
沈阳、鞍山、辽阳、铁岭中	4	4	100	2	50	4	100	85		
营口、盘锦	2	2	100	2	100	2	100	100		
大连、盖县	2	2	100	2	100	2	100	100		
第四 方案	朝阳、锦西	2	2	100	2	100	2	100	100	87.93
	锦州、阜新、铁岭北	3	2	66.7	3	100	3	100	83.35	
	铁岭中、沈阳、辽阳	3	2	66.7	3	100	3	100	83.35	
	盘锦、营口、鞍山	3	2	66.7	2	66.7	3	100	73.36	
	大连、盖县	2	2	100	2	100	2	100	100	
	丹东、本溪、抚顺、铁岭山	4	3	75	4	100	4	100	87.5	
第五 方案	朝阳、阜新、铁岭北	3	0	0	3	100	2	66.7	43.34	68.58
	锦西、锦州	2	0	0	3	100	0	0	30	
	铁岭中、沈阳、辽阳	3	2	66.7	3	100	3	100	83.35	
	鞍山、营口、盘锦	3	2	66.7	2	66.7	3	100	73.36	
	抚顺、铁岭山	2	0	0	2	100	2	100	50	
	本溪、丹东	2	2	100	2	100	2	100	100	
	大连、盖县	2	2	100	2	100	2	100	100	

4. 优选最佳区划分区方案

根据各方案的共区率计算结果,选取共区率最大者为最佳方案。从表 6-19 中可见,第一方案同第三方案的共区率最大,达 92.64%。由于这两个方案的分区数及分区单元完全相同,故均可选为最后的分区结果。

六、模糊聚类法

模糊聚类分析中,将所要进行分类的对象称为样本,样本所具有的特性是进行分类的依据。设共有 n 个样本, m 个特征指标,则构成以下原始矩阵

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

(一) 数据规格化

有了原始矩阵,还不能马上进行聚类分析,因为 m 个特性指标的量纲和数量级都不相同,在运算中可能突出某些数量级特别大的特性指标对分类(分区)的作用,而降低甚至排除了某些数量级较小的特征指标的作用。为了消除特性指标量纲的差别和数量级不同的影响,需对各指标值进行数据规格化,使每一个指标都统一于某种共同的数值特性范围。数据规格化的常用公式为

$$\left. \begin{aligned} X'_{ij} &= \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j} \\ \bar{X}_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij} \\ \sigma_j &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2} \end{aligned} \right\} \quad (6-9)$$

(二) 建立模糊相似关系矩阵

样本规格化之后,可用多元分析的方法来建立相互间的相似关系,即计算被分类(分区)对象间的相似程度 γ_{ij} ($0 \leq \gamma_{ij} \leq 1$)。 $\gamma_{ij}=0$ 表明样本 i 与样本 j 毫不相似, $\gamma_{ij}=1$ 表示这两个样本完全相同,据此得到一个样本与样本之间的模糊相似关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1m} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nm} \end{bmatrix}$$

计算样本 i 与样本 j 之间的相似程度 γ_{ij} 的方法很多,农业区划中,多用海明距离法:

$$\gamma_{ij} = 1 - C \sum_{k=1}^m |X_{ik} - X_{jk}| \quad (6-10)$$

式中: C 为满足 $0 \leq \gamma_{ij} \leq 1$ 的数,须根据具体情况选取。

(三) 模糊聚类(分区)

一个模糊等价矩阵可以确定一个模糊分类。上面计算得出的模糊相似关系矩阵 R 是模糊相容矩阵,但不一定是模糊等价矩阵。因此要进行分类(分区),必须由相容矩阵 R 构造

出新的等价矩阵 R^* 。构造方法常用传递闭包法,可参阅有关文献。

计算出 R^* 后,选定适当的阈值 λ ,对 R^* 进行截割。根据聚类原则,样本 i 与样本 j 在 λ 水平上同属一类,当 $r_{ij} \geq \lambda$ 时,样本 i 与样本 j 归为一类。由于所选阈值 λ 不同,便可以对 X 进行动态聚类(分区)。

(四) 模糊聚类法的应用

下面以华北地区及胶东半岛节水型农业分区为例,介绍模糊聚类法的具体应用。

1. 分区基本单元的确定

华北地区及胶东半岛有近 300 个县市,若以此作为分析单元,计算统计量相当之大。考虑到节水型农业分区中一些指标在流域上的相似性,为不打乱水系,便于进行各单元水资源的统计分析,选以县为基础进行归类,再进行分区。

“七五”国家攻关课题“农业节水的研究”专题中,曾将华北地区及胶东半岛分为 40 个区进行分析,取得大量统计数据。以此作为节水型分区的基本单元,各单元的基本情况见表 6-20。

表 6-20 华北地区及胶东半岛各单元基本情况

编 号	单 元	所属省市	流域面积 (万 km ²)	耕地面积 (万 hm ²)	灌溉面积 (万 hm ²)	降 雨 (mm)	可供水量 (亿 m ³)
1	唐山	河北省	1.55	41.86	23.86	620.80	17.62
2	秦皇岛	河北省	0.78	13.60	5.99	690.00	5.05
3	廊坊	河北省	0.64	36.32	24.33	536.80	6.02
4	燕山山区	河北省	0.43	12.49	16.81	550.30	4.42
5	大清河山区	河北省	5.46	63.36	17.24	553.70	11.56
6	旋西平原	河北省	1.38	14.05	7.73	595.10	5.55
7	滦陀河山区	河北省	1.18	69.1	58.08	510.00	40.90
8	滦阳河山区	河北省	0.46	7.09	2.04	527.40	2.19
9	滦阳河山区	河北省	0.76	21.60	11.88	620.60	5.27
10	滦沔区间平原	河北省	0.80	58.21	45.8	502.40	28.27
11	滦阳河平原	河北省	0.72	44.50	5.04	530.60	14.77
12	漳卫河山区	河北省	0.18	3.92	1.51	581.33	1.06
13	漳卫河平原	河北省	0.19	13.42	9.8	595.50	2.92
14	黑龙港平原	河北省	1.56	102.33	53.3	547.50	19.29
15	运东平原	河北省	0.76	37.87	15.91	601.90	6.05
16	徒骇马颊平原	河北省	0.04	2.44	1.68	584.40	0.40
17	洋河区	山西省	0.26	10.25	3.35	428.60	1.20
18	桑干河区	山西省	1.68	44.92	14.82	428.60	0.69
19	大清河区	山西省	0.34	3.21	0.77	590.20	0.30
20	漳陀河区	山西省	1.89	33.12	11.59	527.40	5.92
21	漳河区	山西省	1.58	28.38	4.82	581.30	2.28
22	卫河区	山西省	0.16	0.59	0.05	693.90	0.07
23	红河区	山西省	0.22	8.43	0.42	491.50	0.10
24	晋西北支流	山西省	1.66	31.76	1.27	491.50	0.47
25	汾河上中游	山西省	1.45	15.85	0.79	522.70	0.26
26	汾河下游	山西省	2.82	62.19	26.12	522.70	14.38
27	涑水河上游	山西省	1.61	42.16	17.71	563.90	5.49
28	涑水河下游	山西省	0.65	32.72	17.01	563.90	5.49
29	潼关至三门峡	陕西省、河南省	0.44	19.13	3.83	713.5	0.50

续表

编 号	单 元	所属省市	流域面积 (万 km ²)	耕地面积 (万 hm ²)	灌溉面积 (万 hm ²)	降 雨 (mm)	可供水量 (亿 m ³)
30	沁 丹 河	河南省	1.23	17.43	2.26	637.5	1.00
31	三门峡沁河	河南省	0.44	1.98	0.39	713.5	0.12
32	北 京	北京市	1.68	33.23	26.91	594.6	14.25
33	天 津	天津市	1.31	35.74	27.88	590.1	7.80
34	漳卫河山区	河南省	0.65	24.53	20.61	581.3	13.85
35	漳卫河平原	河南省	0.71	36.77	26.47	595.5	17.40
36	徒马河平原	河南省	0.18	11.27	10.14	584.1	3.05
37	豫北黄河区	河南省	1.27	53.23	36.20	596.0	27.74
38	鲁 西 北	山东省	2.97	153.83	109.22	584.1	49.39
39	鲁 中 地 区	山东省	3.54	129.50	86.96	652.8	38.98
40	胶 东 半 岛	山东省	3.16	112.04	63.86	717.8	20.92

2. 分区指标体系

分区指标的设置应满足全面性、概括性、易于或能够取得的要求。考虑节水型农业的特点,采用气候特征、地貌特征、耕地灌溉率、缺水程度等四项指标。

(1) 气候特征指标。气候特征指标采用以下经验公式计算

$$K = 16 \Sigma T / \Sigma P$$

式中: ΣT 为大于 10℃ 期间的积温; ΣP 为同期的降水量总和。

各单元的干燥度值见表 6-21。干燥度与气候干湿的关系为: $K \geq 2.00$ 为干旱地区; $1.5 \leq K < 2.00$ 为半干旱地区; $1.0 \leq K < 1.5$ 为半湿润地区; $0.5 \leq K < 1.0$ 为湿润地区; $K \leq 0.50$ 为十分湿润地区。

(2) 地貌形态。

平原	相对高度 < 100m	绝对高度 < 500m
丘陵	相对高度 < 200m	
山地	相对高度 > 200m	
高平原	相对高度 < 200m	绝对高度 > 500m

(3) 耕地灌溉率 η 。耕地灌溉率为有效灌溉面积与耕地面积的比值,即

$$\eta = A_Q / A_G$$

各单元的灌溉率见表 6-21。灌溉率的高低反映了当地的水利化程度、可供灌溉用水量的多少及水资源利用的难易程度,是一项综合指标。按 50% 水平年时的灌溉率来衡量, $\eta \leq 20\%$ 为旱农区; $20\% < \eta \leq 50\%$ 为旱农、灌溉区; $50\% < \eta \leq 70\%$ 为灌溉旱农区; $\eta > 70\%$ 为灌溉区。

(4) 缺水程度。

1) 可供量与需求量比值。耕地面积平均可用灌溉水量与作物需水量比值的大小反映了灌溉用水的丰缺程度,可用下式表达,即

$$\beta = W_p / W_c$$

可用灌溉水量 W_p 除当地有效降水外,还包括各种水利设施能够供应当地的灌溉水量。

表 6-21

华北地区及胶东半岛各单元分区参数值

单元编号	干燥度 K	灌溉率 η	缺水程度		综合水量余缺		
			W_i	β	$\Delta W_1/A_0$	$\Delta W_2/A_0$	R
1	1.2	0.57	337.6	2.06	316.9	280.6	302.4
2	1.1	0.44	287.1	2.46	418.5	247.5	350.0
3	1.3	0.67	401.3	1.18	-83.11	13.8	-4.4
4	1.4	0.57	361.0	1.29	-33.9	82.7	12.8
5	2.0	0.27	164.5	2.98	234.0	120.7	192.3
6	1.4	0.55	357.2	1.85	226.4	-24.2	126.2
7	1.4	0.84	423.2	1.74	194.0	384.5	270.2
8	1.4	0.57	386.6	1.44	-15.4	-210.6	-93.4
9	1.5	0.55	407.7	1.41	16.2	-65.4	-16.5
10	1.4	0.79	421.1	1.56	141.1	323.8	214.1
11	1.4	0.81	381.0	1.51	23.6	117.5	61.1
12	1.4	0.43	396.0	1.49	67.7	-76.3	-69.9
13	1.4	0.75	437.3	1.24	-33.7	49.7	0.36
14	1.6	0.52	393.0	1.25	0.12	100.3	40.2
15	1.4	0.75	420.2	1.21	-13.43	106.5	34.5
16	1.4	0.69	399.7	1.25	-52.7	49.2	-12.0
17	1.5	0.75	397.5	0.94	-2.1	88.4	34.1
18	1.5	0.33	393.5	1.00	82.7	-167.0	-17.2
19	1.4	0.24	400.5	1.14	32.4	-47.8	0.3
20	1.4	0.35	333.9	1.17	124.3	-160.2	10.5
21	1.5	0.17	368.2	1.20	85.4	-31.7	38.5
22	1.5	0.08	324.2	1.16	-69.5	-112.6	-86.7
23	1.5	0.05	347.8	0.97	-39.4	-265.0	-129.7
24	1.8	0.04	374.9	0.91	1.4	-307.5	-123.7
25	1.7	0.05	351.5	0.96	-5.3	-424.7	-173.1
26	1.6	0.42	407.6	1.23	98.1	-183.9	-14.7
27	1.5	0.42	383.7	1.25	34.2	76.7	53.0
28	1.4	0.52	361.8	1.34	2.0	99.9	-0.3
29	1.4	0.20	360.8	1.37	-208.5	12.4	-118.0
30	1.4	0.13	409.2	1.13	31.6	38.3	34.3
31	1.3	0.20	373.4	1.38	-100.6	-95.2	-138.2
32	1.2	0.81	459.1	1.49	82.1	-32.3	36.3
33	1.3	0.78	445.2	1.21	-85.8	-191.6	-128.1
34	1.4	0.84	482.8	1.58	174.8	111.4	150.6
35	1.4	0.72	489.3	1.46	85.7	315.5	177.6
36	1.4	0.90	489.3	1.16	-88.1	180.4	19.3
37	1.4	0.68	482.8	1.54	196.4	347.4	256.8
38	1.5	0.71	501.3	1.20	-72.8	214.1	41.9
39	1.5	0.67	523.7	1.21	-11.0	200.7	73.7
40	1.5	0.57	500.9	1.20	-80.8	124.5	1.3

灌溉需水量 W_i 取决于作物种类和复种指数, 综合需水量可按式计算

$$W_i = \sum_{i=1}^n W_i a_i$$

式中: n 为作物种类; W_i 为第 i 种作物的需水量, m^3/hm^2 ; a_i 为第 i 种作物的种植比例, %。

各单元的 β 值见表 6-21。 β 值与缺水程度的关系为： $\beta < 1$ 为极缺水； $1 \leq \beta \leq 2$ 为缺水； $2 \leq \beta < 3$ 为微缺水； $\beta \geq 3$ 为不缺水。

2) 综合水量余缺。各单元是否缺水取决于两个条件：其一，有效灌溉面积是否都能得到灌溉；其二，所生产的粮食能否自给。粮食不足的原因是多方面的，水量不足限制了灌溉面积的发展也是重要因素之一。

按有效灌溉面积都得到灌溉和所生产的粮食能够自给这两个目标，分别计算 50% 水平年的水量余缺 ΔW_1 和 ΔW_2 ，再按下式计算综合水量余缺指标 R

$$R = d_1 \frac{\Delta W_1}{A_Q} + d_2 \frac{\Delta W_2}{A_G} \quad (6-11)$$

式中： d_1 、 d_2 为权重系数，分别为 0.6 和 0.4； A_Q 、 A_G 分别为有效灌溉面积和耕地面积。

R 与缺水程度的关系为： $R < 0$ 为严重缺水； $0 \leq R < 100$ 为缺水； $100 \leq R < 150$ 为微缺水； $R \geq 150$ 为不缺水。

各单元的缺水程度以 β 值和 R 值分别确定的缺水程度中最缺水的那个指标表示。

3. 分区命名

只分一级区，分区命名由地理位置、地貌形态、气候特征、耕地灌溉率、缺水程度等因素组成。

4. 分区方法

采用计算定量与传统经验定性相结合的方法进行节水型农业分区。计算定量方法采用模糊聚类法。进行模糊聚类分析之前，先做以下工作。

(1) 指标 R 由 $100/(R+200)$ 来表示。

(2) 相似系数由下式计算

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1 - C \sum_{k=1}^m |X_{ik} - X_{jk}| & i \neq j \end{cases}$$

式中： m 为分区指标数； X_{ik} 为第 i 行第 k 个元素； X_{jk} 为第 j 列第 k 个元素； C 为满足 $0 \leq \gamma_{ij} \leq 1$ 的数，经初步分析确定 $C = 0.08$ 。

5. 分区结果

根据模糊聚类分析结果，并考虑地域完整性，将华北地区划分为 10 个区，分区名称及有关指标见表 6-22。

表 6-22 华北地区及胶东半岛节水农业分区结果及有关指标

分区	分区名称	所含单元编号	所含省、地名称	K	η	β	R
I	京冀北山地低平原半干旱微缺水旱农灌溉区	5、32	北京市、河北省承德、张家口	1.60	0.40	2.50	114
II	唐秦低平原半湿润微缺水灌溉旱农区	1、2	河北省唐山、秦皇岛	1.15	0.53	2.14	326
III	晋西北山地半干旱严重缺水旱农区	17、18、19、22、23、24、25	山西省雁北、离石、吕梁	1.75	0.15	0.95	-71

续表

分区	分区名称	所含单元 编号	所含省、地名称	K	η	β	R
IV	晋中盆地半干旱缺水旱农灌溉区	20、26、27、 28	山西省晋中、太原、忻州、临汾、阳泉	1.70	0.42	1.25	12
V	冀中平原半湿润缺水灌溉区	4、6、7、8、 9、10、11、 12	河北省保定、石家庄、邢台、邯郸	1.45	0.76	1.62	34
VI	津冀东南平原半湿润严重缺水灌溉旱农区	3、13、14、 15、16、33	天津市、河北省沧州、廊坊、衡水	1.40	0.64	1.23	-12
VII	晋东南山地半湿润严重缺水旱农区	21、29、30、 31	山西省晋东南、运城、长治、晋城	1.55	0.17	1.20	-46
VIII	豫北鲁西北平原半湿润缺水灌溉区	34、35、36、 37、38	河南安阳、新乡、焦作、山东德州、聊城、滨州	1.40	0.75	1.52	151
IX	鲁中山地半湿润缺水灌溉旱农区	39	山东省济南、淄博、潍坊、东营	1.40	0.67	1.21	74
X	胶东丘陵半湿润缺水灌溉旱农区	40	山东省烟台、威海、青岛、日照	1.35	0.57	1.20	12

华北地区及胶东半岛节水农业分区图见图 6-2。

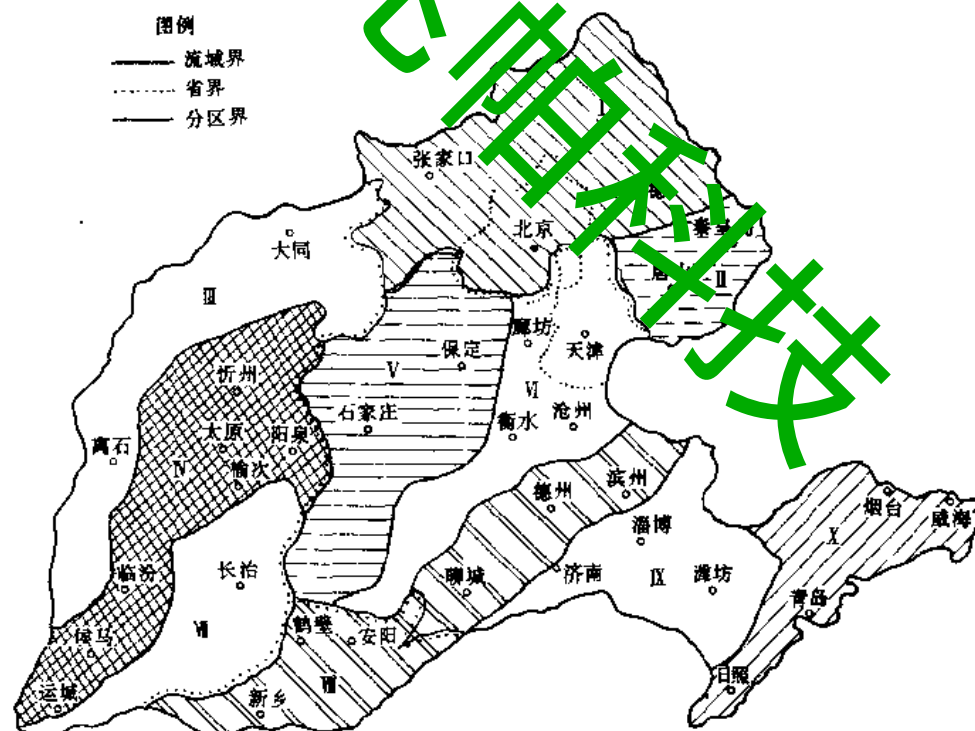


图 6-2 华北地区及胶东半岛节水型农业分区图

第七章 节水灌溉规划

节水灌溉规划是以国民经济发展对灌溉农业的要求为主要目标,以资金投入作为主要约束,通过水土资源平衡分析,提出节水灌溉的中长期发展方向和采取的主要措施。

第一节 节水灌溉规划的工作步骤

水的问题牵涉到社会生活的方方面面,这就使得节水灌溉规划需要考虑资源利用、经济发展、环境保护、工农业生产、灌溉发展、节水技术等诸方面的问题。其工作程序可概括为制定工作计划、收集资料、典型调查、选择规划方法、构造数学模型、参数分析计算、制定规划方案、效益分析、优选方案、规划图绘制等 10 个步骤,见图 7-1。

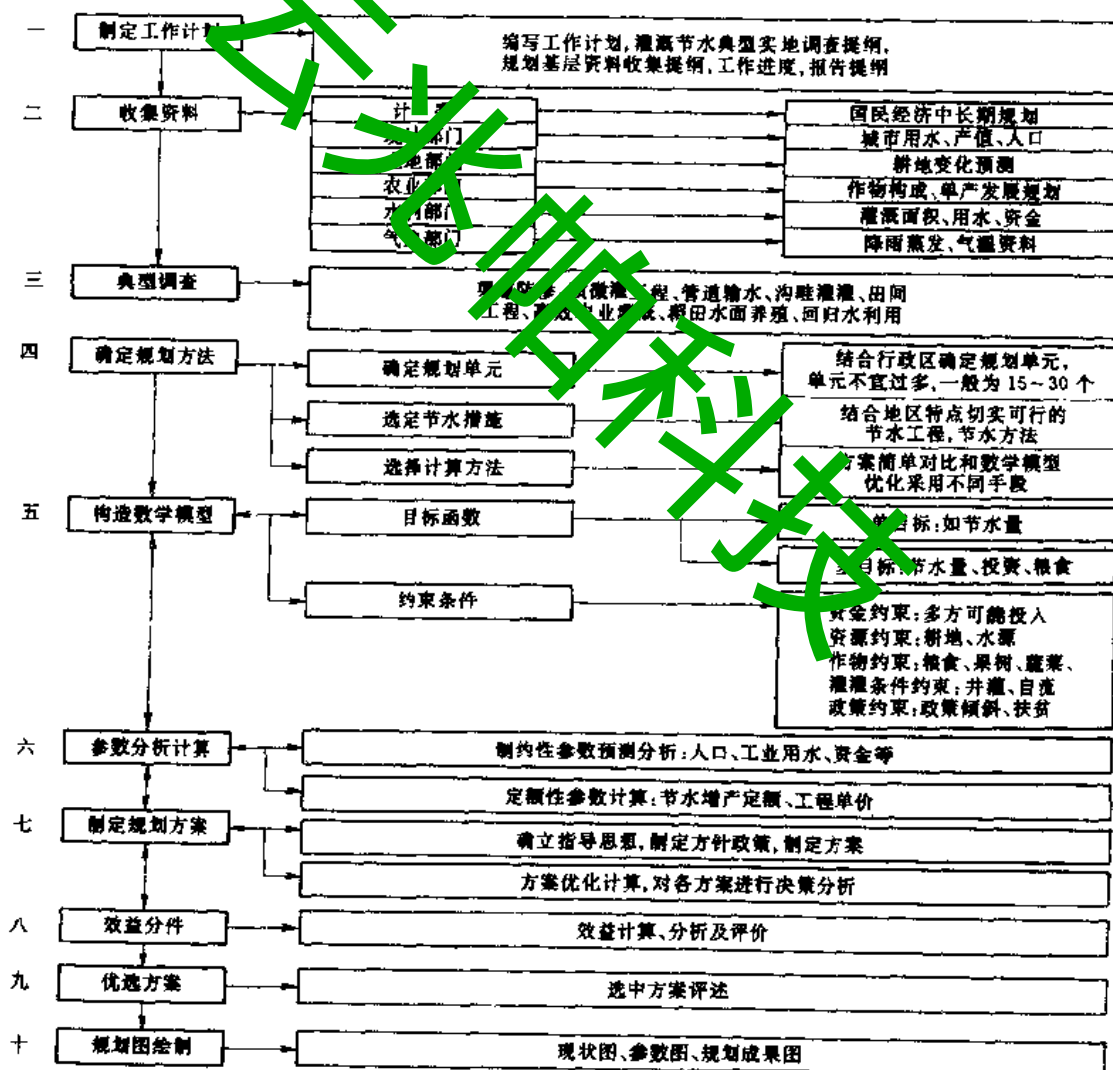


图 7-1 节水灌溉规划工作步骤框图

一、制定工作计划

编制规划的工作计划是规划工作启动阶段的工作内容之一，工作计划应该包含以下内容。

(1) 主要工作任务，其中包括：①收集资料；②规划基本单元基本情况调查；③节水灌溉典型实例调查；④计算分析；⑤编写报告；⑥报告刊印；⑦成果鉴定。

(2) 工作安排，其中包括：①收集资料：到有关部门收集有关农业、国民经济现状及发展资料。②调查：调查节水灌溉典型经验，同时收集各区的节水灌溉规划资料。③资料分析整理：分析整理资料，制定计算参数。④编制规划：计算机分析计算，制定 2000 年规划，2010 年规划，2020 年规划。⑤编制报告：××月完成初稿，汇报，修改，定稿。××××年鉴定。

(3) 人员与资金，包括工作人员的组成情况和资金预算。

(4) 拟定节水灌溉发展规划编写报告提纲。报告提纲要概括主要工作成果，对工作的开展和工作分工起着指导作用。一般包括：①规划基本资料，即自然条件和社会经济条件的介绍分析；②灌溉和节水工程现状，即介绍水利工程特点和节水灌溉的主要经验及存在的问题；③规划数据资料分析整理，即取用资料、预测补充资料、典型调查资料分析整理，制定计算参数；④编制规划，即选定计算方法，制定规划方针政策，拟定规划方案，计算机分析计算。⑤效益分析、方案决策对策，即节水效益的综合分析和对方案的决策计算，以及方案的评述和实施对策。

二、收集资料

资料收集是规划工作中的重要步骤，工作中要注意收集取用资料数据的准确性和有效性，尽量取用有关年鉴和有关规划中的数据。

(1) 有关国民经济情况的资料。其中包括规划单元各地耕地、人口、国民经济产值的现状与预测，粮食、蔬菜、水果的需求情况及预测。

(2) 有关农业生产情况的资料。其中包括规划单元各地的作物构成及单产和粮食生产现状及预测。

(3) 水文及气象资料。其中包括规划单元各地的降雨、蒸发和气温资料。

三、灌溉基本情况与节水灌溉典型实例调查

1. 节水灌溉现状

(1) 节水工程现状，即现有渠道防渗面积和达标面积，喷、滴灌面积，水稻田间节水达标面积，旱灌田间节水达标面积，低压管道输水达标面积等。

(2) 水利建设资金投入能力，即近年农田水利建设资金投入能力，节水灌溉资金投入能力，利用外资情况。

(3) 水利工程现状，即蓄水灌溉工程、引水灌溉工程、提水灌溉工程、井灌工程的规模和使用状况。

(4) 水资源及利用现状，即可开发水资源量、供水能力、地下水超采状况、回归水利用状况等。

(5) 灌溉用水现状，即不同地区、不同灌区规模的用水状况、渠系水利用系数资料。

2. 节水灌溉典型调查

调查不同节水灌溉工程的特点、工程投资、工程效益和工程管理经验,主要包括灌区工程配套情况,节水灌溉工程的修建时间、运行状况、主要经验和存在问题,灌溉管理组织系统,调配水运行情况,用水、用水量、水费计算、水费收缴等情况。

四、拟定规划方法

随着计算机计算技术的发展和计算机的普及,规划方法有了新的变化,计算机计算技术已被广泛地应用到规划工作当中,新的规划方法较传统方法更加准确、快速,其仿真、动态跟踪和即时修正功能更具可操作性。

节水灌溉规划是有时空和物流的规划,其主要目标是节水,使水资源得到充分利用。水作为人类生存和生产不可替代的资源,其量和质的变化影响着国民经济的发展和人类生存的环境。节水灌溉同这个大系统紧密相连,所以节水灌溉规划就成为大系统规划的一部分,规划工作具有很大的难度。

1. 传统规划法

在计算机计算技术尚未广泛应用的时期,规划是采用经验外延法,这种方法可以概括成如下的模式,即调查研究→整理分析→制定规划。这种方法的核心是根据实践成果和经验来制定未来的目标。其优点是可行,其缺点是缺少变化和对比性,效益不一定是最优。

2. 方案对比法

方案对比是从制定的多种方案中优选。方案制定是根据各种可能的变化,将政策、物资条件、自然条件组合成几种方案进行一般的计算,通过对比分析和决策方法,从中优选。

3. 数学模型规划法

计算机技术的发展为规划提供了更加逼真的模拟时空变化的计算技术,传统规划和方案对比是一种静态的断续的量值,而数学模型可以连续动态的展现事物的变化。

数学模拟的优点,在规划中对于规划变量可以随时输入预想的方案,通过人机对话得到满意的成果;在规划执行过程中可以随时纠正规划与现实的偏离,修改规划,使规划和现实行动统一,继续发挥规划的指导作用。

五、构造数学模型

由于计算机的普及,使用计算机进行规划已成为现实。当选定了数学模型规划法后,接下来的就是构造数学模型。

数学模型模拟时空规划的方法很多,一般常用的有线性规划和动态规划。

1. 线性规划

规划中的变量遵循线性规律,即可利用线性规划。线性规划是系统工程中的一种数学计算方法,它的模型由目标函数和约束条件构成。节水灌溉规划中的物流和时空参数是符合线性关系的。

2. 动态规划法

动态规划是多段时间序列的决策方法,在时间序列下有两个变量,状态变量和决策变量,动态规划适用于线性的和非线性函数关系的变量,但是由于它需要根据每个问题作出各自的求解方法,程序的广泛性受到限制。

六、规划参数的分析预测与计算定额的选定

在节水灌溉规划中,要引用未来的数据,例如2020年的城乡人口总数和比例变化、节

水灌溉资金投入能力、工业用水量、灌溉面积、耕地面积变化情况等，很多数据并不能从已有的规划中找到。为了规划需要，就需要进行分析预测。

1. 参数分析

参数分析工作在资料整理后进行，把收集到的资料与需要的资料相对比，看哪些资料数据已经取得，而哪些资料还没有得到，需要而又没有的数据，要在原始数据的基础上再加工。例如，2020年的城市用水在城市规划还没做出的情况下，就需要动手利用已有的资料进行预测分析。

2. 定额计算

在规划中要用到各种节水灌溉的单价、节水效益、不同灌溉方法的增产效益以及各种灌溉工程需要的材料定额等等，这些工作需要在上机计算前做好准备。

七、制定规划指导思想拟定规划方案

当规划方法和需要的数据准备好后，开始着手拟定规划方案，在规划方案制定前，在分析已有资料和数据的基础上，可以制定规划的目标、指导思想和方针政策。

1. 规划指导思想

规划指导思想是规划的总目标，实现规划目标要采取的方针，在方针指导下需要采取的策略，这些工作是规划的核心，是计算机不能取代的。无论计算机的计算技术有多高，规划水平依然取决于规划者的智慧。

2. 制定规划方案

有了数学模型，规划方案可以制定很多个，一般制定出高中低或者不同观点的不同方案。而这种方案和一般的方案不同，不同在于每个方案都是优化解，而手算的方案是没有经过优化的，两者差别很大，差别表现在同样的投入，其产出效益相差很大。优化解效益要高出20%~30%。

八、方案优化计算与效益分析

方案优化计算是利用计算机软件来完成，计算机发展了今天，计算机软件已经十分方便，常用的软件随手可得，10年前线性规划计算软件还很复杂，而今是十分轻松的事情。

常用的计算机软件有LOTUS 1-2-3、Excel。这两个都是电子表格软件，线性规划的计算只要求将数学模型参数输入，瞬间即可求得优化解。

1. 方案计算

方案计算是将拟定的方案逐个进行计算，计算需要采取人机对话方式，对规划方案中的目标和约束随时改变，将每个计算成果拿给规划人员讨论分析，直到规划者满意，方可确定为一个方案。方案计算是为方案决策提供数据，计算出的方案并不是最后的选择。

2. 效益分析

衡量规划方案好坏的标准，是以效益为尺度的，这里的效益是综合效益，它应该包括非货币价值（如环境效益）以及含有政治意义的一些因素（如扶贫工程）。效益分析还应包括时间价值，即要采用动态效益分析。效益分析也是为决策提供数据的，方案的取用最后要看决策分析效果。

九、决策分析

决策分析是方案的最后取用标准。对未来的预测都含有随机成分，或者说都含有一定

的风险。例如投资大则效益大，但是不一定是最好的方案，因为它实现的可能性要比投资小的方案的可能性要小。要对选定的方案做全面的介绍，并分析评价方案的可行性、优缺点。

十、绘制规划图

任何规划都离不开大量的图表，一个好的时空规划需要用一个好的图形来表达，乃至应用立体的图表和模型来展示。

第二节 节水灌溉规划方法简介

常用的规划方法有方案对比法、线性规划法、多目标规划法等，可根据各自的具体条件加以选择。

一、方案对比法

它是一种传统的规划方法，简单、明了、容易掌握，其主要步骤如下。

1. 制定方案

从不同角度制定出不同方案。例如，从完成一定节水任务出发，制定一个方案；而从人口发展对粮食的需求出发，也可制定一个节约一定水量扩大灌溉面积，从而增产足够粮食的第二方案；从国民经济发展的需要调整作物结构，增加喷微灌面积，增加收入也是一个方案，等等。不同的投入水平也是几种方案。

2. 制定规划

从众多方案中，选择几个具有代表性的方案进行规划。根据自然条件和社会经济条件及近年的发展趋势，制定各种节水措施的发展数量、规模，计算工程的投资、工程量及经济效益和社会效益，绘制工程现状及发展规划图表。

3. 对比分析

对各方案的投入产出、对环境的影响、对当地发展所起作用等进行全面的对比分析，确定最满意的方案。

二、线性规划法

节水灌溉规划各因素之间的关系基本上是线性关系，所以采用线性规划法进行节水灌溉规划。

1. 数学模型

数学模型采用以节水灌溉为目标的单目标规划，将粮食生产和投资规模以任务和限制条件放在约束条件中。数学模型概括写成：

(1) 目标函数

$$\max Z = \sum A_{ij} X_{ij}^p \quad (7-1)$$

式中： Z 为目标函数； A_{ij} 为第 i 个地区第 j 个节水措施的单位面积节水量； X_{ij}^p 为第 i 个地区第 j 个节水措施在第 p 个规划阶段（1 代表 2000 年，2 代表 2010 年等等）可发展的面积。

(2) 约束方程。可概括为下面两式

$$\sum X_{ij}^p \geq (\leq) F_i (G_{ni}^p - G_{no}^p) \quad (7-2)$$

表 7-4

灌溉地与旱地单产对比

省份	地 区	耕地面积 (万 hm^2)	旱地粮食 单产 ^① (kg/hm^2)	耕 地 灌溉率	平均单产 (kg/hm^2)	灌溉地 粮食单产 (kg/hm^2)	灌溉增产		潜力系数 (kg/hm^2)	灌溉单产 较 平 均 单产增产 (%)
							%	kg/hm^2		
陕 西	榆林等区	84.8	1575	0.37	3000	5491.5	128.6	3860	4245	81.05
甘 肃	庆阳等区	149.3	1455	0.33	2925	5901.4	151.8	4442	4395	101.72
河 北	坝上区	61.4	777	0.6	3300	4981.5	127.4	4025	4035	50.97
内蒙古	后山区	58.9	594	0.33	1500	2842.5	183.0	2745	1740	122.63
宁 夏	固原区	312.7	869	0.32	1500	2842.5	131.6	1974	4365	89.46

① 引自中华人民共和国农业部编《建设中国特色的现代化农业》一书的“发展旱地农业促进农业生产均衡增长”一文。

四、节地、节电量

节地是采用了新的灌水技术后，输水实现了管道化，而且管道可以埋入地下，省去了渠系工程占用的土地。这部分土地各省也有很大差别，人口密集的省份，渠系改到了最小

星光科技

星光科技

星光科技

星光科技

程度, 所以节地比例小, 一般在 0.005~0.01 左右, 而对于地广人稀的省份, 则该值较大, 一般为 0.08~0.1 (见表 7-5)。

节电是指由于减少了单位面积的用水量, 相应动力也就节省了, 它与节水量相关联, 但也因各地区的供水自然环境不同面有差别。例如, 山区扬程高的与自流灌溉比重大的相比较, 两者相差就较大 (见表 7-5)。

五、转移效益

节水灌溉工程节省的水量和电能, 除供给自己扩大灌溉面积外, 有条件的也可向工业转移。由于水源性质的不同, 有些地区节省的水无法向工业转移, 所以比重较小。但电力转移方便, 转移的比重比较均衡, 都在 50%~100% 左右。

表 7-5 节地、节电参数

项目 特征值	节地效益指标			节电指标 (万 kW·h/亿 m ³)
	喷灌 (%)	微灌 (%)	管道输水 (%)	
最大值	15	11	22	1580
最小值	1	1	1	18
众数	2	2	2	82
平均数	5	3	4	467

六、节水灌溉工程的设备材料消耗

为了给物资部门提供材料预测数量, 在规划中特对各种主要材料用量也提出预测, 其特征值列在表 7-6 和表 7-7 中。

表 7-6 节水灌溉工程需用材料

材料 特征值	钢材 (t/hm ²)	木材 (t/hm ²)	水泥 (t/hm ²)	铝材 (t/hm ²)	塑料	
					管材 (t/hm ²)	薄膜 (t/hm ²)
最大值	0.5000	0.3684	0.027	0.0394	0.3770	0.1306
众数	0.0033	0.0070	0.302	0.002	0.0071	0.0072
平均数	0.0857	0.1011	2.0577	0.47	0.0721	0.0303

表 7-7 节水灌溉工程需用材料、设备

设备 特征值	电力增容 (kVA/万 hm ²)	高、低压线 (m/hm ²)	水 泵 电 动 机			
			流 量 [m ³ / (s · 万 hm ²)]	台 数 (台/ 万 hm ²)	功 率 (kW/万 hm ²)	台 数 (台/万 hm ²)
最大值	92521.2	361.30	182.2	2604.7	196167.6	3940.0
众 数	4519.7	18.95	9.1	210.7	3038.5	270.2
平均数	21775.7	91.58	41.2	963.0	29030.9	869.8

设备 特征值	柴 油 机		喷 灌 机 (台/万 hm ²)			劳 力 (个/hm ²)
	功 率 (kW/万 hm ²)	台 套 (台/万 hm ²)	大 中 型		小 型	
			自走式	移动式		
最大值	25269.4	1434.8	533.0	393.7	5000.0	340.5
众 数	996.2	110.2	50.9	47.0	651.0	33.5
平均数	6118.8	593.1	213.0	195.1	1942.6	102.0

第五节 制定规划方案及计算

一、方案制定

1. 制定方案的原则

规划方案要体现规划的指导思想,拟定的指标能够完成规划提出的目标,选择的规划措施要具体,对不同的规划单元要有明显区分,把方针和政策贯彻在方案中。不同的方案要对比鲜明,档次明显,具有不同的特点。

2. 方案制定

方案要包括以下内容:

(1) 目标。不同方案目标要有差距,例如:第一方案到2000年实现节水面积20%,第二方案实现节水面积30%;或者是第一方案到2000年灌溉水利用系数由1995年的0.45提高到0.48,而第二方案提高到0.50。也可以按投资的可能,分为高、中、低几个方案。

(2) 措施。实现目标的主要措施,除了具体的规划措施外,还要有不同规划单元的战略措施,如发展什么,优先什么,控制什么等等。

(3) 政策。对于规划布局要有统筹安排,对于缺水地区采取什么政策,对于贫困地区采取什么政策,对于资源超采和受到破坏的地区采取什么政策等等。

方案制定需要反复协商才能制定出较好的方案,好的方案符合实际,能够经得起历史的考验。制定好方案后,将各方案列表,并将数据填入数学模型中。

二、规划计算

1. 模型试算与调整

(1) 方案制定好后,首先检查数学模型中的有关数据是否正确,各参数间的关系方程有无错误,确定无误后,利用上边介绍的 LOTUS 1-2-3 软件中的规划求解功能进行计算。计算步骤已在上边叙述了,这里不在重复。

(2) 一般第一次计算可能出现无解,这时主要检查约束条件,例如要完成某一节水灌溉工程,必须满足一定的资金要求,如果资金达不到要求,那么计算机就求不出解。从新调整约束条件,使各条件均能满足要求。这时就一定能够求出最优解。

2. 人机对话与方案完善

经过试算的调整虽然已经可以求出解答,但是不一定是我们所期望的,总是有这样或那样的问题,这时需要规划小组讨论,然后,根据综合意见,修改不足的地方,将新的数据填入数学模型,再进行新一轮优化计算,经过反复的人机对话修改。最终可以得到满意的方案。

3. 规划成果及效益计算

线性规划模型求出的是各规划单元的节水灌溉面积,但是规划中还有很多参数,需要进一步整理和补充计算。这些参数有节水量、粮食增产量、投资、由于省水而节约的电量、由于采用新的灌溉方法而减少的渠道占地等等,这些参数有的散落在模型的参数方程中,有的需要用节水灌溉面积从新计算。

第六节 规划方案的决策分析

规划计算是面对各个方案进行的,最后提出的是各个方案的优化成果。面对各个规划成果,如何选择最优方案则是决策分析阶段的任务。

节水灌溉规划的主要控制因素是投资,投资实现的可能性对规划的实现起决定作用。投资能否实现涉及众多因素,是不确切的,通过历史资料进行的预测带有一定的风险性。因此节水灌溉规划可采用风险决策来分析方案的优劣。此外,综合评分法也是使用较多的一种方法,下面对这两种方法做简单介绍。

一、风险决策法

1. 风险决策的特点

风险决策面对的决策对象是一个不确定因素,但是可以由有关的资料或历史资料推测出其发生的可能性。风险决策应该具备四个基本条件,即①有期望的数量目标;②有可比方案;③有不确定的状态变量(即随机因素);④状态变量的概率虽然不知道,但是可以预测。

2. 风险决策计算的基本公式

风险决策的主要方法是期望值法。在决策因素中含有随机因素,决策的指导思想是在一确定的条件下期望目标值最大,这个期望值 $A(x)$ 的数学表达式为

$$A(x) = P_x U(x) \quad (7-24)$$

$$U(x) = \sum C_i X_i \quad (7-25)$$

$$P_x = \sum P_i X_i$$

$$P_{ij} = F_i / E_0$$

$$P_i = F_i / \sum F_i$$

式中: $U(x)$ 为投入所获得的收益; X_i 为规划方案获得的节水效益,如节水量、扩大灌溉面积、增产粮食、节约土地、节电等; C_i 为获得效益的产值系数,将效益折成币值; P_x 为状态变量 $U(x)$ 可能出现的期望概率; P_i 为某一投资水平在历年上出现的概率; m_i 为某一投资水平的年数; $\sum n_i$ 为投资总年数; P_{ij} 为某一投资水平下的数学期望概率,最大取 100%; F_i 为历史上某一投资水平; E_0 为某方案的平均年投资值。

3. 计算方案综合经济效益

按效益分析计算方法对各方案进行效益计算,算出不同方案的总效益。如果是多目标模型,则要计算出不同方案的各目标效益成果。

4. 计算期望概率

表 7-8 节水灌溉投资情况

年份	农业水利费 (亿元)	可能用于节水灌溉的投资 (亿元)	不同投资水平 出现年数
1966~1970	25.35	2.267 (年平均 0.253)	>1.25, 2 年
1971~1975	53.64	2.682 (年平均 0.536)	1~1.25, 1 年
1976	14.95	0.745	0.75~1, 3 年
1977	14.95	0.745	0.5~0.75, 11 年
1978	27.18	1.36	0.25~0.5, 5 年
1979	36.1	1.80	
1980	21.16	1.05	
1981	13.72	0.69	
1982	13.039	0.65	
1983	12.074	0.60	
1984	11.67	0.58	
1985	15.88	0.79	
1986	19.83	0.99	
1987	16.60	0.83	

在规划中,各方案投资是未来的计划,是否能够实现是一个未知数,但是可以由历史的投资情况来预测可能实现的概率。表 7-8、表 7-9 是具有三个投资方案的节水实例,按历史的投资状况可以计算期望概率。

计算方法即按上述公式。

5. 决策计算

表 7-10 是多目标决策的计算表,本实例的三个目标分别是: A 为产值效益最大, B 为节水效益最大, C 为发展节水灌溉面积最多。三个方案以投资大小划分,三个方案总投资分别为 21.9、14.6、7.3 亿元。将上述的期望概率填入表中,按期望值计算公式计算各目标的期望效益。为了对比三个效益的综合利益,通过对比评分,从表中更清楚的看出第二方案比其他两个方案好。所以最后选择第二方案,作为规划成果。

表 7-9 数学期望概率 P_{ij} 计算表

历史发生节水灌溉年投资状态 (亿元)	第一方案: 总投资 21.98 亿元, 分年投资 1.69 亿元	第二方案: 总投资 14.64 亿元, 分年投资 1.126 亿元	第三方案: 总投资 7.33 亿元, 分年投资 0.563 亿元
1.25	0.739	1.0	1.0
1.00	0.592	0.888	1.0
0.75	0.444	0.666	1.0
0.50	0.296	0.444	0.888
0.25	0.148	0.222	0.444

表 7-10 多目标期望效益计算表

方案	国补投资分摊情况			目标函数 (亿元)	期望 概率	分摊后国补 投资期望效 益 (亿元)	相对第一 方案比值	各方案总 分对比
	国补投资 (亿元)	总投资 (亿元)	分摊系 数					
第一方案	21.90	55.87	0.39	A: 56.90	0.336	7.49	1.00	3.00
				B: 52.80		6.95	1.00	
				C: 0.33		0.003	1.00	
第二方案	14.60	45.14	0.32	A: 50.90	0.494	8.12	1.08	3.03
				B: 40.00		6.38	0.92	
				C: 0.28		0.044	1.03	
第三方案	7.33	34.40	0.21	A: 44.40	0.815	7.71	1.03	2.66
				B: 31.60		5.49	0.79	
				C: 0.21		0.036	0.84	

注 A 为产值总效益, B 为省水总效益, C 为发展总面积。

二、综合评分法

综合评分法是将影响方案选择的有关因素分别排出序列优先顺序,并以分数表达。为了区分各因素的影响程度,再分别给每个因素以不同的权重。综合评分法给决策提供了方案好坏的数值依据,但是依然夹杂专家的个人看法,于不同的入给出的权重就有可能不同。

其计算方法可以下式表达

$$R = \sum Q_i R_i \quad (7-26)$$

式中：\$R\$ 为综合分；\$Q_i\$ 为影响方案决策的第 \$i\$ 个因素的权重系数；\$R_i\$ 为影响方案决策的第 \$i\$ 个因素的评分。

表 7-11 是三方案对比规划，考虑节水规划的需要和可能，选择了投资可能性、综合经济效益和完成达标任务作为评分项目，根据三个项目的规划数量来评分，按其有利和不利来评分，以某一方案的数值作对比起点，有利分高，不利分低。

表 7-11 中，经过计算第一方案和第二方案得分相等，这时可以通过调整权系数，做敏感分析，从中优选。

表 7-11 节水灌溉规划方案决策计算

方 案	投资可能性 (权重系数为 0.5)		综合经济效益 (权重系数为 0.2)		完成达标任务 (权重系数为 0.3)		综合评分
	数量 (亿元)	得分	数量 (亿元)	得分	数量 (万 hm ²)	得分	
第一方案	30	0.6	50	1.7	60	1.9	1.2
第二方案	20	1	38	1.3	40.3	1.3	1.2
第三方案	15	0.3	30	1	31.5	1	1
对比方案	20	1	38	1.3	31.5	1	

第八章 节水灌溉综合技术体系

第一节 节水灌溉综合技术体系的内涵

节水灌溉综合技术体系也叫做节水农业技术体系,是指为充分利用降水和可用水资源,采取水利措施、农业措施和管理措施,提高水的利用率和利用效率达到农作物高产、高效的成套技术,结构框图见图 8-1。这是一项由水源、输水、田间供水、生物和管理等子系统构成的系统工程。

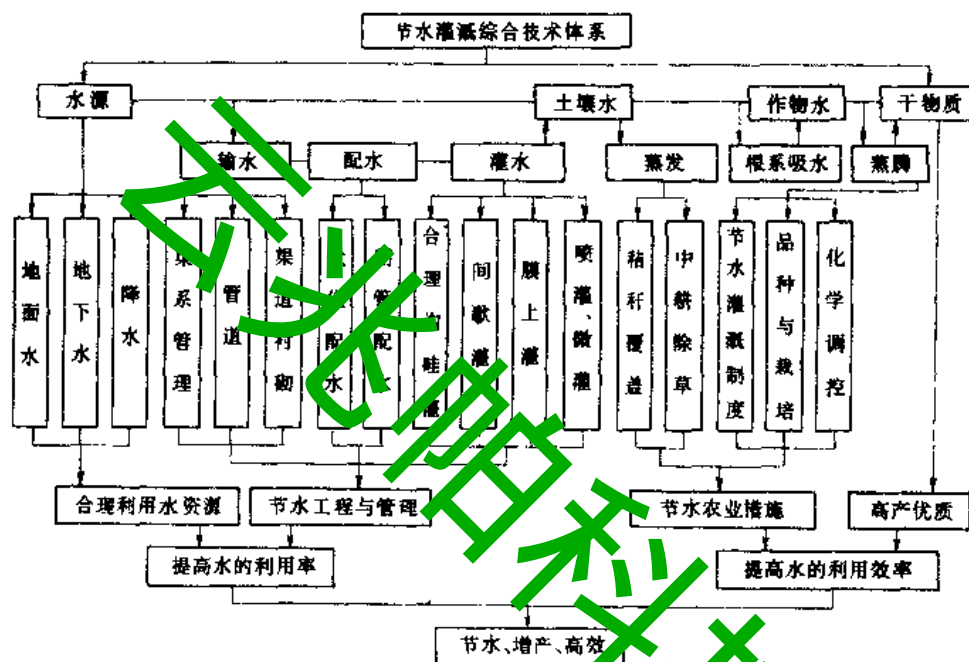


图 8-1 节水灌溉综合技术体系

由于我国幅员辽阔,不同地区自然条件、经济条件千差万别,因此各地的技术体系必须建立在完成了本书前面各章所述的水土资源评价与分析、节水灌溉分区及节水灌溉规划等工作的基础上,建立适合本地区、本县的节水灌溉综合技术体系。农田灌溉研究所等单位在完成总理基金项目“华北地区节水型农业技术体系研究与示范”的过程中,考虑到对华北地区的代表性,选择了海河平原和黄土丘陵两种不同地形类型,又根据不同的水资源条件,将各个环节的节水措施组装修配,付诸实施,形成了三种主要类型的节水灌溉综合技术体系,也即节水型农业技术体系。

第二节 海河平原区引黄补源区节水灌溉综合技术体系及其应用效果

华北引黄灌溉面积有 200 万 hm^2 ,灌溉方式有自流灌、沟引提灌和引黄补源井灌三种形

式。在黄河中下游地区的纯井灌区，由于地下水连年超采，致使地下水位大幅度下降，形成大面积地下水位下降漏斗区。这不仅迫使提水机具更新，增加能耗，机井报废率提高，给农业生产造成严重影响，而且还带来难以解决的生态环境问题。实践证明，大规模持续发展引黄补源井灌是扭转这一局面的重要途径。同时，又由于引黄补源灌溉的迅速发展，在源灌季节黄河水资源也日趋紧张，因此在进行引黄补源的同时，必须实行节水灌溉，河南省清丰县在历史上曾旱涝洪碱俱全，自 70 年代以来，由于农业的迅速发展，大量开发利用地下水，地下水位大幅度下降，干旱缺水已成为当地工农业发展的主要制约因素，在整个引黄补源地区极具代表性。为此，科研人员在这里建立了面积为 607 hm² 的示范区，组成了引黄补源区节水灌溉综合技术体系，见图 8-2。

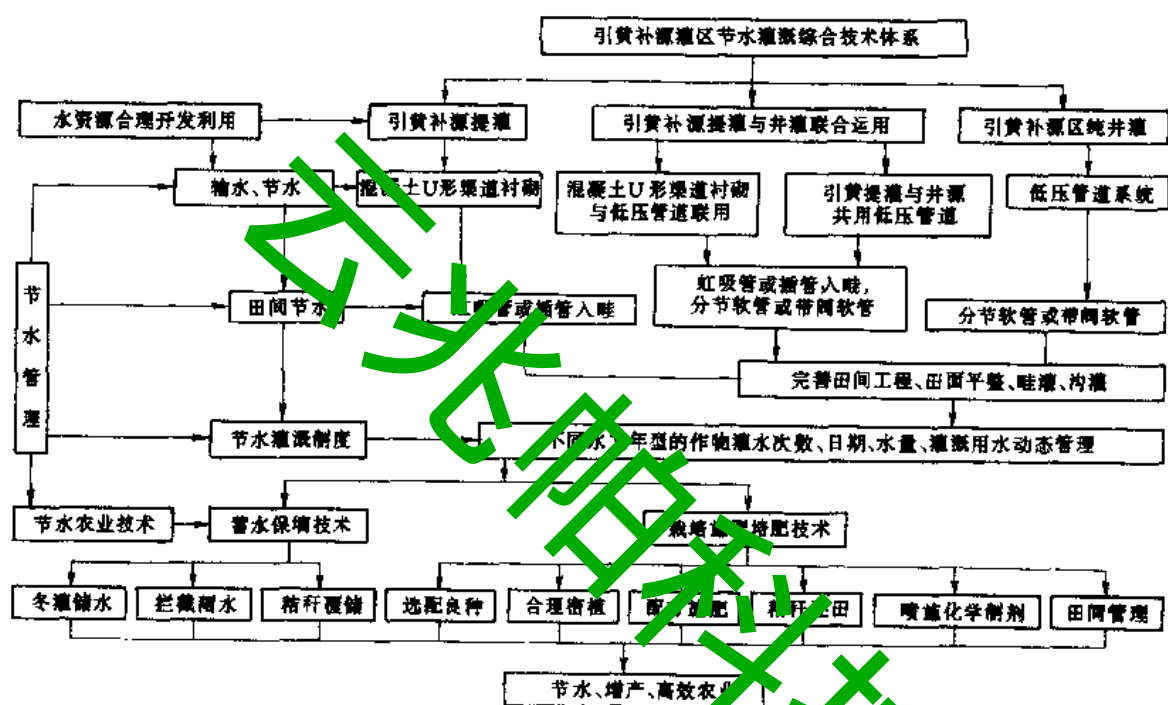


图 8-2 引黄补源区节水灌溉综合技术体系

一、引黄水和地下水的合理利用

1. 时间上的联合利用

当地引黄水量受季节和年际的影响很大，农作物灌溉高峰期往往与黄河枯水期相遇，而黄河枯水年也可能与当地干旱年相重，造成引黄灌区受旱，向补源区送水更加困难。因此，在年内和年际间实行引黄提灌与井灌相结合，地表水与地下水联合利用、统一调控，可使有限的水资源发挥更大的经济效益和环境效益。

年内联合利用方式是：在 4~6 月小麦灌溉高峰期，也即无水可引的黄河枯水期适当进行井灌，满足作物的需水要求；在 7~9 月的汛期，河水含沙量大，应避免引用，如需灌溉就用井灌；10 月至翌年 3 月是引黄补源的黄金季节，应充分利用引黄提灌，在满足灌溉需水的同时，利用沟渠河网和坑塘洼淀蓄水，增加地下水的补给量。

年际联合利用方式是在枯水年主要靠开采地下水灌溉，动用地下水储存量；丰水年则

充分利用引黄提灌，少用地下水，使地下水在枯水年中的亏缺得到恢复和补充。

2. 空间上的联合利用

为了充分利用地下水库的调蓄作用，提高水资源的利用率，可把引黄补源区划分为站井双灌区和纯井灌区，即把沿引黄沟地带作为站井双灌区，将远离引黄沟（两条沟之间）的地带作为纯井灌区，并合理地确定二者的面积比例，见图 8-3。就清丰县而言，站井双灌面积占总面积的 50%~60%为宜。在双灌区，地下水保证程度高，具有较大的调蓄能力，应优先利用引黄水，引黄无水时才用地下水。在非灌溉季节，应尽量利用河、沟、坑、塘蓄存引黄水，既可入渗补给地下水，还可蓄水以待用于灌溉，缓解引黄水供需矛盾。在纯井灌区，尽管是单纯利用地下水，但其毗邻的双灌区地下水位较高，对纯井灌区的侧向补给增加了地下水的补给量。显然，站井双灌区与纯井灌区相间布置具有相辅相成之功能。

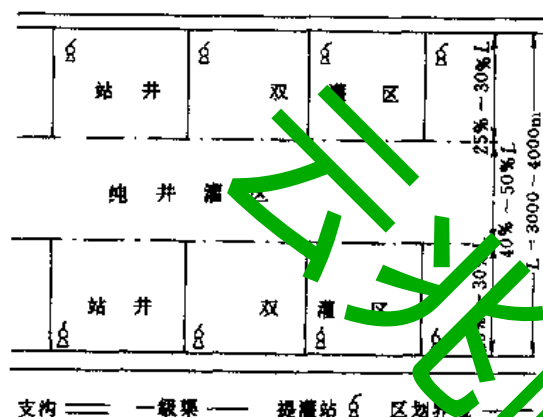


图 8-3 站井双灌区与纯井灌区规划布置示意图

浇咸水比不浇水的增产 0.5~1.5 倍。同时，地下水矿化趋势 1992~1993 年矿化度约降低 0.29 g/L。

二、灌设适合两种水源联合运用的节水工程

节水工程系统由引黄补源子系统和节水灌溉子系统组成。引黄补源系统由干、支两级沟系组成，节水灌溉子系统由水源工程、输水系统和田间灌水系统组成。

水源工程包括提灌站和机井。提灌站控制面积为 33.5~133.1 hm²。通过机井测试改造，单井装置效率由 21% 提高到 36%，单井出水量由 25 m³/h 左右提高到 35 m³/h，千吨米能耗降低 24%，单井控制面积由 4.4 hm² 提高到 6.1 hm²。

输水系统有混凝土 U 形渠道系统和塑料管道系统两种类型。混凝土 U 形渠道系统由一级渠道和二级渠道组成。井灌和提灌输水有分设和共用一套系统这两种类型。从水量调度、节省占地和减少工程投资等方面考虑，以两者共用一套输水系统为宜。图 8-4 为采用塑料管道把机井与较近的提灌 U 形渠道连接起来的一个共用系统。在进行井灌时，把井水通过地下管道送入二级 U 形渠道，然后再配水到田间。为此，要考虑提灌二级混凝土 U 形渠道过水断面与机井出水量相适应，有条件时可修成水平渠道，即比降为零。这样在井灌时有利于上下游水量的相互调节或统一调度。地下管道系统由干管和支管组成，均采用硬质塑料管。为防止引黄水中所含泥沙在管中淤积，在干管的中部和尾部各安装了一个排淤闸阀，定

期开闸冲淤。另为防止开机和突然停泵产生水击造成的管道破坏,在管网首部安装有安全阀、水塔或三通管等安全保护。其应用形式分见图 8-5、图 8-6 和图 8-7。管道合理长度为:当单井出水量为 $30 \sim 40 \text{ m}^3/\text{h}$, 控制面积最大为 $5.3 \sim 6.7 \text{ hm}^2$, 管道单向最大长度以 $200 \sim 300 \text{ m}$ 为宜, 其运行电费明显少于盲目埋设的管道, 见表 8-1。

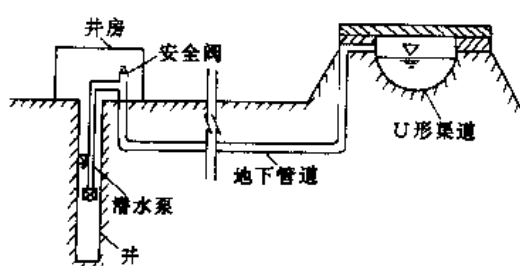


图 8-4 机井与提灌 U 形渠道连接结构示意图

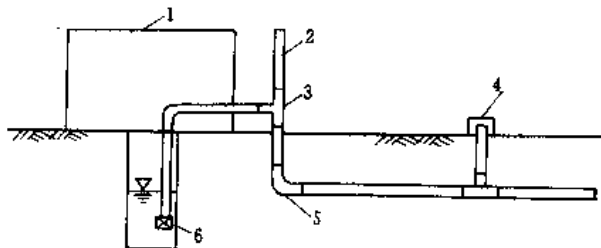


图 8-5 对接式示意图

1—井房; 2—安全阀; 3—钢接头; 4—给水栓;
5—PVC 三通; 6—PVC 管; 7—潜水泵

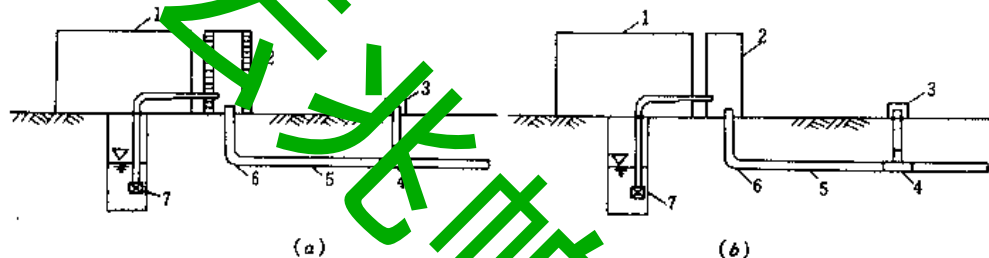


图 8-6 水塔式示意图

(a) 砖砌水塔; (b) 混凝土管水塔

1—井房; 2—混凝土管式水塔; 3—给水栓; 4—PVC 三通; 5—PVC 管; 6—PVC 弯头; 7—潜水泵

引水入畦采用虹吸管和插管, 取代从垂直于配水渠的临时性毛渠中破堤引水到田间的方式, 见图 8-8。通过水力学试验, 采用内径为 10 cm 的硬塑料管制成的虹吸管, 由 D_{40} 型 U 形渠道引水入畦比较合适, 其结构见图 8-9。

虹吸管的流量计算公式为

$$Q = 0.36 \times 10^{-2} \sqrt{2gh} \quad (8-1)$$

式中: Q 为虹吸管流量, m^3/s ; g 为重力加速度, 9.81 m/s^2 ; h 为水流的有效水头, m 。

虹吸管要求有一定的水头, 并对渠中的水位变动反应敏感, 不便在 D_{25} 型 U 形渠道上应用。为此, 试验筛选出一种内径为 10 cm 、长为 50 cm , 适合 D_{25} 型 U 形渠道应用的塑料插管, 出水口装有蝶阀以控制流量。其结构见图 8-10, 其流量计算公式为

$$Q = 0.57 \times 10^{-2} \sqrt{2gh} \quad (8-2)$$

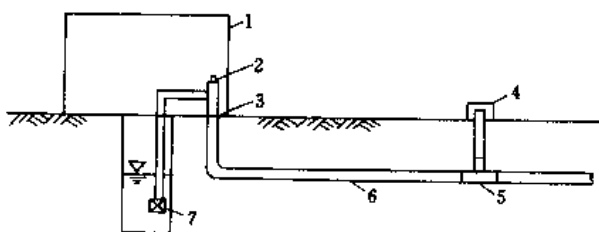


图 8-7 三通式示意图

1—井房; 2—PVC 管; 3—PVC 三通;
4—给水栓; 5—PVC 弯头; 6—潜水泵

表 8-1

管道长度与运行耗电的关系

机井编号	管道距井最长距离 (m)	单井出水量 (m ³ /h)	灌溉面积 (hm ²)	浇地时间 (天)	用 工 (人/天)	总用电 (kW·h)	用 电 (kW·h/hm ²)
1	180	30~40	6.6	6	2	891	135
2	430	30~40	5.7	8	4	1188	210
3	180	30~40	5.7	5	2	765	135
4	297	30~40	5.8	6	3	870	150
5	200	30~40	5.5	5	2	738	135
6	200	30~40	6.2	5	2	837	135
7	261	30~40	6.5	6	3	980	150
8	360	30~40	6.5	8	4	1078	165
9	200	30~40	6.6	7	2	900	136.5
10	230	30~40	6.3	7	2	864	138
11	350	30~40	5.6	8	3	924	165
12	358	30~40	6.6	8	4	1108	168
13	180	30~40	6.3	6	2	855	135
14	434	30~40	6.4	9	5	1248	195
15	210	30~40	5.7	6	2	782	136.5
16	280	30~40	6.3	6	3	855	136.5
17	290	30~40	6.2	7	3	939	151.5
18	300	30~40	6.2	7	3	948	153

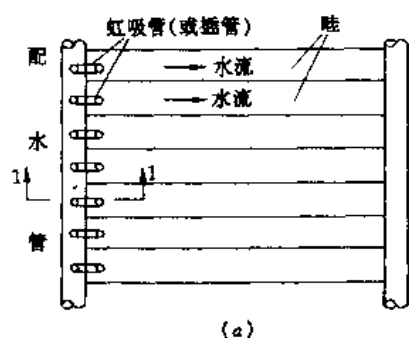


图 8-8 通过二级渠及虹吸管或插管灌水入畦系统示意图

(a) 系统平面图; (b) 断面 1-1 (放大)

式中符号意义同前。采用这两种从二级 U 形渠道引水入畦装置比用临时性毛渠可提高田间水利用率 5%~10%，减少占地 1%，并可用作量水装置。

三、采用节水、高产、高效模式化栽培技术

节水、高产、高效模式化栽培技术包含的主要内容有：①选用节水高产品种，合理搭配布局，充分利用光、热、水、肥资源的增产潜力。经试验，筛选出适合当地的小麦品种有“豫麦 2 号”、“豫麦 13 号”、“郑州 021 号”和晚茬麦“85 中 33”；在中等肥力田玉米以“掖单

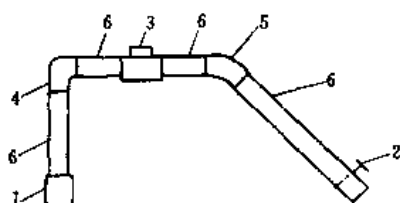


图 8-9 虹吸管示意图

1—底阀；2—蝶阀；3—带盖三通；4—90°弯头；5—135°弯头；6—塑料管

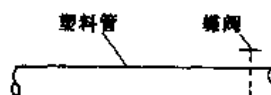


图 8-10 插管示意图

12”为主，搭配“新黄”、示范“掖单 51 号”。
 ②适期播种，适当推迟玉米收获期，提高粒重，促进增产。
 ③根据试验得出了冬小麦、夏玉米的肥效应方程，计算出最佳施肥用量与配比，进行配方施肥。增施氮、磷肥，适当配施锌肥，两作合理运筹。
 ④采用冬灌储水加秸秆覆盖。采用的节水灌溉制度见表 8-2。
 ⑤建立高效、低耗群体结构，采取化学调控方法来防衰增穗重。

表 8-2 不同频率年的节水灌溉制度

年频率 (%)	灌水次数	灌溉定额 (m^3/hm^2)
25	3	3000
30	4	3900
75	5	4620
95	6	5925
多年平均	5	4635

四、应用效果

1. 水资源得到有效补充

实行引黄补源提灌与井灌联合运用，有效地补充了示范区的水资源。使地下水位略有回升，而纯井灌区同期地下水位却下降 0.5~1.0 m。

2. 节水效果明显

与示范区建设前相比，节水率达到 30.4%，水分生产率提高 63.3%，小麦和玉米的水分生产率达 $1.96 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

3. 增产幅度大

示范区建成后，改善了灌溉条件，缩短了灌溉周期，并因适时供水和采用高产耕作栽培措施而使农作物增产 39.7%。

4. 经济效益显著

按 1991 年的市场价格计算，包括节水灌溉工程系统中的水源工程系统、输水系统和田间灌溉系统等建设投资，平均每公顷约 180 元。按中心示范田的增产估算，效益费用比为 35，年净效益为 2815.5 元/ hm^2 ，投资回收年限为 0.6 年。

第三节 黄土丘陵缺水节水灌溉综合技术体系及其应用效果

在山丘地区，因其地形复杂，地块零碎，土地瘠薄，旱灾频繁，水源缺乏，只有采取农业与灌溉综合措施才能实现节水增产。各种灌水技术均有一定的适用范围和局限性，在丘陵地区单一的灌水方式往往并不一定能达到最经济而又合理的效果。总理基金项目山西省夏县示范区的面积为 1373 hm^2 。区内无地表水资源，地下水资源也比较贫乏，耕地平均占有水资源量不足 $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。区内地形起伏不平，地面坡度大，耕地呈梯田状分布，输水困难。建示范区前，输水土渠因冲刷、渗漏严重（最大冲刷深度达 5 m 以上）灌水量达 $1350 \sim 1950 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$ ，灌溉用水浪费严重，农作物产量低而不稳，示范区开展了对水资源的高效利用研究，将多种灌水技术加以组合，因地制宜地进行联合运用，并配合采用各种农业节水措施，形成了黄土丘陵缺水节水灌溉综合技术体系，见图 8-11。

一、水资源的持续高效利用

(1) 合理开采地下水资源。黄土丘陵区地下水资源较贫乏，根据地下水储量，适量开采，发展井灌，将灌溉面积占耕地的比例从 60% 提高到 80%，同时采取节水灌溉技术措施，

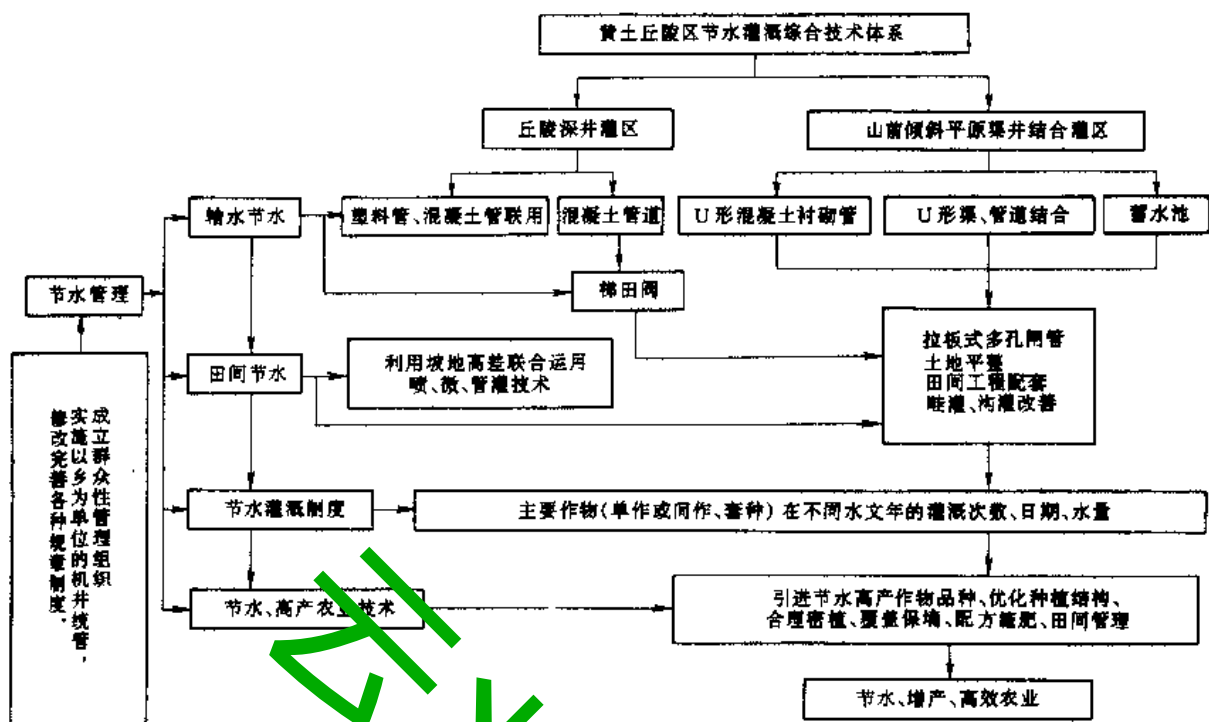


图 8-11 黄土丘陵区节水灌溉综合技术体系

减少单位面积的用水量。通过三年实施效果良好，示范区灌溉面积由原来的 795 hm² 发展到 1126 hm²。而年总灌溉用水量却由 270 万 m³ 减少到 253 万 m³，节水 17 万 m³。

(2) 测试改造机井，提高机井装置效率。对于井灌区特别是深井灌区来说，机井装置效率对能源消耗、灌溉用水和农业生产成本有很大影响，为此，对示范区机井普遍进行了测试改造优化配套。提高了井的出水效率，延长了井的使用寿命。为提高农田机井的配套效益，采用机井优化配套与田间工程配套结合，寻求效益最大的方法来确定机井优化配套参数值，见表 8-3。将机井装置效率提高了 5%~10%，节能、节水效果显著。

表 8-3 丘陵深井优化配套参数

类别	状态	计算值			配套值			装置效率 (%)	能耗 (kW · h/kt · m)	备注
		流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	泵管径 (mm)	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	泵管径 (mm)			
变面积	全配套	50	117.13	73.67	50~51.62	120~117.90	75	47.36	5.77	250QJ50-100-S d=100 mm
	泵组已定	50	100	85.64	50~43.92	100~106.56	75	50.09	5.44	
	泵管已定	50	90.93	100	50~55.33	100~94.15	100	60.23	4.52	
定面积	全配套	50.46	85.94	127	50~45.15	80~84.02	125	63.93	4.26	20 hm ²
		33.94	81.03	107.38	32~32.75	80~81.51	100	58.73	4.64	13.33 hm ²
	泵管已定	49.56	90.68	100	50~55.38	100~94.18	100	60.29	4.52	20 hm ² d=100 mm
		33.74	82	100	32~31.65	80~80.95	100	58.01	4.69	13.33 hm ² d=100 mm
积	泵组已定	50	100	85.64	50~43.78	100~106.37	75	49.98	5.45	250QJ-100S

注 全配套是对已成井配套泵机组、管泵及田间工程而言，泵管已定是对配套泵组及田间工程而言，泵组已定是对配套泵管及田间工程而言。

(3) 实行机井统一管理, 促进井灌工程向良性运行发展。实践证明, 这样做可使机井完好率得到较大提高, 机泵安全运行时数成倍增加, 不单使浇地不误农时, 而且也降低了能耗和机泵的维修费用, 提高了井灌效益。

二、多种灌水技术联合运用

多种灌水技术联合运用是根据拟建山丘灌区的地形高程和管网压力水头分布情况进行压力分区, 再根据各压力区内工作水头的大小, 选用合适的灌水方式。压力分区可按不同灌水方式所需的工作水头范围进行划分。例如, 设工作水头为 P , 当 $P \geq 20$ m 时为喷灌区; $10 \text{ m} \leq P < 20 \text{ m}$ 时为微喷灌区; $5 \text{ m} \leq P < 10 \text{ m}$ 时为滴灌区; $P \leq 5 \text{ m}$ 为低压管道输水灌溉区。

设计时, 首先就拟建的的山丘坡耕地进行总体布局, 包括水源工程和管网布置, 接着根据地形高程分布情况和静水头分布进行大致的压力分区, 再根据压力分区选择合适的灌溉方式并进行优化组合。

设喷灌、微灌、低压管道输水灌溉所占灌区总面积的百分比分别为 α 、 β 、 γ , 灌溉定额分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 , 则有

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (8-3)$$

又根据灌溉实践, 可令 $m_2 = 0.5 m_1$, $m_3 = 1.4 m_1$, 则采用多种灌水技术联合运用时灌区总用水量 W 为

$$W = \alpha m_1 A + \beta m_2 A + \gamma m_3 A = (\alpha + \beta 0.5 + 1.4 \gamma) m_1 A \quad (8-4)$$

式中: A 为灌区总面积, hm^2 。如果知道 α 、 β 和 γ , 可由式 (8-4) 求出 W 。

当山丘区为提水灌溉时 (见图 8-12), 各种灌水方式所需的净扬程为

$$H_0 = Z + P \quad (8-5)$$

式中: H_0 为净扬程, m; Z 为灌区最高灌溉点至水源最低水位的高差, m; P 为相应灌水方式所需的最低工作水头, m。

要实现多种灌水技术联合运用, 式 (8-5) 中的 Z 值需大于喷灌所需要最小工作水头 P_1 。假设各种单一灌溉方式与多种灌水技术联合运用所需要的管道水头损失, 包括沿程水头损失和局部水头损失都相等, 则单一灌水方式需要的能耗 E 可表示为

$$E_i = N_i t_i = 2.723 \times 10^{-3} \frac{Q_i H_i}{\eta_i} t_i = 2.723 \times 10^{-3} \frac{W_i H_i}{\eta_i} \quad (8-6)$$

$$H_i = Z_i + P_i + h_i$$

式中: E_i 为灌溉方式 i 的能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; W_i 为灌溉方式 i 的总用水量, m^3 ; Q_i 为灌溉方式 i 所需的流量, m^3/h ; t_i 为灌溉方式 i 的总灌水时间, h; H_i 为灌溉方式 i 所需要的总扬程, m; P_i , h_i 分别为灌溉方式 i 的工作水头和总水头损失, m; N_i 为泵站功率, kW ; η_i 为水泵机组效率。

当多种灌水技术联合运用时, 由于泵站机泵的扬程都相同, 故所需的总能耗 E 为

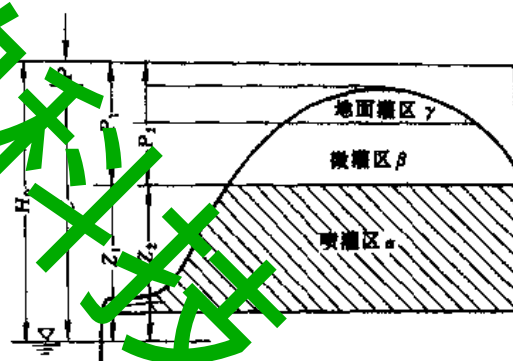


图 8-12 各种灌水方式所需的工作水头

$$E = \sum N_i t_i = 2.723 \times 10^{-3} \frac{H}{\eta} (W_1 + W_2 + W_3) \quad (8-7)$$

式中: H 为泵站总扬程, m ; W_1, W_2, W_3 分别为喷灌、微灌、地面灌各自面积上所需要的灌溉水量, m^3 ; η 为泵站机泵效率。

将式 (8-7) 除以式 (8-6) 得

$$\frac{E}{E_i} = \frac{H(W_1 + W_2 + W_3)}{H_i W_i} \quad (8-8)$$

当 $E/E_i \leq 1$ 时, 说明多种灌溉技术联合运用所需的能耗比单一灌溉方式所需的能耗少, 是经济的, 反之不经济。

这一设计理论在示范区运用后, 证明是科学可行的。其优点是: ①它能发扬各种灌水技术的优点, 并避免各自的缺点, 如平地量小, 所需的压力低等; ②节水 5%~10%, 节能 10%~20%; ③工程造价降低 6%~15%。当然, 在施工、管理方面要比单一灌水方式复杂一些。

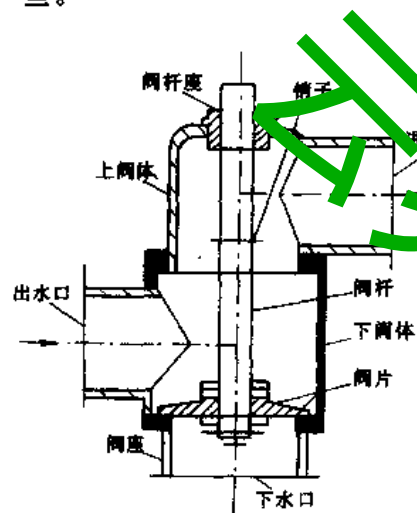


图 8-13 梯田阀结构示意图

丘陵区低压管道灌溉的管道布置方式采用下行布置最为经济合理, 即采用混凝土管并将管中流态设计成半管无压流, 投资及运行费均最低。为提高丘陵区管灌的效率, 采用了梯田阀、拉板式多孔闸管和各种管道连接保护装置。梯田阀用作出水口, 又可用作陡坎处的输水管段。工作时, 下游管段随即关闭, 因此, 非工作段不承受内水压, 从而避免了过大的静水压力, 保证了管道系统的安全。梯田阀由上、下阀体、阀座及阀杆部分组成。其结构见图 8-13。当梯田阀用作出水口时, 放下阀杆, 使阀片处于极点位置, 截断下游管段水流, 梯田阀即处于出流状态。当用于向下游输水时, 提起阀杆, 使阀片处于上极点位置, 梯田阀关闭出水口, 水流输入下游管道。见图 8-14。

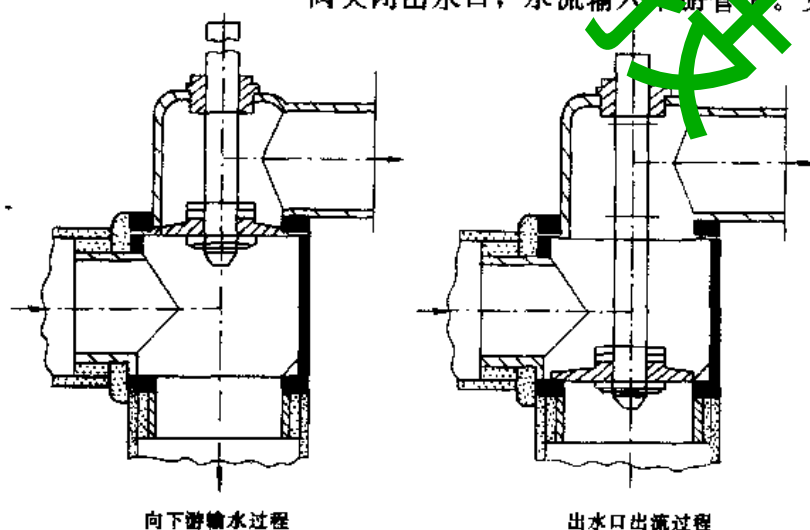


图 8-14 梯田阀工作原理示意图

拉板式多孔闸管的最大优点是关闭拉板时能利用管内水压止水,因此,止水可靠,其结构见图 8-15。主要由硬 PVC 管、拉板、拉杆、止水橡皮和导槽等组成。

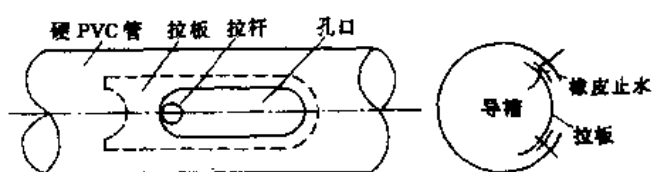


图 8-15 拉板式多孔闸管结构示意图

多孔闸管分硬管、软管两种。硬管之间采用快速接头,首端采用一段软管与出水口连接,整体连接见图 8-16。软管连接主要是通过软管将各个孔口连接起来,见图 8-17。



图 8-16 硬管总体连接示意图

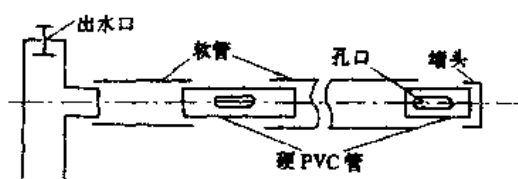


图 8-17 软管总体连接示意图

三、节水农业措施

1. 制定主要农作物的节水灌溉制度

经试验研究制定的小麦和棉花的节水灌溉制度见表 8-4 和表 8-5。

表 8-4

小麦节水灌溉制度

水文年型	灌水次数	灌水时期	总灌水量 (m^3/hm^2)	灌水量 (mm)	产量 (kg/hm^2)	单方耗水产量 (kg/m^3)	灌溉水增产量 (kg/m^3)
丰水年	3	冬、拔、抽	1800	4479	3850.0	1.20	0.98
	2	冬、孕	1200	3811.5	4933.5	1.29	1.09
	0			2536.5	1.4	1.42	
平水年	3	冬、拔、抽	1915.5	4234.5	5330.8	1.26	1.38
	2	冬、孕	1179	4234.5	5330.9	1.31	1.71
	1	起身	780	3271.5	3927.5	1.20	1.59
	0			2559	2684.6	1.05	
干旱年	4	冬、拔、孕、浆	2250	3849	4663.5	1.21	1.00
	3	冬、拔、抽	1866	3579	4461.0	1.25	1.21
	3	冬、拔	1215	2875.5	3648.0	1.27	1.19
	0			1857	2197.5	1.28	

2. 采用节水、高产、高效种植模式

在总结群众经验和田间试验的基础上,提出了棉—瓜间套、小麦—芝麻轮作、小麦—大葱轮作和麦—棉一体化等多种种植结构模式,可充分利用土地、自然降水和光照资源。棉瓜间套与相同产量水平的棉、瓜单作相比,棉花节水 34%,瓜节水 20%~30%,棉瓜间套的总产值比单作棉花产值提高 90%。麦葱轮作的总产值达 1.8 万元/ hm^2 以上,灌溉水的产值达 4.8 元/ m^3 以上。小麦—芝麻轮作和麦—棉一体化等也都取得了节水和增产增收的良

好效果。节水、高产、高效种植结构推广面积约 333.3 hm^2 ，占示范区耕地总面积的 25%。

表 8-5

春棉节水灌溉制度

水文年型	灌水次数	灌溉定额 (m^3/hm^2)	产 量 (kg/hm^2)	灌溉水增产量 (kg/m^3)	灌水时期分配 (m^3/hm^2)			
					苗 期	蕾 期	花铃期	吐絮期
丰水年	2	1213.5	1035	0.261		600	613.5	
	1	630.0	883.5	0.262			630.0	
	0		718.5					
平水年	3	1695	1038	0.275		600	1095	
	2	1200	9285	0.298		600	600	
	1	750	727.5	0.208			750	
	0		571.5					
干旱年	4	2220	1068	0.283	540	570	555	555
	3	1647	892.5	0.277		600	1047	
	2	1210	747	0.256		500	600	
	1	819	573	0.163			819	
	0		639.5					

3. 引进和筛选节水高产品种和推广农业综合技术

示范区引进的“鲁麦 14 号”推广面积近 667 hm^2 ，平均单产 5250 kg/hm^2 。推广“温 2540”小麦 67 hm^2 ，平均单产近 7000 kg/hm^2 。采用地膜和秸秆覆盖使全生育期间节水约 750 m^3/hm^2 ，且增产 10% 以上。配方施肥和病虫害防治等农业技术的应用也都取得了明显的增产效果。

四、应用效果

1. 节水效果明显

示范区一次灌水量由建设前的 1230 m^3/hm^2 减少到 675 m^3/hm^2 ，节水 45.5%；灌溉定额由 3396 m^3/hm^2 减少到 2242.5 m^3/hm^2 ，节水 34%；水分利用效率明显提高，如小麦由 0.9~1.0 kg/m^3 增加到 1.25 kg/m^3 左右，提高 30% 以上。

2. 扩大灌溉面积

原有灌溉面积实行节水灌溉后，井灌面积由 795.5 hm^2 增加到 1126 hm^2 ，扩大灌溉面积 330.5 hm^2 ，而地下水开采量却由 270 万 m^3 减少到 253 万 m^3 。

3. 增产幅度大

由于原有灌溉面积供水条件改善，节水后新增水地（由雨养农业变为灌溉农业），加之将土渠改成地埋管道、U 形渠以及采用节水耕作栽培措施等，示范区农作物产量大幅度提高，与建设前 3 年（1988~1990 年）的平均产量相比，1993 年粮食总产与单产分别增长 72% 和 68.7%；棉花总产与单产分别增长 27.5% 和 13.4%。人均纯收入为 479 元，比 1990 年的 320 元提高 58.6%。

4. 经济效益显著

工程投资 229.06 万元，年总费用 79.58 万元，年总效益 183.54 万元，效益费用比 3.47，内部收益率 45%，还本年限 2.6 年。

第四节 海河平原严重缺水地区节水灌溉 综合技术体系及其应用效果

海河中东部平原浅层地下咸水分布比较广泛，但除滨海平原一带咸水体之上无浅层淡水分布外，大部分地区咸水体的上、下有淡水分布，呈淡—咸—淡水质结构类型，咸水体之上的淡水多呈条带状沿古河道和现代河道分布。由于浅层咸水的普遍分布，这一地区以开采深层地下水为主，造成过量开采，导致深层地下水位大幅度下降。河北省廊坊市水资源缺乏，几乎没有可利用的地表水资源，浅层（0~20 m）地下淡水含水层薄又属粉细砂，地层结构复杂，单井涌水量小 [$1 \sim 1.5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$]，开采难度大，难以大面积开采利用。20~80 m 为微咸含水层，不宜作灌溉水源。农田灌溉及乡镇工、副业和居民用水主要靠开采深层（160~300 m）承压淡水（矿化度小于 1.5 g/L ）。在海河中东部平原具有代表性。为此，总理基金项目在廊坊市安次区建立了平原严重缺水地区节水灌溉综合技术体系，见图 8-18。

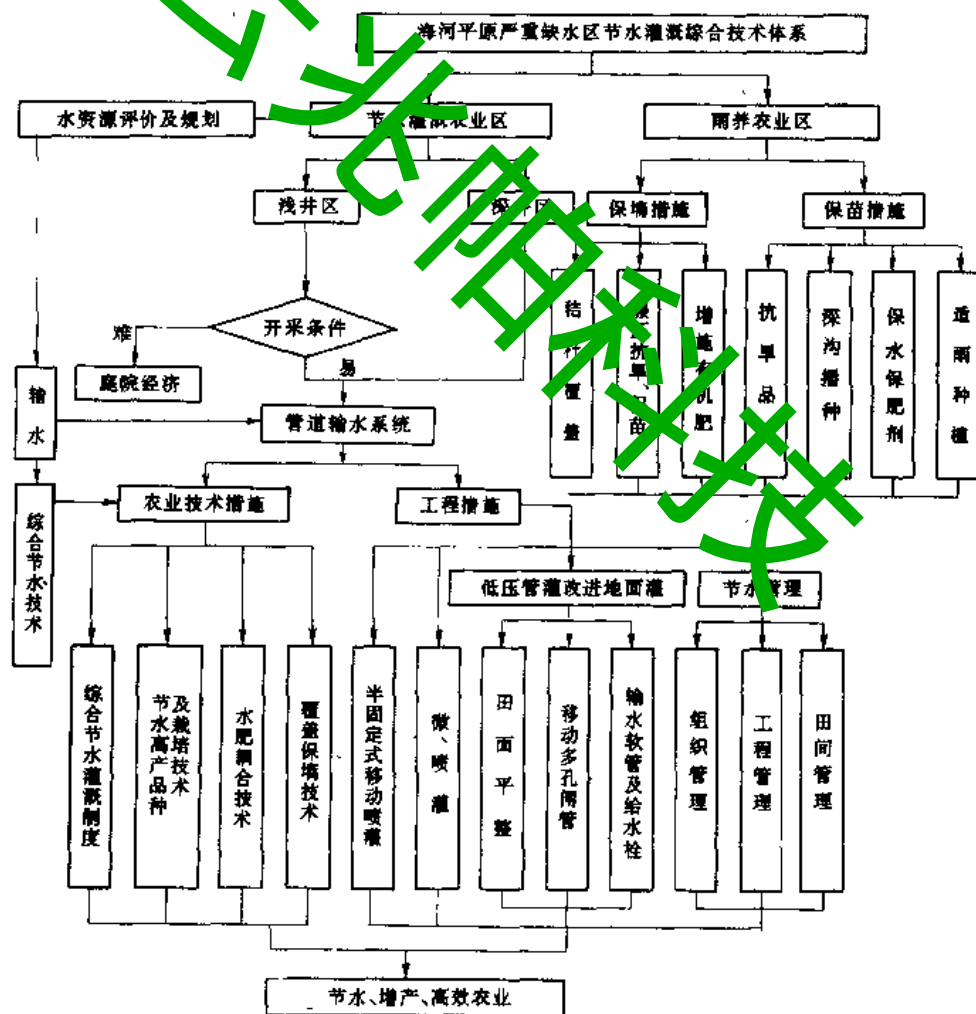


图 8-18 海河平原严重缺水地区节水灌溉综合技术体系

一、分析评价水资源及其承载能力, 合理利用深层水和浅层水

根据该地水资源评价, 深层水可供水量为 60 万 m^3 , 按年用水量 3000 m^3/hm^2 计, 只能满足 200 hm^2 农田灌溉要求, 仅占示范区 800 hm^2 耕地的 1/4。通过调整作物种植结构, 合理布置深井, 建成以深井为单元的节水型农业区 300 hm^2 , 浅井试验区 10 hm^2 , 另外 533 hm^2 发展雨养农业。

由于深层承压淡水补给困难, 并且深井 (井深 300~500 m) 建设费用及运行费用昂贵, 灌水成本高, 因此, 严格控制深井数量和深层水的开采量; 通过对节水高产作物品种的筛选和施肥标准化的制定, 确定适合该区以提高水分生产率为目标的水、肥、种综合节水灌溉模式和栽培技术, 加强灌溉管理。

该区浅层淡水属入渗—蒸发型含水层, 平水年 (频率 $p=50\%$, 降水量 559.6 mm) 地下水埋深 26 m。据估算, 试区的可采水量达 65 万 m^3 , 可满足同期作物灌溉需水量的 68%。但试区内浅层水埋藏于薄而细的多层粉砂层中, 单井出水量小, 开采难度大。经试验研究, 推荐的三种适宜井型见表 8-6。由于浅层水质好, 易补给, 出水量小、成本低、开发容易, 适宜在农户房前屋后或近村地带打浅井, 发展以蔬菜、花卉、果树为主, 经济价值高的庭院经济。

表 8-6

廊坊试区推荐生产井型

井 型 结 构	适用 种 植 条 件	配 套 机 具	单井投资 (元)
真空式空穴井	不超过 0.133 hm^2 的菜园	手 压 泵 微型自吸泵 微型离心泵	496
小孔无砂混凝土管井	0.06~0.2 hm^2 菜园 0.33~0.53 hm^2 其他作物	490 潜水泵 其他种类水泵	990
复合式真空井	0.06~0.2 hm^2 菜园 0.33~0.53 hm^2 其他作物	手 压 泵 微型自吸泵 微型离心泵	990

在雨养农业区, 主要采用蓄水保墒、适水种植、增施有机肥、应用保水保肥剂、深沟播种碾压抗旱保苗等措施。

二、建设以机井为单元的低压管道输水灌溉系统

廊坊示范区的深井出水量一般为 30~50 m^3/h , 每眼井布设独立的管道系统, 控制灌溉面积由单井出水量确定, 一般为 13~25 hm^2 , 管网形式多采用梳齿形或鱼骨形的树状网, 干、支两级管道固定, 地面灌水管移动。支管间距 80~100 m, 双向控制畦长 40~50 m, 支管上每隔 50 m 左右设一给水栓, 为减少田间灌水、配水损失, 研究应用了地面移动的多孔闸门管系统, 见图 8-19。田间采用小畦灌水, 畦长为 40~50 m, 畦宽 1.5~3 m, 单宽流量 3~5 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m})$, 灌水定额控制在 600~750 m^3/hm^2 。

三、调整作物种植结构和推行节水综合技术措施

据廊坊市气象站 1960~1992 年降水资料统计, 示范区内的多年平均降水量为 555.8 mm, 7、8、9 三个月的降水量为 404.1 mm, 占全年总量的 72%, 10 月至翌年 5 月的降水

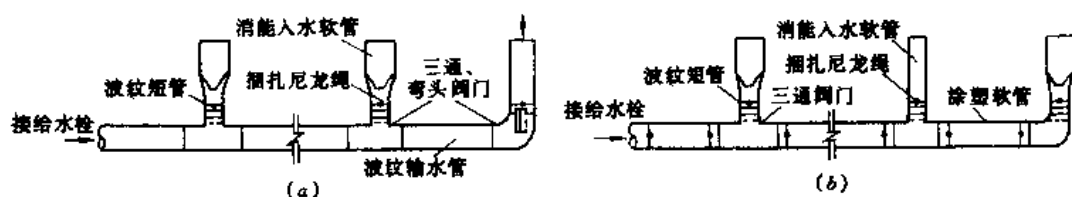


图 8-19 地面移动式多孔闸门管系统

(a) 波纹闸管连接; (b) 涂塑软管连接

量只占全年的 16%，对冬小麦生长极为不利，小麦若要获得较高产量，必须进行灌溉，而发展灌溉又受当地可供地下水量的制约。除逐步改善灌溉条件、扩大灌溉面积外，在作物种植结构比例上要压缩夏季作物的种植面积，并且特别要选择经济价值高的作物。

农业节水综合技术措施主要包括：筛选适合当地种植的节水、高产小麦品种“CA841”、“津麦 2 号”、“CA8686”和“京冬 6 号”；玉米品种适合春套玉米为“沈单 7 号”、夏播玉米为“掖单 12 号”。小麦种植密度，低产田、中产田和高产田分别为 420~480 万株/hm²、330~390 万株/hm²和 350~360 万株/hm²；玉米平展型品种 4.5~5.25 万株/hm²，紧凑型品种 6.75~7.5 万株/hm²。根据土壤严重缺磷、漏水、漏肥且氮磷不协调的状况，采取增加化肥及有机肥投入量，调整化肥氮、磷配比，减少氮肥流失。通过试验研究，提出了不同土壤条件下最高产量的施肥量和最经济的施肥量，见表 8-7，N 与 P₂O₅ 的配合比为 1:0.75。所谓经济施肥量是农作物投入产出最佳状态时的施肥量，从培肥地力、提高水分生产率及持续增产的角度考虑，要求施肥量略高于最经济施肥量，低于最高产量施肥量。考虑到水肥的交互作用，提出在最佳施肥量下的节水灌溉模式见表 8-8。

表 8-7 推荐施肥量

作物	土壤	最高产量施肥量 (kg/hm ²)		最经济施肥量 (kg/hm ²)		作物	土壤	最高产量施肥量 (kg/hm ²)		最经济施肥量 (kg/hm ²)	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅			N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
冬小麦	轻壤	225~300	120~135	120~135	75~90	夏玉米	轻壤	150~165	105~165	75~90	90~120
	中壤	300~360	150~165	150~165	105~120		中壤	225~240	105~165	75~90	120~225

表 8-8 农作物综合节水灌溉模式

作物	经济施肥量 (kg/hm ²)		经济灌溉定额 (m ³ /hm ²)	灌水次数	灌水时间
	尿素	磷酸铵			
冬小麦	270	165	1800~2400	3~4	50%水文年：冬灌、拔节、灌浆或抽穗 75%水文年：冬灌、拔节、抽穗、灌浆
夏玉米	195	195	600~1200	1~2	50%水文年：乳熟~成熟 75%水文年：抽穗~成熟，乳熟~成熟
棉花			600~1200	1~2	50%水文年：吐絮期 75%水文年：现蕾~开花，吐絮~采摘

四、应用效果

几年来,通过实施节水灌溉综合技术体系,灌溉面积由 50 hm^2 发展到 300 hm^2 ,占耕地面积 40%,复种指数由 1.24 提高到 1.34。1993 年(降雨量小于多年平均值)示范区小麦和玉米平均单产分别为 3690 kg/hm^2 和 4170 kg/hm^2 ,较示范区建设前三年平均增产 68%和 143.9%;水分生产率由原来的 0.69 kg/m^3 提高到 1.356 kg/m^3 ,增加近 1 倍;灌水量由原来的 $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 降到 $600\sim 750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,灌水成本由 300 元/ hm^2 下降到 150 元/ hm^2 左右。比土渠输水扩大灌溉面积 1 倍,节水 50%,节电 50%,节地 2%。管灌工程的效益费用比为 2.54,投资回收年限为 2.45 年。

采用小管井开发,利用浅层淡水发展庭院经济效益明显,单井日出水量 30 m^3 ,可用于灌溉菜园、果园和大田作物。菜园、果园、大田作物的还本年限分别为 0.13 年、0.4 年和 2.22 年。小管井特别适合当地农村的体制和生产条件,是一条投资少、见效快,很受当地群众欢迎的致富之路。

农业科技

第九章 节水灌溉综合技术体系专家系统

60年代中期以来,专家系统的研究和开发工作进展很快,到80年代已迅猛发展为一个人工智能应用领域,成为计算机应用的一个前沿阵地,使得一些尚无一定数学模型表示的复杂问题可由专家系统来处理。本章以水利部农田灌溉研究所开发的“华北地区节水型农业技术体系专家系统”(NCWSA)为实例,对节水灌溉综合技术体系开发应用专家系统有关基本知识、专家系统的建造、操作运行及系统移植做简要介绍。

第一节 建立专家系统的基础和意义

一、什么是专家系统

专家系统是一个正在发展的课题,尚无统一的严格定义。

一般认为,专家系统是一个具有大量专门知识和经验的程序系统,能利用人工智能技术,根据专业知识和经验进行推理和判断,模拟专家做决定的过程,求解要求专家决策的复杂问题,它具有以下三个特点。

- (1) 具有启发性,主要表现在运用专家知识和经验进行推理和判断的功能。
- (2) 具有透明性,能向用户解释本身的推理过程,回答用户的提问。
- (3) 具有灵活性,能不断增长知识,吐故纳新。

二、建立节水灌溉综合技术体系专家系统的基础

我国是一个水资源贫乏的农业大国,在与干旱进行的长期斗争中形成了许多行之有效的节水措施和大量节水灌溉理论和实践成果。创造这些成果的专家、工程技术人员和经营管理干部积累的丰富经验,无疑是我国农业领域极其宝贵的财富,对这些成果仅仅作经验推广是不够的,而应将其视为一种有待挖掘、加工、提高和开发利用的知识资源,这些资源就是建立该领域专家系统的基础。

三、建立专家系统的意义和作用

用系统工程学的理论和手段建立专家系统,使许多尚无数学模型表示的复杂问题能用计算机来处理,已在各个领域得到广泛应用。例如语言理解、图像分析、天气预报、运输调度、古沉积环境分析、作物产量估算、地矿勘探、医疗诊断等。有些专家系统已被认为是“经典作品”了,如斯坦福大学开发的MYCIN细菌感染诊断专家系统、DENDRAL决定未知化合物结构专家系统等。综上所述,专家系统具有以下意义和作用。

- (1) 具有解决问题的科学性和周密性。因为专家系统是建立在相当数量的、具有权威性、实践性、知识性的知识库基础上的,具有解决问题的专门知识和最佳的思维方法。
- (2) 系统能够高效率、准确无误、周密全面、迅速、连续地进行工作。
- (3) 解决实际问题时不受周围环境的影响。
- (4) 因为专家系统是集某一领域专家思想之精华形成的一种计算机智能程序,能永远

保存，能拷贝任意多个副本，因此，在推广使用时不受时间和空间的限制。

(5) 能促进专业领域的发展。专家系统的研究将使该领域专家的知识 and 解决问题的方法得到综合、总结和提炼，并有总结规则、发现问题的自学能力，因此能促进专业领域研究工作的发展和提高。

(6) 高水平的专家系统可以超越专家本人。专家系统是某一领域许多专家的知识与经验和他们相互合作解决问题的结晶，因此它解决问题的能力 and 知识的广博，远远胜于单个专家。

(7) 专家系统的研制在科学技术方面有着极为重要的作用，因它加快了人工智能及计算机科学（第五代计算机的核心技术之一就是专家系统）研究的步伐，并将在科学技术、经济、国防、教育卫生、社会活动等方面产生极为深远的影响。

第二节 专家系统的组成和结构及其作用

一、专家系统的基本组成及其作用

专家系统的基本组成包括知识库(KBS)、推理机(INE)、用户接口(UIS)三部分。节水灌溉综合技术体系专家系统设计时扩展了动态数据库和知识获取子系统两部分，并将五个部分设计成五个相对独立的模块，便于扩充、修改和移植，称为“NCWSA 系统”见图 9-1。

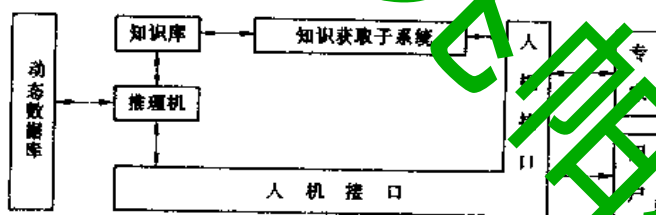


图 9-1 NCWSA 系统总体结构

1. 知识库

知识库是专家系统的核心，是专业知识存储器。它存有以一定形式表示的有关知识的描述关系、现象、规则以及专家知识和经验。可以认为它是由事实性知识和推理性知识组成的，以备系统推理之用。专家系统水

平的高低取决于知识库的可用性、确实性和完善性，因此知识库的设计与建造是开发专家系统的一个关键性工作。

2. 知识获取子系统

考虑节水灌溉的发展，知识库有待更新和扩充，特将其设计为一个相对独立的模块，使更新或扩充库中知识能独立进行，它具有存储、检索、增删和修改等功能。

3. 动态数据库

用于存储推理过程中得到的各种中间信息，即用户回答的事实、已知事实和推理而得的结论。

4. 推理机

包括推理规则和策略，是专家系统的灵魂，其作用是控制、协调整个系统的运行。它根据输入的信息，调用知识库中知识，进行判断推理，按一定的推理策略去解决用户询问。实际上，推理机是通过决定激活和访问知识库中哪些规则来驾驭专家系统的，推理机执行这些规则并把结果送到用户接口。推理机的推理方法有正向推理、反向推理和混合推理三种。

(1) 正向推理是从原始数据出发,按一定策略,利用知识库中的知识推断出结论的方法。

(2) 反向推理亦即目标驱动方式,以用户求解的问题为目标,从目标出发,搜索知识库中的知识,进行推理、判断和匹配,提出最后结果。NCWSA 系统采用的就是反向推理方式。

(3) 正反混合推理是从原始数据出发正向推理提出假设(结论),再用反向推理搜索支持假设的证据,往往需要反复进行才能得出最后结论。

5. 用户接口

处理用户询问是通过接口来实现的,它应具备以下功能:

- (1) 处理键盘和屏幕输入输出。
- (2) 支持用户和专家系统对话。
- (3) 识别出用户和系统间的认识差异。
- (4) 提供用户友善界面。

用户接口是专家系统与用户交流的桥梁,应确保能准确地收到用户信息,并将它传送给推理机,再将推理机判断、匹配和推理的结果,采用用户选定的方式送给用户。NCWSA 系统用 Turbo Prolog, Turbo 人工智能程序设计语言编写,它的运用要涉及许多专门命令,对不熟悉人工智能程序设计语言的用户来说是有困难的。为解决这个问题,系统设计采用窗口功能,用隐含指令技巧实现了方便、实用、交互的人机对话,系统运行完全采用菜单方式,并具有彩色显示功能。用户根据屏幕提示,按 $\uparrow$ $\downarrow$ 键移动光条,按回车(ENTER)键激活。可以任意选择各种功能,人机界面非常好。

二、专家系统结构及知识表示

专家系统结构及知识表示是根据领域专业特性来确定的,现以 NCWSA 系统为例进行阐述。

(一) NCWSA 系统结构的确定

建立一个专家系统,首先要确定系统的功能、涉及的知识范围,分析系统的复杂性,确定系统的规模,由此确定总体结构。

对于节水灌溉农业来说,从农用水源(含降水)到作物吸收利用的全过程,经历了水源工程、输水工程、灌溉、土壤水、作物吸收到形成产量等环节。节水灌溉综合技术体系就是减少各个环节水分无效损耗所采取的措施的有机组合,这些措施概括为工程措施、农业措施和管理措施三大类。它们相互联系、相互促进,形成作用于作物生长全过程的技术体系。其目标是充分开发利用各种水源,提高水的利用率和利用效率。为实现目标所采取的一系列措施是技术体系的组成部分,也是该系统涉及的知识范围,见图 9-2。

专家系统是一个人工智能程序,最好采用人工智能语言来实现,因为智能语言能支持各种数据类型,并具有把系统分解成容易理解的小系统的功能,能灵活控制结构并具有交互的对话功能。NCWSA 系统选用目前使用较广的 Turbo Prolog 智能语言,用该语言可以建立基于规则的专家系统和基于逻辑的专家系统。基于规则的专家系统是将知识分类放到 Turbo Prolog 规则中,程序的规模将随着规则数的增加而增长,最终受到可用存储区的限制不能无限增加规则数,这种专家系统结构适用于仅有几百条规则的小系统。而基于逻辑

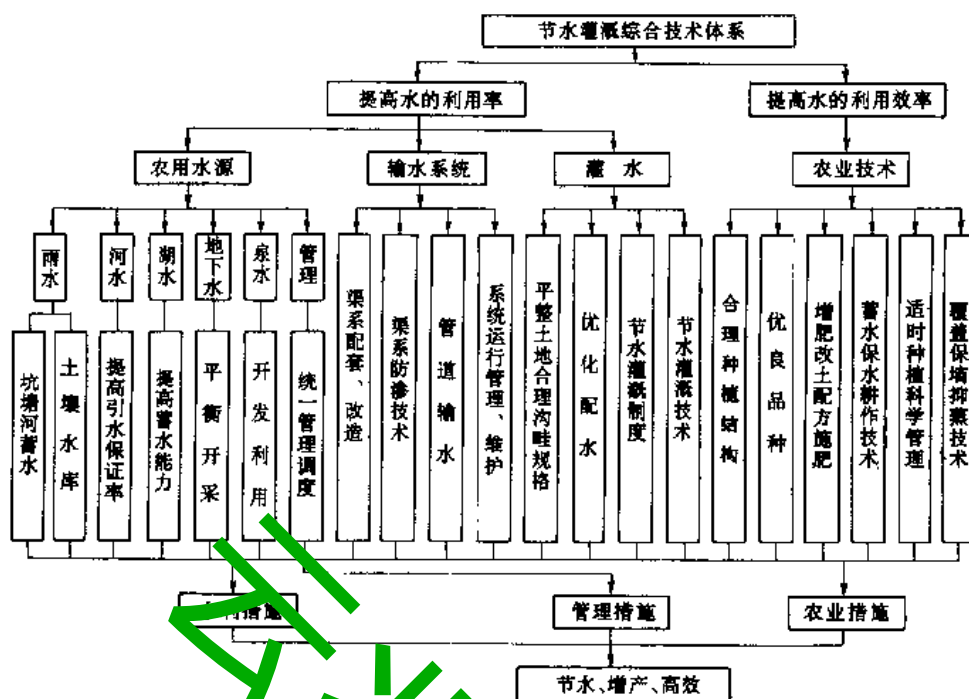


图 9-2 节水灌溉综合技术体系专家系统结构框图

的专家系统则把知识构成子句建立成驻留磁盘的子句知识库，不占用内存空间，适用于大系统。节水农业技术体系涉及知识面广，是一个已有近两千条知识的大系统，随着节水灌溉的发展，知识还有待修改和扩充，所以将其设计为基于逻辑的专家系统结构。

(二) 知识及知识表示方法

知识表示是一组用于描述知识的语法和语义约定，设计知识表示的原则是保证它的精确和简洁，还必须与专家系统结构相适应，这是选择知识表示方法的原则。

1. 什么是知识

专家系统强调的领域专业知识是指解决该领域问题的各种知识及所使用的一些技巧，任一领域的专业知识大都包含两部分。“公有”知识即公开的定义和事实、教科书和文献中的理论。“私有”知识即专家所拥有的经验规则或称启发式知识，能有把握地作出有意识的猜测，辨别出若干有效的求解方法。专家系统所指的这两部分知识即理论知识和经验。

2. 知识表示方法

知识必须以一定的形式存入知识库，所谓一定的形式就是指知识的表示方法。目前常用的知识表示方法有下列三种。

(1) 语义网络表示法。能够反应不同个体之间的联系，所描述的系统、概念、问题和关系都能由计算机进行处理。

(2) 框架表示法。可以表示那些已有陈规的情况，每个框架附带着各种信息，能存贮描述性数据，也能存储过程性数据。

(3) 规则表示法。是目前使用较多的最简单的知识表示方法。它具有简洁性，即知识的表示、理解和处理简单明了；还具有模块性即每条规则独立表示一个意思，对它的任何

变化（增、删、改）不会影响其他规则。

前述 NCWSA 系统知识表示就是采用规则表示方法，把知识（事实和规则）分别构成子句，建成子句知识库，应用“事实表”技术，既能充分表达复杂的知识内容，又能尽量减少规则条数，以提高知识库本身的质量和水平。知识的单位是：IF 〈前提条件〉，THEN 〈结论〉，以 Turbo Prolog 表示的知识库规则的形式为

Rule (N, Cat, Subcat, Conds)

其中 N 为规则编号；Cat 为父范畴的名字；Subcat 为子范畴的名字；Conds 为条件表，表中以整数表示条件的编号。

一条规则的条件表表示要同时满足此规则的所有条件，也就是说，只有条件表中所有条件满足，规则方能成立。条件表示为

Cond (Nn, Statement)

其中 Nn 为条件编号，即条件表中整数；Statement 为定义条件的基本原子。

每个条件表示一个基本特征，它是不可分割的，NCWSA 系统子句知识库中知识的具体表现形式为

Rule (N, Cat, Subcat [N₁, N₂...N_n]

Cond (N₁, Statement)

这种表示形式的可读性强，知识库和推理机分离，修改知识库时不必修改程序，只在知识获取模块中执行增、删、改即可。例如有关节水灌溉技术知识的子句形式，节水灌溉技术有喷灌、微灌、管道灌、波涌灌、膜上灌五种，它的子句形式为

rule (1, “节水灌溉技术”, “种类” [1, 2, 3, 4, 5])

cond (1, “喷灌技术”)

cond (2, “微灌技术”)

cond (3, “管道灌技术”)

cond (4, “波涌灌技术”)

cond (5, “膜上灌技术”)

进一步描述喷灌技术的咨询内容用如下子句：

rule (2, “喷灌技术”, “咨询内容” [6, 7, 8, ..., 17])

cond (6, “喷灌适宜条件及优缺点”)

cond (7, “喷灌系统组成及类型”)

cond (8, “喷灌设计原则及必备资料”)

cond (9, “喷灌分类”)

cond (10, “喷头性能参数及组合间距”)

cond (11, “喷灌固定管道和管件”)

cond (12, “喷灌移动管道和管件”)

cond (13, “喷灌水泵、泵站和动力”)

- cond (14, “大、中、小型喷灌机”)
 cond (15, “喷灌工程规划的一般原则”)
 cond (16, “喷灌管道系统布置原则”)
 cond (17, “典型喷灌区介绍”)

第三节 NCWSA 系统咨询内容

NCWSA 系统咨询内容主要是将行之有效的节水灌溉综合技术组装配套,形成技术体系,因地制宜地提出节水灌溉综合技术体系方案及实施方案的具体措施、方法及有关技术资料。并按确定的专家系统结构及推理策略的要求,将所有知识整编成册,编写知识库子句存入知识库。

一、节水灌溉综合技术体系方案

为节水灌溉综合建设提供总体规划及其实施的有关措施,必须具有针对性、科学性和可行性,就是在现有灌溉设施、经济条件的基础上,针对存在的问题、生产水平和经济基础,综合本领域专家知识和经验,提出节水灌溉综合技术体系方案和措施,以提高水的利用率和利用效率,使现有灌溉农业通过节水挖潜得到提高和发展。

如前所述,节水灌溉综合技术体系是从灌溉水源、输水系统、灌溉系统到作物吸收形成产量的各个环节所采取的节水措施的有机组合,这些措施相互联系、相互制约。一般来说,灌溉水源决定了灌溉类型,各种灌溉类型又有其相应的输水系统和灌溉系统,它们又因受所在地域自然条件、经济状况和生产水平的影响而具有地区特色。因此节水灌溉综合技术体系方案是以地区存在的灌溉类型及地域特点为依据的。例如华北地区灌溉类型可概括为引黄渠灌,引河、湖、库渠灌,井灌及多种水源联合运用四种。所处地域可概括为平原、丘陵、盆地和山地。按灌溉类型及地域特点,拟将华北地区灌溉农业概括为十种类型,另加有发展灌溉潜力的山区。针对这十一种类型建立各具特色的节水灌溉综合技术体系方案和相应的节水措施,按编写知识库子句的要求整编成节水灌溉综合技术体系方案目录(见表 9-1),并提出节水灌溉综合技术体系方案框图 13 个,均存入知识库中。图 9-3 为鲁北滨海平原节水灌溉综合技术方案,图 9-4 为燕山山前平原节水灌溉综合技术方案。

表 9-1 节水灌溉综合技术体系方案目录

地 域	灌溉类型	单 元	地 域	灌溉类型	单 元
平 原	引黄渠灌	鲁北滨海平原 鲁豫黄泛平原	低山丘陵	井 灌 引河、库、塘渠灌	鲁中低山丘陵 胶东低山丘陵
	引河、湖、库渠灌	太行山山前平原 胶东山前平原	河谷盆地	多种水源联合渠灌	晋中河谷盆地
	井 灌	冀东滨海平原 冀中平原 燕山山前平原	山 地	有发灌溉潜力	晋东山区 晋西沿黄山区 晋西北山区

二、节水技术措施

节水技术措施可概括为水利措施、农业措施和管理措施,分别将其按知识库子句编写

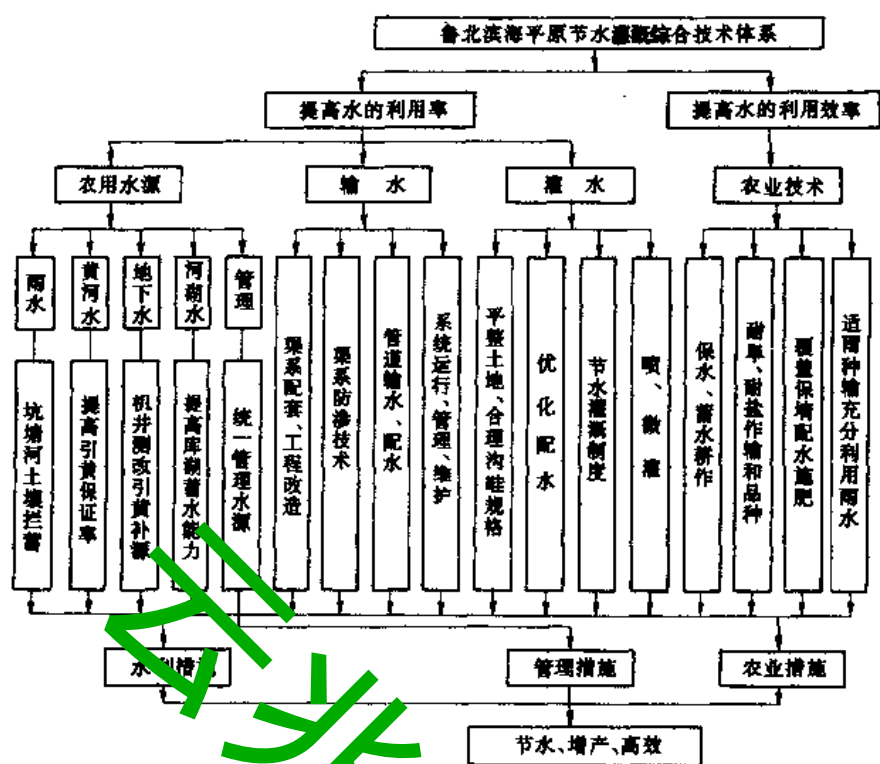


图 9-3 鲁北滨海平原节水灌溉综合技术方案

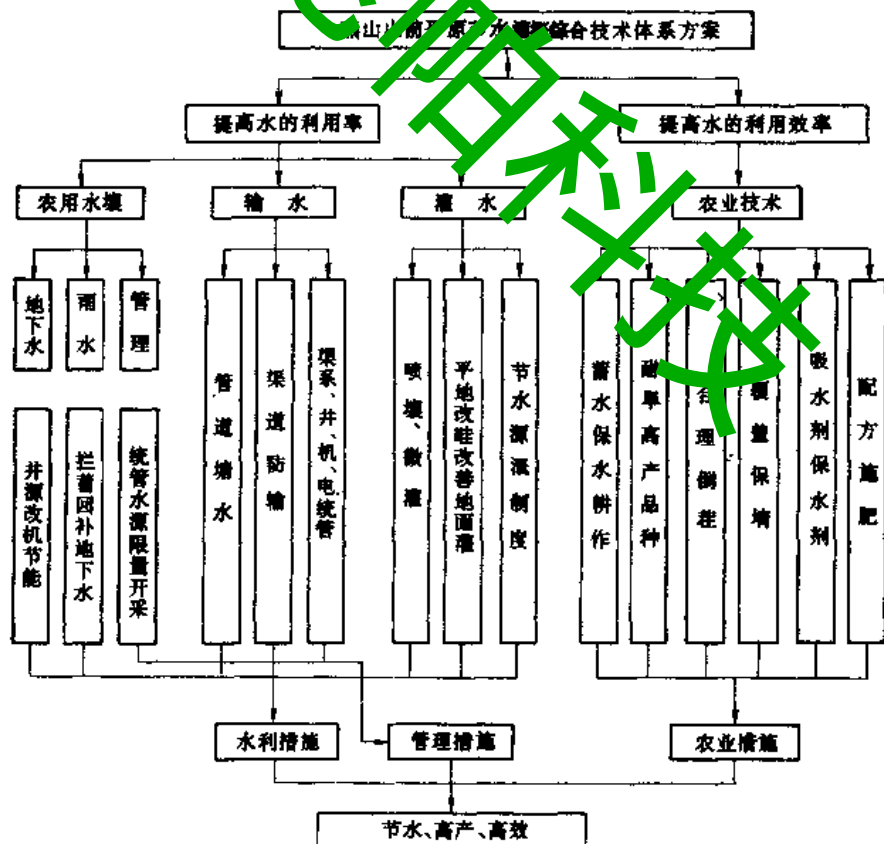


图 9-4 燕山山前平原节水灌溉综合技术方案

要求整编成表。

1. 水利措施

水利措施包括水资源开发利用, 防渗、灌水技术和灌溉制度。

(1) 水资源开发利用提供了各种水资源开发利用技术及效益, 见表 9-2 水资源开发利用技术知识目录。

(2) 渠道防渗技术就渠道防渗类别、防渗材料及各种防渗技术、施工方法等进行咨询, 见表 9-3。

(3) 节水灌溉技术知识目录见表 9-4。

表 9-2 水资源开发利用技术知识目录

水资源利用类型	技 术 内 容
坑塘截流调控地下水	适宜条件, 开发利用方法和途径, 经济和社会效益
咸水、碱水、淡水的开发利用	开发利用原则、条件和技术, 咸淡联合运用方式, 咸淡运用技术要点, 经济效益
山区水资源开发利用	环境条件, 修建库、塘就地拦蓄, 联合调度水源
碱水开发利用	控制指标, 防治土壤碱化措施
黄河水的开发利用	引黄存在的问题, 扩大引黄的对策, 统一调度合理用水, 深沟河网引水补源, 引黄补源, 灌溉水补
深渠河网蓄水	环境条件, 深渠河网系统, 排咸防碱方法, 经济效益

表 9-3 渠道防渗技术知识目录

项 目	内 容
渠道防渗类别	粘土类、灰土类、混凝土类、砌石类、沥青类、膜类、物理机械防渗、化学防渗
渠道防渗材料	灰土及三合土、水泥土、混凝土、砌石、混凝土预制衬砌、土工膜及土工织物、防水复合柔毡、预制煤渣砖
防渗技术措施	土工膜及土工织物加混凝土、浆砌石、其他材料加混凝土、土工织物塑膜、其他混凝土
土工塑模料防渗埋设方法	抽槽埋膜技术、基槽多坡形埋膜技术
U 形断面防渗	U 形断面的优点、U 形渠道施工方法、施工机械
其他防渗断面	弧形坡脚梯形断面、弧形底梯形断面
防渗工程的防冻措施	防渗断面、变形缝处理、其他防冻措施
防渗工程的防渗减压措施	薄膜闸减压, 防渗减压器

(4) 节水灌溉制度按照“八五”国家重点科技攻关课题“农业节水的研究”的成果, 按气象条件、农作物种类分布及作物熟制的差异进行分区, 每区均果用灌溉试验站、点的资料, 在此基础上对各区的状况作必要的概化和参数识别, 计算出各区主要作物不同水文年型、不同供水量、不同产量水平的灌溉制度, 见表 9-5~表 9-7。

2. 农业措施

表 9-8 汇集了目前行之有效的各种节水农业措施。

表 9-4

灌水技术知识目录

项 目	内 容
喷灌技术	适宜条件及优缺点, 喷灌系统组成及类型, 喷灌设计原则及必备的基本资料, 喷灌按压力、结构、喷洒特征分类, 喷头性能参数, 组合间距, 喷灌固定管道和管件, 喷灌移动管道和管件, 喷灌水泵、泵站和动力, 大、中、小型喷灌机, 喷灌工程规划、设计的一般原则, 管道系统布置原则, 典型喷灌区介绍
微灌技术	微灌的种类, 选择“微喷灌”的依据, 微喷灌的优缺点, 微喷头种类、特性; 选择滴灌的依据, 滴灌的优缺点, 滴头的种类、特性, 微灌管道、管件、过滤器, 微灌设计必备的资料, 典型微灌系统介绍
管道灌技术	选择管道灌的依据, 管道灌的优缺点, 预制管材, 塑料管材, 其他管材, 管道接头, 给水栓, 水泥管防渗, 制管机, 管灌沟畦规格, 典型灌区介绍
波涌灌技术	波涌灌的特点及适宜条件, 波涌灌原理, 沟畦规格, 效益, 简易间歇灌、间歇射流沟灌
膜上灌技术	膜上灌的特点, 适宜条件, 膜上灌的几种基本形式, 膜上灌配套技术, 膜上灌综合效益及试点介绍

表 9-5

不同节水灌溉制度下的产量

单位: kg/hm²

作物区名	文 年 型															土壤 初始 有效 含水 率 (%)	
	50%					75%					95%						
	供水 量 (m³/hm²)																
	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500		
	灌 水 次 数																
	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2		
冬小麦	冀东区	5760	5733	5799	4914	3891	5731.5	5698.5	5451.5	4872	3840	5704.5	4168.5	3961.5	4837.5	3799.5	0.85
		5589	5584.5	5515.5	4720.5	3646.5	5590.5	5578.5	5338	4695	385						
	冀北区	5794.5	5688	5484	4873.5	3855	5725.5	5661	5455.5	4857	3810	5703	5638.5	5431.5	4810.5	3774	0.85
		5146.5	5107.5	4930.5	4398	3510	5134.5	5101.5	4923	4236	3400.5	5139	5097	4917	4375.5	3472.5	0.58
	冀中区		6753	6654	5169	3811.5		6733.5	6636	5131.5	3652.5		6600	5106	3612		0.85
			6345	6267	4870.5	3475.5		6340.5	6262.5	4869	3474		6333	6255	4831.5	3408	0.61
冀南区	5530.5	5413.5	5191.5	4528.5	3423	5419.5	5170.5	4960.5	4329	3276	4409	5735	4944	4297.5	3223.5	0.85	
	5146.5	5059.5	4855.5	4275	3223.5	5022	4962	4759.5	4152	3141	5011.5	4944	4738.5	4120.5	3291.5	0.43	
玉米	冀东区		8085	6645	4203	1937.5											0.90
			7917	6477	3975	163.5											0.51
	京津区		7138	7000.5	5847	2977.5											0.9
			7023	6826.5	5443.5	2559											0.61
黑龙港区		8107.5	7749	5278.5	2488.5												0.9
		7887	6624	4011	1894.5												0.51
冬小麦	豫北区	6534	6423	6108	4767	2854.5	6531	6400.5	7994	4542	2626.5	6439.5	6294	5761.5	4260	2359.5	0.76
		6216	6100.5	5745	4350	1507.5	5919	5832	5287.5	3829.5	2008.5	5824.5	5665.5	4989	3571.5	1749	0.68
夏玉米	豫北区	7021.5	7087.5	5823	3133.5	1197											0.74
		6885	6565.5	5208	2430	940.5											0.65
		5994	5587.5	3835.5	1756.5	739.5											0.56
		4791	44295	2800.5	1306.5	655.5											0.47

表 9-6

不同节水灌溉制度下的产量

单位: kg/hm²

作物名称	区	水文年型															土壤初始有效含水率(%)
		50%					75%					95%					
		供水量 (m ³ /hm ²)															
		4570	3750	3000	2250	1500	4570	3750	3000	2250	1500	4570	3750	3000	2250	1500	
		灌溉次数															
		6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	
冬小麦	冀中区	6240	6195	5940	5505	4890	5940	5640	5355	4935	4380	5795	5460	5100	4575	3840	0.74
		5640	5550	5235	4815	4140	5505	5205	4920	4485	3840	5475	5205	4830	4275	3465	0.48
		5700	5550	5175	4695	3875	5355	5070	4755	4320	3570	5295	5025	4590	4005	3045	0.31
	冀南区	6390	6270	5790	4965	3480	6285	5970	5355	4455	3105	6150	5775	5175	4290	3015	0.77
		6240	6060	5535	4635	3015	6165	5715	5010	3900	2655	5940	5550	4905	3855	2070	0.57
		6105	5820	5190	4185	2430	6240	5700	4890	3750	1800	5820	5400	4725	3810	2295	0.39
	冀东南	5805	5790	5625	5055	4505	5805	5805	5385	4560	3705	5670	5400	5025	4530	3615	0.74
		5805	5775	5580	4965	3735	5805	5715	5235	4380	3495	5670	5355	4965	4440	3555	0.48
		5700	5670	5400	4710	3540	5565	5535	4845	4005	3060	5550	5205	4800	4230	3255	0.31
春小麦	雁北	9795	9750	9060	7590	6210	9255	8715	7140			8535	8385	7455	6240		0.79
		9000	8940	8565	7020	5670	8670	8460	7875	6630		7710	7650	7095	6120		0.58
	忻州	9105	9105	9000	7350	6045	8045	7890	8910	5715		8730	7170	4950	2955		0.76
		9105	9105	9000	7350		8460	8460	7410	4935		8340	6750	4560	2595		0.58
	晋中	5925	8925	8880	8010		8080	8080	7280	6885		6675	6525	6150	5145		0.74
		8805	8805	8700	7605		7935	7905	7030	6400		5175	5130	5065	4155		0.48
	晋东南	9015	9015	9000	8505		9045	9045	7775	7150		8685	8460	8010	7125		0.74
		8580	8580	8580	8355		8895	8895	8065	7350		8325	8115	7725	6930		0.48
		6450	6450	6450	6400		6225	6225	6120	4035		5970	5865	4680	2370		0.77
6240		6240	6210	4590		5895	5895	4980	3770		5225	5205	3600	1440		0.54	

表 9-7

不同节水灌溉制度下的产量

单位: kg/hm²

作 区	水 文 年 型															土壤 初始 有效 含水 率 (%)	
	50%					75%					95%						
	供 水 量 m ³ /hm ²																
	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500		
	灌 水 次 数																
物 名	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2		
冬 小 麦	鲁西南	4770	4230	3675	2475	900	4695	4185	3555	2400	855	4650	4155	3525	2370	840	0.41
		4815	4275	3735	2640	1060	4710	4230	3690	2595	1020	4680	4200	3675	2550	885	0.58
		5100	4635	4035	3345	1965	5025	4515	3930	3285	1515	4890	4515	3900	3270	1455	0.92
	鲁中北	5355	4965	4620	3660	2085	5265	4905	4560	3615	1995	5190	4890	5460	3615	1815	0.44
		5640	5235	4875	3840	2190	5565	5145	4815	3765	2115	5550	5100	4785	3705	2085	0.62
		6150	5700	5160	4365	2130	6045	5640	5085	4290	2070	5850	5625	5040	4275	1980	0.98

续表

作物区名	水文年型															土壤初始有效含水率(%)	
	50%					75%					95%						
	供水量 m ³ /hm ²																
	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500	4500	3750	3000	2250	1500		
	灌溉次数																
	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2		
冬小麦	鲁南	4620	4200	3810	2505	1080	4620	4185	3750	2475	1080	4500	4095	3705	2370	1065	0.41
		5010	4485	3945	2970	1395	4965	4425	3915	2925	1350	4920	4425	3900	2925	1290	0.58
		5475	4890	4170	3420	1935	5415	4830	4125	3315	1830	5370	4800	4095	3315	1725	0.92
	胶东	5490	4575	3480	1995	600	5400	4515	3435	1980	555	5325	4500	3405	1935	555	0.41
		5550	4680	3600	2145	705	5505	4650	3570	2085	645	5460	4620	3540	2085	645	0.67
		6000	5220	4170	2865	1320	5925	5145	4125	2775	1275	5550	5100	4095	2775	1245	0.92
	鲁北		6870	6840	6420	965											0.75
			6645	5910	4170	1575											0.58
			6210	5325	3195	110											0.41
	鲁西南		6990	6150	4555	3400											0.75
			6450	5700	4020	1560											0.58
			6435	5655	3705	1305											0.41
鲁中		7515	7425	7215	3465											0.75	
		7515	7365	7170	3000											0.58	
		7245	7200	7080	2805											0.41	
鲁南		6960	6885	6690	3780											0.75	
		6750	6630	6600	2865											0.58	
		6330	5970	4965	2715											0.41	
胶东		7620	5925	3855	1875											0.75	
		7605	4890	3705	1485											0.67	
		7165	5190	2715	960											0.41	

表 9-8

节水农业措施知识目录

项 目	内 容
抗旱耕作技术	深浅轮耕制；因雨（墒）三定耕作管理制，即因雨确定耕作方法、定播期和品种、定施肥方法；蓄水保墒耕作制；秸秆覆盖免耕技术；蓄水覆盖丰产沟耕作技术
节水种植结构	适当压缩耗水多的作物，增种抗旱作物，夏秋两茬合理配置，农牧结合
抗旱品种	小麦、棉花、玉米、谷子、油料
抗旱保水剂	抗旱剂一号、吸水剂、抑蒸剂、增温保墒剂、钙赤合剂、种子包衣、植保素、有机保水剂
秸秆覆盖	盐碱地秸秆覆盖、旱地秸秆覆盖、麦田休闲覆盖、麦田生育期覆盖、夏播作物覆盖、春播作物覆盖、覆盖配套措施、覆盖效果

3. 管理措施

从图 9-2 看出，管理措施贯穿于节水灌溉综合技术体系的各个环节，是实施各种节水措施 的保证。节水管理措施的知识目录见表 9-9。

表 9-9

节水管理措施知识目录

项 目	内 容
灌区管理改革的几个方面	改革管理经营体制, 完善各种责任制, 水费改革, 财务管理改革
节水管理主要措施	加强监测预报、加强测水量水, 适应承包责任制的管理形式
对管理工作的几点建议	贯彻执行水法, 实行管理责任制, 科学管理优化调度, 加强测报工作, 推广微机应用、实现自动化管理
山西利民灌区管理技术	水利设施管理、承包方式, 合理收费标准, 统管三种水源, 优化调度, 节水灌溉, 建立用水台帐, 效益
山西临汾用水管理技术	经济管理、工程管理、灌溉管理
山东引黄灌区用水管理技术	改革管理体制, 建立水、沙监测网, 建立无线通讯网, 建立微机管理系统, 优化调度, 水费征收原则

第四节 专家系统功能及运行方式

各个领域的专家系统都具有解决该领域专业问题的特定功能。就像没有万能的专家一样, 也没有万能的专家系统。农田灌溉研究所针对盐渍土改良和节水灌溉分别建立了节水灌溉综合技术体系 (NCWSA) 专家系统和黄淮海平原盐渍土综合治理专家系统, 下面分别对其功能和运行方式做简要介绍。

一、NCWSA 系统功能概述

NCWSA 系统是节水灌溉综合技术体系专门问题的专家系统, 在系统设计时既要具有该领域当代专家水平的技术功能, 又要能适应发展的需要, 故从总体设计上具有技术咨询和知识获取两大功能, NCWSA 系统的功能见图 9-5。

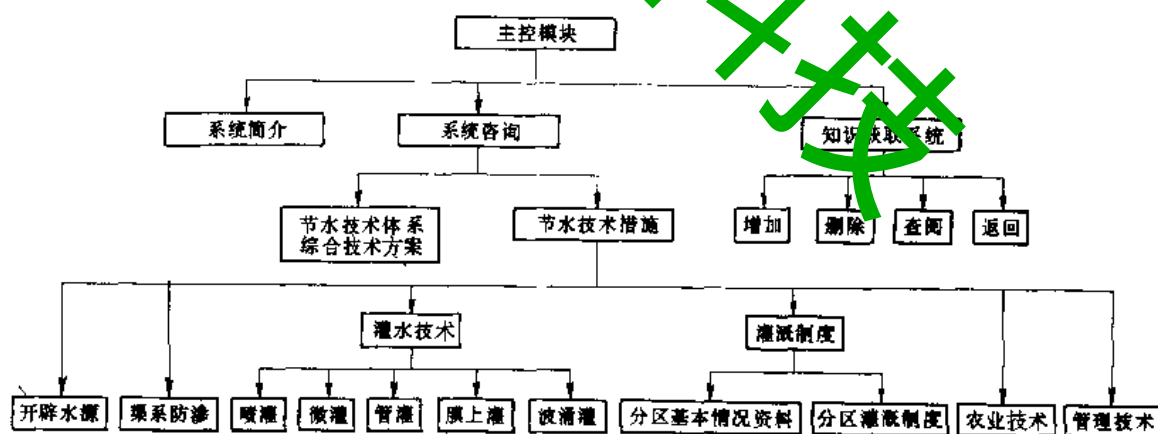


图 9-5 NCWSA 系统功能框图

二、知识获取功能

知识获取功能为修改知识库中的知识和扩充知识提供手段, 为适应节水型农业的发展, 知识必然要更新和扩充, 特将其设计为一个相对独立的模块, 使其更新和扩充能独立进行, 成为一个相对独立的完整的知识库及其管理系统, 知识获取系统的结构见图 9-6。

三、技术咨询功能

NCWSA 系统是一个涉及水利、农业和经营管理三大内容的技术体系，它既要为节水型农业的建设提供综合技术体系方案，又要对节水技术措施进行具体的咨询服务，方案及措施均存于知识库中，知识库结构见图 9-7。

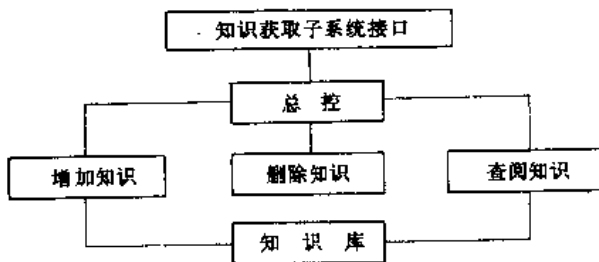


图 9-6 知识获取系统结构

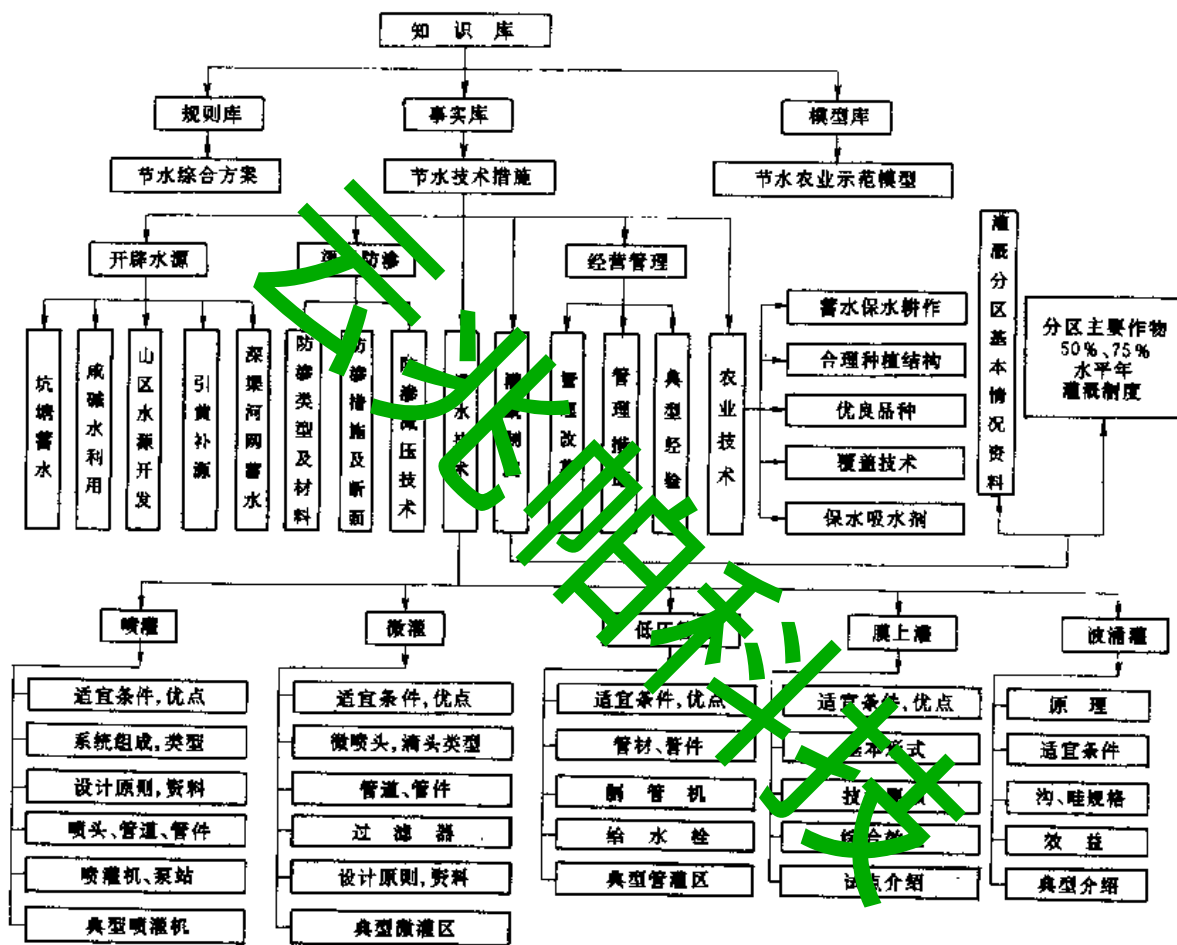


图 9-7 知识库结构

四、NCWSA 系统运行示例

系统以汉字菜单人机对话方式运行，系统首先显示咨询项目菜单，并提示用户选择，用户只要按提示键入选择项目的代号或按↑↓键移动光标到所选项目，然后按回车键（ENTER）激活，即可得到满意的咨询结果。对系统的一些询问，用户只要按提示回答“Y”或“N”即可，咨询结果根据用户要求显示或打印。要运行该系统，先开机进入汉字系统，键入 NCWSA，再按 ENTER 键，显示如下一级菜单

华北地区节水灌溉综合技术体系专家系统

系 统 简 介

系 统 咨 询

知 识 获 取

退 出 系 统

用↑↓键移动光标选择，按回车键确认

若将光标移至知识获取，则显示如下菜单

知 识 获 取 系 统

增 加 知 识

删 除 知 识

查 阅 知 识

上 级 菜 单

用↑↓键移动光标，按回车键确认

若将光标移至增加知识，则显示如下菜单

增 加 知 识

河南基本情况

河北基本情况

山东基本情况

山西基本情况

北京天津基本情况

综合节水技术

节水灌溉制度

综合节水方案

用↑↓键移动光标，按回车键确认

运行知识获取系统时，不管选择增、删、查，系统均以子句的形式提示，运行这一功能必能掌握知识表示方法及子句的编写。

在一级菜单中若将光标移至系统咨询，则显示如下二级菜单

系 统 咨 询

农业供水及生产现状

节水综合技术方案

节水综合技术措施

节水灌溉示范模型

返回上级菜单

用↑↓键移动光标选择，按回车键确认

若将光标移至节水综合技术方案，则显示如下三级菜单

节 水 综 合 技 术 方 案			
滨	海	平	原 区
黄	河	平	原 区
海	河	平	原 区
山	前	平	原 区
低	山	丘	陵 区
河	谷	盆	地 区
山			区
高		原	区
返回上级菜单			
用↑↓键移动光标，按回车键确认			

若将光标移至山前平原区，按回车键则显示如下三级菜单

山前平原所在地	
1. 属保定、沧州、衡水地区吗？	
由潮白河、蓟运河、滦河、永定河冲积而成吗？	
2. 北起北沟、南至漳卫河的冲积洪积区吗？	
属石家庄、邢台、邯郸、安阳、新乡地区吗？	
3. 位于胶东半岛西部，属潍坊、青岛、淄博、日照及临沂地区吗？	
用↑↓键移动光标选择，按回车键确认	

若将光标移至3并按回车键，则根据菜单信息和用户确认推理得出该区为胶东山前平原缺水井灌区，并显示下列信息，请用户确认是否存在下列问题

水资源及灌溉现状：	
多年平均降水 600~750 mm，小型水库较多，地下水较丰富，有效灌溉面积占耕地的 66%，其中井灌占 70%，水库、塘坝占 21%，引河、引湖占 5.5%，引黄占 1.0%，管道灌、喷微灌已有较大面积使用。	
胶东山前平原缺水井灌区存在问题：	
水资源缺乏已严重影响工农业发展吗？	
地下水超采已导致海水入侵吗？	
库、塘、湖蓄水、引黄、引河还有潜力吗？	
工程配套、渠道防渗还有节水潜力吗？	
用↑↓键移动光标选择，按回车键确认	

根据上述信息及用户的确认情况，系统推理提出该区节水灌溉综合技术体系框图，见

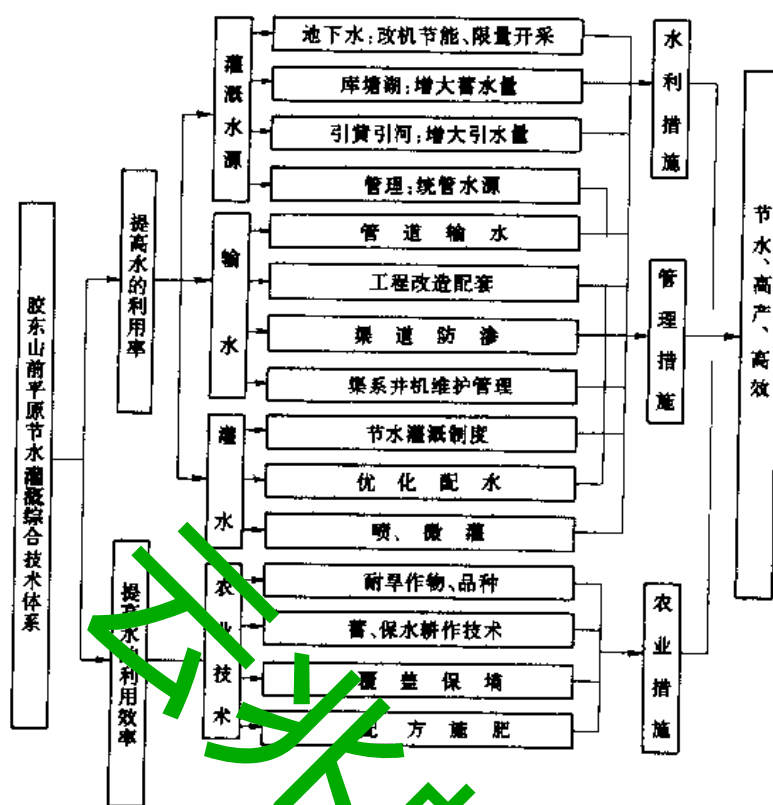


图 9-8 节水灌溉综合技术体系

图 9-8。

系统进一步显示下列问题请用户确认

属水库、塘坝灌区吗？
引湖、引河灌溉吗？
已有井灌设施吗？
地下水较丰富，可以打井灌溉吗？
用↑↓键移动光标，回车键确认

若用户对上述提问基本认可，系统经推理提出并显示如下综合节水措施

胶东山前平原缺水井渠灌区节水措施
提高库、塘蓄水能力，尽可能多蓄水
渠系配套、渠道防渗、请逐级返回至防渗技术进行咨询
推广管道灌、喷、微灌，请逐级返回至灌水技术进行咨询
实行科学管理，请逐级返回至管理技术进行咨询
推行节水灌溉制度，请逐级返回至节水灌溉制度进行咨询

在前述二级菜单中，若将光标移至综合节水技术措施，则显示相应的三级菜单

节水技术措施
 开辟水源
 灌水技术
 灌溉制度
 防渗技术
 农业技术
 管理技术
 返回上级菜单
 用↑↓键移动光标，回车键确认

若将光标移至灌水技术，则显示下列四级菜单

灌水技术
 微灌技术
 喷灌技术
 管道灌技术
 波涌灌技术
 膜上灌技术
 返回上级菜单
 用↑↓键移动光标，回车键确认

若将光标移至喷灌技术，则显示相应的五级菜单

喷灌技术
 喷灌特性
 喷灌种类
 喷灌设计
 喷源管道及管件
 喷灌泵站及喷灌机
 返回上级菜单
 用↑↓键移动光标，回车键确认

若将光标移至喷灌种类，则显示六级菜单

喷源种类
 喷灌系统类别
 喷灌技工作压力分类
 按结构形式喷洒特性分类
 返回上级菜单
 用↑↓键移动光标，回车键确认

系统根据用户选择，从知识库中检索出有关资料，用户选择的输出方式，显示或打印

出资料文件。

在前述三级菜单中，若选择灌溉制度进行咨询则显示相应的四级菜单

节水灌溉制度
河北主要作物节水灌溉制度
河南主要作物节水灌溉制度
山西主要作物节水灌溉制度
山东主要作物节水灌溉制度
返回上级菜单
用↑↓键移动光标，回车键确认

若选择河北省，则显示相应的五级菜单

河北省主要作物灌溉制度
冀东区冬小麦
冀北区冬小麦
冀中区冬小麦
冀南区冬小麦
冀西区冬小麦
京广区玉米
黑龙岗区玉米
冀东区玉米
返回上级菜单
用↑↓键移动光标，回车键确认

在上述第五级菜单中选任一项都是显示下列第六级菜单

水文年
50%水文年
75%水文年
95%水文年
返回上级菜单
用↑↓键移动光标，回车键确认

系统根据用户选择的地区和水文年，从知识库中检索出灌溉制度资料。

若在系统咨询（二级）菜单中选择节水灌溉示范模型，则显示相应三级菜单

节水农业技术体系示范模型
廊坊节水灌溉技术体系
清丰节水灌溉技术体系
夏县节水灌溉技术体系
返回上级菜单
用↑↓键移动光标，回车键确认

若选择清丰节水灌溉技术体系，则显示相应的四级菜单

清丰节水灌溉技术体系
清丰示范区基本情况
示范区建设及示范研究内容
水资源评价及开发利用途径
引黄补源提灌与井灌联合运用
提灌与井灌联合运用工程系统
引黄补源工程系统管理
节水灌溉技术体系
清丰示范区效益
返回上级菜单
用↑↓键移动光标，回车键确认

若将光标移至清丰示范区效益，则显示相应第五级菜单

节水灌溉技术体系清丰示范区效益
经济效益指标分析
补充水资源
节能、节电、节地
增产及推广
返回
用↑↓键移动光标，回车键确认

系统根据用户选择，从知识库中检索出有关技术资料

从运行示例看出，除知识获取部分需要掌握知识的表示方法和子句的编写外，运行专家系统的咨询功能只要按菜单提示，用键盘↑↓键移动光标选择并回车键确认即可，菜单是逐级下拉或上弹，单进单出，操作非常简单。

五、黄淮海平原盐渍土综合治理专家系统运行示例

本系统亦用光标选择中文菜单方式，每个菜单均用↑↓键选择，按回车键（ENTER）激活，其一级菜单如下

盐碱地综合治理专家系统
自然条件判断类型子系统
地理位置判断类型子系统
类型区综合治理方案子系统
综合治理技术措施子系统
退出系统

若用户选择自然条件判别类型子系统，屏幕显示以下二级菜单

输入自然条件
 类型区判断
 清除数据
 返回上级菜单

若选择输入自然条件，则出现以下三级菜单

地形地貌
 地下水埋深
 地下水富有程度
 土壤类型
 土壤质地
 地下水水质
 地面坡降
 年降雨量
 地面水源
 主要灾害
 返回上级菜单

用户必须依次选择执行三级菜单中10个自然条件，从中确认适合的状态，以下用✓表示用户确认的状态。依次运行10个自然条件的第四级菜单如下

地形地貌
 洼地
 浅平洼地
 低地
 起伏不平
 微斜平地
 封闭洼地✓
 低洼平地
 低平地
 荒地
 高滩地

地下水埋深
 <1 m
 1~2 m✓
 2~3 m
 3~5 m

地下水富水程度
 强富水区✓
 中富水区
 弱富水区

土壤类型
 潮土✓
 盐化潮土
 褐土
 砂质潮土
 盐土
 瓦碱
 沉积土
 滨海盐土

土壤质地 砂 土 砂 壤 土 粉砂壤土✓ 轻 壤 土 中 壤 土 重 壤 土 粘 土	年降水量 500~700 mm 700~800 mm✓ 800~900 mm 900~1100 mm
地下水水质 淡 水 微 咸 水✓ 咸 水	地面水源 奇 缺 较 缺✓ 丰 富 有外引水源
地面坡度 >1/5000 1/4000~1/5000 1/5000~1/6000 1/6000~1/15000✓	主要灾害 旱涝盐碱 旱 旱 涝 渍✓ 内涝盐碱

根据用户从 10 个自然条件中选择认可的状态,系统调用规则推理匹配,回答用户属于“花碱地古黄河背河洼地”。用户可以返回一级菜单,进一步咨询该种类型的治理方案和治理的各种措施。

六、系统运行环境和系统移植

两个系统均可在 286 以上微机且配有汉卡 (2.13K, 正, 联想等) 和未汉化的 Turbo Prolog 软件支持下运行,也可在 UC DOS 汉字系统,汉化的 Turbo Prolog 软件支持下运行。

只要具有这种配置的计算机,即可方便地进行系统移植,将专家系统的备份文件装入机内,按第四节第四部分系统运行示例操作即可。若要运行知识获取子系统,增加或删除知识,首先要按第四节第三部分技术咨询功能所述知识库结构中,确定你要增加或删除的知识类别,再按第二节第二部分知识表示方法中规则表示法示例,把欲增加的知识编写成子句,在此基础上按前述专家系统运行示例,选取知识获取子系统进行增加或删除操作。

第五节 专家系统开发工具

70 年代末相继出现了一批具有不同特色的建造专家系统的智能语言如 Prolog 语言,进而又出现各种不用编程的专家系统开发软件如“电脑顾问”,现仅就使用 PROLOG 语言和“电脑顾问”建造专家系统做简要介绍。

一、用 Turbo Prolog 语言建造专家系统

Turbo Prolog 语言是基于谓词逻辑的语言,通称逻辑程序设计语言,已被广泛用于专

家系统程序设计。NCWSA 系统就是用 Turbo Prolog 语言编程实现的，部分功能由 Turbo C 2.0 及调用 DOS 实现。Prolog 语言因为具有对问题的求解和推理功能、知识库管理功能和智能接口功能，故从诞生到现在近 20 年时间里，已应用于许多领域。Prolog 的主要基础是逻辑程序编制，采用的方法是规定与问题有关的已知事实和关系。在求解问题时要求描述和定义诸对象和它们之间关系的某些规则，特别强调描述对象（和事实）之间的逻辑关系。Prolog 语言具有三个特点，第一是数据和程序结构统一，统称为项，所有数据和程序都是由项构成的。第二是能够自动实现模式匹配和回溯。第三是递归特性反映在数据结构和程序中。它的三个基本语句是：事实、规则、询问。还规定了许多内部谓词供程序员直接使用。综上所述，Prolog 语言主要包括回溯、通用数据结构、回溯控制、模式匹配、语法规则等内容，专门教材有详细论述。现就用 Turbo Prolog 语言编程实现 NCWSA 系统的有关问题做简要叙述。

1. 知识获取子系统的设计

程序设计通过调用 `Start` (3) 分别实现知识的增加、删除和查阅功能。通过 Turbo Prolog 语言的内部谓词 `Openappend`, `Save`, `Consult` 来实现知识的增加并将知识存在数据库中。通过内部谓词 `Retract` 来实现删除规则或条件，用 `Save` 谓词将余下的知识存盘。通过 `Matewindow`, `Write` 等谓词实现查阅功能。

2. 推理机的设计

推理机是系统的灵魂，用来协调控制整个系统。系统采用反向推理方式，下面是推理机的主要组成语句

```

rum (K); —
menu-out (目标, integer)
rule (Rno, 目标, 子目标, 条件表),
seper (Rno, 条件表, integer),
Choose (Integer, integer),
Ye (Integer),
menu-out (子目标, integer),
seper (Rno, [bno | rest], row); —
    cond (Bno, text), write (text),
    rowl=row+1,
    seper (rno, rest, rowl),
    seper (rno, rest, rowl),
Choose (len, lorow); —repent, readkey (key),
curser (row, —),
overlay (key, row, len, lorow) .
    
```

规则 `menu-out` 接受用户的目标并开始推理，推理机搜索知识库中的 `rule` 和 `cond` 子句，以判断有关的数据（事实知识）存在与否。`menu-out` 调用 `seper`, `choose` 两条规则处理所需的任务，跟踪规则号 `Rno`，条件表进行匹配。若匹配成功，则插入匹配值至动态数据库；若匹配未成功，则推理机停止这一匹配，另选匹配路径。在接索过程中，当某一目标

满足后就“跳到”与这目标有关的其他子目标，而不考虑同一层上其他目标是否满足，这在一定程度上减少了盲目搜索和回溯的次数，提高系统运行效率，这是 Turbo Prolog 语言深度优先的搜索方法所决定的。上述搜索和匹配一直进行到所有可能匹配穷尽为止。推理结束通过人机接口将结果告诉用户。

3. 人机接口

NCWSA 系统设计充分利用 Turbo Prolog 丰富的窗口菜单功能，实现了方便、实用、易操作的人机接口。用户要做的事，只是根据屏幕上的提示，用上下箭头移动光标，ENTER 键激活所选功能即可。

4. Turbo Prolog 调用 dbase Ⅲ 库文件的方法

专家系统研制中，如何有效利用现在广泛使用的 dbase 数据库文件，可缩短软件开发周期，提高编程效率。在开发 NCWSA 系统时，特设计了 Prolog 与 dbase Ⅲ 接口，可将 dbase 库文件 (DBF) 直接生成 Prolog 能调用的数据库，也可在不退出 NCWSA 系统情况下，直接进入 dbase 状态，查看 dbase 的数据文件，然后再退回 NCWSA 系统。为了将 dbase 库文件 (dbF) 直接生成 Prolog 数据库，分别用 dbase 语言和 Prolog 语言编制了转换程序，转换后的 dbF 文件均能作为 Prolog 的动态数据库及文件数据库使用。

5. Turbo Prolog 与 Turbo C 语言的接口

实践证明，Turbo Prolog 语言在许多方面都是一个良好的编程工具，但为了提高编程质量，仍需调用其他高级语言。在 NCWSA 系统设计时，为了调用 Turbo C 语言，对 Turbo Prolog 语言与 Turbo C 语言的接口进行了研究和设计，实现了两种语言混合编程，充分利用了 Turbo C 语言的作图功能，并实现了在图形方式下显示汉字，提高了屏幕图形设计的质量。

二、用“电脑顾问”建造专家系统

在专家系统研制初期，研究者都致力于建立针对特定领域的专家系统，如细菌感染诊断专家系统 (MYCIN)、地质勘探专家系统等。由于建立一个专家系统必须由熟悉计算机并掌握智能语言程序设计的工程师和专家结合，周期长，难度也很大。80 年代中期以来，人们开始研究建造专家系统的辅助工具，为建造专家系统提供通用软件，目前市场上已有许多软件工具出售，今以“电脑顾问”软件为例做简要介绍。

“电脑顾问”是一种基于规则的专家系统建造工具，它是在 EMYCIN 基础上发展起来的专家系统，EMYCIN 是 MYCIN 的骨架，MYCIN 是美国斯坦福大学的科学家研制的细菌感染诊断专家系统，已被誉为经典作品。

“电脑顾问”主要由三部分组成，即开发机、推理机和执行时实用程序。

1. 开发机

开发机帮助专家建立、调试和精炼知识库，当输入知识库元素时，开发机会提示怎样定义知识库元素，还能进行调试、查找知识库中的错误。

2. 推理机

推理机顺序浏览知识库中的规则，向用户提出适当的问题，然后根据规则和用户对问题的回答提供咨询建议。推理机以反向推理方式进行工作。在“电脑顾问”中规则的“如果”部分被称作“前提”，“则”部分被称作“动作”，而“属性”则称作“参数”，这些述

语在软件使用说明中有明确阐述。

开发机和推理机两者构成了专家系统的开发工具。

3. 执行时实用程序

推理机和经开发机彻底调试的知识库一起组成最终的专家系统。这一专家系统的工作是由执行时实用程序来完成的，它是一个独立的执行程序。

“电脑顾问”是一种不需要编程就能建立专家系统的开发工具。作为一种软件工具都具有自己的特殊规定，在使用“电脑顾问”建立自己的专家系统时，虽不用自己编程，但必须认真学习软件的技术资料，首先使你的思想与软件的推理策略协调起来，进而了解和掌握它的技术特性和一些特殊规定，才能运用自如地建立自己的专家系统。

星光科技

第十章 节水灌溉效益分析

节水灌溉效益从大的方面可分为社会效益和经济效益两部分。前者难以用货币简单衡量,后者可以较为准确地计算分析。从社会效益的大小能够看出节水灌溉的必要性、重要性;经济效益的高低则表明节水灌溉的可靠性、合理性。通过对社会效益和经济效益的综合分析计算,可以清楚地说明节水灌溉的必然性、紧迫性,可以看出节水灌溉事业蕴藏的巨大生命力。

第一节 社会效益分析

一、节水灌溉在农业生产中的地位

我国是典型的季风气候区,降水量不论是年际还是年内都分布不均,由此引发的洪涝干旱灾害十分频繁。依靠雨养农业难以做到高产、稳产,灌溉在农业生产中具有举足轻重的作用。

我国的灌溉事业为国民经济发展做出了很大贡献,在约占耕地面积一半的灌溉面积上,生产了占全国总产量 2/3 的粮食、3/5 的经济作物和 4/5 的蔬菜。但灌溉事业也面临一些迫切需要解决的新问题,主要体现在:灌溉面积的进一步增加受到土地及水资源的制约;灌溉技术落后,水的利用率偏低;管理水平不高,节约用水意识不强。

我国灌溉水利用系数为 0.45 左右,如果维持这样一种水平,不要说扩大灌溉面积,要保住现有灌溉面积也很难。如果说过去的发展靠的是规模,是外延,那么今后的发展必须要在内涵上下功夫,以节水为重点,变粗放型经营为集约化经营。

综上所述,要根本上解决粮食这一战略问题,必须稳定和扩大灌溉面积;在水资源日趋紧张,其他部门往往挤占灌溉用水的今天,保住和增加灌溉面积,出路在于大力发展节水灌溉,提高灌溉水的利用率。

二、节水灌溉可以缓解水资源开发的压力

1981 年我国水资源初步评价估算的全国水资源总量为 27210 亿 m^3 ,“中国灌溉农业节水规划”中汇总各省上报的可开发水资源量为 17486 亿 m^3 。1992 年我国供水能力达到 5366 亿 m^3 ,其中灌溉用水量 3933 亿 m^3 ,占供水总量的 73.7%;若计入河道引用水量,灌溉实际用水量为 4478 亿 m^3 ,占总供水能力的 83.5%。水资源开发利用率已达到 30.7%,开发程度较高。

从我国水资源开发利用与国外对比(见表 10-1)看出:发达国家尽管耕地灌溉率大于我国,但灌溉用水占总用水量的比例却远小于我国,这说明我国的灌溉水利用率较低。

从表中还可看出:我国人均用水量是八个国家中最少的,但水资源的开发程度却是最高的,远远大于灌溉用水量大的日本、意大利,也大于工业用水量大的美国、法国、前苏联。如果我国人均用水达到发达国家的现有水平,那么到 2000 年全国总用水量需要 14300

亿 m^3 , 占到水资源总量的 52.6%, 占可开发水资源量的 81.8%, 将对水环境产生严重后果。可见节水工作的重要性和必要性。

如果普遍采取节水灌溉措施, 将灌溉水利用系数由现状的 0.45 提高至 0.7 左右, 即使灌溉面积增加到 6000 万 hm^2 , 灌溉用水量也不会增长很多, 将大大缓解水资源开发的压力。

表 10-1 我国水资源开发与国外对比

项 目		中 国	美 国	前苏联	日 本	意大利	印 度	墨西哥	法 国
水 资 源	年径流 (亿 m^3)	26380.8	29702	47140.0	5470.0	15000.0	17800.0	3900.0	2000.0
	人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	2198.3	11040	17860.0	4716.0	26325.0	2625.0	5064.9	3643.0
	耕地平均水量 (万 m^3/hm^2)	2.12	1.56	2.08	12.69	12.27	1.08	1.65	1.07
灌 溉	耕地 (亿 hm^2)	1.25	1.89	2.27	0.04	0.05	1.68	0.11	0.19
	灌溉面积 (亿 hm^2)	0.49	0.24	0.20	0.03	0.03	0.39	0.05	0.01
	喷灌占灌溉 (%)	1.7	37.0	47.0	7.0	18.0	75.0		
	灌溉占耕地 (%)	39.6	12.7	8.8	74.8	54.3	23.5	50.1	6.1
	灌溉定额 (万 m^3/hm^2)	1.04	0.95	0.65	1.54	0.57	0.78	0.79	1.27
用 水	总用水 (亿 m^3)	5366.0	4676.0	2204.0	695.0	430.0	3237.0	468.0	340.0
	人均用水 [$\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{年})$]	432.3	2346.0	980.0	694.0	860.0	600.0	920.0	665.0
	工业用水 (%)	16.0	43.5	36.0	18.3	19.0	0.8	5.2	41.2
	农业用水 (%)	84.5	18.5	59.0	72.0	39.0	95.5	88.1	42.5
	总用水占径流 (%)	20.0	15.7	4.7	12.7	2.9	18.2	12.0	17.0
分析对比	灌溉比例排队	4		7	1	2	5	3	8
	灌溉用水排队	5		5	4	8	1	2	7
	人均用水排队	8	1	3	5	4	7	3	6
	工业用水排队	6	1	3	5	4	8	7	2

注 1. 引用资料“1984 年粮农组织生产年鉴”、“中国水资源初步评价”。

2. 我国以实灌面积计算, 其他国家忽略农业其他用水。

三、节水灌溉可维护水环境的生态平衡

过去, 我们认为水是取之不尽、用之不竭的资源, 因此在开发利用时很少考虑保护措施。大量引用河水, 引起河流入海口处海水倒灌; 上游过量引水使下游河段干涸, 原来的良田退化为荒漠; 超采地下水使机井报废, 城市产生地面沉降。这样由于过量用水招致大自然无情报复的案例, 无论是国外还是国内都不乏其例。

沉痛的教训告诫我们, 在利用水这种大自然恩赐给人类的宝贵资源时, 要格外珍惜和保护, 使其能够保持良性循环。要从根本上解决水的需求量与资源承载能力严重不平衡的问题, 必须尽量提高现有水资源的利用率。从这个意义上讲, 节水灌溉可在一定程度上维护水环境的生态平衡。在这方面也有一些成功的例子: 如通过采取节水灌溉措施限量开采地下水, 使地下水得以涵养, 进而防止地面下降和海水倒灌等。

四、节水灌溉有利于提高水资源的综合效益

随着科学技术的发展, 为充分利用水资源提供了美好前景。据“中国灌溉农业节水规划”的分析, 到 2020 年我国的灌溉面积将净增 0.107 亿 hm^2 , 总面积达 0.6 亿 hm^2 , 灌溉用水总量达 4927 亿 m^3 , 较现状有所增加, 但单位面积用水量下降较多, 由现在的 $10350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 下降到 $8212 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。灌溉技术先进的美、以色列也都具有这样趋势, 即今后 20~

30 年灌溉面积稳中有升,而单位面积用水量逐年回落,灌溉用水量持平。做出这种预测的理由主要是考虑这段时间,节水灌溉面积有很大的发展,特别是喷、微灌等节水措施将占有较大比重。

到 2020 年,由于广泛推行节水灌溉技术,我国灌溉水的利用率可达到 0.7,灌溉用水的比重由 90 年代的 83.5% 下降到 50% 左右。农业用水比重逐渐回落,给工业等部门快速发展创造了基础条件。由于水的用途变化,其增值作用将更加显著,水资源的综合效益更突出。

第二节 经济效益分析

节水灌溉经济效益体现在节水、节能、节地、增产等许多方面。根据其形成,可分为直接经济效益和间接经济效益两部分。前者是节水灌溉的直接结果,后者则通过一定环节周转后形成。我国地域辽阔,不同地区、不同节水灌溉措施所产生的经济效益也不完全相同,因此进行经济分析时,一定要立足本地实际,实事求是。

一、节水灌溉经济效益指标

为综合、全面地分析与评价节水灌溉工作的经济效益,在归纳我国已有经验基础上,提出以下指标。

1. 节水效益

节水效益是节水灌溉与传统灌溉相比节约下来的水量,它是节水灌溉所追求的主要目标之一。不同的技术措施,其节水效果差异较大。我国现阶段推广的节水灌溉方法中,微灌(含微喷灌、滴灌、涌泉灌)一般可节水 30%~50%,节水效果最好;喷灌可节水 20%~30%,仅次于微灌;管道输水及渠道防渗可节水 10%~20%,有明显节水效果;水稻浅湿灌溉、膜上灌、膜下灌等也都有一定节水作用。

节水量可用下式计算

$$\Delta W = (\eta_{k1} - \eta_{k0}) m A \quad (10-1)$$

式中: ΔW 为节水量, m^3 ; η_{k1} 为节水灌溉的灌溉水利用系数; η_{k0} 为传统方法的灌溉水利用系数; m 为单位面积用水量, m^3/hm^2 ; A 为灌溉面积, hm^2 。

2. 节能效益

实施节水灌溉技术措施后,减少了灌溉用水量,对抽水、提水灌区就意味着节约了耗能量。节能效益可用下式计算

$$\Delta N = \Delta W N \quad (10-2)$$

式中: ΔN 为节能量, $kW \cdot h$; ΔW 为节水量,按式 (10-1) 计算; N 为单方水提(抽)水能耗量 ($kW \cdot h/m^3$)。

对于无需靠动力提(抽)水的自流、自压灌溉,不存在节能效益。

3. 增产效益

增产效益是指节水灌溉较传统灌溉增加的产量和产值。节水灌溉是一种先进的灌水方式,具有明显的增产效果。据对比试验,与传统地面灌溉相比,微灌一般可增产 20%~30%;喷灌可增产 10%~20%,水稻浅湿灌溉、膜上灌可增产 5%~10%。

环境的后果。首先，要摸清水文地质情况和地下水储量及补给条件。深层次地下水大多是上千年形成的，开发后很难恢复，只能作人畜饮水，少量开发利用。以农业灌溉为主的地下水开发需要量大，应以开采有稳定可靠补给来源的浅层地下水为主。其次，要认真做好科学规划设计，确保开采量小于补给量，同时要考虑对下游的影响，合理确定井的密度、深度，选择适宜的井型结构、打井工艺和配套机具，按基建程序办事，严格审查把关。三是要搞节水灌溉，地下水是十分宝贵的资源，开采出来的水决不能浪费。四是要严格按项目管理，要按照水文地质和行政区划等因素划分项目区，每个项目在总体规划指导下进行设计，编制可行性研究报告，由各省水利厅初审后报部审批。项目建设单位要严格管理，严格按批准的规划设计进行建设。

3. 对现有灌区进行以节水为目标的技术改造

对现有灌区的挖潜技术改造，是一个投资小、见效快、效益高的工程，在大力普及节水灌溉中应列为优先发展项目。我国现有灌区大多是50、60、70年代修建的，经过几十年的运行，其运行能力和经济效益大大下降，有的已难维持简单的再生产，工程老化失修、面积缩减。但一般都有相应的基础设施，如水源工程、输水工程等。在发展节水灌溉时，优先考虑对老灌区进行以节水为目标的技术改造，是一条多快好省的途径。当然在对老灌区进行节水技术改造时也必须慎重从事，充分论证，以较少的投入取得较大的经济效益，优选必须改造的项目，切勿盲目上马。特别在选择何种节水灌溉形式作为改造目标时，一定要充分考虑投入能力、技术管理水平、当地农业生产发展的长远要求，不能只顾眼前利益，搞短期行为，避免将来重复投入，造成浪费。

五、研究制定鼓励发展节水灌溉的政策法规

1. 研究激励发展节水灌溉的投入政策

发展节水灌溉农业比传统农业需要更多的投入，但根据目前的国情，全部由国家负担

星光科技

星光科技

星光科技

星光科技

发展节水灌溉的投资也不可能,必须按照国家、集体、个人共同负担的原则筹措资金。根据最近完成的总理基金项目“华北地区节水型农业技术体系研究与示范”对华北地区节水农业措施发展规模的粗略预测,要满足华北地区农业发展要求,按1990年的不变价格计算,到2000年需要在节水农业措施上投入约110亿元,数额十分巨大。这么多的投入如按当前贴息贷款的办法全部由农民负担,有一定困难,若在贫困地区,则更难以承受,即使按“三三制”,农民负担三分之一也要36.7亿元,亦是一个不小的数目。如果不制定一个鼓励发展节水灌溉的投入政策,就难以调动各方面的积极性,没有相应的投入,大规模发展节水灌溉是不可能的。

当前最大的问题是水费太低,没有按照商品价值的规律,依据水的实际价值收费,节水对农民来说没有得到实惠,而对国家来说,节水会产生巨大的经济效益和社会效益。因为节约出来的水可以支援城市生活或工矿企业用水,或扩大灌溉面积或提高灌溉保证率增加农业产量。为此可在适当提高水费的同时,国家应根据节水工程的不同节水率或节水面积的大小给以相应的补助,或强制一些用水大户在其收益中提取相应的比例支持发展节水灌溉农业,并能以政策法规的形式固定下来,以确保节水灌溉的发展。

2. 建立发展节水灌溉基金

随着经济的发展,原农业用水大量向工矿企业和城市转移,原高产的灌溉面积也正不断地被挤占或低价征用。这种经济和社会效益的转移是所有国家社会发展的规律,也是一个国家由农业国向工业化转变和发展的必然。但这种效益的转移不能是无偿或低价的,更不能以牺牲农业的利益去换取工业等其他行业的高速发展,尤其在市场经济条件下更不能这样。基于这种认识,目前我国各地已经出现了“以工补农”、“以工建农”、“以工支农”等提法和少量尝试。但其发展力度与作法既小又不规范,远远达不到支持农业发展的要求,加之国家虽有保护支持农业发展的定性政策,但无具体规定,所以很难取得显著成效。因此,建议国家有关部门通过大量的调查和典型分析,评估被挤占灌溉面积和水费的真正价值,从中提出适当比例的资金作为发展节水灌溉基金,并制定出相应的管理使用办法等,以弥补我国发展节水灌溉资金的不足。

3. 建立与完善节水灌溉奖励政策

目前我国农业灌溉水费太低是导致灌溉水利用率低的直接原因。解决这一问题的有效途径除了加强宣传教育外,可靠的办法一是适当提高水费价格,使农户感到节水就是节钱;二是制定节水的奖励政策。我们应该学习世界先进国家有关节水的一些政策法规。以色列是一个干旱缺水的国家,人均水资源 370 m^3 ,比我国华北地区的 430 m^3 还少。他们的供水由国家统一管理,并规定地下水的开采要经过国家批准。国家对供水实行严格配额制,在配额中,85%为平价水,15%为加价水;超过配额,实行高价供水;高价水比平价水贵2~10倍,农业平价水每立方米为0.16美元(约合人民币1.33元)。以色列的经验值得我国借鉴。我们应结合我国的农情制定出不同的价格体系,实行定额供水,节约优惠、奖励,超额加价,以调动农户节约用水的积极性。

六、建立健全节水灌溉的良性运行管理机制

1. 给管理机构提供有利于发展节水灌溉的环境

管理出效益是人们公认的事实。而目前我国不少管理单位(包括灌区)经费短缺,主

要靠多种经营来维持,灌溉管理比较薄弱。还有一些灌溉管理机构,由于多种经营难度大,而水费又偏低,为了创收求生存,反而鼓励农民多用水。因管理单位待遇低,不少技术人员外流,难以掌握先进节水灌溉技术,效益不高。还有一些管理单位的人员经常被乡镇抽调搞其他工作,使管理工作处于瘫痪状态。还有一些地方治安问题比较突出,给灌溉管理工作带来很大困难。针对这些情况,应下大力气解决管理机构的实际问题,制定鼓励管理机构发展节水灌溉的政策,如事业费与管理水平挂钩,节水给予奖励,超额用水给以经济处罚,加强社会治安,不抽调管理机构人员,使灌溉管理机构真正做到以管理为主,安心搞好灌溉管理工作。

2. 理顺农业水费价格

理顺农业水费价格是当前的热点问题。由于目前农业水费标准过低,价格严重背离价值,水费征收价格约为成本水费的 $1/3 \sim 1/2$,长此下去难以为继。农业水价偏低,导致了农业用水粗放,水的浪费现象十分严重。随着节水增产重点县和节水型井灌区建设的启动,要求理顺农业水费价格呼声更加高涨,做到按供水成本加合理利润核定并收取水费。

3. 建立健全节水灌溉技术服务体系

建立健全节水灌溉技术服务体系,是发展节水灌溉的重要环节,要结合 300 个节水增产重点县和节水型井灌区建设,进一步建立与完善各级节水灌溉技术服务体系。当前应以各乡镇水利站为基本单位,以分省在各地的节水增产示范县为重点,建立实维全国节水灌溉工程的网络;以中国灌排技术开发公司和部属有关专业研究单位和大专院校的技术力量为依托,通过对基层技术人员的技术培训,组成一支强有力的节水灌溉工程设计、施工和管理队伍;以中国灌排技术开发公司为核心建立完善全国节水灌溉设备工业生产体系、供销服务体系,在实施节水灌溉的全过程中,实现产、供、销一条龙,技、工、贸一体化服务。从对各种节水灌溉技术,如渠道防渗、低压管道输水、喷灌、微灌等的规划、设计、设备供应、施工组织、人员培训和运行管护等各方面提供全程服务,使节水灌溉逐步向产业化方向发展。

4. 加强人员技术培训工作

在大力普及节水灌溉中要切实抓好人员的技术培训,举办不同类型的培训班,中国灌溉技术开发培训中心和大专院校、科研单位应开办节水灌溉技术提高班,培训技术骨干。省市应大力培训普通班,将节水灌溉工程的建设、使用和管理技术交给农民,并对培训合格的人员发放“蓝色证书”,以保证培训质量,使培训不流于形式,促进节水灌溉工作的稳步健康发展。

七、充分发挥技术监督机构的作用

在我国灌溉农业节水发展的历程中,一条很重要的教训就是没有严格控制节水灌溉工程选用的设备质量,使相当一批已建工程不能正常发挥效益,甚至很快报废,不但挫伤了农民发展节水灌溉的积极性,而且浪费了大量人力物力。当前应该利用市场经济的机制,打破地方保护主义,发展一批优质价廉的产品。要从政策上规定,凡在市场上出售的喷灌、微灌等设备和产品必须经过国家认证的质量监督机构检测合格,否则不能在市场上出售,以确保节水灌溉工程的建设质量。对于大型的节水灌溉工程尽快实行监理制度,在修建过程中监督,建成后要通过严格的竣工验收。

八、重点工程严格实行项目管理

全国 300 个节水增产示范县和节水型井灌区的建设，是节水灌溉的重点工程，要严格实行项目管理，这是我国农田水利建设改革的方向，应彻底扭转过去的那种“要、分、了”（要钱、分钱、不了了之）的旧习惯。要坚决按照建设的目标、任务、要求，有统一的技术标准，有规则，最终向国家交一个圆满的答卷，不是干多少算多少，凑凑合合完事。实行项目管理，按项目安排资金，组织实施，进行检查验收。有必要引入竞争激励机制，实行动态管理。对领导不重视、地方配套资金不落实，工程建设进度缓慢、标准低、质量差的，随时取消其重点县资格。领导重视、工作搞得好，效果显著的县，可以提出申请，增补为重点县。这次节水灌溉重点工程建设，要建管并重，做到建一处，成一处，管好一处，发挥一处效益。

九、加强领导

领导重视是搞好节水灌溉工作的关键，是大力普及节水灌溉的重中之重。吉林、黑龙江、河南和山西等省都成立了由主管省长亲自挂帅、各部门负责人参加的领导小组，并组成了专门的节水灌溉工作班子。河北省人民政府把节水灌溉列为有限责任目标进行考核和管理，并将 1997 年确定为全省的“节水年”。山西省人民政府 1995 年就下达了《关于大力发展节水农业的决定》。新疆把节水灌溉工作纳入各级政府的主要工作中，与政绩考核挂钩，实行党政“一把手”亲自抓，并层层落实目标责任制，签订责任状。广西人民政府实施千万亩水稻节水灌溉工程取得了巨大效益。领导重视就是要统一布置、加强领导、深入实际，坚持因地制宜，实事求是，在节水措施上不能照搬、简单化、“一刀切”，搞形式主义的“花架子”。要强调采用工程的、技术的、农艺的、管理的等综合配套措施。要注重实效，要调动农民的积极性，要使农民在节水灌溉中得到实惠，收到明显的经济效益。要密切注意节水灌溉中出现的新问题，及时认真地解决，使节水灌溉能持续、健康、有序、高效地发展下去，为我国的粮食发展作出贡献。

附录

附表 1

S 与 C_r 关系表

(1) $P=1\%-50\%-99\%$

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23
0.1	0.26	0.28	0.31	0.34	0.36	0.39	0.41	0.44	0.47	0.49
0.2	0.52	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.67	0.70	0.73	0.76
0.3	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	1.00	1.02
0.4	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
0.5	1.32	1.36	1.39	1.42	1.45	1.48	1.51	1.55	1.58	1.61
0.6	1.64	1.68	1.71	1.74	1.78	1.81	1.84	1.88	1.92	1.95
0.7	1.99	2.03	2.07	2.11	2.16	2.20	2.25	2.30	2.34	2.39
0.8	2.44	2.48	2.52	2.56	2.61	2.67	2.74	2.81	2.89	3.05
0.9	3.14	3.22	3.30	3.38	3.46	3.59	3.73	3.92	4.14	4.90

例: 当 $S=0.43$ 时, $C_r=1.1$

(2) $P=5\%-50\%-97\%$

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00	0.04	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29
0.1	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60
0.2	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.79	0.82	0.86	0.89	0.92
0.3	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.14	1.17	1.20	1.24
0.4	1.27	1.30	1.33	1.36	1.40	1.43	1.46	1.49	1.52	1.56
0.5	1.59	1.63	1.66	1.70	1.73	1.77	1.80	1.83	1.87	1.90
0.6	1.94	1.97	2.00	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20	2.23	2.27
0.7	2.31	2.36	2.40	2.44	2.49	2.54	2.58	2.63	2.68	2.74
0.8	2.79	2.85	2.90	2.96	3.02	3.09	3.15	3.21	3.29	3.37
0.9	3.46	3.55	3.67	3.79	3.92	4.08	4.26	4.50	4.75	5.21

(3) $P=5\%-50\%-95\%$

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.27	0.31	0.35
0.1	0.38	0.41	0.45	0.48	0.52	0.55	0.59	0.63	0.66	0.70
0.2	0.73	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.94	0.98	1.01	1.04
0.3	1.08	1.11	1.14	1.18	1.21	1.25	1.28	1.31	1.35	1.38
0.4	1.42	1.46	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63	1.66	1.70	1.74
0.5	1.78	1.81	1.85	1.88	1.92	1.95	1.99	2.03	2.06	2.10
0.6	2.13	2.17	2.20	2.24	2.28	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48
0.7	2.53	2.57	2.60	2.66	2.70	2.76	2.81	2.86	2.91	2.97
0.8	3.02	3.07	3.13	3.19	3.25	3.32	3.38	3.46	3.52	3.60
0.9	3.70	3.80	3.91	4.03	4.17	4.32	4.49	4.72	4.94	5.43

(4) $P=10\%-50\%-90\%$

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.24	0.29	0.34	0.38	0.43
0.1	0.47	0.52	0.56	0.60	0.65	0.69	0.74	0.78	0.83	0.87
0.2	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.13	1.17	1.22	1.26	1.30
0.3	1.34	1.38	1.43	1.47	1.51	1.55	1.59	1.63	1.67	1.71
0.4	1.75	1.79	1.83	1.87	1.91	1.95	1.99	2.02	2.06	2.10
0.5	2.14	2.18	2.22	2.26	2.30	2.34	2.38	2.42	2.46	2.50
0.6	2.54	2.58	2.62	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90
0.7	2.95	3.00	3.04	3.08	3.13	3.18	3.24	3.28	3.33	3.38
0.8	3.44	3.50	3.55	3.61	3.67	3.74	3.80	3.87	3.94	4.02
0.9	4.11	4.20	4.32	4.45	4.59	4.75	4.96	5.20	5.56	—

附表 2

 C_r 与有关 Φ 值的关系表

C_r	$\Phi_{50\%}$	$\Phi_{1\%}-\Phi_{99\%}$	$\Phi_{3\%}-\Phi_{97\%}$	$\Phi_{5\%}-\Phi_{95\%}$	$\Phi_{10\%}-\Phi_{90\%}$	C_r	$\Phi_{50\%}$	$\Phi_{1\%}-\Phi_{99\%}$	$\Phi_{3\%}-\Phi_{97\%}$	$\Phi_{5\%}-\Phi_{95\%}$	$\Phi_{10\%}-\Phi_{90\%}$
0.0	0.000	4.652	3.765	3.290	2.564	2.9	-0.389	4.701	3.318	2.695	1.876
0.1	-0.017	4.648	3.755	3.281	2.560	3.0	-0.395	4.716	3.303	2.670	1.840
0.2	-0.033	4.654	3.750	3.284	2.557	3.1	-0.399	4.732	3.288	2.645	1.806
0.3	-0.055	4.641	3.743	3.278	2.550	3.2	-0.404	4.748	3.273	2.619	1.772
0.4	-0.068	4.637	3.736	3.273	2.544	3.3	-0.407	4.765	3.259	2.594	1.738
0.5	-0.084	4.633	3.732	3.266	2.537	3.4	-0.410	4.781	3.245	2.568	1.705
0.6	-0.100	4.629	3.727	3.259	2.522	3.5	-0.412	4.796	3.225	2.543	1.670
0.7	-0.116	4.624	3.718	3.246	2.510	3.6	-0.415	4.810	3.216	2.518	1.635
0.8	-0.132	4.620	3.709	3.233	2.498	3.7	-0.418	4.824	3.203	2.494	1.600
0.9	-0.148	4.615	3.692	3.218	2.483	3.8	-0.416	4.837	3.189	2.470	1.570
1.0	-0.164	4.611	3.674	3.204	2.468	3.9	-0.415	4.850	3.175	2.446	1.536
1.1	-0.179	4.606	3.656	3.185	2.448	4.0	-0.414	4.863	3.160	2.422	1.502
1.2	-0.194	4.601	3.638	3.167	2.427	4.1	-0.412	4.875	3.145	2.396	1.471
1.3	-0.208	4.595	3.620	3.144	2.404	4.2	-0.410	4.888	3.130	2.372	1.440
1.4	-0.223	4.590	3.601	3.120	2.380	4.3	-0.407	4.901	3.115	2.348	1.408
1.5	-0.238	4.586	3.582	3.090	2.353	4.4	-0.404	4.914	3.100	2.325	1.376
1.6	-0.253	4.586	3.562	3.062	2.326	4.5	-0.400	4.924	3.084	2.300	1.345
1.7	-0.267	4.587	3.541	3.032	2.296	4.6	-0.396	4.934	3.067	2.276	1.315
1.8	-0.282	4.588	3.520	3.002	2.265	4.7	-0.392	4.942	3.050	2.251	1.286
1.9	-0.294	4.591	3.499	2.974	2.232	4.8	-0.388	4.949	3.034	2.226	1.257
2.0	-0.307	4.594	3.477	2.945	2.198	4.9	-0.384	4.955	3.016	2.200	1.229
2.1	-0.319	4.603	3.469	2.918	2.164	5.0	-0.379	4.961	2.997	2.147	1.200
2.2	-0.330	4.613	3.440	2.890	2.130	5.1	-0.374		2.978	2.148	1.173
2.3	-0.340	4.625	3.421	2.862	2.095	5.2	-0.370		2.960	2.123	1.145
2.4	-0.350	4.636	3.403	2.833	2.060	5.3	-0.365			2.098	1.118
2.5	-0.359	4.648	3.385	2.806	2.024	5.4	-0.360			2.072	1.090
2.6	-0.367	4.660	3.367	2.778	1.987	5.5	-0.356			2.047	1.063
2.7	-0.376	4.674	3.350	2.749	1.949	5.6	-0.350			2.021	1.035
2.8	-0.383	4.687	3.333	2.720	1.911						

附表 3

皮尔逊 III 型频率曲线的模比系数 K 值表

C_u	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(一) $C_u = C_v$															
0.05	1.19	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.39	1.32	1.30	1.28	1.27	1.24	1.21	1.17	1.13	1.08	1.00	0.93	0.87	0.84	0.78
0.15	1.61	1.50	1.46	1.43	1.41	1.37	1.32	1.26	1.20	1.13	1.00	0.90	0.81	0.77	0.67
0.20	1.83	1.68	1.62	1.58	1.55	1.49	1.43	1.34	1.26	1.17	0.99	0.86	0.75	0.68	0.56
0.25	2.07	1.86	1.80	1.74	1.70	1.63	1.55	1.43	1.33	1.31	0.99	0.83	0.69	0.61	0.47
0.30	2.31	2.06	1.97	1.91	1.86	1.76	1.66	1.52	1.39	1.25	0.98	0.79	0.63	0.54	0.37
0.35	2.57	2.26	2.16	2.08	2.02	1.91	1.78	1.61	1.46	1.29	0.98	0.76	0.57	0.47	0.28
0.40	2.84	2.47	2.34	2.26	2.18	2.05	1.90	1.70	1.53	1.33	0.97	0.72	0.51	0.39	0.19
0.45	3.13	2.69	2.54	2.44	2.35	2.19	2.03	1.79	1.60	1.37	0.97	0.69	0.45	0.33	0.10
0.50	3.42	2.91	2.74	2.63	2.52	2.34	2.16	1.89	1.66	1.40	0.96	0.65	0.39	0.26	0.02
0.55	3.72	3.14	2.95	2.82	2.70	2.49	2.29	1.98	1.73	1.44	0.95	0.61	0.34	0.20	-0.06
0.60	4.03	3.38	3.16	3.01	2.88	2.65	2.41	2.08	1.80	1.48	0.94	0.57	0.28	0.13	-0.13
0.65	4.36	3.62	3.38	3.21	3.07	2.81	2.55	2.18	1.87	1.52	0.93	0.53	0.23	0.07	-0.20
0.70	4.70	3.87	3.61	3.42	3.25	2.97	2.68	2.27	1.93	1.55	0.92	0.50	0.17	0.01	-0.27
0.75	5.05	4.13	3.84	3.63	3.45	3.14	2.82	2.37	2.00	1.59	0.91	0.46	0.12	-0.05	-0.33
0.80	5.40	4.39	4.08	3.84	3.65	3.31	2.96	2.47	2.07	1.62	0.90	0.42	0.06	-0.10	-0.39
0.85	5.78	4.67	4.33	4.07	3.86	3.49	3.11	2.57	2.14	1.66	0.88	0.37	0.01	-0.16	-0.44
0.90	6.16	4.95	4.57	4.29	4.06	3.66	3.25	2.67	2.21	1.69	0.86	0.34	-0.04	-0.22	-0.49
0.95	6.56	5.24	4.83	4.53	4.28	3.84	3.40	2.78	2.28	1.73	0.85	0.31	-0.09	-0.27	-0.55
1.00	6.99	5.53	5.09	4.76	4.49	4.02	3.55	2.88	2.34	1.76	0.84	0.27	-0.13	-0.32	-0.59
1.05	7.38	5.83	5.35	5.01	4.72	4.21	3.69	2.96	2.41	1.78	0.82	0.22	-0.17	-0.37	-0.63
1.10	7.80	6.14	5.62	5.25	4.94	4.40	3.84	3.08	2.48	1.81	0.80	0.19	-0.21	-0.41	-0.67
1.15	8.24	6.45	5.90	5.50	5.17	4.59	3.99	3.19	2.53	1.83	0.79	0.14	-0.26	-0.45	-0.71
1.20	8.69	6.77	6.18	5.74	5.39	4.78	4.14	3.29	2.61	1.85	0.77	0.11	-0.30	-0.49	-0.74
1.25	9.16	7.10	6.84	6.01	5.63	4.98	4.31	3.40	2.68	1.91	0.75	0.07	-0.34	-0.53	-0.77
1.30	9.63	7.44	6.77	6.27	5.86	5.17	4.47	3.50	2.74	1.94	0.73	0.03	-0.38	-0.56	-0.79
1.35	10.12	7.78	7.08	6.54	6.11	5.38	4.63	3.61	2.81	1.97	0.71	0.01	-0.42	-0.60	-0.82
1.40	10.62	8.13	7.38	6.81	6.36	5.58	4.79	3.72	2.88	1.99	0.69	-0.02	-0.46	-0.64	-0.85
1.45	11.12	8.48	7.70	7.09	6.62	5.79	4.95	3.82	2.94	2.02	0.67	-0.06	-0.50	-0.67	-0.87
1.50	11.64	8.85	8.02	7.36	6.87	6.00	5.11	3.92	3.00	2.04	0.65	-0.10	-0.53	-0.70	-0.89
(二) $C_u = 1.5C_v$															
0.05	1.19	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.40	1.33	1.31	1.29	1.27	1.24	1.21	1.17	1.13	1.08	1.00	0.93	0.87	0.84	0.78
0.15	1.63	1.51	1.47	1.44	1.42	1.37	1.32	1.26	1.19	1.12	1.00	0.90	0.81	0.77	0.68
0.20	1.88	1.70	1.65	1.60	1.57	1.51	1.44	1.35	1.26	1.16	1.00	0.86	0.75	0.69	0.58
0.25	2.14	1.91	1.83	1.78	1.73	1.65	1.56	1.44	1.33	1.20	0.99	0.83	0.69	0.62	0.49
0.30	2.42	2.12	2.03	1.96	1.90	1.80	1.68	1.53	1.40	1.25	0.98	0.79	0.63	0.55	0.40
0.35	2.71	2.35	2.23	2.15	2.07	1.95	1.81	1.62	1.46	1.28	0.97	0.75	0.58	0.49	0.33
0.40	3.02	2.58	2.44	2.34	2.25	2.10	1.94	1.72	1.53	1.32	0.96	0.71	0.52	0.42	0.25
0.45	3.35	2.83	2.66	2.54	2.44	2.26	2.07	1.82	1.60	1.35	0.95	0.68	0.47	0.36	0.18
0.50	3.70	3.08	2.89	2.75	2.64	2.43	2.21	1.92	1.67	1.39	0.94	0.64	0.41	0.30	0.11

续表

C_r	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99

(二) $C_r=1.5C_r$

0.55	4.06	3.35	3.13	2.97	2.84	2.60	2.35	2.02	1.73	1.42	0.93	0.60	0.36	0.25	0.06
0.60	4.44	3.63	3.38	3.19	3.04	2.78	2.50	2.12	1.80	1.46	0.91	0.56	0.31	0.19	0.00
0.65	4.84	3.92	3.64	3.42	3.25	2.95	2.64	2.22	1.87	1.49	0.90	0.52	0.27	0.14	-0.04
0.70	5.25	4.22	3.90	3.67	3.48	3.12	2.79	2.32	1.94	1.52	0.88	0.48	0.22	0.09	-0.08
0.75	5.68	4.53	4.17	3.91	3.70	3.32	2.87	2.42	2.00	1.55	0.87	0.45	0.18	0.05	-0.12
0.80	6.13	4.85	4.46	4.16	3.93	3.52	2.96	2.53	2.07	1.58	0.85	0.41	0.14	0.01	-0.16
0.85	6.60	5.18	4.75	4.42	4.16	3.72	3.19	2.63	2.19	1.61	0.83	0.37	0.10	-0.02	-0.19
0.90	7.09	5.52	5.05	4.69	4.40	3.92	3.42	2.74	2.21	1.65	0.80	0.33	0.06	-0.06	-0.22
0.95	7.58	5.87	5.37	4.96	4.50	4.12	3.58	2.84	2.27	1.67	0.78	0.30	0.02	-0.09	-0.24
1.00	8.09	6.23	5.68	5.24	4.91	4.33	3.74	2.95	2.33	1.69	0.75	0.27	-0.02	-0.13	-0.26
1.05	8.62	6.60	6.01	5.55	5.17	4.54	3.91	3.05	2.39	1.71	0.74	0.24	-0.05	-0.16	-0.27
1.10	9.16	6.98	6.34	5.82	5.43	4.76	4.08	3.16	2.45	1.74	0.71	0.21	-0.08	-0.19	-0.29
1.15	9.73	7.37	6.68	6.13	5.73	4.97	4.25	3.27	2.51	1.75	0.69	0.18	-0.10	-0.20	-0.30
1.20	10.31	7.77	7.04	6.42	5.98	5.20	4.42	3.38	2.58	1.77	0.66	0.14	-0.13	-0.22	-0.31
1.25	10.91	8.17	7.37	6.71	6.26	5.32	4.59	3.48	2.64	1.79	0.63	0.10	-0.15	-0.23	-0.31
1.30	11.52	8.59	7.72	7.05	6.55	5.46	4.76	3.59	2.70	1.81	0.61	0.07	-0.17	-0.25	-0.32
1.35	12.16	9.02	8.09	7.38	6.85	5.69	4.93	3.69	2.75	1.82	0.59	0.04	-0.19	-0.26	-0.32
1.40	12.80	9.46	8.46	7.70	7.12	5.85	5.10	3.80	2.81	1.83	0.55	0.01	-0.22	-0.28	-0.32
1.45	13.46	9.90	8.84	8.04	7.42	6.10	5.28	3.90	2.85	1.83	0.52	0.00	-0.23	-0.29	-0.33
1.50	14.14	10.36	9.22	8.39	7.72	6.40	5.47	4.00	2.90	1.84	0.49	-0.05	-0.25	-0.30	-0.33

(三) $C_r=1.5C_r$

0.05	1.20	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.08	1.05	1.00	0.97	0.94	0.92	0.80
0.10	1.42	1.34	1.31	1.29	1.27	1.25	1.21	1.17	1.13	1.08	1.00	0.93	0.87	0.78
0.15	1.67	1.54	1.48	1.46	1.43	1.38	1.33	1.26	1.20	1.12	0.99	0.90	0.81	0.69
0.20	1.92	1.73	1.67	1.63	1.59	1.52	1.45	1.35	1.26	1.16	0.99	0.86	0.75	0.59
0.25	2.22	1.96	1.87	1.81	1.77	1.67	1.58	1.45	1.33	1.20	0.98	0.82	0.70	0.52
0.30	2.52	2.19	2.08	2.01	1.94	1.83	1.71	1.54	1.40	1.25	0.99	0.78	0.64	0.44
0.35	2.86	2.44	2.31	2.22	2.13	2.00	1.84	1.64	1.47	1.28	0.99	0.75	0.59	0.37
0.40	3.20	2.70	2.54	2.42	2.32	2.16	1.98	1.74	1.54	1.31	0.99	0.71	0.53	0.30
0.45	3.59	2.98	2.80	2.65	2.53	2.33	2.13	1.84	1.60	1.35	0.93	0.67	0.48	0.26
0.50	3.98	3.27	3.05	2.88	2.74	2.51	2.27	1.94	1.67	1.38	0.92	0.64	0.44	0.21
0.55	4.42	3.58	3.32	3.12	2.97	2.70	2.42	2.04	1.74	1.41	0.90	0.59	0.40	0.16
0.60	4.85	3.89	3.59	3.37	3.20	2.89	2.57	2.15	1.80	1.44	0.89	0.56	0.35	0.13
0.65	5.33	4.22	3.89	3.64	3.44	3.09	2.74	2.25	1.87	1.47	0.87	0.52	0.31	0.10
0.70	5.81	4.56	4.19	3.91	3.68	3.29	2.90	2.36	1.94	1.50	0.85	0.49	0.27	0.08
0.75	6.33	4.93	4.52	4.19	3.93	3.50	3.06	2.46	2.00	1.52	0.82	0.45	0.24	0.06
0.80	6.85	5.30	4.84	4.47	4.19	3.71	3.22	2.57	2.06	1.54	0.80	0.42	0.21	0.04
0.85	7.41	5.69	5.17	4.77	4.46	3.93	3.39	2.68	2.12	1.56	0.77	0.39	0.18	0.03
0.90	7.98	6.08	5.51	5.07	4.74	4.15	3.56	2.78	2.19	1.58	0.75	0.35	0.15	0.02
0.95	8.59	6.48	5.86	5.38	5.02	4.38	3.74	2.89	2.25	1.60	0.72	0.31	0.13	0.01
1.00	9.21	6.91	6.22	5.70	5.30	4.61	3.91	3.00	2.30	1.61	0.69	0.29	0.11	0.01

续表

C_v	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(三) $C_v = 2C_0$															
1.05	9.86	7.35	6.59	6.03	5.59	4.84	4.08	3.10	2.35	1.62	0.66	0.26	0.09	0.04	0.01
1.10	10.52	7.79	6.97	6.37	5.88	5.08	4.26	3.20	2.41	1.63	0.64	0.23	0.07	0.03	0.00
1.15	11.21	8.24	7.36	6.71	6.19	5.32	4.44	3.30	2.46	1.64	0.61	0.21	0.06	0.02	0.00
1.20	11.90	8.70	7.76	7.06	6.50	5.57	4.62	3.41	2.51	1.65	0.58	0.18	0.05	0.02	0.00
1.25	12.63	9.18	8.16	7.41	6.82	5.81	4.80	3.51	2.56	1.65	0.55	0.16	0.04	0.01	0.00
1.30	13.36	9.67	8.57	7.76	7.14	6.06	4.98	3.61	2.60	1.65	0.52	0.14	0.03	0.01	0.00
1.35	14.13	10.17	8.99	8.13	7.46	6.31	5.16	3.71	2.65	1.65	0.50	0.12	0.02	0.01	0.00
1.40	14.90	10.67	9.41	8.50	7.78	6.56	5.35	3.81	2.69	1.64	0.47	0.10	0.02	0.01	0.00
1.45	15.71	11.20	9.85	8.89	8.11	6.82	5.54	3.91	2.73	1.64	0.44	0.09	0.01	0.00	0.00
1.50	16.53	11.73	10.30	9.27	8.44	7.08	5.73	4.00	2.77	1.63	0.42	0.07	0.01	0.00	0.00
(四) $C_v = 2.5C_0$															
0.05	1.20	1.16	1.15	1.14	1.14	1.12	1.11	1.08	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.43	1.35	1.31	1.29	1.28	1.25	1.22	1.17	1.13	1.08	1.00	0.93	0.88	0.84	0.79
0.15	1.70	1.55	1.50	1.47	1.44	1.39	1.34	1.26	1.20	1.12	0.99	0.89	0.82	0.77	0.70
0.20	1.97	1.76	1.70	1.65	1.61	1.54	1.46	1.35	1.26	1.16	0.98	0.86	0.76	0.70	0.61
0.25	2.29	2.00	1.92	1.85	1.79	1.70	1.60	1.45	1.33	1.20	0.97	0.82	0.70	0.64	0.54
0.30	2.62	2.25	2.14	2.05	1.98	1.86	1.73	1.56	1.40	1.24	0.96	0.78	0.65	0.58	0.47
0.35	3.00	2.53	2.39	2.27	2.19	2.03	1.87	1.66	1.47	1.27	0.95	0.75	0.60	0.53	0.41
0.40	3.38	2.81	2.64	2.50	2.40	2.21	2.00	1.74	1.54	1.30	0.94	0.71	0.55	0.47	0.36
0.45	3.82	3.12	2.91	2.75	2.62	2.40	2.17	1.88	1.60	1.33	0.92	0.67	0.51	0.43	0.32
0.50	4.26	3.44	3.19	3.00	2.85	2.59	2.32	1.96	1.61	1.30	0.90	0.63	0.47	0.39	0.29
0.55	4.75	3.79	3.50	3.27	3.10	2.79	2.48	2.07	1.63	1.39	0.88	0.60	0.43	0.35	0.26
0.60	5.25	4.14	3.81	3.54	3.35	3.00	2.64	2.17	1.80	1.42	0.86	0.56	0.39	0.32	0.24
0.65	5.80	4.52	4.14	3.83	3.61	3.21	2.81	2.27	1.86	1.44	0.83	0.53	0.36	0.30	0.23
0.70	6.36	4.90	4.47	4.13	3.88	3.43	2.98	2.39	1.92	1.46	0.81	0.50	0.33	0.27	0.22
0.75	6.96	5.31	4.82	4.44	4.16	3.66	3.15	2.49	1.98	1.47	0.78	0.47	0.31	0.26	0.21
0.80	7.57	5.73	5.18	4.76	4.44	3.89	3.33	2.60	2.04	1.49	0.75	0.44	0.28	0.24	0.21
0.85	8.22	6.17	5.55	5.09	4.73	4.12	3.50	2.70	2.10	1.50	0.72	0.40	0.27	0.23	0.21
0.90	8.88	6.61	5.93	5.43	5.03	4.36	3.68	2.80	2.15	1.50	0.70	0.37	0.25	0.22	0.20
0.95	9.59	7.09	6.33	5.78	5.34	4.60	3.86	2.90	2.20	1.51	0.67	0.35	0.24	0.21	0.20
1.00	10.30	7.55	6.73	6.13	5.65	4.85	4.04	3.01	2.25	1.52	0.64	0.33	0.23	0.21	0.20
1.05	11.05	8.04	7.14	6.49	5.97	5.10	4.22	3.11	2.29	1.52	0.51	0.31	0.22	0.20	0.20
1.10	11.80	8.54	7.56	6.85	6.29	5.35	4.41	3.21	2.34	1.52	0.58	0.29	0.21	0.20	0.20
1.15	12.61	9.06	8.00	7.23	6.62	5.60	4.59	3.30	2.38	1.51	0.55	0.27	0.21	0.20	0.20
1.20	13.42	9.58	8.44	7.61	6.95	5.86	4.78	3.40	2.42	1.50	0.53	0.26	0.21	0.20	0.20
1.25	14.27	10.12	8.90	8.01	7.29	6.12	4.97	3.50	2.44	1.49	0.50	0.25	0.21	0.20	0.20
1.30	15.13	10.67	9.37	8.41	7.64	6.38	5.16	3.60	2.47	1.48	0.48	0.24	0.20	0.20	0.20
1.35	16.02	11.24	9.84	8.80	8.00	6.64	5.34	3.68	2.50	1.46	0.45	0.23	0.20	0.20	0.20
1.40	16.92	11.81	10.31	9.20	8.35	6.91	5.52	3.76	2.53	1.45	0.43	0.23	0.20	0.20	0.20
1.45	17.86	12.40	10.79	9.61	8.70	7.17	5.70	3.83	2.56	1.43	0.40	0.22	0.20	0.20	0.20
1.50	18.81	12.99	11.28	10.03	9.06	7.44	5.88	3.91	2.58	1.41	0.37	0.22	0.20	0.20	0.20

续表

C_u	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(五) $C_s=3C_u$															
0.05	1.20	1.17	1.15	1.14	1.14	1.12	1.11	1.08	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.44	1.35	1.32	1.30	1.29	1.25	1.22	1.17	1.13	1.08	0.99	0.93	0.88	0.85	0.79
0.15	1.71	1.56	1.51	1.48	1.45	1.40	1.35	1.26	1.20	1.12	0.99	0.89	0.82	0.78	0.70
0.20	2.02	1.79	1.72	1.67	1.63	1.55	1.47	1.36	1.27	1.16	0.98	0.86	0.76	0.71	0.62
0.25	2.35	2.05	1.95	1.88	1.82	1.72	1.61	1.46	1.34	1.20	0.97	0.82	0.71	0.65	0.56
0.30	2.72	2.32	2.19	2.10	2.02	1.89	1.75	1.56	1.40	1.23	0.96	0.78	0.66	0.60	0.50
0.35	3.12	2.61	2.46	2.33	2.24	2.07	1.90	1.66	1.47	1.26	0.94	0.74	0.61	0.55	0.46
0.40	3.56	2.92	2.73	2.58	2.46	2.26	2.05	1.76	1.54	1.29	0.92	0.70	0.57	0.50	0.42
0.45	4.04	3.26	3.03	2.85	2.70	2.46	2.21	1.87	1.60	1.32	0.90	0.67	0.53	0.47	0.39
0.50	4.55	3.62	3.34	3.12	2.96	2.67	2.37	1.98	1.67	1.35	0.88	0.64	0.49	0.44	0.37
0.55	5.09	3.99	3.66	3.42	3.21	2.88	2.54	2.08	1.73	1.36	0.86	0.60	0.46	0.41	0.36
0.60	5.66	4.38	4.01	3.74	3.49	3.10	2.71	2.19	1.79	1.38	0.83	0.57	0.44	0.39	0.35
0.65	6.26	4.81	4.39	4.03	3.77	3.33	2.88	2.29	1.85	1.40	0.80	0.53	0.41	0.37	0.34
0.70	6.90	5.23	4.73	4.35	4.00	3.56	3.05	2.40	1.90	1.41	0.78	0.50	0.39	0.36	0.34
0.75	7.57	5.68	5.12	4.69	4.36	3.89	3.24	2.50	1.96	1.42	0.76	0.48	0.38	0.35	0.34
0.80	8.26	6.14	5.50	5.04	4.66	4.05	3.42	2.61	2.01	1.43	0.72	0.46	0.36	0.34	0.34
0.85	9.00	6.62	5.92	5.40	4.98	4.29	3.59	2.71	2.06	1.43	0.69	0.44	0.35	0.34	0.34
0.90	9.75	7.11	6.33	5.75	5.30	4.54	3.78	2.81	2.10	1.43	0.67	0.42	0.35	0.34	0.33
0.95	10.54	7.62	6.76	6.13	5.62	4.80	3.96	2.91	2.14	1.43	0.64	0.39	0.34	0.34	0.33
1.00	11.35	8.15	7.20	6.51	5.96	5.05	4.15	3.00	2.18	1.42	0.61	0.38	0.34	0.34	0.33
1.05	12.20	8.68	7.66	6.90	6.31	5.32	4.33	3.10	2.21	1.41	0.58	0.37	0.34	0.33	0.33
1.10	13.07	9.24	8.13	7.31	6.65	5.57	4.53	3.19	2.24	1.40	0.56	0.36	0.34	0.33	0.33
1.15	13.96	9.81	8.59	7.70	7.00	5.83	4.70	3.26	2.26	1.38	0.54	0.35	0.34	0.33	0.33
1.20	14.88	10.40	9.08	8.12	7.36	6.10	4.89	3.35	2.30	1.37	0.51	0.35	0.33	0.33	0.33
1.25	15.84	11.00	9.57	8.53	7.72	6.36	5.07	3.43	2.31	1.35	0.49	0.35	0.33	0.33	0.33
1.30	16.81	11.60	10.06	8.94	8.09	6.64	5.25	3.51	2.33	1.31	0.47	0.34	0.33	0.33	0.33
1.35	17.80	12.21	10.57	9.38	8.45	6.91	5.42	3.59	2.34	1.30	0.45	0.34	0.33	0.33	0.33
1.40	18.84	12.83	11.09	9.82	8.83	7.17	5.61	3.66	2.34	1.27	0.43	0.34	0.33	0.33	0.33
1.45	19.88	13.47	11.62	10.26	9.20	7.45	5.77	3.72	2.35	1.23	0.41	0.34	0.33	0.33	0.33
1.50	20.95	14.13	12.15	10.29	9.58	7.72	5.95	3.78	2.35	1.21	0.40	0.33	0.33	0.33	0.33
(六) $C_s=3.5C_u$															
0.05	1.20	1.17	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.45	1.36	1.33	1.31	1.29	1.26	1.22	1.17	1.13	1.08	0.99	0.93	0.88	0.85	0.79
0.15	1.73	1.58	1.52	1.49	1.46	1.41	1.35	1.27	1.20	1.12	0.99	0.89	0.82	0.78	0.71
0.20	2.06	1.82	1.74	1.69	1.64	1.56	1.48	1.36	1.27	1.16	0.98	0.86	0.76	0.72	0.64
0.25	2.42	2.09	1.99	1.91	1.85	1.74	1.62	1.46	1.34	1.19	0.96	0.82	0.71	0.66	0.58
0.30	2.82	2.38	2.24	2.14	2.06	1.92	1.77	1.57	1.40	1.22	0.95	0.78	0.67	0.61	0.53
0.35	3.26	2.70	2.52	2.39	2.29	2.11	1.92	1.67	1.47	1.26	0.93	0.74	0.62	0.57	0.50
0.40	3.75	3.04	2.82	2.66	2.53	2.31	2.08	1.78	1.53	1.28	0.91	0.71	0.58	0.53	0.47
0.45	4.27	3.40	3.14	2.94	2.79	2.52	2.25	1.88	1.60	1.31	0.89	0.67	0.55	0.50	0.45
0.50	4.82	3.78	3.48	3.24	3.06	2.74	2.42	1.99	1.66	1.33	0.86	0.64	0.52	0.48	0.44

续表

C_u	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(六) $C_r=3.5C_u$															
0.55	5.41	4.20	3.83	3.55	3.34	2.96	2.58	2.10	1.72	1.34	0.84	0.60	0.50	0.46	0.44
0.60	6.06	4.62	4.20	3.87	3.62	3.20	2.76	2.20	1.77	1.35	0.81	0.57	0.48	0.45	0.43
0.65	6.73	5.08	4.58	4.22	3.92	3.44	2.94	2.30	1.83	1.36	0.78	0.55	0.46	0.44	0.43
0.70	7.43	5.54	4.98	4.56	4.23	3.68	3.12	2.41	1.88	1.37	0.75	0.53	0.45	0.44	0.43
0.75	8.16	6.02	5.38	4.92	4.55	3.92	3.30	2.51	1.92	1.38	0.72	0.50	0.44	0.43	0.43
0.80	8.94	6.53	5.81	5.29	4.87	4.18	3.49	2.61	1.97	1.37	0.70	0.49	0.44	0.43	0.43
0.85	9.75	7.05	6.25	5.67	5.20	4.43	3.67	2.70	2.00	1.36	0.67	0.47	0.44	0.43	0.43
0.90	10.60	7.59	6.71	6.06	5.54	4.69	3.86	2.80	2.04	1.35	0.64	0.46	0.43	0.43	0.43
0.95	11.46	8.15	7.18	6.47	5.89	4.95	4.05	2.89	2.06	1.34	0.61	0.45	0.43	0.43	0.43
1.00	12.37	8.72	7.65	6.86	6.25	5.22	4.23	2.97	2.09	1.32	0.59	0.45	0.43	0.43	0.43
1.05	13.31	9.31	8.13	7.27	6.60	5.49	4.41	3.05	2.11	1.29	0.56	0.44	0.43	0.43	0.43
1.10	14.28	9.91	8.62	7.69	6.95	5.76	4.59	3.13	2.13	1.28	0.54	0.44	0.43	0.43	0.43
1.15	15.26	10.51	9.19	8.12	7.33	6.03	4.76	3.20	2.14	1.26	0.53	0.43	0.43	0.43	0.43
1.20	16.29	11.14	9.65	8.56	7.71	6.29	4.95	3.28	2.15	1.23	0.51	0.43	0.43	0.43	0.43
1.25	17.33	11.78	10.18	8.97	8.10	6.50	5.12	3.34	2.16	1.20	0.50	0.43	0.43	0.43	0.43
1.30	18.41	12.44	10.70	9.44	8.44	6.84	5.23	3.40	2.16	1.18	0.48	0.43	0.43	0.43	0.43
1.35	19.50	13.11	11.24	9.89	8.84	7.11	5.45	3.44	2.16	1.14	0.47	0.43	0.43	0.43	0.43
1.40	20.66	13.78	11.78	10.35	9.23	7.37	5.62	3.49	2.15	1.11	0.47	0.43	0.43	0.43	0.43
1.45	21.80	14.46	12.34	10.81	9.61	7.64	5.77	3.53	2.14	1.07	0.46	0.43	0.43	0.43	0.43
1.50	23.00	15.17	12.90	11.23	10.01	7.89	5.95	3.59	2.12	1.04	0.45	0.43	0.43	0.43	0.43
(七) $C_r=4C_u$															
0.05	1.21	1.17	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11	1.08	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.46	1.37	1.34	1.31	1.30	1.26	1.23	1.18	1.17	1.08	0.99	0.93	0.88	0.85	0.80
0.15	1.76	1.59	1.54	1.50	1.47	1.41	1.35	1.27	1.20	1.12	0.99	0.89	0.82	0.78	0.72
0.20	2.10	1.85	1.77	1.71	1.66	1.58	1.49	1.37	1.27	1.16	0.97	0.85	0.77	0.72	0.65
0.25	2.49	2.13	2.02	1.94	1.87	1.76	1.64	1.47	1.34	1.19	0.96	0.81	0.72	0.67	0.60
0.30	2.92	2.44	2.30	2.18	2.10	1.94	1.79	1.57	1.40	1.22	0.98	0.78	0.68	0.63	0.56
0.35	3.40	2.78	2.60	2.45	2.34	2.14	1.95	1.68	1.47	1.25	0.99	0.74	0.64	0.59	0.54
0.40	3.92	3.15	2.92	2.74	2.60	2.36	2.11	1.78	1.53	1.27	0.90	0.71	0.60	0.56	0.52
0.45	4.49	3.54	3.25	3.03	2.87	2.58	2.28	1.89	1.59	1.29	0.87	0.68	0.58	0.54	0.51
0.50	5.10	3.96	3.61	3.35	3.15	2.80	2.46	2.00	1.65	1.30	0.84	0.64	0.55	0.53	0.51
0.55	5.76	4.39	3.99	3.68	3.44	3.04	2.63	2.10	1.70	1.31	0.82	0.62	0.54	0.52	0.50
0.60	6.45	4.85	4.38	4.03	3.75	3.29	2.81	2.21	1.76	1.32	0.79	0.59	0.52	0.51	0.50
0.65	7.18	5.34	4.78	4.38	4.07	3.53	2.99	2.31	1.80	1.32	0.76	0.57	0.51	0.50	0.50
0.70	7.95	5.84	5.21	4.75	4.39	3.78	3.18	2.41	1.85	1.32	0.73	0.55	0.51	0.50	0.50
0.75	8.76	6.36	5.65	5.13	4.72	4.04	3.36	2.50	1.88	1.32	0.71	0.54	0.51	0.50	0.50
0.80	9.62	6.90	6.11	5.53	5.06	4.30	3.55	2.60	1.91	1.30	0.68	0.53	0.50	0.50	0.50
0.85	10.49	7.46	6.58	5.93	5.42	4.55	3.74	2.68	1.94	1.29	0.65	0.52	0.50	0.50	0.50
0.90	11.41	8.05	7.06	6.34	5.77	4.82	3.92	2.76	1.97	1.27	0.63	0.51	0.50	0.50	0.50
0.95	12.37	8.65	7.55	6.75	6.13	5.09	4.10	2.84	1.99	1.25	0.60	0.51	0.50	0.50	0.50
1.00	13.36	9.25	8.05	7.18	6.50	5.37	4.27	2.92	2.00	1.23	0.59	0.50	0.50	0.50	0.50

续表

C_r	$P(\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(七) $C_r = 4C_0$															
1.05	14.38	9.87	8.57	7.62	6.87	5.63	4.46	3.00	2.01	1.20	0.57	0.50	0.50	0.50	0.50
1.10	15.43	10.52	9.10	8.05	7.25	5.91	4.63	3.06	2.01	1.18	0.56	0.50	0.50	0.50	0.50
1.15	16.51	11.18	9.62	8.50	7.62	6.18	4.80	3.12	2.01	1.15	0.54	0.50	0.50	0.50	0.50
1.20	17.62	11.85	10.17	8.96	8.01	6.45	4.96	3.16	2.01	1.11	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50
1.25	18.78	12.52	10.71	9.41	8.40	6.71	5.12	3.21	2.00	1.07	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50
1.30	19.94	13.22	11.27	9.88	8.79	6.96	5.29	3.25	1.99	1.04	0.52	0.50	0.50	0.50	0.50
1.35	21.14	13.92	11.83	10.33	9.17	7.24	5.44	3.30	1.97	1.00	0.52	0.50	0.50	0.50	0.50
1.40	22.38	14.64	12.40	10.80	9.55	7.50	5.59	3.32	1.94	0.96	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
1.45	23.65	15.37	12.99	11.27	9.95	7.77	5.74	3.36	1.91	0.93	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
1.50	24.91	16.10	13.57	11.72	10.34	8.02	5.88	3.38	1.88	0.90	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
(八) $C_r = C_0$															
0.05	1.21	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.07	1.04	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89
0.10	1.48	1.38	1.35	1.33	1.30	1.27	1.23	1.18	1.13	1.08	0.99	0.93	0.88	0.85	0.80
0.15	1.81	1.63	1.57	1.53	1.48	1.43	1.36	1.27	1.20	1.12	0.98	0.89	0.82	0.79	0.73
0.20	2.19	1.91	1.82	1.75	1.69	1.60	1.51	1.38	1.27	1.15	0.97	0.85	0.77	0.74	0.68
0.25	2.63	2.22	2.10	2.00	1.93	1.80	1.66	1.53	1.34	1.18	0.95	0.81	0.74	0.69	0.65
0.30	3.13	2.57	2.40	2.27	2.17	2.00	1.82	1.56	1.40	1.21	0.93	0.78	0.69	0.66	0.62
0.35	3.68	2.95	2.74	2.57	2.44	2.21	1.99	1.69	1.46	1.23	0.90	0.75	0.67	0.64	0.61
0.40	4.28	3.36	3.09	2.88	2.72	2.44	2.16	1.80	1.50	1.24	0.88	0.72	0.64	0.62	0.60
0.45	4.94	3.81	3.47	3.22	3.01	2.68	2.34	1.90	1.54	1.25	0.85	0.69	0.63	0.61	0.60
0.50	5.65	4.28	3.87	3.57	3.32	2.92	2.52	2.00	1.62	1.26	0.82	0.67	0.61	0.60	0.60
0.55	6.40	4.77	4.28	3.93	3.65	3.17	2.71	2.11	1.67	1.29	0.79	0.65	0.61	0.60	0.60
0.60	7.21	5.29	4.72	4.31	3.98	3.43	2.89	2.20	1.71	1.25	0.77	0.63	0.61	0.60	0.60
0.65	8.07	5.83	5.18	4.71	4.32	3.69	3.08	2.30	1.73	1.21	0.74	0.62	0.60	0.60	0.60
0.70	8.96	6.40	5.66	5.10	4.68	3.95	3.26	2.38	1.76	1.22	0.74	0.62	0.60	0.60	0.60
0.75	9.90	7.00	6.14	5.52	5.03	4.22	3.44	2.46	1.79	1.20	0.68	0.61	0.60	0.60	0.60
0.80	10.89	7.60	6.64	5.94	5.40	4.50	3.61	2.54	1.80	1.18	0.67	0.61	0.60	0.60	0.60
0.85	11.91	8.23	7.16	6.48	5.77	4.76	3.80	2.61	1.81	1.15	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60
0.90	12.97	8.88	7.69	6.81	6.15	5.03	3.97	2.66	1.81	1.13	0.64	0.60	0.60	0.60	0.60
0.95	14.07	9.55	8.22	7.27	6.53	5.30	4.14	2.72	1.81	1.10	0.63	0.60	0.60	0.60	0.60
1.00	15.22	10.20	8.77	7.73	6.92	5.57	4.30	2.77	1.80	1.06	0.62	0.60	0.60	0.60	0.60
1.05	16.39	10.92	9.33	8.19	7.31	5.82	4.47	2.81	1.79	1.03	0.62	0.60	0.60	0.60	0.60
1.10	17.61	11.63	9.89	8.66	7.69	6.09	4.61	2.85	1.77	0.99	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60
1.15	18.87	12.34	10.48	9.12	8.08	6.36	4.76	2.89	1.74	0.95	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60
1.20	20.13	13.08	11.06	9.58	8.46	6.62	4.90	2.91	1.71	0.92	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60
1.25	21.46	13.83	11.64	10.06	8.86	6.88	5.03	2.93	1.68	0.88	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

续表

C_0	$P (\%)$														
	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
(九) $C_0 = 6C_0$															
0.05	1.22	1.18	1.16	1.15	1.14	1.13	1.11	1.09	1.06	1.04	1.00	0.97	0.94	0.93	0.91
0.10	1.51	1.40	1.36	1.34	1.31	1.28	1.24	1.18	1.13	1.08	0.99	0.93	0.88	0.86	0.81
0.15	1.86	1.66	1.60	1.55	1.51	1.45	1.38	1.28	1.20	1.12	0.98	0.89	0.83	0.81	0.76
0.20	2.28	1.96	1.86	1.79	1.73	1.63	1.52	1.38	1.27	1.15	0.96	0.85	0.78	0.75	0.71
0.25	2.77	2.31	2.16	2.06	1.98	1.83	1.69	1.48	1.33	1.17	0.94	0.82	0.75	0.72	0.69
0.30	3.33	2.69	2.50	2.36	2.24	2.05	1.86	1.59	1.40	1.19	0.92	0.78	0.72	0.69	0.67
0.35	3.95	3.11	2.87	2.68	2.53	2.28	2.03	1.69	1.45	1.21	0.89	0.76	0.70	0.68	0.67
0.40	4.63	3.57	3.25	3.02	2.83	2.52	2.21	1.80	1.50	1.22	0.86	0.73	0.68	0.67	0.67
0.45	5.39	4.06	3.66	3.38	3.15	2.77	2.39	1.90	1.54	1.22	0.83	0.71	0.68	0.67	0.67
0.50	6.18	4.58	4.10	3.76	3.48	3.02	2.58	2.00	1.59	1.21	0.80	0.69	0.67	0.67	0.67
0.55	7.03	5.12	4.56	4.16	3.83	3.28	2.76	2.09	1.62	1.20	0.78	0.69	0.67	0.67	0.67
0.60	7.94	5.70	5.04	4.57	4.18	3.55	2.94	2.18	1.65	1.18	0.75	0.68	0.67	0.67	0.67
0.65	8.90	6.30	5.53	5.07	4.64	3.82	3.12	2.25	1.66	1.16	0.73	0.68	0.67	0.67	0.67
0.70	9.92	6.92	6.05	5.41	4.95	4.09	3.30	2.33	1.67	1.13	0.71	0.67	0.67	0.67	0.67
0.75	10.98	7.56	6.57	5.84	5.29	4.36	3.47	2.39	1.68	1.10	0.70	0.67	0.67	0.67	0.67
0.80	12.08	8.23	7.11	6.30	5.67	4.63	3.64	2.44	1.67	1.07	0.69	0.67	0.67	0.67	0.67
0.85	13.24	8.91	7.66	6.76	6.06	4.99	3.80	2.49	1.66	1.08	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67
0.90	14.43	9.61	8.22	7.22	6.45	5.36	4.13	2.53	1.65	1.00	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67
0.95	15.68	10.33	8.80	7.68	6.83	5.62	4.39	2.56	1.62	0.96	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
1.00	16.94	11.07	9.38	8.15	7.22	5.68	4.42	2.59	1.59	0.93	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
1.05	18.27	11.82	9.97	8.62	7.62	5.94	4.55	2.61	1.55	0.89	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

参 考 文 献

- [1] 张春园. 在全国节水灌溉工作会议上的讲话. 中国农村水利水电, 1996. 6
- [2] 胡毓琪, 李英能等. 华北地区节水型农业技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- [3] 冯广志. 关于做好节水增产重点县工作需要注意的几个问题. 中国农村水利水电, 1996. 9
- [4] 丘宝剑, 卢其尧. 农业气候区划及其方法. 北京: 科学出版社, 1987
- [5] 中国农业科学院农业区划研究所. 县级农业区划方法论研究. 北京: 农业科技出版社, 1986
- [6] 《中国水利区划》编写组. 中国水利区划. 北京: 水利电力出版社, 1989
- [7] 康绍忠, 蔡焕杰等. 农业水管理学. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [8] 黑龙江省水文总站. 区域水资源分析计算方法. 北京: 水利电力出版社, 1987
- [9] 施成熙, 粟宗嵩等. 农业水文学. 北京: 农业出版社, 1984
- [10] 康绍忠等. 陕西省作物需水量及分区灌溉模式. 北京: 水利电力出版社, 1992
- [11] 武汉水利电力学院. 农业水力学. 北京: 水利出版社, 1980
- [12] 沈振荣等. 水资源科学实验与研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
- [13] 曹万金. 地下水资源评价与评价. 北京: 水利电力出版社, 1987
- [14] 鲁学仁等. 华北暨胶东地区水资源研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- [15] 西北农学院等. 地下水利用. 北京: 水利电力出版社, 1984
- [16] 金光炎. 平原地下水资源评价. 北京: 水利出版社, 1982
- [17] 孙纳正. 地下水流的数学模型和数值方法. 北京: 地质出版社, 1981
- [18] 刘昌明, 魏忠义. 华北平原农业水文与水资源. 北京: 科学出版社, 1989
- [19] 粟宗嵩. 灌溉原理与应用. 北京: 科学普及出版社, 1990
- [20] I·山伯格, J·D·奥斯特. 灌溉水质. 普光四, 洗曼译. 北京: 水利电力出版社, 1984
- [21] 傅琳, 董文楚, 郑耀泉. 微灌工程技术指南. 北京: 水利电力出版社, 1988
- [22] 孙九林, 李译辉等主编. 国家资源信息分类体系与评价指标. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
- [23] 林培. 现代土壤调查技术. 北京: 科学出版社, 1988
- [24] 中国科学院土壤研究所. 土壤调查手册. 北京: 科学出版社, 1985
- [25] 南京农学院主编. 土壤调查与制图. 上海: 上海科技出版社, 1980
- [26] 熊毅, 李庆逵主编. 中国土壤 (第二版). 北京: 科学出版社, 1987
- [27] 赵其国, 龚子同主编. 土壤地理研究法. 北京: 科学出版社, 1989
- [28] 刘东海, 杨敬梅等编著. 基层区国土规划. 北京: 科学出版社, 1989
- [29] 过宝兴主编. 土地科学与区域开发. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1992
- [30] 谭东风编译. 实用专家系统指南. 国防科技大学出版社
- [31] 刘位申, 张莲芳编译. 人工智能及其应用. 科学文献出版社
- [32] 林尧瑞, 张钹, 石纯一. 专家系统原理与实践. 北京: 清华大学出版社, 1988
- [33] 金志权, 陈佩佩. 人工智能程序设计. 南京: 南京大学出版社, 1990
- [34] 中国百科全书. 水利卷. 北京: 农业出版社, 1986
- [35] 刘黎明等. 土地资源调查与评价. 北京: 科学技术出版社, 1994
- [36] 中国水资源评价. 北京: 水利电力出版社
- [37] 吴以鏊. 中国水资源利用. 北京: 水利电力出版社, 1989
- [38] 供水水文地质手册. 地质出版社, 1990

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名= 水土资源评价与节水灌溉规划

作者=

页数= 1 9 1

S S 号= 1 0 0 6 7 8 5 1

出版日期=

农业科技出版社

封面页
书名页
版权页
前言页
目录页
第一章
第二章
第三章
第四章
第五章
第六章
第七章
第八章
第九章
第十章
第十一章
附录
参考文献
附录页

- 农业生产与节水灌溉技术的发展
 - 第一节 灌溉在我国农业发展中的重要作用
 - 第二节 我国用水和缺水现状及21世纪用水预测
 - 第三节 我国传统灌溉面临的困难与问题
 - 第四节 我国农业节水的巨大潜力
 - 第五节 节水灌溉技术标准
 - 第六节 节水灌溉技术的现状与展望
- 农业水土资源评价的基本原则
 - 第一节 农业水土资源的定义
 - 第二节 农业水土资源评价的含义
 - 第三节 水资源评价的基本原则
 - 第四节 土地资源评价的基本原则
- 农业水资源的评价与分析
 - 第一节 农业水资源量的计算
 - 第二节 水资源总量及可利用量计算
 - 第三节 农业用水的水质评价与水质标准
 - 第四节 地下水资源量及灌溉水质评价实例
- 农业土地资源的评价与分析
 - 第一节 农业土地资源评价的主要程序
 - 第二节 农业土地资源评价方法
 - 第三节 土地适宜性评价实例
- 农业水土资源的合理开发利用
 - 第一节 “四水”的合理开发利用
 - 第二节 劣质水处理与利用
 - 第三节 农业水资源的联合利用与管理
 - 第四节 水源保护
 - 第五节 土地资源的合理开发利用与保护
 - 第六节 多种水源联合调度与管理实例
- 节水灌溉区划
 - 第一节 节水灌溉区划的性质与作用
 - 第二节 节水灌溉区划编制的内容及程序
 - 第三节 节水灌溉区划的分区
 - 第四节 节水灌溉区划的分区方法
- 节水灌溉规划
 - 第一节 节水灌溉规划的工作步骤
 - 第二节 节水灌溉规划方法简介
 - 第三节 节水灌溉发展相关因素的分析与预测
 - 第四节 规划相关参数的统计分析
 - 第五节 制定规划方案及计算
 - 第六节 规划方案的决策分析
- 节水灌溉综合技术体系
 - 第一节 节水灌溉综合技术体系的内涵
 - 第二节 海河平原区引黄补源区节水灌溉综合技术体系及其应用效果
 - 第三节 黄土丘陵缺水區节水灌溉综合技术体系及其应用效果
 - 第四节 海河平原严重缺水區节水灌溉综合技术体系及其应用效果
- 节水灌溉综合技术体系专家系统
 - 第一节 建立专家系统的基础和意义
 - 第二节 专家系统的组成和结构及其作用
 - 第三节 N C W S A 系统咨询内容
 - 第四节 专家系统功能及运行方式
 - 第五节 专家系统开发工具
- 节水灌溉效益分析
 - 第一节 社会效益分析
 - 第二节 经济效益分析
- 节水灌溉发展对策措施