

目录

第一章 节水灌溉基本理论	3
第一节 概 论	3
第二节 规划设计的基本资料	5
第三节 节水灌溉工程规划	8
第二章 喷灌和微灌工程设计	16
第一节 喷灌和微灌工程设计概述	16
第二节 喷灌和微灌系统管道布置和选型	22
第三节 管道水力学基础	24
第四节 喷灌工程设计要点	35
第五节 微灌工程设计	48
第三章 施工要点	66
第一节 施工准备	66
第二节 材料设备的采购、现场验收和保管	67
第三节 施工安装	68
第四章 农业、园林喷、微灌设备	71
第一节 灌溉技术分类与灌溉设备分类	71
第二节 灌水器	71
第三节 过滤器	79
第四节 自动控制设备	82
第五节 施肥设备	86
第六节 安全防护设备	88
第七节 管道与管件	88
第八节 喷灌机组	89
第五章 节水灌溉常用水泵及其应用	94
第一节 泵及泵站类型和用途	94
第二节 离心泵的工作原理、分类与构造	95
第三节 离心泵的性能	99
第四节 离心泵运行工况的确定及调节	101
第五节 离心泵的汽蚀及安装高程的确定	107
第六节 节水灌溉常用水泵简介	111
第七节 水泵机组的选型与配套	114
第六章 灌溉工程项目管理	121
第一节 建设项目管理概论	121
第二节 工程竣工验收	126
第七章 灌溉工程设计案例	130

第一节	喷灌工程设 计 实 例	130
第二节	滴灌工程设计实例.....	136
第三节	新疆某 1500 亩地埋滴灌工程设计实例	147
附录一	喷灌工程术语.....	156
附录二	常用符号.....	160
附录三	常用单位换算.....	162

星光科技

第一章 节水灌溉基本理论

第一节 概 论

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。狭义的节水灌溉是对灌溉用水而言，即在灌溉过程中实行高效用水、节约用水；广义的节水灌溉是对水资源而言，即在灌溉活动中提高降水、土壤水、灌溉水的利用效率和利用效益。节水灌溉的核心是提高水的利用效率，取得最大的经济效益，实现农民增收的目的。

提高水的利用效率的重点是减少灌溉过程和作物生长过程中水的损失，包括三个部分：①水源至田间放水口过程中的输水损失，包括渗漏与蒸发；②进入田间后的深层渗漏和田间蒸发；③水从作物根系到形成产量过程中的无效蒸腾损失。第一、二部分损失决定水的利用率，第三部分损失决定水的利用效率。各种节水工程技术措施可减少一、二部分的损失，采用节水农业措施可以减少第三部分损失。

二、节水灌溉技术体系

农业节水灌溉节水技术体系包括了节水工程措施、农艺及生物措施、管理措施的有机结合。可以概括为以下四方面。

1. 水资源的优化配置和合理调度

包括种植结构与灌溉用水结构的优化；充分利用天然降水，优化配置地表水、合理开发地下水、多水源联合调度；开发利用浅层水、严格控制开采深层水；劣质水的资源化和合理利用；雨水集蓄和分散小水源的利用等。

2. 节水工程措施

其主要作用是提高输配水的利用率和提高田间水利用率。提高输配水的利用率包括渠道防渗和用管道代替渠道输水。

提高田间水利用率包括土地平整、小畦短沟，实行波涌灌溉，采用喷灌、微灌等先进灌水技术。

3. 农艺和生物措施

选育和推广节水耐旱品种，中耕松土保墒，秸秆或地膜覆盖，施用生物抗旱剂和土壤保水剂等。

4. 管理措施

加强灌溉用水的管理和监督，实行用水许可、总量控制、定额管理，完善用水计量设施，逐步实行水价改革和完善水费征收；推行节水的灌溉制度；建立合理的投入机制和运行管理机制，规范节水市场，明晰节水工程所有权和使用权，落实管护责任，实施节水奖励和补助政策等等。

三、节水灌溉的技术标准和主要指标

节水灌溉的主要技术标准包括《节水灌溉技术规范》、《喷灌工程技术规范》、《微灌工程技术规范》、《喷微灌工程技术管理规程》、《低压管道输水灌溉工程技术规范》、《渠道防渗技术规范》、《农用机井技术规范》、《农田灌溉水质标准》等。这些都是规划、设计、建设和管理节水灌溉应该遵循的基本准则和技术法规。如果在规范设计中采用了与现行规范不同的标准、计算方法等应有充分的理由并加以说明。

在节水灌溉技术标准中规定了一些技术指标，主要包括：

1、灌溉水利用系数（详见表 1-1）

表 1-1 灌水利用系数表

渠系水利用系数	大型灌区	中型灌区	小型灌区	井灌区	管道输水	
	>0.55	>0.65	>0.75	>0.9	>0.95	
田间水利用系数	水稻灌区			旱作灌区		
	>0.95			>0.9		
灌溉水利用系数	大型灌区	中型灌区	小型灌区	井灌区	喷灌、微喷	滴灌
	>0.50	>0.60	>0.70	>0.80	>0.85	>0.9

2、道防渗率（固定渠道最大过水表面积中防渗面积与总面积的比值）

大型灌区	中型灌区	小型灌区	井灌区固定渠道输水
>40%	>50%	>70%	>100%

3、灌区低压管道输水

- 1) 田间固定管道运用量 $\geq 50\%$ ；
- 2) 支管间距，单向布置 $\leq 75\text{m}$ ，双向布置 $\leq 150\text{m}$ ；
- 3) 出水口（给水栓）间距 $\leq 100\text{m}$ ，宜用软管连接进行灌溉；
- 4) 应有安全保护，严寒地区应布设排水、泄空及防冻害装置；
- 5) 拟改喷灌的应符合喷灌工程技术要求。

4、地面灌溉的田间工程

- 1) 水稻格田化，不得串灌。格田长 $60\sim 120\text{m}$ ，宽 $20\sim 40\text{m}$ （2~8亩）；
- 2) 旱作应平整土地，畦田长 $\leq 75\text{m}$ ，宽 $\leq 3\text{m}$ （0.2亩）；
- 3) 灌水沟 $\leq 100\text{m}$ 。

5、喷灌的均匀系数不应低于 0.75，微灌均匀系数不应低于 0.8。

6、效益

- 1) 增产 15%以上，水分生产率提高 20%以上且 $\geq 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 2) 效益费用比 >1.2
- 3) 节水 $>20\%$

7、规划

- 1) 平原区 >1500 亩，山丘区 >750 亩应分规划（项目建议书或可研）、设计两阶段进行，小于此可一阶段进行；
- 2) 工程布置图 5000 亩以上应绘在 $>1/5000$ 地形图上， <5000 亩应绘在 $1/2000\sim 1/5000$ 地形图上。（补充：技术设计图应绘在 $1/1000\sim 1/2000$ 地形图上）

第二节 规划设计的基本资料

一、气象

气象资料包括降水、蒸发、气温、湿度、日照、积温、无霜期、风速风向、冻土层深度及气象灾害等资料。需要说明的有以下几项：

1. 降水

包括年平均降水量和月平均降水量，当进行排频计算选用设计典型水文年的不同保证率（常用平水年 50%，偏早年 75%，干旱年 90%）时，需用年和月的平均降水量。

降雨等级见表 1-2。

表 1-2 降雨等级表

降雨等级	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨	特大暴雨
一天降雨总量(mm)	1.0~10	10~25	25~50	50~100	100~200	>200

2. 蒸发

分为水面蒸发、土壤蒸发、叶面蒸发（蒸腾）三种，正常所说蒸发是由水面蒸发折算而得。

3. 风向风速

风向分 16 个方位，若某一风向出现频率明显多于其它风向则称为主风向，否则可认为风向多变。

风力等级和风速见下表 1-3。

表 1-3 0~6 级风力等级表

风力等级	0	1	2	3	4	5	6
风速(m/s)	0.0~0.2	0.3~1.5	1.6~3.3	3.4~5.4	5.5~7.9	8.0~10.7	10.8~13.8

※ 喷灌、微喷灌和喷水带等灌溉方式一般大于 5 级风应停止作业。

4. 冻土层深度

我国部分地区（主要城市）的冻土层深度见下表 1-4，表中未列的一些地区（城市）如广州、福州、南宁等无冻土层。

表 1-4 部分地区冻土深度表

地区名称	最大冻土深度(m)	地区名称	最大冻土深度(m)	地区名称	最大冻土深度(m)	地区名称	最大冻土深度(m)
北京	0.69	锦州	1.13	太原	0.74	拉萨	0.26
上海	0.08	大连	0.93	郑州	0.18	西安	0.24
海拉尔	2.20	张家口	1.32	济南	0.44	兰州	1.03
齐齐哈尔	2.25	唐山	0.73	青岛	0.42	银川	1.00
哈尔滨	1.94	石家庄	0.52	徐州	0.24	西宁	1.30
长春	1.69	呼和浩特	1.20	杭州	0.05	乌鲁木齐	1.33
沈阳	1.39	大同	1.79	长沙	0.04		

※要求管道系统的埋深应在冻土层以下，同时不应小于 0.6m。

二、地形、地貌、地质、水文、水源

1. 地形地貌

地形地貌一般通过地形图反映，规划用的地形图比例尺为 1/10000~1/100000，设计用的地形图比例尺为 1/2000~1/10000，对微灌有时也用 1/1000 的地形图。对地形起伏不平的地区应有等高线，设计用地形图的等高线间距应在 2m 以下。

地形图上应标出规划、设计区边界线、水源、动力线路、村庄、道路、河流、沟渠、已建主要水利工程等，并标注水源水位高程和田块高程。

2. 地质水文

地质资料主要包括地质年代、断层、地质构造、岩石种类、地质灾害等简要情况。

水文地质资料主要包括地下水类型、埋藏深度、水质、成井条件、单井出水量、动静水位变化等。

3. 水源

1) 确定水源的类型。水源分为地表水源、地下水源和其它水源三类。

地表水源包括河流、溪流、湖泊、水库、塘坝等。地下水源包括井水和泉水。其它水源包括污水处理回用、微咸水利用和集雨工程。

2) 水质。灌溉水质是指水的化学、物理性状和水中含有固体物质的成分和数量。灌溉水质的要求要符合《农田灌溉水质标准》的要求。见下表 1-5。

3) 水文资料

水文资料主要是了解水源的水量、流量和水质的变化情况。包括年、旬或月的来水系列资料，对于河流、水库等常用的有集雨面积、径流系数、年径流量、流量过程线、水位过程线、输沙量等；对地下水常用的有可采量、设计开采量、单井出水量、动静水位等。

表 1—5 农田灌溉水质标准 (单位: mg/L)

序号	水质含量标准值(最大值)	水作	旱作	蔬菜
1	生化需氧量(BOD ₅)	80	150	80
2	化学需氧量(COD _{Cr})	200	300	150
3	悬浮物	150	200	100
4	阴离子表面活性剂(LAS)	5.0	8.0	5.0
5	凯氏氮	12	30	30
6	总磷(以 P 计)	5	10	10
7	水温(°C)	35		
8	pH 值	5.5~8.5		
9	含盐量	1000(非盐碱土地区) / 2000(盐碱土地区) 有条件的地区可以适当放宽		
10	氯化物	250		
11	硫化物	1.0		
12	总汞	0.001		
13	总镉	0.005		
14	总砷	0.05	0.1	0.05
15	铬(六价)	0.1		

续前表

序号	水质含量标准值(最大值)	水作	旱作	蔬菜
16	总铅	0.1		
17	总铜	1.0		
18	总锌	2.0		
19	总硒	0.02		
20	氟化物	2.0(高氟区)/ 3.0(一般地区)		
21	氰化物	0.5		
22	石油类	5.0	10	1.0
23	挥发酚	1.0		
24	苯	2.5		
25	三氯乙醛	1.0	0.5	0.5
26	丙烯醛	0.5		
27	硼	1.0(对硼敏感作物, 如:马铃薯、笋瓜、韭菜、洋葱、柑橘等) 2.0(对硼耐受性较强的作物, 如小麦、玉米、青椒、小白菜、葱等) 3.0(对硼耐受性强的作物, 如:水稻、萝卜、油菜、甘蓝等)		
28	粪大肠菌群数(个/L)	10000		
29	蛔虫卵数(个/L)	2		

三、土壤、作物、灌溉制度

1. 土壤

土壤资料包括土壤类型、分布、土壤质地、容重、田间最大持水量、土壤入渗速度、土壤酸碱度、土壤肥力等。在节水灌溉中常用最简单的土壤五级分类法见表 1-6。

表 1-6 土壤的分类

类型	砂土	砂壤土	壤土	壤粘土	粘土
观察的感觉	几乎完全是砂砾	主要是砂粒, 也有较细的土粒	砂质和粘质土粒大致相同	感到有少量砂砾	均质细粉无砂砾
田间持水量(重量百分比)	8~16	12~22	20~28	22~28	23~30
容重(g/cm ³)	1.4~1.7	1.3~1.55	1.0~1.5	1.2~1.55	1.1~1.6
稳定入渗速度(mm/h)	20	15	12	10	8

2. 作物

作物资料包括作物种类、品种、主要根系活动层深度(对应灌溉计划湿润层深度)、适宜含水量、生长季节、种植面积和比例、轮作与倒茬计划、种植密度(行距、株距、垄距)、作物高度等。常见作物主要根系活动层深度、适宜土壤含水量和种植间距见表 1-7。

表 1—7 常见作物主要根系活动层深度、适宜土壤含水量和种植间距

作物	主要根系活动层深度(cm)	适宜土壤含水量(重量百分比)	种植间距
冬小麦	40~50	70~80	垄宽 0.8~1.0m
春小麦	40~50	80~90	垄宽 0.8~1.0m
玉米	50~60	60~90	垄宽 0.8~1.0m
大豆	40~50	70~80	垄宽 0.8~1.0m
棉花	30~40	70~90	垄宽 1.0~1.2m
花生	50~60	60~80	垄宽 0.8~1.0m
油菜	40~50	60~80	垄宽 1.0m
甘蔗	40	60~80	垄宽 1.0m
甜菜	40~50	70~80	垄宽 0.8~1.0m
烟草	50~60	60~80	垄宽 1.0m
茶叶	50	80~90	行距 2m
柑桔	40~50(90~150)	80~90	3m×3m
苹果	40~60(120~150)	70~90	4m×5m
葡萄	40~50	70~90	行距 2m
蔬菜	30~40	80~90	垄宽 0.8~1.2m
香蕉	60	80~90	2.5m×2.5m

第三节 节水灌溉工程规划

一、节水灌溉工程类型和总体布局

节水灌溉工程按其采用的主要节水工程措施分为以下几种类型：渠道防渗工程、低压管道输水工程、喷灌工程和微灌工程。

不同类型的节水灌溉工程都有其优缺点，也都有不同的适用性，必须根据不同的地区、地形、作物和经济条件等实际情况合理选用，不能一概而论。表 1-8 给出不同节水灌溉优缺点和适用性，供规划、设计参考。

节水灌溉工程规划和技术设计属于规划设计中的两个步骤，规划偏重于总体布局、宏观决策、原则考虑，是工程的粗线条设计，深度一般为初设，是为项目决策和实施准备服务的。设计是在项目可研或初设批准后，为了项目的具体实施而做的设计，一般可分为技术设计和施工图设计。对于大的工程（喷灌 2000 亩、微灌 1000 亩）各分两个步骤进行，对于较小的工程，可将规划 and 设计合并为一个步骤。

为了便于比较应用，将节水灌溉工程规划和技术设计的主要内容均列于下：

1. 节水灌溉工程规划设计的主要内容是：

- (1) 前言 包括名称、位置、类型、规模、规划设计范围；
- (2) 基本资料；
- (3) 可行性分析（只写简单结论）；
- (4) 系统选型；
- (5) 水源分析、水量平衡计算和水源工程规划；
- (6) 灌溉制度和灌溉用水量；
- (7) 系统规划布置（包括系统分区、压力分区）；

(8) 主要材料设备和投资概算；

(9) 效益分析；

(10) 规划设计图 包括工程位置示意图、总体布置图、典型设计图。

表 1—8 不同节水灌溉类型比较

种类	型式	优点	缺点	适用	不适用
喷灌	固定管道式	节水、效率高、节省劳力，用水保证率高	投资较高、耗用管材多，出地竖管影响耕作	果树、蔬菜、经济作物、园林、运动场	大田
	半固定管道式	节水、效率较高、投资较低	劳动强度较大	大田作物	大棚作物
	轻小型机组	一次投资低、轻便灵活，适用面宽	易损坏、保有率低	个体、分散地	大田
微灌	滴灌	最节水、节省劳力、效率高	灌水不直观、投资较高、最易堵塞	果树、蔬菜、经济作物	大田粮食作物
	微喷灌	有景观、改善环境、效率较高	投资较高、易出故障、易堵塞	果树、蔬菜、花卉、园林	大棚内可能对某些作物不宜
	喷水带	操作简单、有景观、可改善环境	尚无标准规范	蔬菜、花卉、苗木、园林	大棚内可能对某些作物不宜
管道输水		投资较低、节能、较省水	田间仍是地面灌，流速低易淤积、管径不宜过小	大田、蔬菜、果树	零星分散土地
渠道防渗		一般投资最小、简单实用、可结合原灌区渠道改造	防渗标准高，则投资较大，土石方工程量大、不宜地形起伏大的地区	大田、蔬菜	零星分散土地

2. 节水灌溉工程技术设计的主要内容是：

- (1)前言；
- (2)基本资料；
- (3)系统选型；
- (4)水源工程；
- (5)灌水器选择和布置、出水口布置；
- (6)系统布置和分区。包括布置原则、渠道、管道分级、数量、长度、规格，并绘出平面图；
- (7)工作制度与轮灌方式；
- (8)渠道断面和管道管径的确定、水力计算；
- (9)渠系结构和管道系统结构、首部枢纽、各级建筑物、控制节点；
- (10)系统设计流量和扬程；
- (11)材料设备用量和预算书；
- (12)经济效益分析；
- (13)施工安装和运行管理要点；
- (14)设计图纸。包括工程布置图、纵横断面图、系统结构图、主要建筑物、节点大样图、单件加工图等。

3. 节水灌溉工程的总体布局一般应遵循的原则

在规划中着眼于总体布局，对于节水灌溉工程而言，重点是水源(类型、位置、水源工程)、系统分区和压力分区、骨干管道位置、走向、级别、灌水器间距和总数、系统总流量等等。节水灌溉工程的总体布局一般应遵循以下原则：

1) 灌溉系统的首部枢纽尽量和水源布置在一起，水源如果可选择位置（如井）应尽量选离各灌溉分区平均距离最短的位置，便于操作管理和节省管道。对于园林灌溉系统的首部枢纽应考虑如何与周围景观协调。

2) 系统面积较大应考虑分区，分区应考虑作物种类、分区面积比例、地形特点、管理方便等因素。在地形变化较大时，应考虑按压力分区，同一压力区内应选用设计工作压力相同的灌水器。一般分区数目 2~8 个，主要考虑轮灌周期、编组数协调。压力分区则不宜过多，多为 2~3 个区。

3) 管道布置应符合①管线最短原则；②流量分散原则；③运行管理方便原则。可根据实际情况选用树枝状管网或环形管网。管道分级可分为总干管、干管、分干管、支管、毛管（微灌），具体分两级、三级、四级，应根据工程实际需要确定。

4) 支管以上的各级管道应考虑控制和安全，包括闸阀、逆止阀、安全阀、空气阀、泄水阀、减压阀等。埋设管道应埋设在冻土层以下，管基应坚实，对松软地基或有可能发生不均沉陷的地基，应处理和采取措施。

二、灌溉用水量与灌溉制度

（一）灌溉用水量

灌溉用水量是根据作物的需水量计算出来的，作物需水量是在满足作物正常生长的情况下，作物植株蒸腾和土壤棵间蒸发所需要的水量，通常又叫做作物腾发量。灌溉用水量是包括作物需水量和灌溉过程中渗漏和蒸发两部分损失的水量。

作物需水量可以通过计算、试验或查表取得，许多采用联合国粮农组织推荐的修正彭曼（Penman-Monteith）公式。由于该公式计算较为复杂，需要时可参考《节水灌溉工程实用手册》。一般可查下表 1-9，直接取用主要作物的需水量。

表 1-9 主要作物灌水临界期日需水量 E_p

作物	$E_p(\text{mm/d})$	作物	$E_p(\text{mm/d})$	作物	$E_p(\text{mm/d})$
冬小麦	3.5~5.5	花生	4.5~5.5	茶叶	6~7
春小麦	4~5	油菜	3~4	柑桔	5~6
玉米	5~6	甘蔗	6~7	苹果	4~6
大豆	5~6	甜菜	4~5	葡萄	5~6
棉花	4~5.5	烟草	5~6	香蕉	6~7
蔬菜(露地)	5~7	蔬菜(大棚)	2~4	花卉	5~7

※灌水临界期一般指作物需水量最大的生育期

根据作物的日需水量 E_p 可以计算出在一块面积上的日净用水量 and 日毛用水量。这是规划中用水量的主要依据。

$$W_{\text{日}} = 0.667 \frac{AE_p}{\eta} \quad (1-1)$$

$W_{\text{日}}$ ——某块面积上日毛用水量 (m^3/d) ;

A ——面积 (亩) ;

η ——灌溉水利用系统 ;

E_p ——作物日需水量 (mm/d)

例：露地蔬菜，面积 100 亩，日耗水量 $E_p=6\text{mm}/\text{d}$ ，灌溉水利用系数 $\eta=0.8$
则每天需水量为：

$$W_{\text{日}} = 0.667 \frac{100 \times 6}{0.8} = 500 \text{m}^3 / \text{d} \quad (1-2)$$

(二) 灌溉制度

一般在农田水利学中灌溉制度的确定是通过水文频率计算选定一定保证率下的设计代表年，取这一年的实际降雨状况和作物的需水情况，逐时段地进行水量平衡分析计算，得出每一年灌水的时间、灌水次数、灌水定额并最后汇总得灌溉定额。

对于节水灌溉工程、灌溉制度的确定相对比较简单，一般不做水文频率计算，考虑连旱天数通常远大于灌水周期，在连旱天数内必须不断给作物灌水，而这段时间大多又是作物生育期耗水强度较大的时间，故多数情况是在 100% 保证率条件下（即完全靠灌溉满足作物需水）做灌溉制度的设计。

1、灌水定额

$$m = 0.1rH(\beta_1 - \beta_2) \quad (1-3)$$

式中 m ——设计灌水定额 (mm) ;

H ——计划湿润层深度 (cm)，可查表 1-6 ;

β_1, β_2 ——适宜土壤含水量上下限 (重量百分比)，查表 1-7 ;

r ——土壤干容重 (g/cm^3)，可参考表 1-6。

该公式计算出来的 m 是表示一次灌水最大允许值，实际的设计灌水定额可以小于此值。还应注意上式计算的是净定额。

2、灌水周期

$$T = \frac{m}{E_p} \quad (1-4)$$

式中 T ——设计灌水周期，(d) ;

m ——设计灌水定额， mm ;

E_p ——作物日需水量 (mm/d)，查表 1-9。

对于微灌，由于实行浅浇勤灌，实际灌水定额远小于 1-4 式计算出的定额，因而完全可以先取定灌水周期，再用 1-4 式反推灌水定额。

一般较适宜的灌水周期可参考表 1-10。

表 1-10 不同作物轮灌周期参考表 (单位: d)

运动场		0.5~1.0	大棚蔬菜	1~2
高 尔 夫	果岭和球道	1~2	露地蔬菜	2~4
球 场	其它	2~4	大田粮食作物	5~8
园林		1~2	大田经济作物	4~7
花卉		1~2	果树	6~10

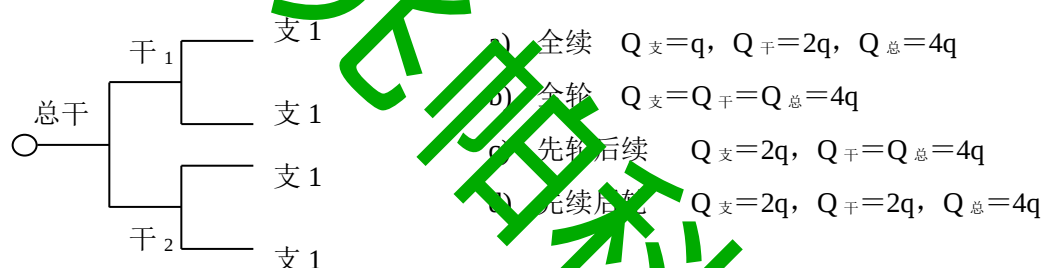
※ 一般情况下，采用喷、微灌，轮灌周期稍短，而在田间是地面灌溉的管道输水和渠道防渗则轮输灌周期偏长，如果树地面灌周期有的可长达 15d。

3、轮灌和续灌的关系。

轮灌是指对不同的灌水单位（分区、小区、灌水器、放水口）依次轮流进行灌溉，续灌是指对不同的灌水单位同时持续进行灌溉。

在实际的灌溉系统中，由于灌水的速率远大于耗水的速率，要在一个周期的所有灌水时间内持续不停的灌溉，就要降低灌水的速率，使其接近耗水的速率。如一个滴头，其控制面积为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 时，日耗水量为 6mm，在此面积上，耗水速率为 0.25L/h ，而滴头的流量（相当在此面积上的灌水速率）为 2.8L/h ，两者差一个数量级，如果要将滴头流量减小到 0.25L/h ，或 0.5L/h （一天工作 12 小时），就会造成毛管和滴头的堵塞，在实践上是无法实现的。所以只能是滴一段时间（几个小时），满足作物几天（几十小时）的用水。反之一个系统可能几十亩、几百亩地，其系统流量达每小时几十方~几百方，如果要对每个灌水器或每条毛管都实行轮灌，则灌水器和毛管的流量都相当于系统总流量。毛管的管径和系统总干管管径一样大，这也是不可能的。

故所有的灌溉系统，都是部分实行轮灌，部分实行续灌。考虑到尽量降低造价，应当尽快使水分流，所以一般都是采用先续后轮，即在较高级别的管道（渠道）如总干、干管实行续灌，而在较低级别的管道（渠道），如支管、毛管，实行轮灌。其简单原理可参加下图和分析：



显然，最后一种方式先续后轮最优。

（现实生活中，续灌方式只有一种，即人和动物的血液循环。）

三、水源分析与水利计算。

1、系统总流量和总用水量

系统的总流量取决于系统的控制面积、作物日耗水量、灌溉水利用系数和系统的日工作时间 4 个因素，总流量计算公式如下：

$$Q = \frac{W_{\text{日}}}{t_{\text{日}}} = 0.667 \times \frac{A \cdot E_p}{t_{\text{日}} \cdot \eta} \quad (1-5)$$

式中： $W_{\text{日}}$ ——系统的日需水量， m^3 ， $W_{\text{日}} = 0.667 \frac{AE_p}{\eta}$ ；

A ——系统控制面积，（亩）；

E_p ——作物日需水量，（mm）；

η ——灌溉水利用系数；

$t_{\text{日}}$ ——系统的日工作时间，（h）。

用此公式计算出的流量是毛流量，式中 $W_{\text{日}}$ 也是一天内系统的毛用水量，日工作时间根

据不同的节水灌溉类型取值不同，可参见下表 1-11。日工作时间确定的原则是在允许的前提下尽量提高系统的利用率，扩大控制面积降低造价。

表 1-11 不同灌溉系统常取的日工作时间 单位 (h)

灌溉系统	体育场	高尔夫球场	公园	农业灌溉				
				大棚微灌	露地微灌	喷灌	管灌	渠道防渗
日工作时间	0.5~1	2~4	10~16	8~16	10~16	14~18	14~20	16~20

如前例计算出系统日需水量为 500m³/d，日工作时间为 10 小时，则系统总流量
 $Q=500/10=50\text{m}^3/\text{h}$
该系统总流量应当和设计中计算出同时工作灌水器的总流量相吻合。即
 $Q'=N \cdot q$ (1—6)
式中：N——同时工作的灌水器（或放水口数目）；
q——一个灌水器或放水口流量，（m³/h）；
 $Q \approx Q'$

系统的总用水量包括一次灌溉用水的总用水量和全年系统的总用水量，一次灌溉的总用水量应为：
 $W=T \cdot W_{\text{日}}=T \cdot t_{\text{日}} \cdot Q$ (1—7)

式中：W——一次灌溉系统总用水量，（m³）；
其他符号意义同前。
全年灌溉总用水量则为一次的用水量乘以灌水次数，不再另写。

2、水源分析与水利计算
水利计算的主要内容是对水源的供水能力和系统用水要求进行平衡计算，并采取一定措施尽量使之平衡。
井水为水源比较简单，要求井的出水量大于系统用水流量。否则需调整日工作时间或控制面积。

3、地面水为水源
以地面水为水源，一般要求供水流量大于系统总流量，同时还要求水源的总水量大于系统一次用水总量（对于较大的工程系统要校核水源的供水总量大于系统全年的总用水量）两者均满足，则不需调蓄，直接从水源取水供系统用。
当供水流量小于系统总流量，但供水总量大于系统一次用水总量时，应在水源核系统中考虑建调蓄设施，如以自来水为水源做运动场喷灌时，由于供水管路多为 2"以下的管道往往需修建 100~200m³的蓄水池。
在供水总量小于系统一次用水量时，无论供水流量是否满足，实质均满足不了系统的灌溉用水需求。一般需增开新水源或缩小控制面积，或改变种植作物种类以减少日耗水量，最终实现供需平衡。

计算控制面积常用有两种方法：
(1) 根据总水量和灌溉定额计算控制面积。
 $A = \frac{W}{M}$
式中：A—控制面积，（亩）；
W—可用于灌溉的总水量，（m³）；
M—毛灌溉定额，（m³/亩）；

该式常用于规划阶段，计算大型水电工程（如水库，调水工程）的控制面积或区域水量平衡分析。

例：某调水工程有 4 亿 m^3 可用于农业灌溉，采用节水灌溉平均毛灌溉定额为 400 m^3 ，则可

$$\text{发展面积为 } A = \frac{4 \times 10^8}{400} = 100 (\text{万亩})$$

(2) 根据系统流量、日工作时间和作物日需水量计算控制面积。

$$A = \frac{Q \cdot t_{\text{日}} \cdot \eta}{E_p} \quad (1-9)$$

式中：Q—系统流量，(m^3/h)；

$t_{\text{日}}$ —系统日工作时间，(h)；

η —灌溉水利用系统，可查 1-1；

E_p —作物日需水量， $\text{m}^3/\text{亩}$ ，可查表 1-9，然后将 mm 换算成 $\text{m}^3/\text{亩}$ 。

上式多用于知道水源流量（如泵站已知题水流量或井水已知出水量），计算具体工程可控制的灌溉面积。

例：井水，流量 50 m^3/h ，大田粮食作物（小麦）可控制多少亩？对大棚蔬菜，可控制多少亩？

粮食作物（小麦）日需水量为 6mm，即 4 $\text{m}^3/\text{亩}$ ，灌溉水利用系统 η 取 0.85，日工作时间 $t_{\text{日}}$ 可取 14h，有：

$$A_1 = \frac{50 \times 14 \times 0.85}{4} = 148 (\text{亩})$$

大棚蔬菜日需水量为 3 mm，即 2 $\text{m}^3/\text{亩}$ ，灌溉水利用系数 η 取 0.9，日工作时间 12h，有：

$$A_2 = \frac{50 \times 12 \times 0.9}{2} = 270 (\text{亩})$$

由上可知，每 1 m^3/h 流量对大田粮食作物一般可控制 3~4 亩（极限 5 亩），对大棚蔬菜，可控制 5~8 亩。

习题

一、选择题

1. 《节水灌溉技术规范》中，关于灌溉水利用系数的要求是大、中、小型灌区不低于（ ）、（ ）、（ ），井灌区不低于（ ）。

- A 0.4 B 0.5 C 0.55 D 0.6 E 0.65
F 0.7 G 0.75 H 0.8, I 0.85 J 0.9

2. 喷灌和微喷灌、滴灌的灌溉水利用系数分别不低于（ ）和（ ），灌水均匀系数分别不低于（ ）和（ ）。

- A 0.7 B 0.75 C 0.8 D 0.85 E 0.9 F 0.95。

3. 主要节水工程措施包括（ ）、（ ）、（ ）、（ ）和（ ）。

- A 喷灌 B 微喷灌 C 滴灌 D 喷水带 E 小管出流
F 微灌 G 渠道防渗 H 管道输水灌溉 I 各种地面灌溉改进技术

4. 田间节水灌溉技术包括（ ）、（ ）、（ ）、（ ）等。

- A 膜上灌 B 轮水种 C 中耕松土 D 平整土地
E 沟畦改造 F 地膜覆盖 G 秸秆覆盖 H 污水灌溉

二、问答题

1. 节水灌溉工程规划设计的主要内容是什么？
2. 农业灌溉节水技术体系主要包括哪些？
3. 轮灌和续灌的概念是什么，一般灌溉系统中安排轮灌和续灌的原则是什么？
4. 灌溉制度主要包括哪些内容，它有什么作用？
5. 节水灌溉工程的总体布局一般应遵循哪些原则？
6. 靠延长日工作时间能否扩大系统控制面积，靠延长轮灌周期能否扩大控制面积，简单分析说明。

三、计算题

1. 井水出水量 $50\text{m}^3/\text{h}$ ，种植小麦，采用节水灌溉一般能控制多少亩？（相应参数自选，写出过程和结论）。

2. 冬小麦喷灌和运动场喷灌，自选参数，计算二者灌水定额。

第二章 喷灌和微灌工程设计

第一节 喷灌和微灌工程设计概述

一、工程设计原则及步骤

1. 工程的设计原则

- (1) 工程设计应与规划相一致。
- (2) 严格按照节水灌溉有关规范、标准进行。
- (3) 根据实际情况，因地制宜，保质、经济。
- (4) 满足施工深度要求。

工程设计主要为施工服务，强调全面、细致、准确，内容应具体化。

2. 工程设计的步骤一般如下

- (1) 了解规划的内容，掌握设计的原则、方案和总体布局。
- (2) 搜集基本资料，在规划设计的基础上，根据技术设计的要求提出需要补充搜集或提供更详细资料的清单。
- (3) 准备设计依据，包括文件、合同、标准、规范、设计手册等。
- (4) 设计计算。包括灌溉制度、喷头选型及校核、系统布置、管道选型、水力计算、水泵选型、系统结构设计、预算和经济分析等。
- (5) 绘制设计图纸。
- (6) 形成设计文件，设计审核、批准。

二、工程设计的内容

工程设计的内容主要包括设计说明书、设计图纸、设计预算书等三部分。当工程规模较小时，可以将设计说明书和设计预算书合并。

(一) 设计说明书

设计说明书应将技术设计的内容、设计依据的规范或标准、计算方法、计算公式及计算结果等设计步骤逐项阐述清楚。它是解读设计图纸的文字说明和审查预算书是否合理的依据。设计说明书主要包括以下内容。

1. 基本资料。
2. 设计依据。
3. 系统选型和布局。
4. 拟定作物灌溉制度、计算灌溉用水量。
5. 水源分析与水源工程设计。
6. 系统分区、分级、出水口和灌水器的布置。灌水器选型与组合。
7. 管材与管径的选择。
8. 拟订系统工作制度。给出有关各项数据，进行轮灌编组、安排轮灌顺序。
9. 系统结构设计。
10. 系统设计流量和设计扬程的确定，水泵及动力机选配，各级管道的压力校核。
11. 技术经济分析。

12. 施工和运行管理要点。

在设计说明书中，还要对施工及运行管理提出必要的要求，阐明有关注意事项。

(二) 设计图纸

提交的设计图纸应包括系统平面布置图、管道纵剖面图、管道系统结构示意图、工程建筑物设计图等。

1. 系统平面布置图。比例尺不小于 1/2000。图中应标明灌区边界及内部分区线，水源、水源工程及泵站的位置，输电线路的位置和走向，各级管道及灌水器的位置，各类闸阀、给水栓以及其它附属设施的位置，还应标明管道的名称及编号，见图 2-1。

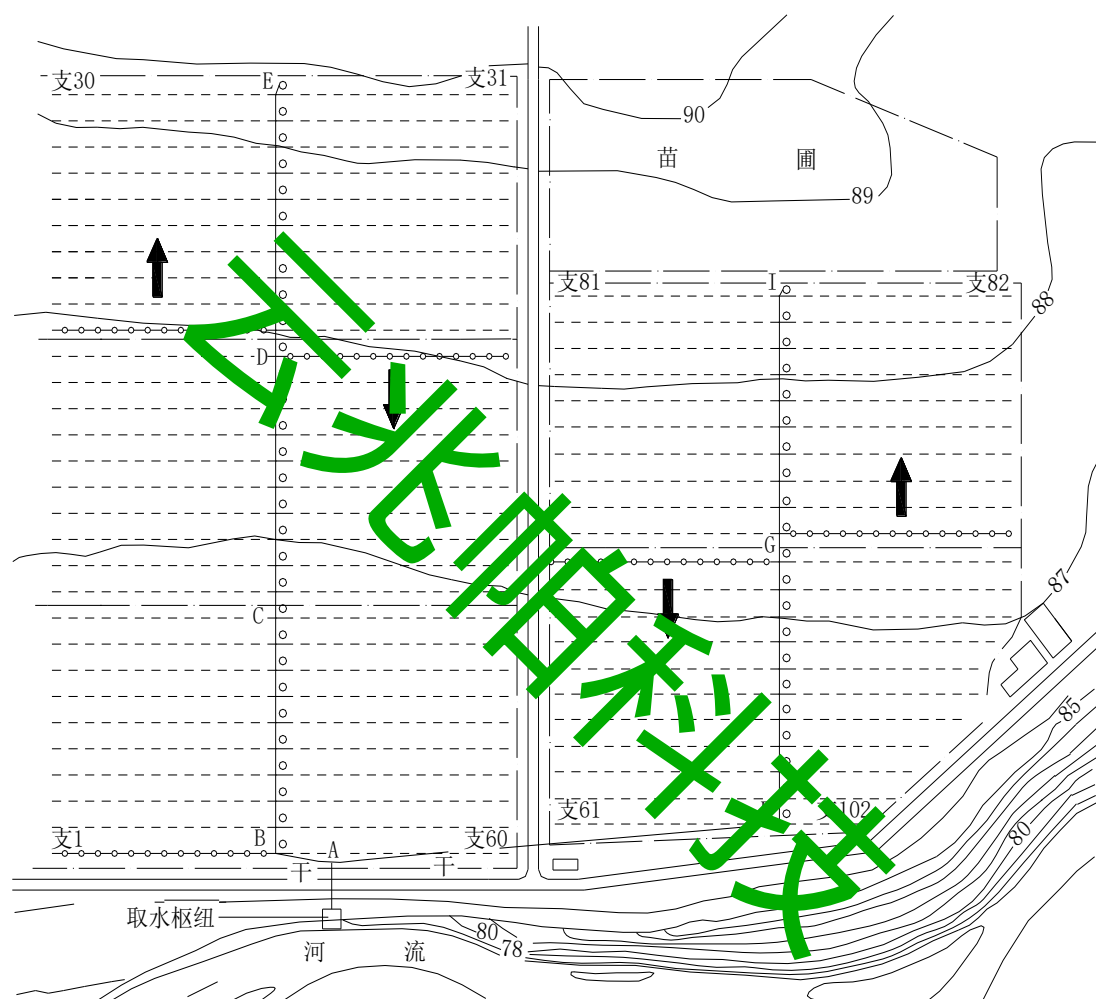
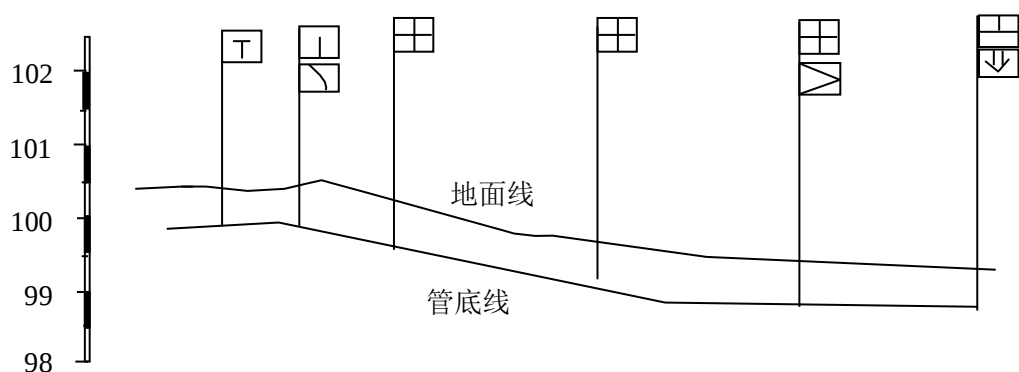


图 2-1 系统平面布置图

2. 管道纵剖面图。管道纵剖面图应绘出地面线、管底线，标出各种管件（如阀门、三通、四通、异径管等）和镇墩的位置。底栏应包括桩号、地面高程、挖深、纵坡和管径等。管道剖面图的纵横比例尺一般不同，见图 2-2。

3. 管道系统结构示意图。以透视图形式绘出固定管道系统的结构示意图，标出各段管道的材质、长度、管径及各种管件的规格型号，见图 2-3。

4. 工程建筑物设计图。包括泵站平面图、立面图、电气主结构图，以及蓄水池、工作池、阀门井、泄水井、镇墩的设计图等。



桩号						
地面高程						
管底高程						
挖深						

图 2-2 管道纵剖面示意图

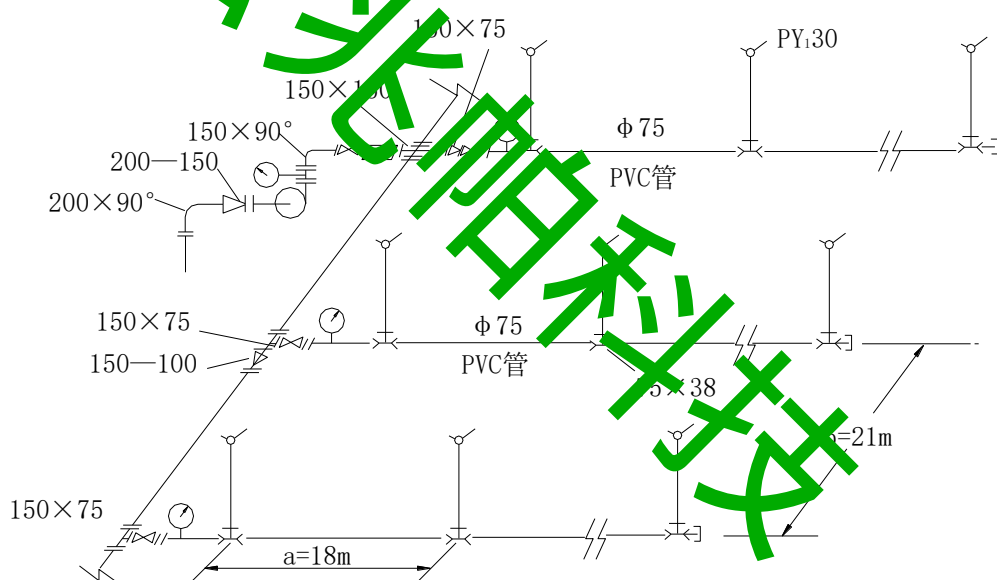


图 2-3 管道系统结构示意图

(三) 概预算书

对于大中型工程，需要单独编制概预算书，概预算书包括编制说明、设计概算表和附件三部分构成，具体见后面的内容。

三、喷灌和微灌系统的组成及特点

(一) 喷灌和微灌系统组成及对比

喷灌和微灌系统在组成上一般都由水泵和动力机、首部枢纽、管道系统和灌水器等四大部分组成，但是在系统过滤方式、系统压力等级、灌水方式、灌水器等方面均有所不同，因此喷灌和微灌在设计参数的选用上是不一样的，具体见表 2-1。

表 2-1 喷灌和微灌设计参数对比

	喷灌	微喷灌	滴灌
灌水器工作压力	>200 kPa		<100 kPa
灌水器流量		20~250L/h	2~12 L/h
灌溉强度			/
雾化指标			/
射程	>7m		/
遮荫率	/	√	√
湿润比	/	√（部分）	√
均匀度	>0.75	>0.8	>0.8
灌水器材料	金属、塑料	塑料	塑料

（二）喷灌的特点及分类

喷灌是喷洒灌溉的简称、它是借助一套专门设备将具有压力的水喷到空中，散成水滴降落田间，供给作物水分的一种先进的灌溉方法。喷灌的特点如下：

优点：节水、增产、灌水均匀、适应性强，节省耕地和劳力。

缺点：蒸发损失大（源移损失）、能耗大（尤其对高压喷头）、土壤底层可能湿润不足。投资较高、技术较复杂。

1.按系统的设备组成分类

（1）管道式喷灌系统

水源、喷灌水泵与各喷头间由一级或二级压力管道连接，由于管道是这类系统中设备的主要组成部分，故称管道式喷灌系统。根据管道的可移动程度，又分为固定管道式喷灌系统、半固定管道式喷灌系统和移动管道式喷灌系统。

（2）机组式喷灌系统

使用厂家成套生产的喷灌机（组）的喷灌系统称为机组式喷灌系统。机组式喷灌系统又分为定喷机组式喷灌系统和行喷机组式喷灌系统。

2.按系统的喷洒特征分类

（1）定喷式喷灌系统

喷水时喷头位置相对地面不动，如各类管道式喷灌系统和定喷机组式喷灌系统。

（2）行喷式喷灌系统

喷头在行走移动过程中进行喷洒作业，如中心支轴式、平移式等行喷式喷灌系统。

3.各类喷灌系统优缺点及结构特征见表 2-2

（三）微灌的特点和分类

微灌是按照作物需水要求，通过低压管道系统与安装在末级管道上的特制灌水器，将水和作物生长所需的养分以较小的流量，均匀、准确的直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中的灌溉方法。微灌有全面湿润灌溉和局部湿润灌溉两种方式。微灌的特点是：

优点：节水、增产、灌水均匀、适应性强，节省耕地和劳力。相比喷灌较节能。

缺点：微灌易堵塞、可能会限制根系发展。投资高、技术复杂。局部返盐。

1.根据灌溉季节配水管道是否移动，微灌一般可以分为 3 种形式：

固定式微灌系统：在整个灌溉季节，系统各个组成部分都是固定不动的。投资较高。

半固定式微灌系统：首部及干支管是固定的。

移动式微灌系统：系统的各组成部分都可以移动。投资低、管理比较麻烦。

2.按出流形式，微灌系统可以分：滴灌(流量 2~12L/h)、微喷灌(流量 20~250L/h)、小管出流灌(流量 80~250L/h)、渗灌(流量 2~3L/h)、喷水带等形式。

3.按是否全面湿润分为：全面湿润灌溉，局部湿润灌溉。

表 2-2 各类喷灌系统优缺点及结构特征

类型	亩投资	优 点	缺 点	结构特征	适用条件
固定管道式	800~1200 元	省地、效率高，易管理、便于自动化，运行成本低，喷洒质量高	用料多、投资大，设备利用率低，竖管对机耕有影响	管道投资占 70~80%，支管耗用量一般 25~35m/亩，方块田约 20m/亩	灌水频繁，经济价值高的蔬菜和经济作物，也适用于城市园林、绿地、运动场
半固定管道式	300~500 元	支管重复使用，降低投资，操作较方便，省地，效率高，喷洒质量较好	人工移管不方便，尤其是粘重土壤，而且易损坏庄稼	支管喷头可移，干管固定，管道投资占 50~60%，平均亩管道用量支管 2~3m，干管 1~3m	最适宜矮杆大田粮食作物，其它适用面也较宽，但对高杆作物、果园不适用
移动管道式	200~500 元	设备利用率高，投资少、占地少、喷洒质量较好	干管、支管需拆卸、搬移，劳动强度大，效率较低，易损坏庄稼	管道全部可移，管道投资占 50~55%，平均亩用支管 1~3m，干管 1~2m	适于一套设备多井喷灌，尤其适于不稳定的河滩地灌溉和不易地埋管道的高寒地区
定 喷 式 机 组	轻小型机组	一次投资少，使用灵活，结构简单，便于综合利用	机组移动稍难，喷洒质量较差，机组保有率低，控制面积小	4hp~24hp，结构简单，多为人工或拖拉机移动	零星分散土地、分散小水源、家庭果园、菜园、集雨和水窖节水灌溉
	滚移式、端拖式、悬臂式	投资较少，结构简单	机组移动不便，维修有一定难度，机组保有率低，国内产品技术不成熟	结构简单，多为拖拉机移动	有一定技术条件、集中使用，多用于大田作物
行 喷 式 机 组	中心支轴式、平移式	喷洒质量最好，抗风干扰较强，效率高、劳动强度小，自动化程度高，操作方便	结构复杂，耗电用钢材多，一次投入稍大，技术要求高，坡度大于 7° 时运行有困难	支管以中心支轴为圆心旋转或平移，喷头直接布置在支管上，支管边移边喷	地形平坦、连片的大块土地（500 亩以上），适用于技术条件、经济条件较好的大型农场
	绞盘式	结构较为简单，定位工作时劳动强度小	入机压力要求较高（0.6~0.9Mpa），机组移位困难	拖拉机移动，喷头小，边走边喷，支管 PE 半软管	最适于甘蔗地，也适合牧草等喷灌

※表中亩投资是按 2000 年价格计算，仅供参考。其中的优缺点也是相对的。

（四）喷灌和微灌系统压力规划

喷微灌系统压力规划的目标是：力求系统压力均衡，确保灌溉质量和节约能源。喷微灌系统压力规划要综合考虑水源水位、灌区地面高程变化、地块分布、输水距离，以及可供选择的设备规格等因素，必要时做出压力分区。

划分压力区时，应根据地形、压力和面积大小，灌水器产品的类型，管理、投资等具体条件，综合考虑，合理确定，一般应注意以下两点：（1）既保证各压力区能按设计压力灌水，又能经济合理。（2）压力区的设计压力，应与现有灌水器系列产品的性能要求相一致，以便于配套。对于微灌系统通常采用在支管入口或支管上安装减压设施来调节压力，分区可以适当减少。

1. 机压灌溉系统中压力均衡

在机压灌溉系统中，当管道系统较长或地面高差较大时，近处和远处（或低处和高处）的灌水器的工作压力相差悬殊，这样不仅难于保证各处出水量的一致，而且常使水泵不能在高效区运行。对于这种情况在规划设计中可采用以下改进措施：

（1）在安排轮灌时，增加近处（或低处）的同时工作灌水器，减少远处（或高处）的同时工作的灌水器，以变动流量来使压力趋于一致。但这种流量的调节必须在水泵的高效范围之内，因此是有限度的。

（2）按地形的变化分区选用不同工作压力的灌水器，即高处用工作压力低的灌水器，低处用工作压力高的灌水器，但从便于管理的角度出发，这种压力分区一般不宜超过 2—3 个。

（3）在采用上述两种方法仍不能获得满意的效果时，可根据地形和压力变化情况采用水泵串联或选用几台扬程不同的水泵，以便分区施加不同的压力。也可考虑按地形变化分区建立加压泵站。

2. 自压灌溉系统中压力区的划分

在自压灌溉系统中，管内水压随地形由上往下逐渐增大。在面积大、管道长、落差大的灌区，上部与下部压力往往相差很大。如全灌区仅按一种灌水器压力规划设计，很难达到较好的效果。如全部选用压力小的灌水器，虽然可扩大上部自压灌溉面积，但下部水头利用不充分，剩余水头大，灌溉效率低。如全部选用压力大的灌水器，自然水头可得到较充分的利用，灌溉效率高，但上部有一部分面积不能自压灌溉，受益面积小。因此，为了充分利用自然水头，扩大自压灌溉效益，应根据压力随地形变化特点，按压力大小进行分区，并分别选配灌水器。当管道内压力超出管道、灌水器等设备所能承受的压力时，应采取减压措施。

四、灌溉设计标准和灌溉制度确定

1. 喷灌和微灌系统的设计保证率一般不应低于 85%。

2. 作物日耗水量确定。

见前面内容，表 1-9。一般按最大日耗水量作为设计依据。

3. 设计灌水定额：

$$m = 0.1\gamma H(\beta_1 - \beta_2) \quad (2-1)$$

$$\text{或 } m = 0.1H(\beta'_1 - \beta'_2) \quad (2-2)$$

式中：m——设计灌水定额(mm)；

γ ——土壤干容重(g/cm³)；

H——计划湿润层深度(cm)，一般大田作物可取为 40~60cm，蔬菜 20~30cm，果树 80~100cm；

β_1 、 β'_1 ——分别为以干土重%和以土体积%表示的适宜土壤含水量上限，一般取为田间持水量的 80~100%；

β_2 、 β'_2 ——分别为以干土重%和以土体积%表示的适宜土壤含水量下限，一般取为田间持水量的 60~80%；

灌水定额除以水层深度(mm)表示外，还常以单位面积的水体积(m³/亩)表示，两者的关系是：3mm=2m³/亩。

4. 设计灌水周期

$$T = \frac{m}{E_p} \quad (2-3)$$

式中：T——设计灌水周期（d）；

m——设计灌水定额（mm）；

E_p ——作物日需水量（mm/d），取符合设计保证率的代表年灌水临界期的平均日需水量。

5. 设计流量

当灌区只种植一种作物时，根据设计灌水定额和设计灌水周期按下式计算设计流量：

$$Q_j = \frac{m \cdot A}{t \cdot T \cdot \eta} = \frac{E_p \cdot A}{t \cdot \eta} \quad (2-4)$$

$$Q_m = \frac{Q_j}{\eta_c} \quad (2-5)$$

式中： Q_j 、 Q_m ——系统设计净流量和毛流量（m³/h）；

m——设计灌水定额（m³/亩）；

A——灌溉面积（亩）；

T——设计灌水周期，即灌水延续天数（d）；

t——每日轮灌时间（h）；

η ——田间水利用系数；

η_c ——输水系统水的利用系数。

6. 水源水量分析

作为灌溉工程的水源，可有河川径流、地方径流、地下水及已建成的水利工程供水等不同类型。因水源类型以及掌握数据情况不同，水源水量的计算方法也不同。

第二节 喷灌和微灌系统管道布置和选型

田间管道系统的布置取决于田块的形状、地面坡度、耕作与种植方向、灌溉季节的风速与风向、喷头的组合间距、微灌毛管间距、是否双向供水等因素，根据这些因素进行设计并做方案比较，择优选用。

一、田间管道系统布置的原则

田间管道系统的布置一般应遵循以下原则：

1. 应符合工程规划的要求。
2. 管道总长度短，少穿越其他障碍物。
3. 喷洒支管应尽量与耕作和作物种植方向一致。
4. 喷洒支管最好平行等高线布置，如果条件限制，应尽量避免逆坡布置。
5. 在风向比较恒定的喷灌区，支管最好垂直于主风向布置，应尽量避免平行主风向布置。
6. 喷洒支管与上一级管道的连接，应避免锐角相交，支管铺设应力求平顺、减少折点。
7. 微灌毛管一般与等高线平行布置，和作物种植方向一致，而支管垂直于等高线。

8. 管道的纵剖面应力求平顺。

二、影响田间管道系统布置的主要因素

在贯彻以上原则时，有时会出现矛盾，这时应根据具体情况进行分析比较，分清主次，因地制宜地确定布置方案。影响管道布置主要有列因素：

1. 地形条件

在地形起伏的地区，支管平行等高线成水平铺设，有利于支管和竖管喷头的施工安装。当支管无法沿等高线布置时，应将配水干管或分干管布置在高处，使支管由高处向低处铺设，以地形高差弥补支管水头损失。对于地面坡度较陡或梯田的地形，若采用半固定或移动系统，一般将移动支管布置成平行等高线。

2. 地块形状

地块形状不规则会给管道布置带来困难。当地块较大时，可用分区布置的方法解决。分区时应使小地块基本规整，支管在小地块内的走向一致。移动式系统因配水干管都设置在地面，为使移动方便和避免损伤作物，干管应尽量布置在分区边界。

3. 耕作与种植方向

有的灌区处于漫坡地带，耕作、种植方向是顺坡，支管如平行等高线布置，与耕作、种植方向就不能保持一致。这时一般应按耕种方向布置喷洒支管，配水干管沿等高线布置并使其处于支管上方，支管顺坡下铺。

有时在同一地块内存在不同的耕作种植方向，造成管道布置困难，这时宜根据管道布置的要求，对耕作方向作必要的调整和统一。

4. 风向和风速

喷灌季节如果灌区内风速很小，则支管的布置可不考虑风向；如果风速超过一级风，且存在主风向时，支管最好垂直主风向布置。但在有些地方，如河谷地，其主风向往往与等高线平行，这时应根据喷灌系统的类型采用不同方法处理。对于固定式系统，配水干管或分干管宜沿等高线布置在高处，支管下顺铺设；对于半固定或移动式系统，喷洒支管是移动的，一般仍沿等高线布置。

5. 水源位置

当水源或地块位置可以选择时，宜将水源布置在地块中央，依次布置干管、分干管、支管，可降低管道系统投资。当水源有选择余地但不能布置在地块中央时，应先布置田间管网，再布置配水干管或分干管，最后视地形、地质等情况，进行方案比较，确定输水管和水源位置。

三、田间管道系统的布置形式

田间管道系统布置主要有两种形式（单向、双向供水）：

1. 丰字形布置，见图 2-4。

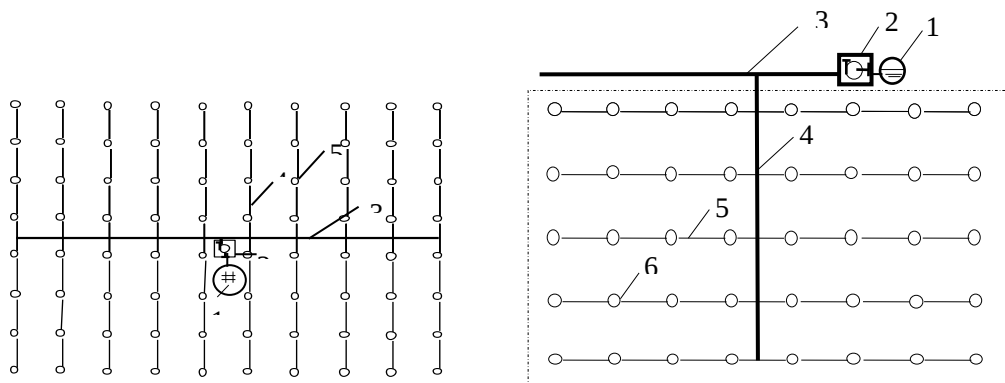


图 2—4a 丰字形布置

2-4b 丰字形布置

2. 梳子形布置 (图 2—5)



图 2—5 梳子形布置

1—河渠；2—泵站；3—干管；4—支管；5—喷头

第三节 管道水力学基础

一、水力学的基本概念

(一) 三大基本方程

1. 能量守恒方程

水体的总能量由动能、位能和压能组成，三种能量可以相互转换。对于任意两个断面水的总能量是守恒的，任意两个断面之间的能量差反映能量损失（水头损失）或能量的注入（水泵加压）。能量守恒方程式如下：

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_w \quad (2-6)$$

式中： z_0 ——过水断面上单位重量液体所具有的位能，单位为 m；

$\frac{p_0}{\gamma}$ ——过水断面上单位重量液体所具有的平均压能，单位为 m， γ 为液体的容重，

水可取 9.8kN/m³；

h_w ——水头损失，单位为 m。

$\frac{v_0^2}{2g}$ ——过水断面上单位重量液体所具有的位平均动能，单位为 m； g 为重力加速

度，一般取 9.8m/s²。

能量守恒方程常用在如下方面的水力计算：水头损失计算，管道压力平衡计算，喷头流量、射程计算，微灌小孔出流计算，水泵扬程计算等。

如对于小孔出流，把基准面取在出口断面的中心线上，则有：

$$H_0 = z_0 + \frac{p_0}{\gamma}, \quad \frac{v_0^2}{2g} \approx 0, \quad z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = 0, \quad h_w = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

有 $v = \mu \sqrt{2gH_0}$ ， μ 综合反映收缩、损失等的流量系数。

2. 动量守恒方程

动量守恒方程反映了当水流流速（大小、方向等参数）发生变化时，水流与外界作用力的相互变化关系。

$$\rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) = \sum F \quad (2-7)$$

动量守恒方程常用在如下方面的水力计算：过水部件受力分析，稳定性计算，水锤计算，镇墩计算、支墩计算等。

3. 连续性方程，质量守恒定律

连续性方程说明对于不可压缩液体，通过任意两个过水断面的液体质量是相同的。

$$Q_{\text{进}} = Q_{\text{出}}$$

连续性方程常用在如下方面的水力计算：流量、流速计算，管径计算等。

(二) 水流流态

水流流态一般有两种形式：层流和紊流。

1. 层流

当水流流速相对较小时的水流形态，较多用于渗流计算。

2. 紊流

当水流流速相对较大时的水流形态，较多的水流处于紊流状态。

紊流又可根据流速大小、边界粗糙度等因素分为光滑区，过渡区，粗糙区（阻力平方区）三种。

对于任何水流流态都可以用一个统一的公式计算水头损失 $h_f = k \cdot \frac{v^x}{2g}$

x 为流态指数，反映水头损失大小与流速关系的指数，不同流态取值不同。

层流，x=1

光滑区， $1 < x < 1.8$

过渡区， $1.8 < x < 2$

粗糙区，x=2

k 为系数。

二、水力学在节水灌溉中的应用

（一）管嘴和小孔出流计算

$$Q = \mu A \sqrt{2gH_0} \quad (2-8)$$

μ 为流量系数，为收缩系数和流速系数的乘积，对于管嘴一般为 0.95，对于孔口一般为 0.60~0.65。

Q 为流量，单位 m^3/s ；

H_0 为出口前稳定段的总水头，或者管道内的压力水头，单位 m；

A 断面面积， m^2 。

（二）管道水力计算

管道水力计算的内容包括计算管道水头损失和校核管道的实际工作压力。

管道水头损失计算首先应该确定管道的流量，再根据系统的运行情况确定管道级别（干管还是支管）、管道的水力类型（水力长管还是水力短管）以及管道上出水口的出流形式（单口出流还是多口出流），从而正确的进行水头损失计算。

管道水力计算的另外一个重点是计算各级管道的工作压力大小、管路上的压力分布情况以及管道中的水力瞬变，用于校核管道压力和流量是否有关标准规范的要求，是否满足系统运行安全的要求。

1. 系统的设计流量确定

包括总流量，各管段流量确定。连续性方程的应用，流量分配与叠加，设计流量与实际工作流量，干管汇流，系统流量损失。

2. 系统的设计扬程确定

$$H = (Z_d + h_s - Z_s) + h_p + \sum h_f + \sum h_j = \Delta z + h_w + h_p \quad (2-9)$$

式中：H——系统设计扬程（m）；

Z_d ——典型出水点的地面高程（m）；

Z_s ——水源水面高程（m）；

h_s ——典型出水点灌水器至地面的高度（m）；

h_p ——典型出水点灌水器的工作压力水头（m）；

$\sum h_f$ ——由水泵吸水管至典型点的灌水器进口处之间管道的沿程水头损失（m）；

Σh_j ——由水泵吸水管至典型点的灌水器进口处之间管道的局部水头损失 (m)。

系统的设计扬程由三大部分构成，即位置差，总水头损失，灌水器工作压力水头。

3.管道水头损失计算公式

(1) 水头损失计算是管道水力计算的主要内容。由于节水灌溉系统所采用的管道大都是水力长管，管道水头损失中局部水头损失占的比重较小，所以重点是计算管道的沿程水头损失，按照一定的比例估计沿程水头损失。

$$h_w = h_f + h_j = (1 + k)h_f \quad (2-10)$$

其中
$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_j = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

式中： λ ——沿程水头损失系数；

ξ ——沿程水头损失系数；

d ——管径 (m)；

l ——管长 (m)；

v ——管道中的流速 (m/s)；

k ——局部水头损失与沿程水头损失的比值， k 一般取 5~10%；

h_f ——沿程水头损失 (m)；

h_j ——局部水头损失 (m)。

(2) 串联管道与并联管道水力计算。

1) 串联管道

由管径不同的管段依次连接而成的管道，称为串联管道。串联管道内的流量可以是沿程不变的；也可以是沿程每隔一定距离有流量分出，从而各段有不同的流量。因为各管段的流量、直径不同，所以各管段的流速也不同。这时，整个管道的总水头损失等于各管段水头损失之和。

$$h_w = \sum_{i=1}^n h_{wi} = \sum_{i=1}^n (h_{fi} + h_{ji}) \quad (2-11)$$

式中： h_w 为串联管道总水头损失，m； h_{wi} 为串联管道各管段的水头损失，m； n 为串联管道管段数。

2) 并联管道

凡是两条或两条以上的管道从同一点分叉而又在另一点汇合所组成的管道称为并联管道。在汇合点，管道的流量等于各分支管道流量之和，而各分支管道的水头则相等。因此，按下列公式计算水头损失。

$$\left. \begin{aligned} h_w &= h_{w1} = h_{w2} = h_{w3} = \Lambda \\ Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \Lambda \end{aligned} \right\} \quad (2-12)$$

4.《喷灌工程技术规范》中规定的水头损失计算公式

喷灌中使用的管道，按管材不同来确定流态的分区，选用不同的沿程水头损失计算公式。作简单分区可以使设计、计算变得简单，而且误差一般不会太大。

《喷灌工程技术规范》中计算沿程水头损失 h_f 的基本公式如下：

$$h_f = f \frac{LQ^m}{d^b} \quad (2-13)$$

式中：Q——管道中流量（m³/h）；

L——计算管长（m）；

d——管道内径（mm）；

f——摩擦损失系数；

m——流量指数；

b——管径指数。

该公式中摩擦损失系数 f 只是简单的数值，没有待定系数。摩擦（阻）损失系数 f 、流量指数 m 、管径指数 b 由选定的公式确定，见表 2-3：

表 2-3 沿程水头损失公式中的 f 、 m 、 b 值

管 材	流 态	f	m	b
砼管、 钢筋砼管	粗糙区	1.34×10^6	2	5.33
		1.56×10^6	2	5.33
		1.79×10^6	2	5.33
旧钢管、旧铸铁管	过渡区	6.25×10^6	1.9	5.1
塑料硬管	光滑区	0.948×10^5	1.77	4.77
铝管、铝合金管	光滑区	0.861×10^5	1.74	4.74

5.微灌中管道沿程水头损失计算

微灌中管道沿程水头损失计算公式和喷灌是一致的，但是由于选用材料略有不同，因此在分区和取值上有所不同。

$$h_f = f \frac{LQ^m}{d^b} \quad (2-14)$$

式中：Q——管道中流量（L/h）；其它同喷灌。

表 2-4 沿程水头损失公式中的 f 、 m 、 b 值

管 材	f	m	b
硬塑料管	0.464	1.77	4.77
微灌用聚乙烯管	$d > 8\text{mm}$	1.75	4.75
	$d \leq 8\text{mm}$	Re > 2320	1.69
		Re ≤ 2320	1

注：①Re 为雷诺数。

②微灌用聚乙烯管 f 的取值相应于 10℃ 水温。其它温度时应修正。

在计算管道局部水头损失可按沿程水头损失的一定比例估算，支管为 $k=0.05 \sim 0.1$ ，毛管为 $k=0.1 \sim 0.2$ 。

6.多口系数计算

固定式、半固定式和移动式管道喷灌系统的支管，以及大型喷灌机（平移式、时针式）的支管、滴灌出流等一般都属多口出流管道。在喷洒支管上，每隔一定距离有一个喷头分流，

支管内的流量是沿程减小的。在计算管道的沿程损失时，可以逐段计算两喷头之间管道沿程水头损失，相加后即为该支管的沿程水头损失。但这样计算相当繁琐，可采用简化方法进行计算。

多口出流管道的沿程水头损失 H_f ，与同一管道但全部流量只在管末出流时的沿程水头损失 h_f 之比，称为多口系数，以 F 表示，即：

$$F = \frac{H_f}{h_f} \quad (2-15)$$

因此，按非多口出流沿程水头损失 h_f ，在乘以多口系数 F ，就可求得多口出流管道（如喷灌支管、微喷灌和滴灌毛管）的沿程水头损失 H_f ，即：

$$H_f = Fh_f$$

（1）固定管道（包括喷灌支管和微灌支管、毛管）的多口系数公式：

$$F = \frac{NF_1 - 1 + X}{N - 1 + X} \quad (2-16)$$

$$F_1 \approx \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (2-17)$$

式中： F ——多口系数；
 N ——支管上的孔口数；
 m ——所采用的沿程水头损失公式中的流量指数；
 X ——第一出水口至支管等距间距（ l_1 ）与出水口口间距（ l ）的比值。 $X = l_1/l$ 。

（2）大型喷灌机支管的多口系数公式

$$F = 1 - \frac{m}{3} + \frac{m(m-1)}{10} \quad (2-18)$$

在喷灌系统规划设计中，用到多口系数计算的场合，绝大多数是半固定式或固定式的移动支管（大型喷灌机的多口系数公式很少用到），一般都是用塑料管或铝管，而且在多数情况下，支管上所布置喷头数在 5~12 个，为设计方便，在表 2-5 中给出这两种管道的常用多口系数，设计时可直接查用。

表 2-5 塑料管或铝管的多口系数

开口数	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	∞
$X=1$	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.36
$X=0.5$	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.38	

7.管径及长度确定

由于每一条管道，以及同一条管道的不同管段在轮灌过程中流量有变化，一般应取各管或管段中通过的最大流量为该管或管段的设计流量。有时最大流量通过的时间在设计灌水周期内所占总过水时间比例很小，可取次大流量作为设计流量。

（1）喷灌支管管径的选择

支管是指直接连接竖管和喷头的一级管道，有时亦称喷洒支管。支管的管径的选择除与支管的设计流量有关外，还应力求使同一支管上的各喷头喷水量均匀，同时又较为经济、合用。管径选得越大，管道沿程水头损失越小，同一支管上各喷头的压力差也越小，各喷头的喷水量也就越接近。但若管径取得过大，则会增加支管的投资造价，对于移动支管来说还会

增加拆装、搬移的劳动强度。管径选得越小，管道沿程水头损失越大，各喷头压力差和喷水量的差别就越大，影响喷灌质量。为了保证同一支管上各喷头实际喷水量的相对偏差不超过10%，《喷灌工程技术规范》规定：“同一支管上任意两个喷头之间的工作压力差应在喷头设计工作压力的20%以内”。

若支管在平坦的地面铺设或逆坡铺设，其首末两端喷头间的工作压力差应为最大；但是当支管顺坡铺设或铺设在地形起伏的地面上时，其最大的工作压力差不一定发生在首末喷头之间，此时需要绘出压力水头线和地面线，从中找出压力差最大的两个喷头的位置，再进行计算。

对支管喷头工作压力差的控制要求，在考虑地形高差的影响后，可用公式表示为：

$$h_w + \Delta Z \leq 0.2h_p \quad (2-19)$$

式中： ΔZ ——两喷头的进水口高程差（m）

h_p ——喷头设计工作压力（m）。

h_w ——同一支管上任意两个喷头间的水头损失差（m），一般情况下可用支管段的沿程水头损失代替；

喷头设计工作压力可从喷头性能表中查得。两喷头进水口高程差（实际上就是两喷头所在地的地面高差）可从系统平面布置图中查得。利用公式2-19，在其它参数已知的情况下反求管径 D ， D 就是该支管可选用的最小管径的计算值，按照管材的标准将计算管径取整。另外，支管管径选择还应考虑到施工和管理运行的方便，对半固定、移动式喷灌系统的移动支管，力求使各支管采用统一的规格，对于较大的喷灌系统，若不能全灌区支管管径一致，至少也需做到在一个作业区内统一，最大管径一般不超过90mm。对固定的地埋支管，管径可以变化，但规格不宜太多。

【例】某铝合金喷灌支管，全长120m，共带7个Y20喷头（喷嘴直径7mm）8个，喷头工作压力为0.3Mpa，喷头间距16m，第一个喷头距支管入口外8m。支管逆坡铺设，首末端喷头高差1.8m，试确定其管径。

解：① 从喷头性能表查得喷头流量为： $q=2.96\text{m}^3/\text{h}$

② 多口出流管道沿程水头损失用式2-13计算：

$$h_w = Fh_f = f \frac{FLQ^m}{d^b} = 0.861 \times 10^5 \frac{FLQ^{1.74}}{d^{4.74}}$$

铝管： $f=0.861 \times 10^5$ ， $m=1.74$ ， $b=4.74$

③ 第一个喷头到末端的支管管段长 $L = 7 \times 16 = 112$ （m）

相应管段的入口流量 $Q = 7 \times 2.96 = 20.72$ （ m^3/h ）

由孔口数 $N=7$ 及 $X=0.5$ ，查表2-5得多口系数 $F=0.439$

将 L 、 F 、 Q 代入式（2-13）式，得：

$$h_w = 0.861 \times 10^5 \frac{0.439 \times 112 \times 20.72^{1.74}}{d^{4.74}}$$

④ 已知 $\Delta Z = 1.8$ （m）， $h_p = 30$ （m）

将 ΔZ ， h_p ，及上式代入公式（2-19）并解方程

得 $d \geq 56.2$ （mm）

按铝合金管规格，采用 $\Phi=65\text{mm}$ 的管，其内径 $d=62\text{mm}$

(2) 微灌支管管径、管长的选择

微灌以小区为计算范围,按照《微灌工程技术规范》,灌水器允许流量偏差不大于 20%,按照此要求校核和计算管道直径和长度。

$$q_v = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_d} \times 100\% \leq 20\% \quad (2-20)$$

$$h_v = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{h_d} \times 100\% \quad (2-21)$$

$$h_v \text{ 可按下式计算 } h_v = \frac{q_v}{x} \left(1 + 0.15 \frac{1-x}{x} q_v \right) \quad (2-22)$$

以上公式中: x ——灌水器流态指数,约为 0.5;

q_v ——灌水器的流量偏差率;

h_v ——灌水器的工作水头偏差率;

$q_{\max}$ ——灌水器的最大流量;

$q_{\min}$ ——灌水器的最小流量;

$h_{\max}$ ——灌水器的最大工作水头;

$h_{\min}$ ——灌水器的最小工作水头;

q_d ——灌水器的设计流量;

h_d ——灌水器的设计工作水头

实际计算时:

$$\Delta H_{\text{支}} = 0.45 h_v h_d \quad (2-23)$$

$$\Delta H_{\text{毛}} = 0.55 h_v h_d \quad (2-24)$$

$\Delta H_{\text{支}}$ ——支管上的最大压力差,用首末端的水头损失代替。

$\Delta H_{\text{毛}}$ ——毛管上的最大压力差,用首末端的水头损失代替。

(3) 干管管径的选择

干管是指支管以上的各级管道。干管管径是在满足下一级管道流量和压力的前提下按年费用最小的原则选择的,这种管径称为经济管径。年费用包括年投资和年运行费,确定经济管径,需要分别计算出多种管径的年投资和年运行费,然后再求得使两种费用之和为最低。由于喷灌管道系统年工作小时数少,所占投资比例又大。因此一般在喷灌所需压力能得到满足的情况下,选用尽可能小的管径是经济的,但管中流速应控制在 2.5~3 m/s 以下。计算出的管径应该按照规格取整。

对于规模不大的喷灌工程,也可用如下经验公式来估算干管的管径。

$$\text{当 } Q < 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ 时, } D = 13\sqrt{Q} \quad (2-25)$$

$$\text{当 } Q \geq 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ 时, } D = 11.5\sqrt{Q} \quad (2-26)$$

式中: D ——管径 (mm)

[例] 有一喷灌干管,拟采用铸铁管,设计流量为 80 m³/h,试用经验法确定其管径。

解:,因 $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h} < 120 \text{ m}^3/\text{h}$,故按公式 (2-25) 计算

$$D = 13\sqrt{Q} = 13\sqrt{80} = 116.3 \text{ mm}$$

查铸铁管规格表，选定与计算值接近的 $D=125\text{mm}$ 的管子。

8.管道系统各控制点压力的确定

管道系统各控制点的压力是指支管、分干管、干管的入口以及其它特殊点的测管水压。在这些控制点处通常设有调节阀门和压力表，以保证系统正常运行。计算各控制点在各个轮灌组时的压力水头，一方面为选择水泵提供依据，另一方面也给系统运行提供基础数据。

支管入口压力的计算是系统中其它各控制点计算的基础。根据《喷灌工程设计规范》，系统中任何喷头的实际工作压力不得低于喷头设计工作压力的 90%，而且同一支管上两喷头间最大压力差不超过喷头设计工作压力的 20%，支管入口压力应保证任一喷头的实际工作压力在喷头设计工作压力的 90%~110%范围之内。而且，支管入口压力还应使支管的实际流量等于设计流量，也就是支管上喷头的平均流量等于设计流量。

确定支管入口压力常采用下面介绍的近似计算方法：

(1) 按支管上工作压力最低的喷头计算

$$H_{\text{支}} = h_f' + \Delta Z + 0.9h_p \quad (2-27)$$

式中： $H_{\text{支}}$ ——支管入口的压力水头 (m)；

ΔZ ——支管入口地面到工作压力最低的喷头进水口的高程差，逆坡时为正值，顺坡时为负值 (m)；

h_f' ——支管相应管段沿程水头损失 (m)；

h_p ——喷头设计工作压力 (m)。

(2) 按降低 $0.25h_f$ 来计算

$$H_{\text{支}} = h_f' + \Delta Z + h_p - 0.25h_{f1} \quad (2-28)$$

式中： h_{f1} ——支管首末两喷头间管段的沿程水头损失 (m)。

此方法适用于支管沿线地势平坦且支管上喷头数较多 ($N>5$) 的情况。

(3) 按离支管总长 1/4 位置的点的压力为设计工作压力点计算

$$H_{\text{支}} = h_f'' + \Delta Z + h_p \quad (2-29)$$

式中： h_f'' ——支管入口地面到入口处约为支管总长 1/4 处喷头进水口处的沿程水头损失 (m)；

ΔZ ——上述两位置的高程差 (m)；

其它符号意义同前。

此方法适用地形平坦或一面缓坡的情况，在微灌的毛管水力计算中也常采用。

[例] 某铝质移动支管，全长 180 米，内径为 62mm，安装有 PY₁20 型喷头 10 个，设计工作压力 0.3Mpa，喷头间距为 18 米，首端喷头到支管入口 18 米。竖管高 1 米，内径为 25mm。支管沿线地势平坦，试确定支管入口压力。

支管入口的压力确定后，即可根据系统在各轮灌组运行时的流量，分别计算各分干管、干管的沿程水头损失和局部水头损失，最后计算出各控制点在各轮灌组作业时的压力。将各轮灌组作业时各控制点的压力算出之后，应将结果按轮灌组顺序列成表格，作为运行时的依据。与此同时，可以得到系统的流量范围和干管入口的压力范围，作为选择水泵所必需的数据。根据系统流量和压力的变化范围选择水泵。保证实际的工况点始终在高效区。

9.管道水锤计算

水锤计算：应用，控制关阀历时，关键点。

水锤（或称水击），是指在有压管道中，由于流速急剧变化而引起管道中水流压力急剧

升高或降低的现象。常见的水锤包括水泵起动时产生的起动水锤、充水水锤、关闭阀门产生的关阀水锤、以及突然停泵时产生的事故停泵水锤，其中事故停泵水锤危害最大。通过水锤计算，可以确定是否要采取一定的安全防护措施以确保管道的安全。

(1) 水锤计算用参数

1) 水锤波传播速度 a

对于匀质圆管有：

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{Kd}{Ee}}} \quad (2-30)$$

式中： a ——水锤波传播速度（m/s）；
 d ——管径（m）；
 e ——管壁厚度（m）；
 k ——水的体积弹性模数（Pa），一般 $k=2.025\text{GPa}$ ；
 E ——管道材料的纵向弹性模数（Pa）。

对于钢筋混凝土管有：

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K}{E_c} \cdot \frac{d}{e(1-\alpha_0)}}} \quad (2-31)$$

式中： E_c ——钢筋砼的弹性模数， $E_c=20.58\text{GPa}$ ；
 α_0 ——管壁内环向含钢系数， $\alpha_0=0.015\sim 0.05$ ；
 其余符号意义同前。

几种主要管材的 E 值（GPa）如下：

表 2—6 管材的 E 值

管材	E 值 GPa	管材	E 值 GPa	管材	E 值 GPa
钢管	206	铸铁管	108	铝管	70
聚氯乙烯管	2.8~3	聚乙烯管	1.4~2	聚丙烯管	0.00008

根据喷灌中常用的不同管材 E 值和 d/e 值可得到不同管道水锤波传播速度，见下表

表 2—7 不同管道中水锤波传播速度 a 值

管材	$a(\text{m/s})$	管材	$a(\text{m/s})$
钢管	1100——1200	钢筋砼管	1000——1100
铸铁管	1200——1300	聚乙烯、聚氯乙烯管	350——400
铝管	900	聚丙烯	<3

2) 水锤相时 μ

水锤相时 μ 表示水锤波在管道中来回传播一次所需时间（s），用下式求出：

$$\mu = \frac{2L}{a} \quad (2-32)$$

式中： L ——计算管长（m）；
 a ——水锤波传播速度（m/s）。

3) 管道中水柱惯性时间常数 T_b

$$T_b = Lv_0/gH_0 \quad (2-33)$$

式中： v_0 ——关阀前管道内的流速；
 H_0 ——关阀前管道内的压力；
 g ——重力加速度， $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

(2) 水锤压力计算

1) 瞬时完全关闭阀门时，阀前产生的最高压力水头为

$$H_{\max}=H_0+\alpha v_0/g \quad (2-34)$$

一般喷灌的主干管道内压力在 40~60m 水头，流速在 1.5~2m/s，据此可求出不同管道内瞬时关闭阀门，阀前的最高压力值见下表：

表 2-8 瞬时关闭阀前水锤压力

管材	水锤压力 (m 水头)	管材	水锤压力 (m 水头)
钢管	200~300	钢筋砼管	190~260
铸铁管	220~320	聚乙烯、聚氯乙烯管	90~140
铝管	170~220	聚丙烯管	增加值<1

从表中可以看出，除聚丙烯管外，其它管材在瞬时关闭的情况下，其水锤压力均较原管道中的压力增加 1 倍以上，根据《喷灌工程技术规范》中规定。水锤压力超过管道试验压力（一般为管道工作压力的 1.5 倍）时应采取防护措施。

2) 缓慢关闭阀门时，阀前产生的水锤压力为

$$H_{\max}=H_0+\frac{H_0}{2}\cdot\frac{T_s}{T_b}\left[\frac{T_s}{T_b}+\sqrt{4+\left(\frac{T_b}{T_s}\right)^2}\right] \quad (2-35)$$

式中： T_s ——关阀历时，s；其它符号意义同前。

根据公式 $\mu/T_b=2LgH_0/\alpha Lv_0=2gH_0/\alpha v_0$ ，

一般情况 $H_0=40\sim 60\text{m}$ 水头， $\alpha=300\sim 1300(\text{m})$ ，

$v=1.5\sim 2(\text{m/s})$ ，可知：

$\mu/T_b=0.3\sim 2$ ，基本是同数量级。

按照《喷灌工程技术规范》规定，当关闭历时满足 $T_s>20\mu$ 时有：

$$H_{\max}\leq(1.14\sim 1.03)H_0$$

自然可以不必验算水锤压力。

(3) 水锤防护

由前面分析可知，正常运行（包括缓闭阀门）时都不会产生过大的水锤压力，管道一般时可以承受，但在瞬时关闭或水泵突然停泵时，管道内可能出现较大的水泵压力，此时需要靠水锤防护措施消除水锤的破坏。一般采用的方法主要有以下几种。

1) 安全阀，在首部枢纽的后部，系统干管、分干管上低凹处和上坡的坡脚处，设置安全阀，其作用是在水锤发生时急速打开，释放出管道的部分水，消除水锤压力。相当于将瞬时关闭状态变为状态。

2) 空气阀，在系统的若干高处，安装一定数量的空气阀，既可在正常运行时排除管道中的空气，保证系统内是单相流，不致出现有完全分隔时更为严重的水锤，同时还可在管道内出现负压时补气，防止产生负压水锤。

3) 逆止阀，在系统的一些重要设施部位后部设置逆止阀，可以防止出现水锤时对这些设施造成破坏。

[例] 某喷灌系统中采用铝合金管，管径 $d=104\text{mm}$ ，壁厚 $e=2\text{mm}$ ，通过流量 $Q=50\text{m}^3/\text{h}$ ，系统正常工作压力水头 $H_0=44.22\text{m}$ ，管道长 $L=230\text{m}$ ，设阀门（下游末端）在 $T_s=0.5\text{s}$ 时间内瞬时完全关闭，试求水锤压力。

解：（1）计算水锤波传播速度 a

已知 $d=104\text{mm}$, $e=2\text{mm}$, $E=69.58\text{GPa}$, $K=2.025\text{GPa}$, 代入公式 (2-30) 得

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2.025 \times 10^9 \times 0.104}{69.58 \times 10^9 \times 0.002}}} = 898.9 \text{ (m/s)}$$

(2) 判断水锤种类

$$\text{水锤相时 } \mu = \frac{2L}{a} = \frac{2 \times 230}{898.9} = 0.512 \text{ (s)}$$

$T_s=0.5\text{s} < \mu=0.512\text{s}$, 所以关闭阀门产生的是直接水锤。

(3) 计算水锤压力

$$v_0 = \frac{Q}{A} = \frac{50}{3600 \times 3.14 \times 0.104^2 / 4} = 1.64 \text{ (m/s)}$$

将 v_0 代入公式 () 得阀门前管内最高压力水头为

$$H_{\max} = H_e + \frac{av_0}{g} = 44.22 + \frac{898.9 \times 1.64}{9.8} = 194.26 \text{ (m)}$$

由 $\frac{H_{\max}}{H_0} = \frac{194.26}{44.22} = 4.39$ 可知, 直接水锤产生的压力水头为正常工作压力水头的 4.39

倍, 应采取措施避免直接水锤的发生。

第四节 喷灌工程设计要点

一、喷头选型和组合间距

选择喷头和确定组合间距应满足喷灌质量和经济合理等要求, 同时便于操作、管理。按照《喷灌工程技术规范》规定, 选择喷头和确定组合间距的其他要求如下:

1. 喷灌强度不超过土壤的允许喷灌强度值。
2. 组合均匀系数不低于规范规定的数值。
3. 雾化指标不低于作物要求的数值。
4. 有利于减少喷灌工程的年费用。

喷头的选择包括喷头型号、喷嘴直径和工作压力的选择。在选定喷头之后, 喷头的流量、射程等性能参数也就随之确定。在一定的自然条件下, 如果组合间距和运行方式也确定下来, 则喷灌强度、组合均匀度和雾化指标都可确定。

(一) 喷头的基本参数、喷洒方式和组合形状

1. 喷头的基本参数

(1) 喷头的进水口直径 (D)

喷头的进水口直径指喷头空心轴或进水口管道的内径, 单位为 mm。我国常以进水口公称直径命名喷头型号, 对旋转式喷头, 国标 GB5670.1—85《旋转式喷头类型与基本参数》规定的进水口公称直径为 10、15、20、30、40、50、60、80mm 八种。

(2) 喷嘴直径 (d)

喷嘴直径指喷头出口直径, 即喷嘴流道的等截面段的直径, 单位为 mm。对非圆形的异形喷嘴, 用当量喷嘴直径 (按其流量折算的喷嘴直径) 来表示。

(3) 喷射仰角 (α)

喷嘴出口射流轴线与水平面的夹角,称为喷射仰角,单位为度。目前我国常用旋转式喷嘴的喷射仰角多为 $27^\circ \sim 30^\circ$,为了提高抗风能力,有些喷头采用 $21^\circ \sim 25^\circ$ 喷射仰角;对树下喷灌、温室喷灌或防霜等特殊用途的喷灌,可采用喷射仰角小于 20° 的低仰角喷头,为了适应工矿企业除尘要求,我国还研制了仰角大于 30° 的高仰角除尘喷头。

(4) 工作压力 (h_p)

喷头的工作压力是从指喷头进水口下 20cm 处的竖管上测取的静水压力,通常用符号 h_p 表示,单位为 kPa(或 m)。

(5) 喷头流量 (q)

喷头流量即喷水量,指单位时间内喷头喷出水的体积,单位为 m^3/h 。

喷头流量可用体积法、重量法、堰法、流量计法等测定,也可用管嘴出流量公式进行计算,公式为:

$$q = 3600 \mu A \sqrt{2g \cdot h_p} \quad (2-36)$$

式中: μ ——流量系数,取 $0.85 \sim 0.95$;

A ——喷嘴过水断面面积 (m^2);

g ——重力加速度 (m/s^2);

h_p ——喷头工作压力(m);

q ——喷头流量 (m^3/h)。

(6) 喷头射程 (R)

喷头射程是指在不风情况下,喷头正常工作时喷洒湿润圆的半径,即喷射水所能到达的最远距离,单位为 m。

(7) 喷头的喷灌强度 (ρ_s)

喷头的喷灌强度是指单喷头全圆喷洒时的喷灌强度,是一种计算喷灌强度。用单位时间内喷洒到单位面积上水的体积或单位时间内喷洒湿润圆的平均喷洒水深表示,单位为 mm/h ,计算公式如下:

$$\rho_s = \frac{1000q}{S} \quad (2-37)$$

式中: ρ_s ——喷头的喷灌强度 (mm/h);

q ——喷头流量(m^3/h);

S ——喷头喷洒控制的面积 (m^2)。

(8) 喷头的雾化指标 (ρ_d)

喷头的雾化指标指射流的碎裂程度,反映了喷头喷水水滴的大小、水滴降落的速度以及水滴的密度。主要作物的雾化指标可参见表 2-9。在《喷灌工程技术规范》中规定:喷灌的雾化指标应根据喷头工作压力水头和主喷嘴直径的比值确定,计算公式如下:

$$\rho_d = 1000 h_p / d \quad (2-38)$$

式中: ρ_d ——雾化指标;

h_p ——喷头工作压力 (m);

d ——喷嘴直径 (mm)。

实际计算时:一般 h_p 单位为 kPa, d 单位为 mm, 则有: $\rho_d = 100 h_p / d$

表 2—9 作物雾化指标

作物种类	雾化指标
蔬菜及花卉	4000~5000
粮食作物、经济作物及果树	3000~4000
牧草、饲料作物、草坪及绿化林木	2000~3000

(9) 喷头的水量分布特性

在喷头喷洒范围内，各点的喷灌强度与相应点位置间的关系，常用水量分布曲线或水量分布等值线图表示，它们是根据实测喷头喷洒范围内各点喷灌强度绘制的，水量分布的等值线图实际就是单位时间的等水深线图，一般又在等值线图的下方和右方给出相互垂直的两个方向的剖面图，见图 2—6。

影响喷头水量分布的因素很多，风和工作压力的影响较大。在有风时，风对水量分布的影响如图 2—7 所示，顺（逆）风向和垂直风向的喷洒半径都减小，整个湿润面积缩小，喷灌强度增加，水量分布等值线，逆风带变陡而收缩，顺风带变缓而伸长，垂直风向的喷洒半径收缩更明显，并往往出现两个峰值点，水量分布性能变差。

工作压力对水量分布的影响如图 2-8，压力过高时，水量向近处集中，射程减小，压力过低，粉碎不足，水量分布曲线呈锯齿形；压力适中时，射程最远，水量分布曲线呈三角形或梯形，有利于提高组合均匀度。

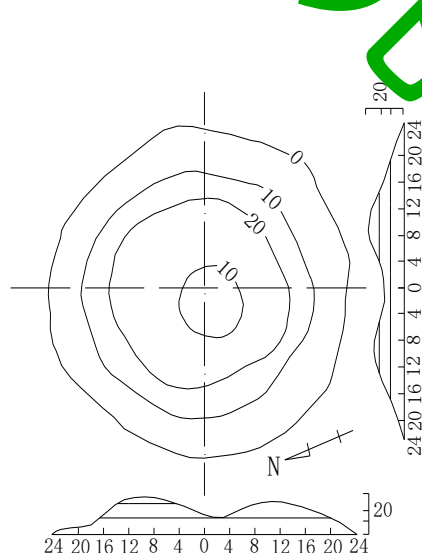


图 2—6 喷头水量分布图

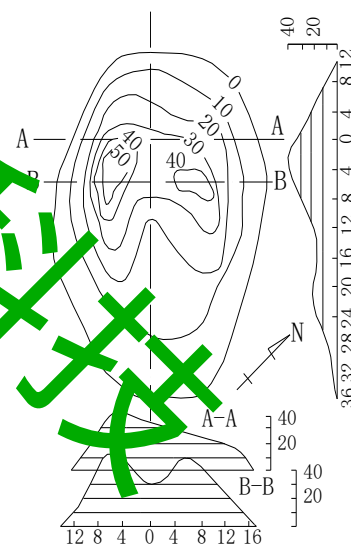


图 2—7 风对喷头水量分布图

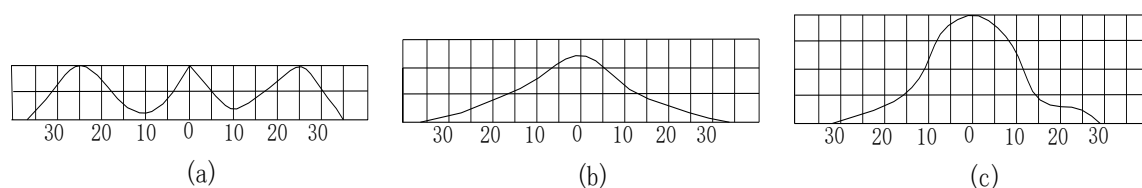


图 2—8 工作压力对水量分布的影响图

(a) 压力过低；(b) 压力适中；(c) 压力过高

2. 喷头的喷洒方式和组合形状

(1) 喷头的喷洒视喷头的类型和附属设备的不同有多种方式,如全圆喷洒、扇形喷洒、矩形喷洒、带状喷洒等。一般情况下使用全圆喷洒,在田边、路旁或房屋附近有时使用扇形喷洒。

(2) 喷头的组合形状也称布置形式,一般用相邻 4 个喷头组成的平面图形表示。喷头的基本布置形式有两种,矩形组合和平行四边形组合。矩形组合用喷头沿支管布置的间距 a 、相邻两支管的布置间距 b 表示,如图 2-9。平行四边形组合除用喷头间距 a 及支管间距 b 外,还需增加两相邻支管上喷头偏移的距离 e ,如图 2-10。

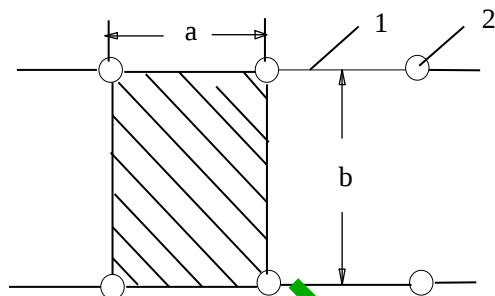


图 2-9 矩形组合

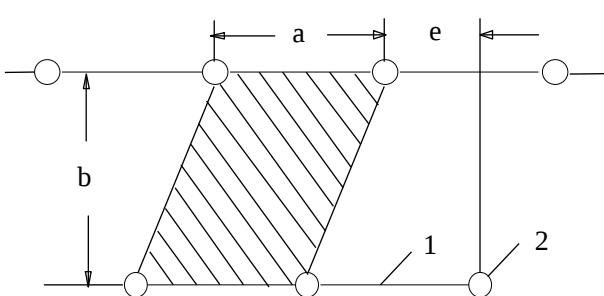


图 2-10 平行四边形组合

图中: 1——支管, 2——喷头

一般情况下,无论是矩形组合还是平行四边形组合,应尽可能使支管间距 b 大于喷头间距 a ,以利于节省支管(对固定式喷灌系统),或避免频繁移动支管(对于半固定式、移动式喷灌系统)。在有稳定风向时,宜采用 $b > a$ 的组合并使支管垂直风向,支管与风向的夹角大于 45° 。当风向多变时,应采用等间距,即 $a=b$ 的组合,矩形布置变成了正方形布置,如图 2-11。当平行四边形布置的 $a=b$ 时,则平行四边形分为两个面积完全相等的等腰三角形,亦称等腰三角形组合,如图 2-12。

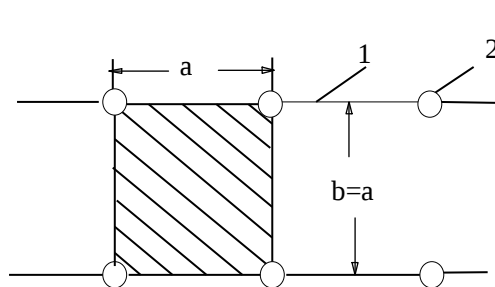


图 2-11 正方形组合

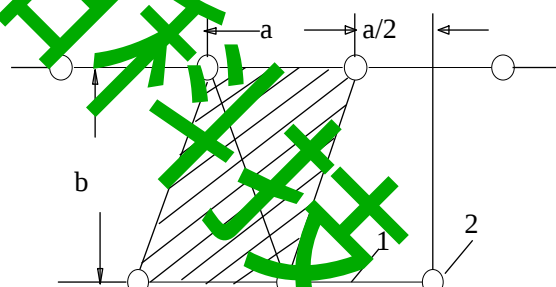


图 2-12 等腰三角形组合

图中: 1——支管, 2——喷头

(二) 设计喷灌强度

当喷洒水利用系数近似为 1 时,设计喷灌强度可用下式求取:

$$\rho = 1000Q/A \quad (2-39)$$

式中: ρ ——设计喷灌强度, (mm/h);

Q ——各同时喷洒喷头的流量和 (m³/h);

A ——各喷头同时喷洒时地平面上的湿润面积, (m²)。

如果风速小于 0.1m/s, 喷头参数也已确定, 则单个喷头独立喷洒设计喷灌强度为:

$$\rho_s = 1000q / \pi R^2 \quad (2-40)$$

式中 ρ_s ——无风情况下单喷头全圆喷洒的设计喷灌强度 (mm/h);

q ——喷头流量 (m³/h);

R ——喷头射程 (m)。

当风速不超过 1 m/s 时,湿润面积较无风时并无显著缩小,所以在设计风速小于或等于 1 m/s 的情况下,仍用上式计算。

当风速超过 1 m/s,多喷头设计喷灌强度可以通过修正 ρ_s 的方法用下式计算:

$$\rho = Kw C_{\rho} \rho_s \quad (2-41)$$

式中 ρ ——组合喷灌强度 (mm/h);

C_{ρ} ——组合系数,根据表 2-10 的公式计算;

Kw ——风系数,根据表 2-11 的公式计算;

ρ_s ——见式 2-40,也可由喷头性能表查出。

表 2-10 不同运行情况下的组合系数 C_{ρ} 值

运行情况	C_{ρ} 值
单喷头全圆喷洒	1
单支管多喷头同时全圆喷洒	$\pi / (\pi - \frac{\pi}{90} a \operatorname{arccos} \frac{a}{2R} + \frac{a}{R} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{2R} \right)^2})$
多支管多喷头同时全圆喷洒	$\frac{\pi R^2}{ab}$

对于单支管多喷头同时全圆喷洒的 C_{ρ} 值,除用表 2-1 的公式计算外,也可用图 2-13 中的 C_{ρ} - a/R 曲线求取。

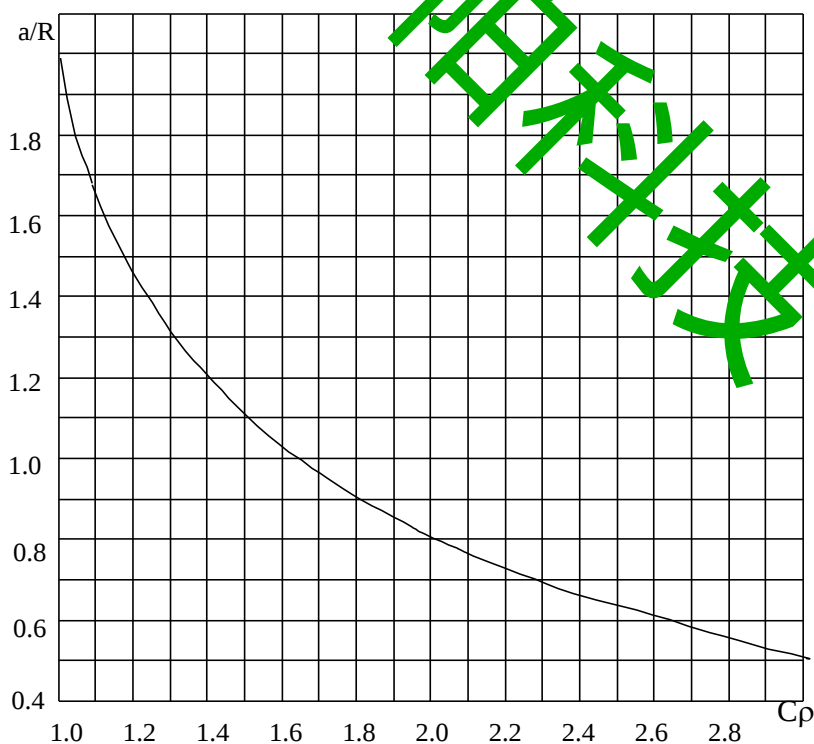


图 2-13 单支管多喷头同时全圆喷洒的 C_{ρ} - a/R 曲线

表 2—11 不同运行情况下的风系数 Kw 值

运行情况		Kw
单喷头全圆喷洒		$1.15v^{0.314}$
单支管多喷头同时全圆喷洒	支管垂直风向	$1.08v^{0.194}$
	支管平行风向	$1.12v^{0.302}$
多支管多喷头同时全圆喷洒		1

注：式中 v 为风速（m/s）

（三）喷灌均匀度

喷灌均匀度是指喷灌面积上水量分布的均匀程度。控制均匀度的方法：

1. 选用喷头应质量合格，性能良好，雨量分布图形合理。
2. 压力控制

《喷灌工程技术规范》中要求在设计风速下，喷灌均匀度系数不应低于 75%，对于行喷式喷灌系统，不应低于 85%。规划设计中使系统中各喷头的工作压力尽量限定在一定范围内，从而使喷头的流量误差限定在一定范围内，保证喷洒的均匀性。

《规范》中规定，同一支管上任意两个喷头之间的工作压力差应在设计喷头工作压力的 20% 以内，任意两个喷头的流量差在设计流量的 15% 以内，从而保证了支管上的流量均匀。

3. 间距控制，即合理确定组合间距

（四）组合间距的确定

喷头的组合间距与喷头射程有关，也受喷灌强度的制约，且有一定均匀度要求，因此，组合间距的确定，应在保证喷灌质量的前提下，与喷头的选择结合进行。

确定喷头组合间距的常用方法有 3 种，第一种是先选定喷头及其参数，再定组合间距，然后验算是否满足喷灌质量的要求；第二种是先确定控制喷灌质量的参数，再据以选择喷头及参数，然后确定组合间距；第三种是先确定组合间距，再按喷灌质量要求找出控制条件，然后据以选择喷头及其参数。

第一种方法的优点是对喷头的品种规格有多少要求不高，缺点是不能避免试算；第二种方法是由第一种方法改进而来，可避免试算，在优化设计中使用也较方便；第三种方法的优点是对管道的规格有多少要求不高，也可避免试算，缺点是要求有足够多的喷头。因此在喷头、支管、干管规格较少或不齐全时以采用第二种方法较好；在有足够多的品种规格可供选择时，用第三种方法最方便。当然对有经验的设计人员来说，无论采用哪一种方法，均可得到满意的结果。本教材只介绍第一种方法，其他方法可参考其他相关资料。

1. 选择喷头及其参数

喷头参数包括工作参数和性能参数，工作参数指喷头的工作压力和口径，性能参数指喷头的流量和射程。喷头的工作参数确定后，性能参数也就随之确定。

选择喷头时要满足作物对雾化程度的要求。

- （1）当灌区土壤粘重时，应注意选择 ρ_s 值较小的一组喷头参数。
- （2）当灌溉季节风速较高时，选择的喷头参数应使 ρ_s 较小。
- （3）在相邻支管上多喷头同时喷洒的情况下，要求要小，在只有一条支管上的喷头同

时喷洒的情况下， ρ_s 应较小，没有相邻喷头同时喷洒的单喷头运行情况， ρ_s 可较大。

(4) 在地形坡度较大时，应选 ρ_s 小的喷头性能参数。

2. 确定间距射程比、计算组合间距

合理的组合间距应使喷洒均匀度满足要求，并做到经济合理。表 2—12 中列出在满足均匀系数 $C_u=75\%$ 条件下的最大组合间距射程比，可供参考使用。

如果支管不平行也不垂直风向，则应视支管与风向的夹角 β 对 K_a 、 K_b 进行调整，或按表中间距射程比进行等间距布置。

表 2—12 喷头的最大间距射程比

设计风速 m/s	等间距布置时 最大间距射程比	不等间距布置最大间距射程比	
		垂直风向	平行风向
0.3~1.6	1.1~1	1	1.3
1.6~3.4	1~0.9	1~0.8	1.3~1.1
3.4~5.4	0.9~0.7	0.8~0.6	1.1~1

间距射程比 K_a 、 K_b 选定以后，按下列公式计算组合间距：

$$a=K_a R \quad (2-42)$$

$$b=K_b R \quad (2-43)$$

计算得到 a 、 b 后，还应根据管道的规格长度进行调整。移动支管的规格长度多为 4、5、6m，喷头间距 a 应向最近的节长整数倍调整。带短接管的管道 a 值应该调整为节长整数倍加短接管长。固定式支管上喷头间距 a 和支管间距 b ，也应根据所用管道的规格作出类似的调整。调整后，需要校核实际使用的间距射程比是否超过表列数值，如超出表列数值，需重新调整间距。

3. 验算设计喷灌强度

在选喷头、定间距的过程中雾化指标和均匀度已满足了要求，但还需校核组合喷灌强度是否满足要求，对于坡地，还需要按表 2—13 进行修正。验算的公式为

$$\rho \leq \rho_{允} \quad (2-46)$$

式中： $\rho_{允}$ —土壤的允许喷灌强度，可参看表 1-6。

表 2-13 坡地允许喷灌强度降低值

地面坡度 (%)	允许喷灌强度降低 (%)
<5	
5~8	20
9~12	40
13~20	60
>20	75

【例】某灌区采用移动管道式喷灌系统，单支管轮灌，地面平均坡度 6%，土质为壤粘土，作物要求雾化指标不小于 3500，灌溉季节常见的风速不大于 3m/s，风向多变，试选择喷头并计算组合间距。

解：(1) 选择喷头及其参数：

选 PY120 喷头，工作压力为 $P=300\text{KPa}$ ，嘴径 $D=8\text{mm}$ ，此时射程 $R=20\text{m}$ ，流量 $q=3.94\text{m}^3/\text{h}$ ， $\rho_s=3.13\text{mm/h}$ 。

$$h_p/d=100 \times 300/8=3750>3500$$

满足雾化指标要求。

(2) 选间距射程比，计算组合间距：

因无固定风向,喷头用等间距布置,由表 4-5 间距射程比为 1~0.9,选 $Ka=Kb=0.9$,由式 (2-42) 计算得

$$a=b=0.9 \times 20 = 18(\text{m})$$

选三节 6m 长的铝管为移动支管的基本单元,其中一节带阀管,亦正好为 18m, a 、 b 不需调整,可以满足 $C_U \geq 75\%$ 的要求。

(3) 验算设计喷灌强度:

按最不利情况考虑,当风向变化至平行支管时喷灌强度最大,由表 2-11 查得

$$K_w = 1.12v^{0.302}$$

将设计风速代入得 $K_w = 1.12 \times 3^{0.302} = 1.56$

又由表 2-10 查得单支管多喷洒情况下 C_p 的计算公式并以 $a=18\text{m}$ 、 $R=20\text{m}$ 代入,得

$$C_p = 1.81$$

壤粘土的允许喷灌强度为 10mm/h,地面坡度为 5~8%时应降低 20%,所以

$$\rho_{允} = 10 (1 - 20/100) = 8\text{mm/h}$$

将 $K_w = 1.56$, $C_p = 1.81$, $\rho_s = 3.13\text{mm/h}$ 带入式 (2-41) 得

$$\rho = 1.56 \times 1.81 \times 3.13 = 8.84 (\text{mm/h}) > 8 (\text{mm/h})$$

因 $\rho > \rho_{允}$, 喷灌强度不符合要求,故需重选喷头及其参数。

(4) 重选喷头进行各项计算:

改用 PY120 喷头,另一组参数 $P=300\text{Kpa}$ 、 $d=7\text{mm}$ 、 $R=19\text{m}$ 、 $q=2.96\text{m}^3/\text{h}$ 、 $\rho_s=2.63\text{mm/h}$ 。此时

$$h_p/d = 100 \times \frac{300}{7} = 4285.7 > 3500$$

雾化程度符合要求。

选 $Ka=Kb=0.9$, 得 $a=b=0.9 \times 19 = 17.1\text{m}$, 按管道规格长度调整为 $a=b=18\text{m}$, 此时的间距射程比为

$$K'_a = K'_b = 18/19 = 0.947$$

不超过表列数值,因此均匀度仍满足要求。

因 K_w 只与风速有关,所以 $K_w=1.56$ 不变, C_p 值改用 $K'_a=0.947$ 及 $a=18\text{m}$ 、 $R=19\text{m}$ 代入公式,得

$$C_p = 1.72$$

将各已知数据代入式 3, 得:

$$\rho = 1.56 \times 1.72 \times 2.63 = 7.06 (\text{mm/h}) < 8 (\text{mm/h})$$

因 $\rho < \rho_{允}$, 喷灌强度符合要求,所以可选定 PY120 喷头,其工作压力为 $P=300\text{kPa}$, 喷嘴直径 $d=7\text{mm}$. 组合间距确定为 $a=b=18\text{m}$ 。

二、管道系统设计和管道水力计算

管道系统设计在各级管道的平面布置方案确定后进行,内容包括各级管道的管材和管径选择、各级固定管道的纵剖面设计、管道系统的结构设计和管系各控制点的压力计算。

(一) 管材和管径的选择

1. 管材的选择

管材的选择应当根据当地的具体情况如地质、地形、气候、运输、供应以及使用环境和工作压力等条件,结合各种管材的特性以及使用条件进行选择。

一般情况下,对于地理的固定管道,应优先选用耐腐蚀的钢筋混凝土管、钢丝网水泥管、钢管、铸铁管和硬塑料管。近年来,国内修建的喷灌工程,多使用塑料管作为地理管道。选用塑料管时应注意到,不同材质的塑料管在几何尺寸相同的情况下可承受的工作压力相差

甚远，特别是在使用聚乙烯管时，一定要注意是否达到喷灌管道系统所要求压力的要求。用于喷灌埋地管道的塑料管，最好选用硬聚乙烯管。

对于地面移动管道，应优先采用快速接头的薄壁铝合金管。采用薄壁镀锌钢管时，要特别注意镀锌层的厚度和均匀度是否达到要求。塑料管道经常暴露在阳光下使用，易老化，缩短使用寿命，因此，地面移动管道最好不采用塑料管。

2. 管径的选择

在管道系统布置以及喷灌工作制度确定之后，各级各段管道的长度以及通过的流量便为已知，这时可将各管道的流量按轮灌顺序列成表格，据以进行管道水力计算和选择管径。由于每一条管道，以及同一条管道的不同管段在轮灌过程中流量有变化，一般应取各管或管段中通过的最大流量为该管或管段的设计流量。有时最大流量通过的时间在设计灌水周期内所占总过水时间比例很小，可取次大流量作为设计流量。

(1) 支管管径的选择。管径选得越大，管道沿程水头损失越小，同一支管上各喷头的压力差也越小，各喷头的喷水量也就越接近。但若管径取得过大，则会增加支管的投资造价，对于移动支管来说还会增加拆装、搬移的劳动强度。管径选得越小，管道沿程水头损失越大，各喷头压力差和喷水量的差别就越大，影响喷灌质量。为了保证同一支管上各喷头实际喷水量的相对偏差不超过10%，《喷灌工程技术规范》规定：“同一支管上任意两个喷头之间的工作压力差应在喷头设计工作压力的20%以内”。

喷头选定后，喷头设计工作压力可从喷头性能表中查得。两喷头进水口高程差（实际上就是两喷头所在地的地面高差）可以由系统平面布置图中查得，则 h_w 即可求出。利用公式(2-19)，在其它参数已知的情况下反求管径 D ， D 就是该支管可选用的最小管径的计算值，按照管材的标准将计算管径规范取整。另外，支管管径选择还应考虑到施工和管理运行的方便，对半固定、移动式喷灌系统的移动支管，力求使各支管采用统一的规格，对于较大的喷灌系统，若不能全灌区支管管径一致，至少也应做到在一个作业区内统一，最大管径一般不超过90mm。对固定的地理支管，管径可以变化，但规格不宜太多。

(2) 干管管径的选择

干管是指支管以上的各级管道。干管管径是在满足下一级管道流量和压力的前提下按年费用最小的原则选择的，这种管径称为经济管径。年费用包括年投资和年运行费，确定经济管径，需要分别计算出多种管径的年投资和年运行费，然后再求得使两种费用之和为最低。由于喷灌管道系统年工作小时数少，所占投资比例又大。因此一般在喷头所需压力能得到满足的情况下，选用尽可能小的管径是经济的，但一般金属管道中流速应控制在2.5~3 m/s以下，塑料管道中流速应控制在2.0 m/s左右。可以按计算出的管径应该按照规格取整。

对于规模不大的喷灌工程，也可用经验公式(2-25，2-26)来估算干管的管径。

[例 4-] 有一喷灌干管，拟采用铸铁管，设计流量为80m³/h，试用经验法确定其管径。

解：，因 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}<120\text{ m}^3/\text{h}$ ，故按公式(2-25)计算

$$D=13\sqrt{Q}=13\sqrt{80}=116.3\text{ mm}$$

查铸铁管规格表，选定与计算值接近的 $D=125\text{ mm}$ 的管子。

(二) 管道纵剖面设计

管道纵剖面设计应在喷灌系统平面布置图绘制后进行。如果系统的平面布置图不是在地形图上绘制，则应有各固定管道沿线的地形剖面图。

管道纵剖面设计的主要内容是确定各级固定管道在立面上的位置及各种管道附件的位置。一般情况下，应尽量使管道在立面上顺直，并要避免大量开挖。在管道沿线地面起伏较大时，地埋固定管道也可随地面起伏，但要避免山峰状隆起。在起伏的管道上，高处的位置

要考虑设置进排气阀，低谷的位置则要考虑设置泄水阀。

对于埋地管道的坡度，一般不得超过 1:1，通常控制在 1:1.5~1:3 以下，管径小、土质好时坡度可陡一些，反之则应缓一些。

埋地管道的埋深（管顶距地面的垂直距离），应当根据当地的气象条件、地面荷载和机耕要求确定。管道在公路下埋深为 0.7~1.2 米；在机耕道下埋深为 0.6~0.9 米；在北方寒冷地区埋深应在最大冻土层深度以下，若浅埋管道，必须采取可靠的防冻措施。

管道纵剖面设计后绘出管道纵剖面图。管道纵剖面图包括输水干管、配水干管、分干管，以及固定埋地支管的纵剖面图。有时喷灌系统埋地管道很多，可选择有代表性的管道，绘制纵剖面图。管道的纵剖面图通常高程比例尺取 1:100 或 1:200；水平比例尺取 1:1000 或 1:2000。

管道的纵剖面图应绘出地面线、管底线，并标出控制阀、三通、四通、弯头、异径管、进排气阀、泄水阀、安全阀、伸缩节等所在位置。如果管道中设有镇墩和支墩，亦应标注位置。管道纵剖面图的底栏，一般应包括桩号、地面高程、管底高程和挖深等项。

（三）管道系统结构设计

在各级管道的平面位置和立面位置确定后，进行管道系统的结构设计，设计要点如下：

1. 确定竖管高度应以作物植株不阻碍喷头的喷洒为最低限制，常用的竖管高度在 0.5~2 米。当竖管高度超过 2 米或使用的喷头较大时，为使竖管稳定，应增设竖管支架或打竖管镇墩。

2. 在支管入口处应安装控制阀门，其后安装压力表，以保证喷头工作压力和流量的稳定。当干管固定、支管移动时，压力表随支管移动。

3. 埋地固定管道上的阀门，应修建阀门井，阀门井的尺寸应便于操作检修。

4. 对温度和不均匀沉陷比较敏感的固定管道，应设置柔性接头。柔性接头的设置间距大小视管材、管径、地形、地基等情况而定。对于长管道，特别是塑料管要考虑热胀冷缩问题，一般 100 米左右应设置伸缩节；以消除轴向力，防止管道破坏。对于管基础软弱或湿陷性地基应采取基础处理和采取防沉陷措施。

5. 对于管径较大或有一定坡度的固定管道，为了固定管道，使管道在任何方向不发生位移，均应设置镇墩和支墩。

支墩用来支持管道并起传递所受垂直压力的作用，其间距可取管径的 3~5 倍。支墩的尺寸视管径的大小及土质好坏而定。当采用混凝土预制块时，一般墩长 0.15~0.30 米，宽 0.3~1.0 米。支墩的墩基应设置在坚实的土质上，在支墩与管道的接触面上，应加滑动垫片或滑油，以允许管段沿轴线方向滑动。

镇墩通常设置于管道的转弯处及某些长管段（管长超过 30 米），它的作用是承受由管道传来的各种力，使管段不发生任何位移。镇墩多用块石混凝土或混凝土建造，厚度 0.4~0.7 米。镇墩的基础应座落在冻土层以下的坚实土层上，镇墩尺寸的确定，应分析作用于镇墩上的各种力的组合情况，并校核其对抗滑和抗倾斜的稳定性及地基承载能力。其具体设计可参阅有关书籍。

管道系统结构确定后，应以透视图的形式绘制出管道系统结构示意图，在图上标出各种管道的材质、管径、长度、各种管件和附件的规格以及材质。绘制管道系统结构示意图时，应该使喷灌系统的平面图与固定管道纵剖面图相一致。

（四）管道系统各控制点压力的确定

管道系统各控制点的压力是指支管、分干管、干管的入口以及其它特殊点的测管水压。在这些控制点处通常设有调节阀门和压力表，以保证系统正常运行。计算各控制点在各个轮灌组时的压力水头，一方面为选择水泵提供依据，另一方面也给系统运行提供基础数据。

（五）喷灌管道水力计算

1. 喷灌系统的设计流量

系统设计流量在设计的最初阶段根据系统内灌水临界期作物的日耗水量、喷洒水利用系数、作物亩数、系统日工作小时数等参数确定，其中只有系统日工作时数可以做些调整，其它参数一般不变。计算公式如下：

$$Q = \frac{0.667AE_p}{t_{\text{日}}\eta} \quad (2-43)$$

式中：Q——系统设计流量（m³/h）；
A——系统控制面积（亩）；
E_p——作物的日耗水量（mm）；
t_日——系统的日工作小时数；
η——喷洒水利用系数

在系统管道、喷头布置以后进行设计流量的准确计算，其计算公式如下：

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2-44)$$

式中：Q——系统设计流量（m³/h）；
q_i——设计工作压力下的喷头流量（m³/h）；
n——同时工作的喷头数。

按照上式计算出来的准确流量应与（2-43）计算的结果相吻合。如果差距较大，应给予调整。

2. 喷灌系统的设计水头

$$H = Z_d - Z_s + h_s + h_p + h_f + h_j \quad (2-45)$$

式中：H——系统设计水头（m）；
Z_d——典型喷点的地面高程（m）；
Z_s——水源水面高程（m）；
h_s——典型喷点的竖管高度（m）；
h_p——典型喷点喷头的工作压力水头（m）；
h_f——由水泵吸水管至典型喷点的喷头进口处之间管道的沿程水头损失（m）；
h_j——由水泵吸水管至典型喷点的喷头进口处之间管道的局部水头损失（m）。

3. 各级管道水头损失计算

4. 管道管径、管长校核

5. 机组选型计算，

四、 喷灌工作制度

喷灌工作制度包括喷头在工作点上喷洒的时间、每日可喷洒的工作位置数、同时喷洒的喷头数和轮灌方案。在选择完喷头、确定好组合间距后，按组合间距将支管、喷点、干管、

控制设备等绘制于地形图上，形成管系平面布置图，然后拟定喷灌工作制度。

（一）喷头在工作点上喷洒的时间

喷头在工作点上喷洒的时间与灌水定额，喷头参数和组合间距有关，可用下式求得：

$$t = abm / 1000q \quad (2-46)$$

式中 t ——喷头在工作点上喷洒的时间(h)

a ——喷头间距(m)

b ——支管间距(m)

m ——设计灌水定额(mm)

q ——喷头流量(m^3/h)

（二）每日可喷洒的工作位置数

每日可喷洒的工作位置数用下式求出：

$$n = t_d / (t + t_m) \quad (2-47)$$

式中 n ——每日可喷洒的工作位置数；

t_d ——每日喷灌作业时间 (h)

t_m ——移动、拆装和启闭喷头的时间 (h)。

如果拆装、移动和启闭可不占用喷灌的作业时间，此时 t_m 为零。

（三）同时喷洒的喷头数

对于每一喷头独立启闭的喷灌系统，每次同时喷洒的喷头数用下式计算：

$$n_p = N / nT \quad (2-48)$$

式中 n_p ——每次同时喷洒的喷头数；

N ——灌区内喷点总数

n ——每日喷洒的工作位置数

T ——设计灌水周期 (d)

注意： n 、 n_p 都应该进行取整处理。

（四）轮灌方案

轮灌可使管道的利用率提高，从而降低设备投资。确定轮灌方案时，应考虑以下要点：

1. 轮灌的编组应该使操作简单方便，便于运行管理。
2. 各轮灌组的工作喷头总数应尽量接近，使系统的流量保持在较小的变动范围之内。
3. 轮灌编组应该有利于提高管道设备利用率，应考虑流量分散原则，避免流量集中于某一条干管。
4. 轮灌编组时，应使地势较高或路程较远组别的喷头数略少；地势较低或路程较近组别的喷头数略多，以利于保持水泵始终工作在高效区。

[例]有一块长方形耕地，布置固定管道式喷灌系统，水源和泵站位于地块一侧的中部，干管布置在田块中央，进行编组后需要两条支管同时工作，每条支管装有 5 个流量为 q 的喷头。按两个工作方案考虑其轮灌顺序，支管移动中的两种极限情况如图 2—14 所示。

方案（一）。两条支管在干管的同一端同时向另一端移动，其支管移动过程中的两种极限情况是：（1）干管 L_{ab} 段和 L_{bc} 段，均为 $Q=0$ 。（2）干管 L_{ab} 段和 L_{bc} 段，流量均为两条支管的流量和，即 $Q=10q$ 。

方案（二）。两条支管分别由干管的两端开始工作，相对移动，其支管移动过程中的两种极限情况是：（1）干管 L_{ab} 段，流量为一条支管的流量，即流量 $Q=5q$ ；干管 L_{bc} 段，流量 $Q=5q$ 。（2）干管 L_{ab} 段，流量均为两条支管的流量和，即 $Q=10q$ ；干管 L_{bc} 段， $Q=0$ 。

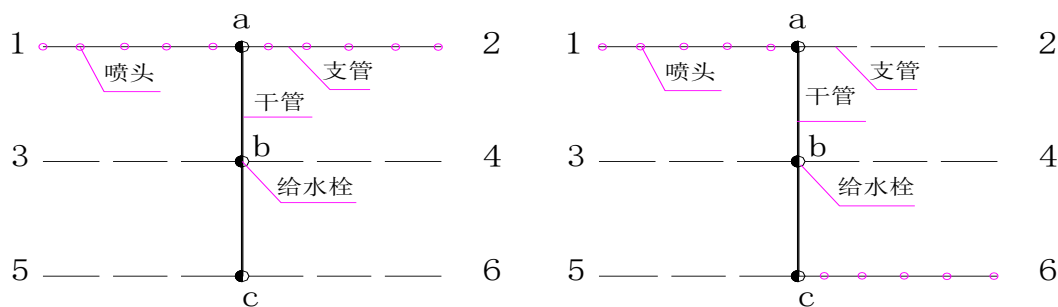


图 2—14 支管移动过程中的两种极限情况

干管的设计流量应取两种极限情况的大值。方案（一）中，干管 Lbc 的设计流量应为 $10q$ ，而方案（二）中干管 Lbc 的设计流量为 $5q$ 。显然，经比较方案（二）较优。进行轮灌编组和轮灌顺序的确定是一项琐碎而细致的工作，应认真进行多方案比较，从中选择最佳方案。

（五）随机用水的喷灌设计流量计算

当喷灌工程控制面积较大，灌区内用水单位较多，作物的种类较多，各用水单位和各种作物需要灌水的时间和用水量的任意性较大，难以执行统一编制的轮灌制度。在这种情况下，可将管网上各种取水口的启闭看成是一个个独立的随机事件，按随机用水推求各级管道的设计流量，其公式为：

$$Q = \sum_{i=1}^j \frac{q_i}{\sqrt{1 - p_i}} + U \sqrt{\sum_{i=1}^j p_i p_i' q_i^2} \quad (2-49)$$

式中：Q——管道的设计流量（ m^3/h ）；

n_i ——某一等级取水口的数目；

p_i ——某一等级取水口的开启机率；

p_i' ——某一等级取水口的不开启机率， $p_i' = 1 - p_i$ ；

q_i ——某一等级取水口的标准流量（ m^3/h ）；

U——正态分布函数中的自变量；

j——取水口等级数目。

1. 取水口开启机率 p

表示取水口的开启时间占日灌水时间的比例，可按取水口控制面积内需要的水量与取水口可提供的水量的比值计算，

$$p = \frac{0.667 E_p \cdot A}{n \cdot q \cdot t_r} \quad (2-50)$$

式中： E_p ——作物日需水量（ mm/d ）；

A——取水口控制面积（亩）；

n——取水口数目；

q——取水口标准流量（ m^3/h ）；

t_r ——日喷灌工作时间（h）。

管网中每一等级取水口的开启机率均应小于 1。 p 愈小，随机性愈大，同时每一取水口流量增大，管网流量亦随之增大。

2. 正态分布函数中的自变量 U

$$P(x_i \leq X) = \Phi\left(\frac{X - np}{\sqrt{npq}}\right) = \Phi(U) \quad (2-51)$$

式中：X——为灌溉时取水口可能开启的数目；

$P(x_i \leq X)$ ——为取水口开启数小于或等于X个的累积概率。

累积概率P表示同时开启的取水口不超过某一数目（或流量不超过某一数值）出现的机会，反映了其保证程度，称为**设计流量保证率**。管网愈大，取水口愈多，P值可愈小，但一般以不低于80%为宜；当取水口数目 $n \leq 5$ 时，取 $P=100\%$ ，此时 $Q = nq$ 。

U值可根据P值从标准正态分布函数值表中查取，见表2-13。

表 2-13 U 值

P (%)	70	80	85	90	95	99	99.9	99.997
U	0.525	0.842	1.033	1.282	1.645	2.37	3.09	4.5

3. 喷灌随机用水特点

喷灌系统中一种随机用水是较大的灌区内有若干分区，用水单位较多，独立性较强，但基本上是在一个时间段内统一灌溉，而灌水时间前后和每天取水口开启早晚有所不同，这种情况下开启机率一般可定为0.75左右，设计流量保证率P值可取85%，相应的U值为1.033。此时计算出的设计流量较不随机情况略有放大（约为1.2倍左右）。

喷灌系统中另一种随机用水是露地蔬菜或大棚作物的随机用水（大棚内的灌溉在大多数情况下是微灌），这是一种有限而无峰值的用水。一是可能限制在一天内的若干时间内取水（如白天或6:00~20:00等），一是限制某些取水口在供水时间内的某一时段内可开启（如一半大棚上午开，一半大棚下午开），而在开启时间内取水口的流量是连续的，总流量没有明显峰值。此种情况开启机率不能如上一规定为0.75，应根据实际情况计算确定，设计流量保证率在限定条件下可提高，如取95%，相应的U值为1.645。

第五节 微灌工程设计

一、微灌工程设计的技术参数

微灌工程设计的主要技术参数包括灌溉设计保证率、微灌作物耗水强度与灌溉补充强度、土壤湿润比、灌水均匀度、灌溉水有效利用系数、灌水器额定工作水头和灌溉制度等，它们直接影响着微灌工程的规划设计、运行管理、灌水质量和工程效益。除微灌工程灌溉设计保证率的规定和计算方法与喷灌工程相同外，其它参数的要求如下。

1、微灌设计耗水强度与设计灌溉补充强度

(1) 耗水强度

微灌只湿润部分土壤，与地面灌溉和喷灌相比，作物耗水量的主要用于本身的蒸腾耗水，地面蒸发损失较小。在无实测资料时，可通过下述方法计算：

$$E_a = k_r E_c \quad (2-52)$$

$$k_r = \frac{G_e}{0.85} \quad (2-53)$$

式中： E_a ——微灌作物耗水强度，mm/d；

k_r —作物的遮荫率对耗水量的修正系数, 当由计算出的数值大于 1 时, 取 $k_r=1$;

G_e —作物遮荫率, 又称作物覆盖率, 随作物种类和生育阶段而变化, 对于大田和蔬菜作物, 取 0.8~0.9, 对于果树作物, 根据树冠半径和果树所占面积计算确定。

E_c —作物需水量, mm/d。

(2) 设计耗水强度 I_c

设计耗水强度是指在设计条件下微灌的作物耗水强度, 一般取设计年灌溉季节月平均耗水强度峰值作为设计耗水强度。在无资料时, 可参阅表 1 选取, 但要根据本地区经验进行论证后选取。

表 2—14 设计耗水强度 I_c 建议值 (mm/d)

作物	滴灌	微喷灌
果树	3-5	4-6
葡萄、瓜类	3-6	4-7
保护地蔬菜	2-3	/
露地蔬菜	4-7	5-8
粮、棉、油等作物	4-6	/

(3) 设计灌溉补充强度

设计灌溉补充强度是指在设计条件下微灌的灌溉补充强度。微灌的设计灌溉补充强度取决于微灌设计耗水强度、灌溉保证率、降雨量和土壤盐分等条件, 设计灌溉补充强度为:

$$I_a = (1.0 \sim 1.1) I_c \quad (2-54)$$

式中: I_a —微灌设计灌溉补充强度, mm/d;

当有其它来源补充作物耗水量时, 如降雨、土壤原有含水量、地下水补给等, 微灌只是补充作物耗水强度不足部分

设计灌溉补充强度是确定微灌系统最大输水能力的依据, 设计灌溉补充强度越大, 系统的输水能力也越大, 保证程度越高, 但系统的投资也越高, 反之亦然。因此, 在确定设计灌溉补充强度时要考虑作物对水分的需求情况, 又要考虑经济上合理可行。

2、微灌土壤湿润比

微灌时被湿润的土体占计划湿润总土体的百分比称为土壤湿润比。在实际应用中, 常以地面以下 20~30cm 处的湿润面积占总灌水面积的百分比表示。

湿润比的作用是计算灌溉定额 (微灌属于局部灌溉)。

(1) 计算土壤湿润比的方法

1) 对于单行直线毛管布置, 其湿润比可按式计算:

$$P = \frac{0.785 D_w^2}{S_e S_l} \times 100\% \quad (2-55)$$

式中: P ——土壤湿润比, %;

D_w ——土壤水分扩散直径或湿润带宽度 (m), D_w 的大小取决于土壤质地、滴头流量和灌水量的大小,;

S_e ——灌水器或出水点间距, m;

S_l ——毛管间距, m;

表 2—15 列出了不同土壤类别、不同灌水器流量和间距时的土壤湿润比, 可供设计微灌系统时查用。

表 2-15 土壤湿润比 P 值

毛管有效间距 $S_L(m)$	对粗中细结构的土壤推荐的毛管上的灌水器或出水点的间距 S_e (m)														
	粗	中	细	粗	中	细	粗	中	细	粗	中	细	粗	中	细
	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	1.3	1.7	1.3	1.6	2.0
	灌水器或出水点流量 q (L/h)														
	<1.5			2.0			4.0			8.0			>12.0		
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1.0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2.0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.4	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3.0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4.0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5.0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6.0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

2)对于双行直线毛管布置(图 2-15),其湿润比可按式计算:

$$P = \frac{P_1 S_1 + P_2 S_2}{S_r} \times 100\% \quad (2-56)$$

式中: S_1 ——对应毛管的窄间距, m; 可根据给定的流量和土壤类别, 查表 2-15 当 $P=100\%$ 时推荐的毛管间距;
 S_2 ——对应毛管宽间距, m;
 P_1 ——与 S_1 相对应的土壤湿润比, %;
 P_2 ——根据 S_2 查表 2-15 所得的土壤湿润比, %
 S_r ——作物行距, m。

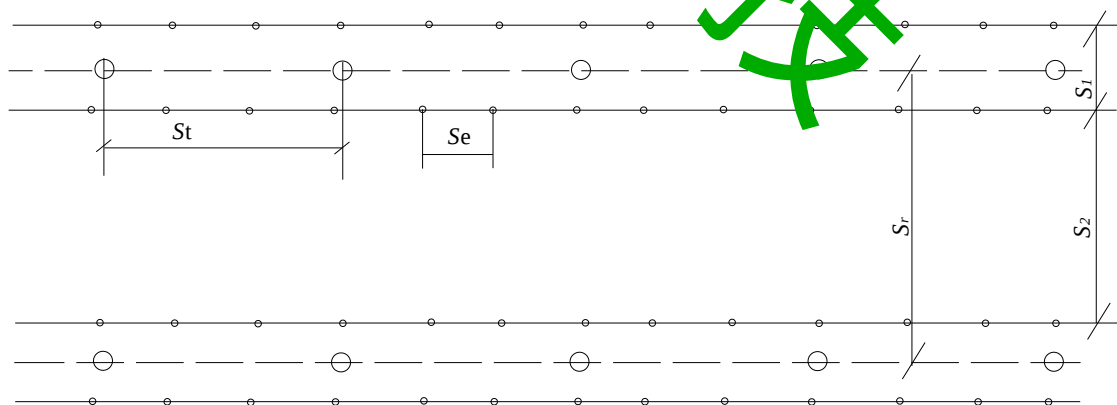


图 2-15 双行直线毛管布置

3)对于微喷灌,其湿润比可按式计算:

① 微喷头沿毛管均匀布置时的土壤湿润比为

$$p = \frac{A_w}{S_e S_l} \times 100\% \quad (2-57)$$

$$A_w = \frac{\theta}{360} \pi R^2 \quad (2-58)$$

式中： A_w —微喷头的有效湿润面积， m^2 ；

θ —湿润范围平面分布夹角，当为全圆喷洒时 $\theta=360^\circ$ ；

R —微喷头的有效喷洒半径， m ；其余符号意义同前。

②一株树下布置 n 个微喷头的土壤湿润比计算公式为

$$p = \frac{nA_w}{S_t S_r} \times 100\%$$

式中： n —一株树下布置的微喷头数目，个；其余符号意义同前。

(2) 设计土壤湿润比

各种土壤和作物的恰当的最小湿润比还没有明确的结论。设计湿润比越大，系统的流量越大，越易满足作物的需水要求，而且微灌的保证程度也越高，但是系统的投资和运行费用也越大，因此，在确定设计土壤湿润比时，不仅要考虑作物对水分的需要，还要考虑到工程的合理性。如果没有试验资料，可参考表 2—16 选取。

表 2—16 微灌设计土壤湿润比建议取值范围

作物	滴灌	微喷灌
果树	25-40	40-60
葡萄、瓜类	30-50	40-70
蔬菜和大田密植作物	50-90	70-100

注：干旱地区取上限值。

3、灌水均匀度

为了保证灌水质量和水利用效率，要求微灌灌水均匀或达到一定的要求，一般用微灌灌水均匀度或灌水均匀系数来表征。影响灌水均匀程度的因素很多，如灌水器工作压力的变化，灌水器的制造偏差，堵塞情况，水温变化，地形变化等。人们一般采用流量偏差来控制设计灌水均匀度。

灌系统是由多个灌水单元（微灌一般指小区）组成的，每个灌水单元中有支管、多条毛管，每条毛管上又有几十个甚至上百个滴头或灌水器，由于水流在管道中流动产生水头损失的缘故，每个灌水器的出流量都是不相同的。当地形坡度为零时，工作水头最大的是距离支管进口最近的第 1 条毛管的第 1 个灌水器，工作水头最小的为距离支管进口最远的一条毛管的最末一个灌水器，微灌系统的灌水均匀程度是由限制灌水单元中灌水器的最大流量差来保证。这个流量的差异，一般用流量偏差来表示：

$$q_v = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_a} \quad (2-59)$$

式中： q_v ——流量偏差；

$q_{\max}$ ——灌水单元中灌水器最大流量， L/h ；

$q_{\min}$ ——灌水单元中灌水器最小流量， L/h ；

q_a ——灌水单元中灌水器平均流量或灌水器设计流量， L/h 。

若选定了灌水器，已知流态指数 x ，则可用下式求出与流量偏差相应的灌水单元中允许的最大水头差。

$$h_v = \frac{q_v}{x} \left(1 + 0.15 \frac{1-x}{x} q_v \right) \quad (2-60)$$

$$\Delta H = h_v \cdot h_d$$

式中：x——灌水器流态指数，约为 0.5；

h_v ——灌水器的工作水头偏差率；

h_d ——灌水器的工作水头

当采用流量偏差来表征灌水均匀度时，我国微灌技术规范建议采用的流量偏差为：

$$q_v = 10 \sim 20\%$$

4、灌溉水利用效率

灌溉水利用效率为满足作物消耗和淋洗的有效水量占灌溉供水量的百分比。微灌工程一般取 $\eta = 0.9 \sim 0.95$ 。

5、灌水器设计工作水头

灌水器的工作水头影响着系统的运行费用，对灌水均匀度也有影响，灌水器的设计工作水头的确定应综合考虑地形、所选用的灌水器的水力性、滴灌管（带）的承压能力、运行费用和灌水均匀度。

6、灌水定额

灌溉定额（灌水深度）就是指土壤中的缺水量等于允许缺水量时而补充土壤缺水量所需要的灌溉水深，实际上就是两次灌溉间土壤最大的允许缺水量，

$$m = 1000 \gamma \cdot z \cdot p(\theta_1 - \theta_2) \quad (2-61)$$

$$\text{或} \quad m = 1000 \cdot z \cdot p(\theta'_1 - \theta'_2) \quad (2-62)$$

式中：m——灌水定额(mm)；

γ ——土壤干容重(g/cm³)；

z——计划湿润层深度(m)，一般果树可取为 0.3~0.6m，蔬菜 0.2~0.3m，果树 1.0~1.2m；

p——设计土壤湿润比；

θ_1 、 θ'_1 ——分别为以干土重%和以土体积%表示的适宜土壤含水量上限，一般取为田间持水量的 85~100%；

θ_2 、 θ'_2 ——分别为以干土重%和以土体积%表示的适宜土壤含水量下限，一般取为田间持水量的 60~80%。

灌水定额除以水层深度（mm）表示外，还常以单位面积的水体积（m³/亩）表示，两者的关系是：3mm=2m³/亩。

7、最大设计灌水周期或间隔

微灌条件下的设计灌水间隔为作物耗水高峰期的允许最大灌水周期间隔，因此：

$$T = \frac{m_{\text{净}}}{I_a} \quad (d) \quad (2-63)$$

灌水间隔与每次的净灌水深度、作物根系深度、水源和管理等有关，对于浅根作物可以采用逐日灌、隔天灌或每周灌 2 次，即采用所谓的高频灌溉。

8、一次灌水延续时间

一次灌水延续时间为通过灌水器将灌水量灌到毛灌水深度所需要的灌水时间。由下式确定

$$t = \frac{m_{\text{毛}} S_e S_l}{q_a} \quad (2-64)$$

式中 t ——一次灌水延续时间, h;

S_e —— 灌水器间距, m;

S_l ——毛管间距, m;

η ——灌溉水利用系数;

q_a ——灌水器流量, l/h。

该式适合于单行毛管直线布置、灌水器间距均匀的情况,对于灌水器间距非均匀安装的情况, S_e 可取灌水器间距的平均值。

9、系统日最大运行时数 C

系统每天运行的最大小时数不应超过 22 小时,剩下 2 小时的非运行时间主要用于系统检修和其它预想不到的停机故障等。为降低系统投资,日最大运行时间不应小于 12 小时。

二、微灌系统的组成

1、微灌系统的组成及各部分的功能

典型的微灌系统通常由水源工程、首部枢纽、输配水管网和灌水器四部分组成。如图 2-16 所示。

水源:江河、渠道、湖泊、水库、井、泉等均可作为微灌水源,但其水质需符合微灌要求。

首部枢纽:首部枢纽包括水泵、动力机、肥料和化学药品注入设备、过滤设备、控制器、控制阀、进排气阀、压力流量量测仪表等。其作用是从水源取水增压并将灌溉水处理成符合微灌要求的水流送到系统中去。

输配水管网:输配水管网的作用是将首部枢纽处理过的水按照要求输送分配到每个灌水单元和灌水器,输配水管网包括干、支管和毛管三级管道。毛管是微灌系统的最末一级管道,其上安装或连接灌水器。

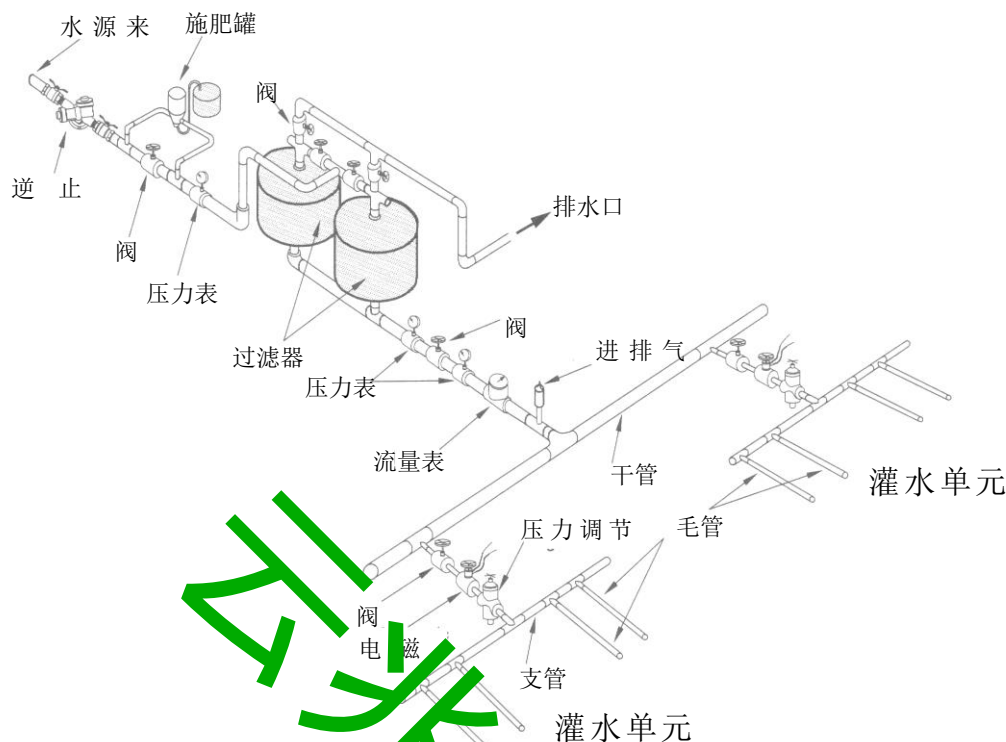


图 2-16 微灌系统组成示意图

灌水器：灌水器是微灌设备中最关键的部件，是直接向作物施水的设备，其作用是消减压力，将水流变为水滴或细流或喷洒状施入土壤，包括微喷头、滴头、滴灌带等。

2.首部枢纽设计

首部枢纽的设计就是正确选择和合理配置有关设备和设施，以保证微灌系统实现设计目标。首部枢纽对微灌系统运行的可靠性和经济性起着决定性的作用。因此，在设计时应给予高度的重视。

(1) 水泵

离心泵是微灌系统应用最普通的泵型，选型一定要使工作点位于高效区。动力机可以是柴油机、电动机等，但应尽量使用电动机驱动。在有足够自然水头的地方可以不安水泵。

(2) 过滤设备

过滤设备的作用是将灌溉水中的固体颗粒滤去，避免污物进入系统，造成系统堵塞。过滤设备应安装在输配水管道之前。选择过滤设备主要考虑水质和经济两个因素。筛网式过滤器是最普遍使用的过滤器，但含有机污物较多的水源使用砂石过滤器能得到更好的过滤和反冲洗效果。含沙量大的水源可采用旋流式水砂分离器，但下游必须配置筛网或砂过滤器。筛网的网孔尺寸或过滤器的砂料型号应满足灌水器对水质过滤的要求，即，对于滴灌，需要把大于灌水器流道直径 1/10 的颗粒全部过滤掉，对于微喷灌，需要把大于灌水器流道直径 1/7 的颗粒全部过滤掉。另外过滤器的过流能力要与水泵流量相适应。

(3) 注肥设备

肥料和化学药品注入设备用于将肥料、除草剂、杀虫剂等直接施入微灌系统，注入设备

应设在过滤设备之前，并且在注肥设备的上游应安装逆止阀。

（4）量测仪表

流量压力量测仪表用于测量管线中的流量或压力，包括水表、压力表等。水表用于测量管线中的流过的总水量，根据需要可以安装于首部，也可以安装于任何一条干、支管上，如安装在首部，须设于肥料注入口之上游，以防止肥料对水表的腐蚀，水表的选择要考虑水头损失值在可接受的范围内。压力表用于测量管线中的内水压力，在过滤器和密封式施肥装置的前后各安设一个压力表，可观测其压力差，通过压力差的大小能够判定施肥量的大小和过滤器是否需要清洗。

（5）控制器

控制器用于对系统进行自动控制，一般控制器具有定时或编程功能，根据用户给定的指令操作电磁阀或水动阀，进而对系统进行控制

（6）控制阀。

阀门是直接用来控制和调节微灌系统压力流量的操纵部件，布置在需要控制的部位上，其型式有闸阀、逆止阀、水动阀、电磁阀等。逆止阀应安装在施肥设备的上游。

（7）进排气阀

进排气阀一般设置在微灌系统管网的高处，或局部高处，首部应在过滤器顶部和下游管上各设一个，其作用为在系统开启管道充水时排除空气，系统关闭管道排水时向管网补气，以防止负压产生；系统运行时排除水中夹带的空气，以免形成气阻。进排气阀的选用，目前可按“四比一”法进行，即进排气阀全开直径不小于排气管道内径的 $1/4$ 。如 100mm 内径的管道上应安装内径为 25mm 的进排气阀。另外在干、支管末端和管道最低位置处应安装排水阀。

3. 微灌管网的特点

微灌系统管网即是由若干个灌水单元组成的，每个灌水单元中有支管、多条毛管，每条毛管上又有几十个甚至上千个滴头或灌水器。

微灌管网设计的目标之一就是保证每个灌水单元内灌水器的出流量基本一致，即保证灌水单元内灌水器的压力变化在允许的范围内。由于一般在支管进口安装有压力调节装置，干管或分干管的管径选择不受灌水单元内所允许的压力变化的影响，管径选择主要基于能耗和管理而定。

4. 灌水器对堵塞的敏感性

为了达到微灌系统要求的低流量出流，灌水器流道断面一般在 1mm 左右，这样小的流道使灌水器极易受堵。灌水器对堵塞的敏感性主要取决于灌水器的流道尺寸和灌水器内的水流速度。

流道过水断面与流道堵塞性的关系是：

- （1） 非常敏感——小于 0.7mm
- （2） 敏感——0.7~1.5mm
- （3） 比较敏感——大于 1.5mm

灌水器的流道或出水孔的断面越大，越不易堵塞，但是对于流量很小的滴头，过大的流道断面，可能因流速过低，使穿过过滤器的细泥粒在低流速区沉积下来，造成局部堵塞，使流量变小，一般要求灌水器内水流流速在 4~6m/s 范围内时，这样可降低堵塞机率。

根据经验，对于滴灌，需要把大于灌水器流道直径十分之一的颗粒全部由过滤器过滤掉，对于微喷灌，需要把大于灌水器流道直径七分之一的颗粒全部过滤掉。

综上所述，在选择灌水器时应遵循以下原则：

- （1） 满足设计湿润比的要求。在毛管和灌水器布置方式确定的情况下，选择合适的灌水器类型和流量，使其满足设计湿润比的要求。

(2) 灌水器流量应满足灌溉制度的要求。在水量平衡的前提下，如在规定的灌水周期内和系统日最大允许小时数内，不能将整个灌溉面积灌完，就需调大滴头流量或重新选择流量比较大的灌水器。

(3) 应尽可能选用紊流型灌水器。

(4) 应选用制造偏差系数 C_v 值小的灌水器。

(5) 在温度变化大的地区，宜选用流量受水温变化影响小的灌水器。

(6) 选择抗堵塞性能强的灌水器。

(7) 选择寿命长而价格低的灌水器。

(8) 选择易清洗、更换方便的灌水器。

一种灌水器不可能满足所有的要求，在选择灌水器时，应根据当地的具体条件选择满足主要要求的品种和规格的灌水器。

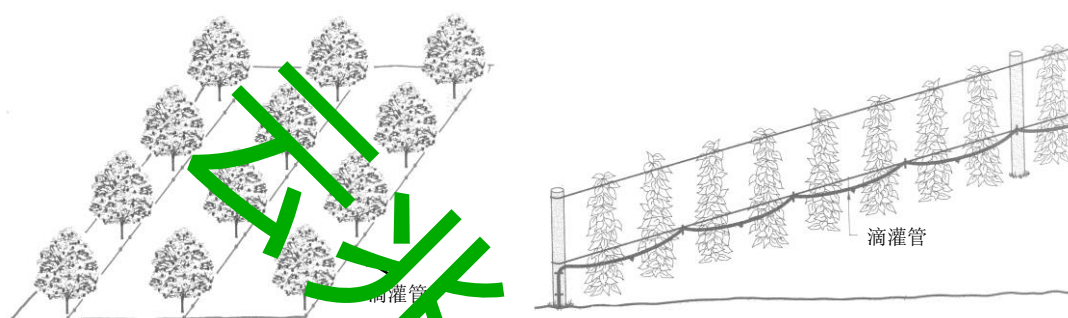


图 2-17 果树滴灌管（滴灌管）布置

三、微灌系统的布置

(一) 毛管和灌水器布置

毛管和灌水器的布置方式取决于作物种类、生长阶段和所选用水器的类型。

1. 单行毛管直线布置

毛管顺作物行向布置，一行作物或几行作物布置一条毛管，滴头安装在毛管上或采用滴灌管（带），这种布置方式适用于密植果树和窄行密植作物(如蔬菜、花卉、棉花等)。

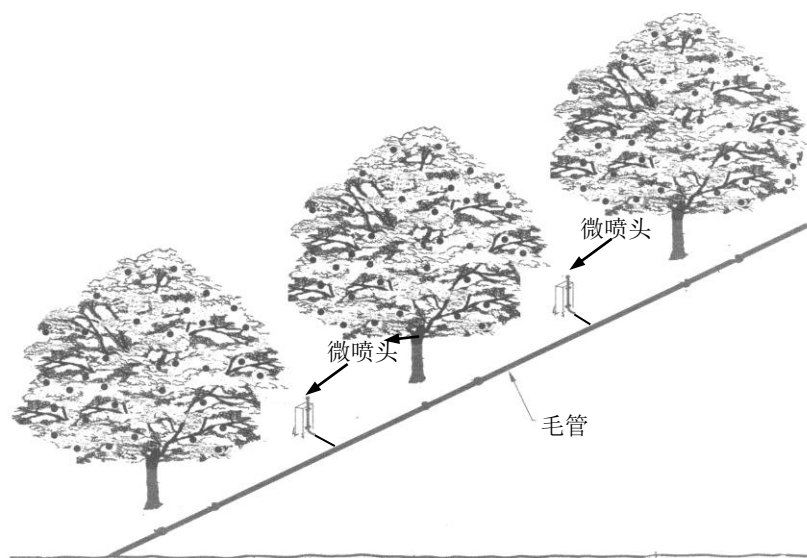


图 2-18 果树微喷灌毛管与微喷头布置



图 2-19 大田、温室蔬菜滴灌毛管（滴灌管）布置

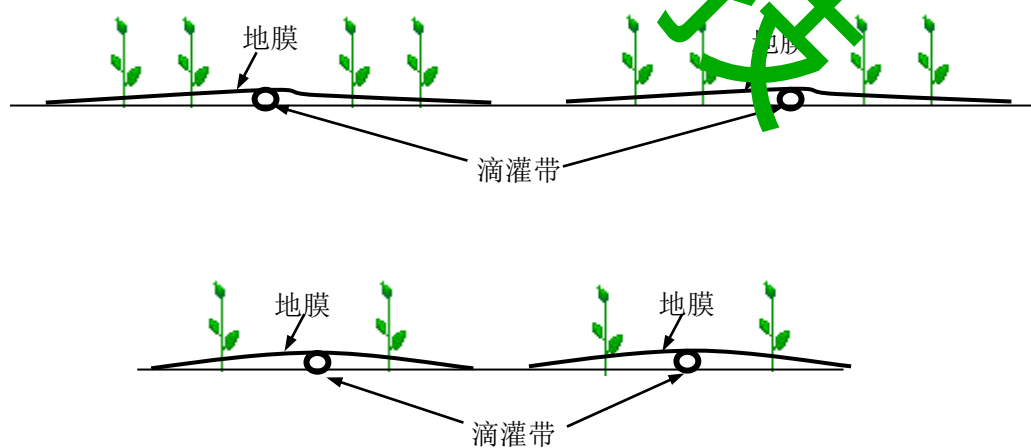


图 2-20 棉花微灌滴灌带布置

a- 单管四行 b-单管两行

2. 单行毛管带绕树管布置

当滴灌成龄果树时，可沿一行树布置一条输水毛管，围绕每一棵树布置一条环状灌水

管，其上安装3~6个滴头。

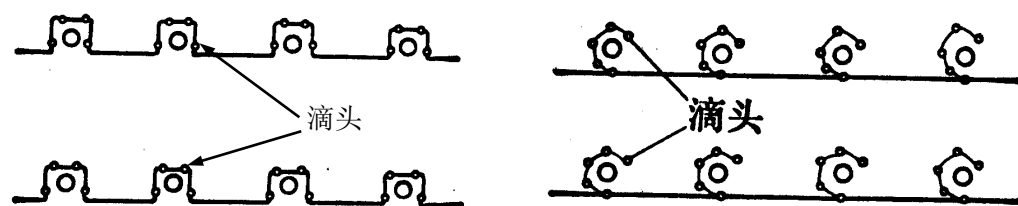


图 2-21 单行毛管带绕树管布置

3. 双行毛管平行布置

当滴灌大行距高大作物时，可采用双行毛管平行布置的形式，如图 2-22，沿树行两侧

布置两条毛管，每株树两边各安装2~4个滴头。这种布置形式使用的毛管数量较多。

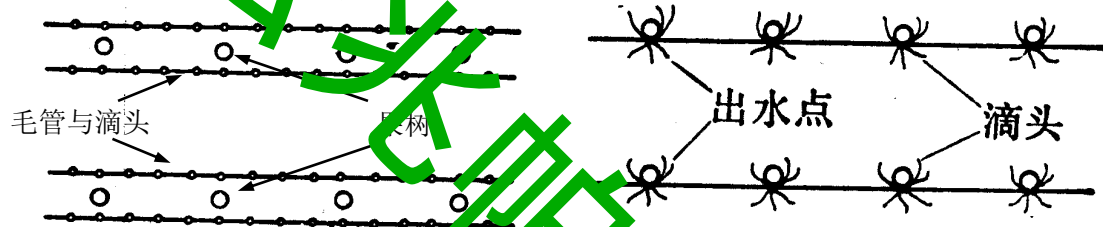


图 2-22 双行毛管平行布置

图 2-23 果树单行毛管带微管布置

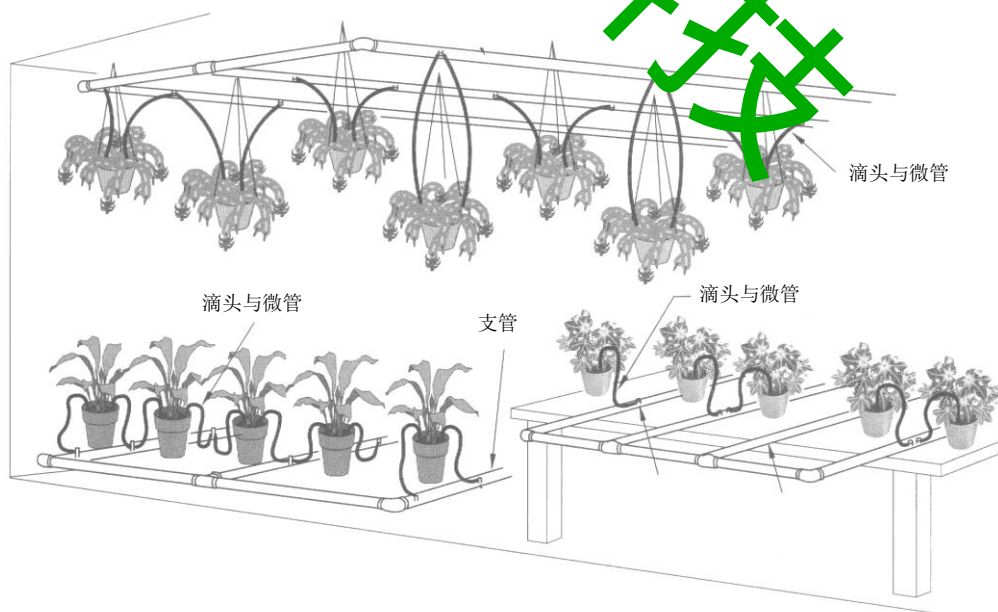


图 2-24 温室盆栽作物毛管与灌水器布置

4.单行毛管带微管布置

一行作物布置一条毛管，如图 2-23 和图 2-24，从毛管上接若干个分水微管，各分水微管末端连接滴头或微喷头。这种布置方式可用于灌溉果树和盆栽作物。

以上各种布置方式中毛管均沿作物行向布置，在山丘区一般采用等高种植，故毛管是沿等高线布置的。毛管的长度取决于灌水器的流量和均匀度的要求，并且影响工程费用，毛管长度越大，支管间距越大，支管数量越少，工程投资越少，但灌水均匀度越低。因此，毛管长度铺设应控制在允许的最大长度以内，而允许的最大毛管长度应满足设计均匀度的要求，应由水力计算确定。

(二) 干、支管的布置

干、支管的布置取决于地形、水源、作物分布和毛管的布置。应达到管理方便，工程费用少的要求。在山丘地区，干管多沿山脊布置，或沿等高线布置。支管则垂直于等高线向两边的毛管配水。在平地，干、支管应尽量双向控制，两侧布置下级管道，以节省管材。当地形为平地，采用丰字形布置时，干、支管可分别布置在支管和毛管的中部。当沿毛管方向有坡度时，支管应向上坡方向移动，使上坡毛管长度短于下坡毛管，即存在一个支管定位的问题。

四、微灌系统工作制度与轮灌组确定

微灌系统的工作制度由续灌、轮灌和随机供水三种情况。工作制度影响着系统的流量要求和工程费用。在确定工作制度时，应根据作物种类，水源条件和经济状况等因素做出合理选择。

1、续灌

续灌是对系统内全部管道同时供水，同时灌溉灌区内所有作物的一种工作制度。它的优点是灌溉延续时间短，有利于其他农事活动的安排，缺点是干管流量大，增加工程的投资和运行费用；设备的利用率低；在水源流量小的地区，可能缩小灌溉面积。因此，在灌溉面积小的灌区，例如几十亩至近 100 亩的果园，种植单一的作物时可采用续灌的工作制度。

2、轮灌

较大的微灌系统为了减少工程投资，提高设备利用，增大灌溉面积。通常采用轮灌的工作制度。一般是将若干灌水单元分成若干组，由干管轮流向各灌水单元供水。

轮灌组划分时应遵循以下原则：

(1)轮灌组的数目应满足作物需水要求，水源的水量与计划灌溉的面积相协调。

(2)每个轮灌组控制的面积应尽可能相等或接近，以便水泵工作稳定，提高动力机和水泵的效率，减少能耗。

(3)轮灌组的划分应照顾农业生产责任制和田间管理的要求，尽可能减少农户之间的用水矛盾，并使灌水与其它农业技术措施如施肥、修剪等得到较好地配合。

(4)为了便于运行操作和管理，手动控制时，通常一个轮灌组管辖的范围宜集中连片，轮灌顺序可通过协商自上而下或自下而上进行。在采用自动控制时，为了减少输水干管的流量，宜采用插花操作的方法划分轮灌组。

3、轮灌组个数 N

轮灌组的个数取决于灌溉面积、系统流量、所选灌水器的流量、日运行最大小时数、灌水间隔和一次灌水延续时间等。首先利用下式粗估轮灌组的个数：

$$N = \frac{\sum q}{Q} \quad (2-65)$$

式中: q ——灌水器总流量, m^3/h ;

Q ——水量平衡要求的最小系统设计流量, m^3/h 。

但最大轮灌组数目应满足下式

$$N \leq N_{\text{最大}} = \frac{CT}{t} \quad (2-66)$$

式中: $N_{\text{最大}}$ ——最大轮灌组数目

其它符号意义同前。

如果 N 不为整数, 可以采取两种办法, 一为增大水泵流量, 但不宜增大过多, 否则会增大系统投资, 并且水泵流量不能超过水源供水流量。二为通过微调灌水器工作水头来调整灌水器流量, 最终使式 (2-66) 计算值成为整数。

五 微灌水力计算

1. 管网水力计算的步骤

(1) 确定微灌设计均匀度或流量偏差率 q_v , 计算灌水单元允许的水头偏差 ΔH_s , 并计算支、毛管允许的最大水头差 $\Delta H_{\text{支}}$ 和 $\Delta H_{\text{毛}}$ 。

(2) 根据毛管布置的方式和毛管允许的水头差, 用试算法计算毛管允许最大长度 L_m 。

(3) 按毛管允许的最大铺设长度, 并考虑地块形状尺寸, 确定毛管的实际使用的铺设长度 (长度应小于 L_m), 根据主管的实际使用的铺设长度布置管网。

(4) 根据实际使用的毛管铺设长度, 确定毛管实际的水头损失和毛管实际的最大水头差 $\Delta H_{\text{毛实际}}$ 及毛管进口要求的工作水头。

(5) 计算支管实际允许的最大水头差 $\Delta H_{\text{支实际}} = \Delta H_s - \Delta H_{\text{毛实际}}$

(6) 假定支管管径, 计算支管压力分布, 并与该处毛管要求的进口水头相比较, 在满足毛管水头要求并稍有富裕的条件下尽可能减小支管管径, 支管的最大水头差要小于分配给支管的最大允许的最大水头差 $\Delta H_{\text{支实际}}$ 。

(7) 假定干、分干管道直径, 按最不利的轮灌组流量和水头条件对干、分干管管逐段计算直至管网进口。对于自压管道, 按水源水位与管网进口水头要求相应条件确定干、分干管道管径。

(8) 对于需加压的系统, 根据管网进口水头和流量, 计算系统总扬程, 并选择泵型。

(9) 根据已定水泵型号, 干、分干管管径, 计算其他轮灌组工作时干管、分干管水头分布, 确定支管进口压力调节器或支管进口的调压管。

(10) 如果毛管进口安装调压管, 还需要计算各条支管水头分布与毛管进口水头要求之差。

2. 微灌灌水单元中允许水头差的分配

微灌管网是由一个或多个灌水单元组成的, 而每个灌水单元中既有支管又有毛管, 因此灌水单元中水头差由支管的水头差和毛管水头差两部分组成, 它们各自所占的比例由于所采用的管道直径和长度不同, 可以有多种组合, 因此存在着水头差如何合理地分配给支管和毛管的问题。

在平坦地形的条件下, 允许水头差可按下列比例分配:

$$\Delta H_{\text{毛}} = 0.55 \Delta H_s$$

$$\Delta H_{\text{支}} = 0.45 \Delta H_s$$

式中: $\Delta H_{\text{毛}}$ ——毛管允许的水头差, m ;

$\Delta H_{支}$ ——支管允许的水头差, m;

当采用在毛管进口安装调压管的方法来调节毛管的压力, 可使各毛管获得均等的进口压力, 支管上的水头变化不再影响灌水小区内灌水器出水均匀度。因此, 允许水头差可全部分配给毛管, 即:

$$\Delta H_{毛} = \Delta H_s \quad (2-67)$$

这种做法虽然安装较麻烦, 但可以使支管和毛管的使用长度加大, 降低了管网投资。

选用 x 值小的灌水器, 可以有较大的允许水头差, 当毛管直径和要求的灌水均匀度一定时, 可以增加毛管长度。

3. 毛管极限长度确定

满足设计均匀度要求的最大毛管长度称为毛管允许的最大长度(或极限长度)。充分利用这个长度来布置管网, 可节省投资。

如前所述, 毛管允许的最大水头损失如前, 由此, 通过试算可求得毛管的极限长度, 使极限长度下的水头损失接近毛管允许的最大水头损失。

对于地形坡度为 0 的情况, 毛管允许的最大铺设长度为

$$L_m = \left(\frac{5.446 \times \Delta H_{毛} d^{4.75}}{K S q_a^{0.75}} \right)^{0.364} \times S \quad (2-68)$$

式中: L_m ——毛管允许的最大铺设长度, m;

q_a ——滴头设计流量, L/h;

S ——毛管上出水孔间距, m;

D ——毛管内径, mm;

K ——毛管局部损失加大系数; 其它符号意义同前。

当允许流量偏差较大, 灌水单元中允许的最大水头差也大, 相应的毛管最大铺设长度也长。

4. 毛管实际取用长度与实际用掉的水头损失

上面计算的是毛管极限长度, 在田间实际布置时, 不一定要按极限长度来布置毛管, 应该根据田块的尺寸并结合支管的布置, 进行适当的调整, 但实际铺设长度必须小于极限长度。然后根据毛管的实际铺设长度, 根据公式, 计算出毛管实际的水头差 $\Delta H_{毛实际}$ 。则支管实际允许的水头差为

$$\Delta H_{支实际} = \Delta H_s - \Delta H_{毛实际} \quad (2-69)$$

5. 当地形为均匀坡, 毛管双向布置时支管位置的确定

当地形为均匀坡, 支管平行于等高线布置, 毛管垂直于等高线布置, 毛管在支管两侧采用双向布置时。由于地形高差的存在, 为提高灌水均匀度, 降低系统造价, 上坡毛管和下坡毛管的铺设长度应该不同, 在上下坡毛管进口处的水头相同的情况下, 应使得上下坡毛管末端的水头相同或接近。现在的问题实际上就成为如何确定支管的位置, 可采用试算法确定。

6. 支管水力计算

支管水力计算的任务是确定支管各的水头损失、沿支管水头分布和支管直径。

(1) 支管计算的约束条件

1) 在毛管进口不安装调压管时, 支管上出水口(或毛管进口)的最大水头差不能超过允许值 $\Delta H_{支实际}$ 。

2) 支管上各出口的水头满足毛管进口水头的要求。

(2) 支管水头损失的计算的方法

如果将每条毛管（毛管单向布置）或每对毛管（毛管双向布置）看作为支管上的一个出水口，则支管也为多口出流管。如果支管上每个出口的流量相同，即支管每个出口所带的毛管长度相同，则支管为多口出流等流量管道。如果假定了支管直径，则支管的水头分布可以算出。在支管水力计算中可能遇到均一管径和变管径两种情况。

1) 均一管径支管 对于较短的支管或逆坡铺设的支管，一条支管采用一种管径，水头损失的计算方法如前所述。

2) 变径支管 由于支管内的流量自上而下逐段减小。为了节省管材，减少工程投资，通常将一条支管分段设计成几种直径，即从上而下逐段缩小支管直径。这种支管称为变径支管。

计算每一段支管的水头损失时，可将某段支管及其以下的长度看成与计算段直径相同的支管。对于最末一段支管则按均一管径支管计算。

(3) 支管各出水口压力分布

如果毛管进口不安装消能管时，支管上最大的水头差应小于允许的水头差 $\Delta H_{支}$ ，以保证灌水小区内灌水器具有足够的流量和灌水均匀度。

如果灌水单元内各毛管长度不相同，则毛管进口所需要的水头是不相同的。支管任一点的水头可以由下而上或自上而下逐段按下式计算。

在设计中，支管的直径应通过水力计算确定。当采用变径支管时，满足 $h_{支i} \geq h_{毛i}$ 的管径和每一种管径的管段长度可以有多种组合，所以它是一种试算过程。。如果毛管进口安装消能管，则还需计算支管提供的水头和毛管进口需要的水头，然后计算消能管长度。

管道进口调压可采用管道调压和阀门调压等形式。

7、干管水力计算

干管的作用是将灌溉水输送并分配给支管。由于一般在支管进口安装有压力调节装置，干管或分干管的管径选择不受灌水单元内所允许的压力变化的影响，管径选择主要基于能耗和管理而定。

一般可根据式 2—25，2—26 进行估算。

干管水力计算按两个阶段进行，首先按最不利的轮灌组从下（游）而上（游）计算水头损失，以确定各段干管的直径和干管进口水头。待确定了干管进口工作水头和系统水泵型号选定后，再由上而下逐段计算其他轮灌组工作条件下干管在各支管分水口处的压力，然后根据支管分水口处的干管压力与支管进口的压力要求，确定分干管管径或支管进口压力调节器的规格和型号。为降低系统造价，也可在支管进口与第一条毛管之间安装一定长度的较小管径规格的管段来消去支管进口多余的水头，以代替昂贵的压力调压器。

8、系统总扬程的确定和水泵的选择

由最不利轮灌组推求的总水头就是系统总扬程：

$$H = H_0 + \Delta H_j + (z_1 - z_2) \quad (2-70)$$

式中：H——系统总扬程，m；

H_0 ——干管进口所要求的工作水头，m；

ΔH_j ——干管进口至水源的总水头损失，包括水泵吸水管，水泵出口至干管进口管段、阀门、接头、施肥装置、过滤器和监测仪表等的水头损失，m；

z_1 ——干管进口处地面高程，m；

z_2 ——水源动水位平均高程，m。

根据系统总扬程 H 和最不利轮灌组的流量 Q 选择相应的水泵型号。一般所选择的水泵参数应略大于系统的总扬程和流量。

9、沉淀池设计

当水中含泥沙太多时，需要利用沉淀池进行初级过滤。此处仅涉及沉淀池的尺寸确定，有关结构设计请参阅其他有关书籍。

沉淀池尺寸确定的原理是，沉淀池的长、宽、深要使得水流从进入沉淀池后，水流所挟带的设计标准粒径以上的砂粒以沉速 v_c 下沉，当水流流到沉淀池下游水泵进水口时，砂粒刚好沉到池底。可按下述公式设计。

沉淀池深度 $h \geq 1.0\text{m}$;

$$\text{沉淀池宽} \quad B = \sqrt{\frac{F_s \times Q}{5v_c}} \quad (2-71)$$

$$\text{沉淀池长度} \quad L = 5B \quad (2-72)$$

$$v_c = 0.563 D_c^2 (\gamma - 1) \quad (2-73)$$

式中： D_c ——设计标准粒径。应沉淀的最小粒径，可取灌水器口径的十分之一的，mm;

γ ——泥沙颗粒比重，g/cm³;

A ——沉淀池表面积，m²;

Q ——设计流量，m³/s;

v_c ——设计标准粒径的沉速，m/s;

F_s ——蓄水系数， $F_s = 2$;

[例] 有一水渠的流量为 $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ，含大量泥沙，现选作微灌系统的水源，灌水器流道最小直径为 1.0 mm ，泥沙颗粒比重 $\gamma = 2.67$ ，试设计沉沙池尺寸。

解：

$$(1) \text{设计标准粒径 } D_c = \frac{1.0}{10} = 0.1 (\text{mm})$$

$$\begin{aligned} \text{沉速 } v_c &= 0.563 D_c^2 (\gamma - 1) \\ &= 0.563 \times 0.1^2 \times (2.67 - 1) \\ &= 9.4 \times 10^{-3} (\text{m/s}) \end{aligned}$$

$$(2) \text{池宽 } B = \sqrt{2 \times \frac{0.05}{5 \times 9.4 \times 10^{-3}}} = 2.13 (\text{m})$$

$$(3) \text{池长 } L = 5B = 5 \times 2.13 = 10.65 (\text{m})$$

$$(4) \text{池深取为 } 1\text{m}.$$

为防止水流挟带沉沙，水泵进口应至少高出池底 0.30m ，池底应有一定坡度，并于池底最低处安置冲砂孔和设节制阀门，以便冲洗沉沙。沉淀池进口要安装粗筛网，将漂浮物拦截。在沉淀池上游段应设置使水流扩散和水流稳定的隔栅。

习题

一、选择题

1、工程设计文件主要包括设计说明书、设计图纸、()等三部分

A 设计概算书 B 设计预算书 C 设计估算书 D 设计决算书

二、问答题

1. 能量守恒方程的表达式是什么, 其参数各表达什么含义?
2. 水头损失公式中的流态指数是何含义, 其取值范围是多少?
3. 多口系数是何含义, 其参数 X 是何含义。
4. 喷灌系统灌溉的优缺点是什么?
5. 微灌系统哪些优点、缺点和局限性?
6. 按《喷灌工程技术规范》水头损失的计算公式是什么, 其参数各表达什么含义?
7. 节水灌溉工程中, 干管管道直径是如何确定的?
8. 水锤对系统有何危害, 如何计算, 如何防范?
9. 喷灌及微灌系统分别是如何分类的?
10. 设计灌水定额的概念是什么, 如何确定喷灌及微灌的灌水定额?
11. 喷灌系统田间管道布置的原则有哪些? 影响其布置有哪些主要因素?
12. 确定喷头组合间距的目的是什么? 有哪些具体要求?
13. 喷灌工作制度包括哪些内容? 编制时应注意哪些问题?
14. 微灌工作制度包括哪些内容? 编制时应注意哪些问题?
15. 喷灌支管的管径是如何确定的?
16. 微灌支管及毛管管径及管长是如何确定的?
17. 喷灌系统的设计流量是如何确定, 又如何校核?
18. 全面地定性分析在下列情况下, 系统运行工况的变化状况和可能出现的问题:
 - 1) 一个系统只带一条支管同时工作, 支管上布置 8 个喷头, 如果在支管上增加 (或减少) 两个喷头;
 - 2) 一个系统可带 2 条支管同时工作, 支管上喷头数相同,
 - a. 同时开最远处的 2 条支管;
 - b. 同时开最近处的 2 条支管;
 - c. 远处近处各开一条支管;
 - 3) 系统运行过程中, 某处管道突然漏水。

三、计算题

1. 半固定管道式喷灌系统, 地面移动支管采用薄壁铝合金管, 支管布置长度 210m 左右, 试选择喷头、确定喷头布置间距, 并通过水力计算确定支管管径。(相关参数可自行确定, 只要结果合理即可。)

2. 有 300 亩小麦, 采用喷灌, 系统日工作时间 16h, 小麦日耗水量 6mm/d, 喷洒水利用系数 0.85, 管道输水利用系数 1.0, 求系统设计流量, 并分析各计算参数对结果的影响。(答案 88m³/h)

3. 100 亩露地蔬菜, 采用固定式喷灌, 试选择喷头并确定布置间距。(日耗水量、风速风向、土壤质地等参数均自行确定)

4. 某果园位于北纬 30°, 地面高程 95 m, 地面翻耕无杂草, 冬季有严重霜冻。7 月份平均气温 $T=28.5^{\circ}\text{C}$, 平均日照时数为 11.5 小时, 平均相对湿度 $R_H=55\%$, 最大相对湿度 $R_{H\max}=80\%$, 有效降雨量为 31.5mm。两米高处的日风速 $U=0.4\text{m/s}$, 苹果树已种植十年, 果树对地面的覆盖率或遮荫率为 0.7。如果 7 月份为耗水高峰期, 试计算该月的果树作物需水量、设计日耗水强度、设计灌溉补充强度和 7 月份的灌溉供水量。

5. 某菜地采用滴灌技术，两行蔬菜布置一条毛管，毛管间距为 $S_f=1.5\text{m}$ ，灌水器流量 $q=2.0\text{L/h}$ ，土壤为砂壤土，试决定灌水器间距和土壤湿润比。
6. 某梨园中梨树的行间距 $S_f=6.0\text{m}$ ，此用滴灌方法灌溉。毛管双行布置，滴头流量 $q=4.0\text{L/h}$ 。土壤为中等结构，确定土壤湿润比、灌水器（滴头）和毛管间距。
7. 有一果园，土质为沙壤土，果树的株、行距均为 6.0m ，选用 $q=4.0\text{L/h}$ 的滴头作为灌水器，每株果树下安装 6 个灌水器，试确定灌水器间距 S_e 和土壤湿润比 P 。
8. 有一滴灌 PE 支管，内径 $D=32\text{mm}$ ，管长 $L=120\text{m}$ ，上面有 20 个出水口，出水口的间距 $S=6\text{m}$ ，每个出水口的流量 $q=220\text{L/h}$ ，水温 $t=15^\circ\text{C}$ 。试计算该支管的沿程水头损失。
9. 某系统设计灌水器流量偏差率 $q_v=0.2$ ，现有二种灌水器，第一种灌水器的流量压力关系为 $q = 0.41h^{0.685}$ ，第二种灌水器的流量压力关系为 $q = 0.632h^{0.5}$ ，设计工作水头均为 $h_d=10\text{m}$ ，试求灌水单元中支、毛管允许的最大水头差。
10. 某果园果树株距为 $S=5\text{m}$ ，采用内径为 $D=16\text{mm}$ 的毛管， $S_0=2.5\text{m}$ ，每株树安装 6 个带微管的滴头，滴头流量压力关系为 $q = 0.632h^{0.5}$ ，设计水头 $h_d=10\text{m}$ ，滴头设计流量 2.0L/h ，滴头流态指数 $\alpha=0.5$ ，局部水头损失扩大系数 $k=1.1$ ，试求地形坡度为 0 时，设计流量偏差率分别为 $q_v=20\%$ 和 10% 时的毛管的最大允许长度。
11. 有一水渠的流量为 $0.05\text{m}^3/\text{s}$ ，含大量泥沙，现选作微灌系统的水源，灌水器流道最小直径为 1.0mm ，泥沙颗粒比重 $\gamma=2.67$ ，试设计沉沙池尺寸。

第三章 施工要点

第一节 施工准备

一、熟悉设计文件和施工现场踏勘

施工单位应当认真阅读工程设计文件，包括设计任务书、设计图纸、工程概预算以及工程承包合同中对工程质量、进度的要求，掌握工程的特点、关键技术、工程的重点和难点等。

为了解施工现场的具体情况和条件，并为编写施工组织设计做准备，应组织施工现场踏勘。包括了解现场地形、地貌、灌溉区域边界范围、交通和动力情况、水源情况、作物种植情况、现有灌溉设施等等。必要时应测绘现场的地形图（1/1000~1/2000）。

二、施工组织设计

施工组织设计是由施工单位编制的对工程实施的全过程组织和管理的指导性文件，是施工单位在对工程实施中进行成本控制、质量控制、进度控制、文明安全施工的主要依据。其主要内容包括：

1、施工条件的分析

包括自然条件、工程条件、物资供应条件和社会经济条件，应分析这些条件的有利因素和不利因素，对施工可能带来的影响，并提出克服不利影响的措施和办法。

2、施工总体质量

根据施工场地的地形地貌、施工的技术方案、各项临时设施布置要求，对施工场区进行规划，对进场材料的堆放、施工人员的食宿、土石方开挖、堆弃和填筑等进行安排，提出合理的用地计划。

3、主要施工工艺和技术方案

对主要的施工工艺和技术方案进行分析、论证和选优，包括施工程序、施工方法、技术标准、质量检测和验收、施工机械选用等。对其中的关键技术应进行专门的论证和设计。

4、成本、进度和质量控制

按照工程承包合同的要求，对进度和质量进行控制。

应编制施工总进度计划和各分部分项工程的进度计划。明确各分部分项工程、各施工工序和不同工种作业之间的衔接关系，分析影响进度的主要因素和可能出现的问题，提出解决的措施和办法，特别是当工期拖延时应如何进行调整，以保证总工期不延期。

应编写工程质量手册，建立相应的质量保证体系，制定相应的质量管理办法，明确质量控制的要点和责任人，制定保证工程质量的技术措施。

工程施工单位应在满足工程质量和进度要求的前提下编制施工成本控制计划，加强成本核算，以保证施工企业利润目标的实现。

5、文明安全生产

施工单位应努力做到文明安全生产，制定相应的文明安全生产的保证规章制度，配备专职或兼职安全员，避免施工中重大人身伤害事故的发生，在现场设置文明施工标牌并建立文明施工规章制度。

6、材料设备供应计划

根据施工进度安排，对主要建筑材料和主要设备提出需用量和供应计划，安排场内外的运输和布置场内交通线。

三、施工现场准备工作

“三通一平”工作，即通水、通电、交通通畅和平整现场。解决施工用水和生活用水，施工、管理和生活用电，对施工机械进行检测和试运转，完善通信设施，做好堆料场、拌合场、预制件场和仓库等临时建筑场地的平整和建设。

第二节 材料设备的采购、现场验收和保管

一、材料设备采购

节水灌溉所需设备应由熟悉工程、了解材料设备技术性能的人员负责采购。

1. 材料设备应选用国家定点厂的定型产品，优先选用国家推荐的节能产品，严禁选用国家公布的淘汰产品。
2. 管材连接件、附属设备所用的非定型产品，必须经过国家认定的检测机构检测，并且是鉴定合格的产品，有出厂合格证。
3. 管材、机电设备、灌水器、附属设备（过滤、施肥、安全等）等均应按照批准的设计文件和合同中要求的型号、规格、数量等方面进行采购。

二、材料设备的现场验收

现场验收包括数量和质量两方面，验收依据为供需双方签订的采购合同，即合同中规定的产品规格、型号、数量，并执行有关规范规定的质量标准。

水泵、电机等设备的现场验收主要包括外观尺寸、结构、防腐层完好和完好性检查，试运行阶段的运行观测和性能检测等方面。

管材的现场验收主要包括品种、规格、数量检查，外观质量检查、耐水压试验、密封试验等方面。

喷头的现场验收除检查型号、规格、数量和合格证书等方面外，还应检查喷头部件是否齐全、转动部分是否灵活、可靠，弹簧松紧是否适度。当喷头数量较多时应进行抽查，抽查内容包括铸件质量、塑料件和焊接件质量、螺纹连接等，并进行试运行，检查转动是否均匀，流量是否稳定，在工作压力范围内是否达到额定的射程，雨量分布是否合理等。

微灌灌水器（包括滴头、滴灌管、微喷头）的现场验收主要检查灌水器外观色泽是否均匀，表面是否光滑、平整，耐水压性能、流量偏差、元件的配套组合性能等是否合理。

三、材料设备保管

为进行材料设备保管应设材料设备库，由专人负责保管，并建立完善的出入库管理制度。材料设备应按不同品种、规格、型号等分门别类存放，不得随意堆放。需要保养的材料设备，如机电设备、喷头等应定期进行保养。使用材料设备应按照有计划、满足需求、尽量节约的

原则进行。应该定期对库存的材料设备进行盘点。

第三节 施工安装

本节重点介绍管道的施工安装和灌水器的施工安装，对于泵站、渠道和渠系建筑物、蓄水池等的施工安装可参照前面课程内容和有关参考书，本节不做介绍。

一、管道的施工安装

1、施工放线及管槽开挖

施工现场应设置测量控制网点，在管道中心线上每 30~50m 打桩，并在转弯处、出水口、闸阀等处加桩，桩上应标明开挖深度和宽度。

管槽开挖深度一般应挖至冻土层下，同时最小埋深不小于 70cm。应清除槽底的石块、杂物，槽底应平直、密实。管槽的边坡应保证不坍塌，同时又尽量减少开挖量。遇有石块等硬物应挖除，并回填夯实到设计高程，对软弱基础应处理加固。对有附属设备、管件及拐弯处，开挖应预留出施工操作空间。

2、管道安装

管道安装前应检查管材、管件，不合格者不得安装。管道安装一般按照从首部向尾部、低处向高处、先干管后支管的顺序。对于有承插口的管材，安装时应保持插口在后。管道中心线应平直，管道与管基应紧密接触。穿越公路或其他建筑物时应加套管或修涵洞保护。安装带法兰的阀门管件、法兰应同轴、平行，螺栓自由穿入，不得强扭或靠硬紧螺栓消除歪斜。管道系统上的建筑物应按设计要求施工，地基应坚实，出地竖管底部和顶部应采取加固措施。对于运动场和园林系统的管道，在出地竖管处应考虑沉降，设千秋架。

塑料管道安装的常用方法有：承插粘接、承插橡胶圈套接和热熔焊接等。小管径的塑料管道也有采用热扩承插连接或螺纹连接（PVC 不能采用）的方法。塑料管道和金属管道连接可采用塑料——金属法兰盘连接，也可通过专用塑料——金属接头连接。金属管道（除铸铁管）常用连接方式有焊接、法兰、螺纹，根据管径大小，承受轴向力的要求等选择，铸铁管道和水泥制品管道常用胶圈密封或石棉水泥油麻口密封的承插方式连接。

对于地面的移动管道，大多采用快速接头连接，在施工时一般不安装，而是在运行时才进行安装。

二、管道水压试验

节水灌溉的管道系统均应进行管道的耐水压试验，对于较大的管网系统（管段长度大于 1000m），不应在施工结束后再进行水压试验，而应分段（管段小于 1000m）进行耐水压后试验，对于较小的管道系统，可在管道安装完毕后一次进行水压试验。水压试验的要求对喷灌、微灌、管道输水灌溉有所不同，可参见下表

表 3-1 管道水压试验及渗水量试验标准参数

工程名称		试验压力	保压时间	合格要求	允许渗水量
喷灌		系统设计压力的 1.25 倍	10min	1. 压力下降不大于 0.05MPa; 2. 无渗漏、无变形	$q_s < [q_s]$
微灌	一般情况	系统工作压力	试运行	无破损、无脱落	$q_s < [q_s]$
	有条件的地方	系统设计压力的 1.25 倍	10min	1. 压力下降不大于 0.05MPa; 2. 无渗漏、无变形	
低压管道	塑料管、水泥预制管	系统工作压力	1h	无集中渗漏、无破裂	符合管道水利利用系数的要求
	现浇混凝土管	充水试压	10h		

$[q_s]$ ——1000m 长管道允许渗水量, L/min。

水压试验一般应采用打压泵, 而不宜利用系统本身的压泵做。选用压力表应为 0.35 级或 0.4 级。试验时应检查阀门是否开闭灵活, 进排气装量是否正常, 地埋管道是否填土定位并留出接头处以便观察, 并先通水冲洗管道, 至预留出水口处水颜色透明度与进口处一致为止。

管道注水后, 金属和塑料管道应经 24h, 水泥制品管道应经 48h, 方可进行打压。打压时应保持压力缓慢上升。

表中允许渗水量的说明:

充水排气, 升压至试验压力, 关进水阀门, 记录下降 0.1MPa (1kgf/cm^2) 压力所需的事件 T_1 (min); 再将水压升至试验压力, 关进水阀门并立即开放水阀向量水器中放水, 记录下降 0.1MPa 压力所需事件 T_2 (min), 并测量量水器中的放水量 W (L), 按下式计算

1000m 管道的实际渗水量 q_s (L/min):

$$q_s = \frac{W}{T_1 - T_2} \frac{1000}{L}$$

式中: L ——试验管段长度

然后用实际渗水量 q_s 与允许渗水量 $[q_s]$ 比较, $q_s < [q_s]$ 则为合格。

允许渗水量用下式计算:

$$[q_s] = K_s \sqrt{d}$$

式中: K_s ——渗水系数, 钢管 0.05, PVC、PP 管 0.8, PE 管 0.12, 铸铁管 0.10, 砼制品管 0.14;

d ——管内径, mm

管道水压试验合格后, 即进行回填。回填时应在管道两侧同时进行, 回填料不应含直径大于 25mm 的石块和直径大于 50mm 的土块, 回填可采用分层夯实或水浸密实, 对于半软的塑料管, 应将管道充水再回填。

习题:

一、选择题

1、地埋塑料管常用的连接方式有 ()、()、() 和 ()。

- A 承插柔性套接 B 法兰连接 C 石棉水泥油麻口套接 D 热熔焊接
E 弹性胶圈密封连接 F 快接头连接 G 承插粘接 H 热扩承插连接

二、简答题

1. 施工组织设计的内容包括哪些方面?
2. 材料设备的现场验收有哪些内容?
3. 管道水压试验的参数有哪些?

三、计算题

PVC 管做管道水压试验,管道长 600m,管径为 $\phi 100$,在 10min 内压力下降大于 0.05Mpa,再做渗水量试验,放水量为 20L, $T_1=5\text{min}$, $T_2=0.5\text{min}$,该管道水压试验是否合格?

立光科技

第四章 农业、园林喷、微灌设备

第一节 灌溉技术分类与灌溉设备分类

一、灌溉技术分类：

地面灌溉技术：渠道输水：大水漫灌，畦灌，沟灌；

管网输水：畦灌，沟灌，皮管大水漫灌。

地面灌溉技术水利利用效率低下（20-30% 被植物利用，其余浪费），适合水资源发达地区及经济落后地区的农业灌溉。造价低，建造技术要求低，维护费用及维护技术要求低，但水浪费严重。

喷灌技术：管网输水、喷头喷水：全面积灌溉，用水效率比地面灌溉高，可达85% 以上。适合大田作物、草坪灌溉。水分损失渠道：深层渗漏，蒸发损失，飘逸损失。造价、建造技术要求较高，维护费用及维护技术要求较高。

微灌技术(微喷、滴灌、涌泉灌)：小流量出水,低压运行，局部湿润。用水效率可达90% 以上。适合农业果树、花卉灌溉及园林乔、灌木，绿篱、花卉等的灌溉。节水、节能，易满足多种植物混种条件下的不同植物需水要求。造价、建造技术要求高，维护费用及维护技术要求高。节水、节能效果十分明显。

二、灌溉设备分类：

本培训班专注于喷、微灌现代灌溉技术，传统地面灌溉设备不在此描述。根据在喷、微灌系统中的作用，灌溉设备可分为：

1. 灌水器：喷头、微喷头、滴头、涌泉头等灌溉系统末端出水装置称为灌水器。
2. 输水设备：管道、管件
3. 控制设备：各类阀门、控制器、中控卫星站
4. 安全设备：进排气阀、泄压阀、泄水阀
5. 量测设备：水表、压力表
6. 过滤设备：各种过滤器
7. 加压设备：各种水泵

由于篇幅有限，本讲义只介绍几种主要设备的分类、性能、用途等一般性知识（水泵见另篇）。设备的技术参数请参阅相关制造企业产品目录。

第二节 灌水器

一、喷头

1. 喷头分类

常用喷头可分为旋转喷头和散射喷头两种。根据驱动机理，常用旋转喷头又可分为：摇

臂喷头(impact sprinkler)，球驱动喷头 (ball drive sprinkler)， 齿轮驱动喷头(gear drive sprinkler)。

旋转喷头

摇臂喷头历史悠久，结构简单，制造及安装、维护简单，价格低廉。射程选择范围大（小到4、5米，大到40、50 米）广泛应用于农业灌溉。小射程（小于10 米）喷头多用于果园、苗圃、花卉等。中等摇臂射程喷头（10-20 米）多用于大田农业灌溉。大射程喷头（20 米以上）出水量大，打击强度大，多用于工业除尘，移动喷灌机等。大射程喷头有时叫喷枪（叫喷头还是喷枪无严格界定）。摇臂喷头扇形喷洒喷头与全圆喷洒喷头为不同的喷头。扇形喷头用于边角地的喷洒。全圆喷头布置在地里边。



摇臂喷头常装于地上，受风的影响大。飘逸损失、蒸发损失大。

由于装于地上，特别不适用于园林草坪灌溉。一方面损失大，灌水不均匀。另一方面妨碍剪草机工作，并严重影响景观效果（如右图示）。

摇臂喷头对水质要求低，一般不会出现堵塞现象。但如果泥沙含量过大，会严重损坏喷头，影响使用寿命。

摇臂喷头也有埋地式的（如下图示），用于水质较差时灌溉园林草坪。

球驱动喷头很少，以色列纳安丹有一款农用小射程喷头为球驱动，雨鸟R-50园林用地埋喷头也是球驱动喷头（如下图示）。





地埋摇臂喷头

齿轮轮驱动喷头

球驱动喷头

喷头的喷水量、射程、雾化程度等参数与进口尺寸、喷嘴直径、喷洒仰角、工作压力有关。

常用喷头的进口尺寸为：1/2", 3/4", 1"。

一个喷头可配多个喷嘴。在压力相同情况下，一定范围内，喷嘴直径越大，喷水量越大，射程越大，雾化程度相对小。喷嘴直径以毫米计。

喷头的仰角也是喷灌的一个重要指标。农用喷头的仰角一般为20-27度之间。小于20度的喷头为低仰角喷头。农业上常用于树下喷灌或微喷。多风地区选低仰角喷头，可减少风的影响。

园林上因植物种植复杂，灌溉要求高，喷头仰角变化幅度大。采用可调仰角喷头是不错的选择。

喷头的3个指标：工作压力，流量，射程非常重要。

工作压力指喷头工作时，喷头进水口前的压力。一般在进水口前测压。通常，旋转小射程喷头工作压力不要低于2 公斤，中等射程喷头工作压力不要低于2.5 公斤。具体选用时，应当参照各喷头制造厂家推荐值。

流量指单位时间内喷头喷出的水的体积，单位通常采用立方米/小时。影响喷头流量的因素有：工作压力，喷嘴直径。压力越高，嘴越大，则流量越大。园林喷头有流量可调喷头，有利于现场调节，满足不同植物需水要求。

射程是指在无风状态下喷头正常工作时的喷洒半径，单位以米计。有的用户抱怨实际喷洒射程达不到厂家产品目录所列射程，主要原因是喷头入口工作压力不够或过大，或受风的影响。在一定工作压力范围内，压力越大，射程越大。但超过一定值后，雾化加大，射程并不能增加。在喷头流量相同情况下，射程越大，单喷头喷灌强度越小，组合喷灌强度也越小。

散射喷头

散射喷头（如下图所示）射程比旋转喷头小，适用于小面积绿地喷洒。

散射喷头可选配各种喷洒形式的固定角喷嘴或可调角度的喷嘴，喷灌强度较大，易产生地面径流。散射喷头不但适用于小块草坪，也可用于灌木、绿篱的灌水和洗尘。这类喷头的固定角喷嘴大多为“等灌溉强度喷嘴”，即无论全圆喷洒，还是半圆或90 度及其他角度，其灌溉强度基本相同。这种特性对保证系统的喷洒均匀度极为有利。可调角喷嘴通常不具备等喷灌强度性能。

散射喷头结构简单，易于维护，损坏率小。



2. 地埋旋转喷头性能及选择

经过20多年的研究、开发、改进，齿轮驱动喷头已具有如下多种功能：

- 齿轮驱动，顶部调节
- 旋转角度记忆
- FC/PC 一体
- 流量可调
- 射程可调
- 仰角可调
- 自带截止阀
- 止溢（关闭后防止水从喷头溢出）
- PRS
- MPR
- 防盗
- 旋转射线
- 止漏（喷嘴丢失后防止漏水）

对承包商和用户还说，如果每种喷头能兼备上述所有功能当然最好；然而，每增加一种功能，就会增加制造商的研发和制造成本。没有免费的午餐。多一种功能，多一层成本。其实，现实生活中，我们并不需要将上述所有性能集为一体的喷头。因地制宜选择、配置必要的性能，既能满足实际灌溉需要，又可节约成本。

• 齿轮驱动，顶部调节

今天的草坪喷头，齿轮驱动，顶部调节已不是什么奢侈的选择了。90%以上的喷头都具有这两种性能。

• 起始旋转角记忆功能

起始旋转角记忆功能是一种非常重要的功能，如何强调其重要性都不为过。我们常常看见车水马龙的街道两侧，喷头肆无忌惮的喷洒到马路上，影响路人行走，这些喷头因为不带有角度记忆功能，人为转动后，无法复位（如右图示）。



因此，设计人员和承包商在配置靠近马路的喷头时，一定选择安装起始角记忆喷头。

- **FC/PC 一体**

几年前，喷灌设计人员和承包商们，还不辞辛苦地在图上标出哪儿安装全圆喷头（FC），哪儿布置扇形喷头；代理和经销商们，不得不费心选择要定多少FC 喷头，多少PC 喷头。现在，您不必为此劳神了，厂家为了您的方便，已经发明了FC/PC 一体喷头。

- **流量可调**

为了追求美感，时下园林景观造型越来越复杂，微地形越来越多。对于陡坡的地方，大流量出水，很容易造成土壤侵蚀，破坏景观。安装流量可调喷头，承包商能根据地形情况现场调节。因此对于地形复杂的草坪，流量调节是不错的性能。（TORO V1550 流量可调）

- **射程可调节**

市场上大部分草坪专用喷头可通过散射螺钉调节射程，但调节范围有限（25%）。如果喷头间距过小，承包商可现场调节螺钉，缩小射程。当射程太大，对花卉造成打击损伤，或冲刷建筑物时，调节散射螺钉可以达到一定效果。市场上真正射程可调的是TORO 的300 系列喷头的OMNI嘴，调节范围可达40% 以上。

- **仰角可调**

市场上的喷头喷洒仰角多为25 度，固定喷嘴对在许多情况下会造成不便：

- 1.多风地带：仰角大时风的影响大，水量损失大，均匀度差，多风季节喷洒时，现场调节仰角，可减小风的影响，保持草坪生长良好。
- 2.现场调节仰角可有效缩短射程，避开不需喷洒的植物，如花卉等。
- 3.现场调节，避开喷洒空中障碍物（如变电路， 高压电线下）

- **止溢(关闭后防止水从喷头溢出)**

坡地安装喷头，当阀门关闭后，坡上喷头中及管路中的水会在重力作用下流向坡角喷头(如右图示)，使坡角喷头中的水仍有一定压力，自动从喷头溢出。这种溢流对草坪是十分有害的，尤其对粘性土上的草坪危害更大。止溢喷头的止溢高度是有限的，设计安装人员应当仔细研究所选喷头性能。如果支管落差高于喷头止溢高度，就要考虑截短支管了。



- **PRS**

此功能即压力补偿功能。常常在散射喷头上加这种功能。

一条支管上通常安装同一种喷头，同一种喷嘴。由于压力沿程损失的影响及地形坡度的变化。喷嘴处的工作压力是不同的。压力不同则出水量不同。为了保持均匀度，此种情况下选用具有PRS功能的散射喷头十分有效。它可补偿压力变化，使出水均匀，保证草坪生长均匀。带PRS 功能的喷头通常比不带PRS 的喷头贵。

- **MPR**

MPR 是等喷灌强度的意思。指扇形喷洒或全圆喷洒，喷头喷洒到湿润面上各点的雨强相等。但目前，并非所有喷头都具备MPR 功能，一般讲，固定角度散射喷头易具有MPR 功能，其它较难。

- **防盗**

公共绿地应考虑防盗。然而随着草坪喷头的普及，这种功能越来越不重要。

- **旋转射线**

多股射流旋转喷洒，一方面灌溉，另一方面则制造一定的景观效果。旋转射流喷头雨强小，不易产生地面径流。

• 止漏

所有散射喷头在喷洒时很容易让人拧走。一般喷头的喷嘴一旦被拧走，就造成大量漏水，既浪费水资源且不利草坪生长。具有这种功能喷头，内部装有一个自动弹出阀门，一旦喷嘴拧走，阀门自动弹出，堵住出水口，从而避免漏水。

二、管上滴头、滴灌带、滴灌管

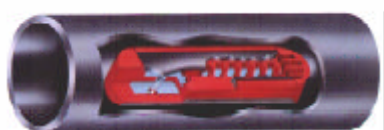
滴头的作用就是通过曲折的流道将管道中的水压降低（又叫消能），以滴水形式灌溉植物。滴头的出水量很小，一般在1-10 升/ 小时范围内。根据前面章节介绍，滴头的流量与工作压力及流态指数有关。流态指数趋于0 的滴头为压力补偿滴头，趋于1 的为非补偿滴头。入口压力相同情况下，采用压力补偿滴头的毛管（或滴灌带、滴灌管）铺设长度长。压力补偿滴头出水均匀，有利于植物健康生长，提高产量及品质。

补偿滴头的流道上面装有柔软的硅橡胶片。毛管入口压力大，较高水压压迫橡胶片，使流道出水断面减小，引起滴孔流量减小。越往毛管末端，管内滴头处工作压力越小。由于装有橡胶片的缘故，压力小的滴头上的出水断面相对较大。尽管此处流速小，但断面相对大，流量并不小。硅橡胶片的功能就是自动调节流道出水断面面积，补偿由于压力不同而引起的压力差异，使毛管上的出水量达到均匀。

压力补偿只在一定压力范围内有效。所以各厂家有推荐铺设长度。设计时一定要参考有关厂家资料。

• 管上滴头

顾名思义，管上滴头是插在毛管上的滴头。广泛应用于果园灌溉，盆栽花卉灌溉，园林乔、灌木灌溉等。



柱状式压力补偿滴头



贴片式压力补偿滴头



管上滴头



管上滴头灌溉柑橘



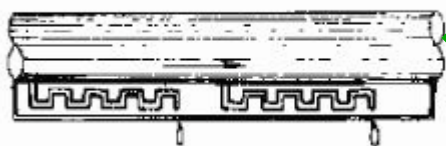
滴箭式滴头灌溉盆花

• 滴灌带

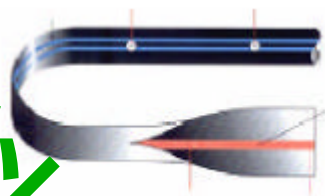
滴头与毛管制造成一体，兼具配水和滴水功能的软带称为滴灌带。滴灌带厚度国外通常以密尔计（mil），1密尔约等于0.025mm。常用滴灌带厚度有：4mil, 6mil, 8mil, 9mil, 10mil, 12mil, 14mil, 15mil, 20mil。

滴灌带滴头带有边缝迷宫式，贴片式。

边缝迷宫式滴灌带温度、水力性能、寿命等性能均不如贴片型。国外基本淘汰。



边缝迷宫流道式滴灌



贴片式滴灌带

由于大部分滴灌带造价与滴头间距无关，滴头间距通常选20、30、40cm。单滴头流量在1 升/ 小时左右。有一定压力补偿性能的滴灌带可铺设数百米（具体数据请参阅有关厂家推荐值）。

滴灌带应用于灌溉棉花、蔬菜、花卉等窄行距植物效果非常好（如下图示）



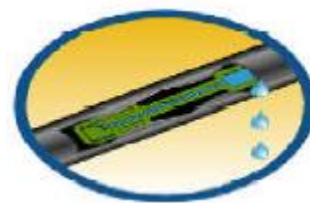
• 滴灌管

滴灌管指工厂出厂时已安装好滴头的滴灌毛管。滴灌管上的滴头有装在管上的也有装在管内的。装在管内的滴灌管常称为内镶式滴灌管。生产管上式滴灌管的厂家越来越少。内镶滴灌管因为滴头镶嵌在毛管内壁，外力不会损伤滴头，滴头也不易丢失。内镶滴灌管是目前市场最流行滴灌管。无论是抗堵塞，还是滴水均匀度，名牌厂家的产品均已达到优良水平。

内镶滴头有柱状及扁平两种，生产工艺均已十分成熟。

滴灌管管壁比滴灌带厚，寿命长，造价高，适合宽行距植物如果树，防风林带，园林行道树，绿篱等。

近年来，地理滴灌（简称SDI）发展迅速。国际上有数家知名灌溉公司生产防止根毛侵入滴孔的专用地下滴灌管。



扁平内镶滴



柱状内镶滴

三、微喷头

微喷头的工作压力一般为50~200kPa，射流孔径为0.8~2.2mm，喷水强度一般小于0.24m³/h；单个微喷头的喷水量一般不超过0.25 m³/h，射程一般小于7m。

微喷头可分为：折射式、射流式、离心式、缝隙式四种。

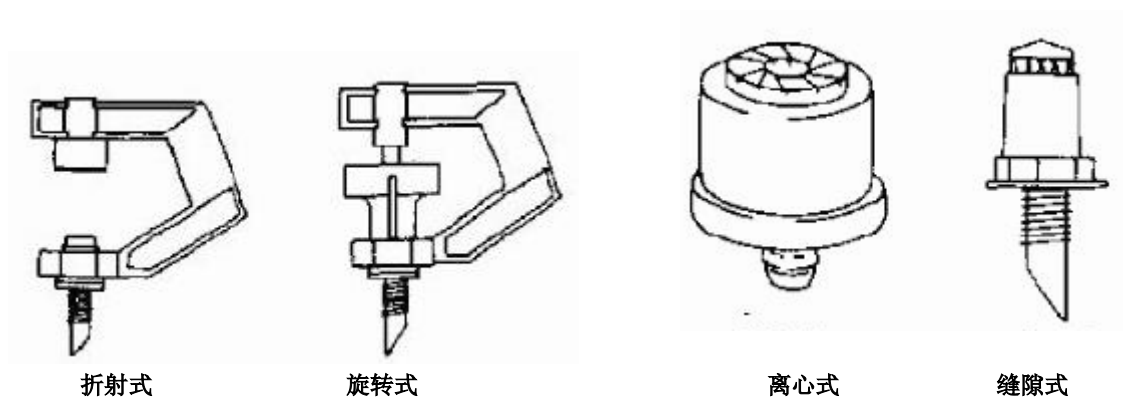
折射式微喷头的原理是利用折射锥来分散水流，使其均匀散落地面，其主要部件有喷嘴、折射锥和支架水流在一定压力下由喷嘴或孔口垂直向上喷出，遇到折射锥时，水流受阻折射，被击散成薄水层沿四周射出，在空气的阻力下即形成细小水滴洒落在地面进行灌溉。

折射式微喷头又称为雾化微喷头，其工作压力一般为100~350kPa，射程为1.0~7.0m，流量为0.03~0.25 m³/h。优点是结构简单、没有运动部件、工作可靠、价格便宜；雾化程度和水量分布可以满足果园、蔬菜、花卉等的灌溉缺点是水滴太微细，在空气十分干燥、温度高、风速较大的地区蒸发飘移损失较大。

旋转式微喷头由支架、喷嘴、折射臂和连接件四部分组成。工作原理：压力水流从喷嘴中喷出后，集中成一束向上喷射到一个可以旋转的单向折射臂上，折射臂上的流道形状不仅可以使水流按一定喷射仰角喷出，而且还可以使喷射出的水舌及冲击力对旋转轴形成一个力矩，从而使喷射出的水舌随着折射臂作快速旋转，故称为旋转式微喷头。旋转式微喷头的工作压力一般为100~200kPa，喷洒半径为1.5~7.0m，流量为0.045~0.25 m³/h。水量飘移损失小。适用于果园、茶园、苗圃、蔬菜，特别适用于密植作物，用在全面积湿润灌溉与降温喷洒则效果更佳。旋转式微喷头的结构复杂，加工精度要求较高，制造比较困难，易于磨损。使用寿命较短。

离心式微喷头由四部分组成，即喷嘴、喷头座、导流芯和进水口接头。工作原理：压力水流从切线方向进入离心室，绕垂直轴旋转，通过离心室中心的喷嘴射出的水膜同时具有离心速度和圆周速度，在空气阻力的作用下，水膜被粉碎成水滴散落在微喷头四周离心式微喷头具有结构简单、体积小、工作压力低、喷水流量小、射程远、雾化程度高、工作可靠、检修方便等特点，具有广泛的适用性。

缝隙式微喷工作原理：水流经过缝隙喷出水舌，在空气阻力作用下，粉碎散成水滴。一般由两部分组成，上部是带有缝隙的盖，下部是底座。



微喷头通常安装在如下图示塑料支架上。



喷头在园林上常应用于苗圃、花卉的灌溉，效果不错。

第三节 过滤器

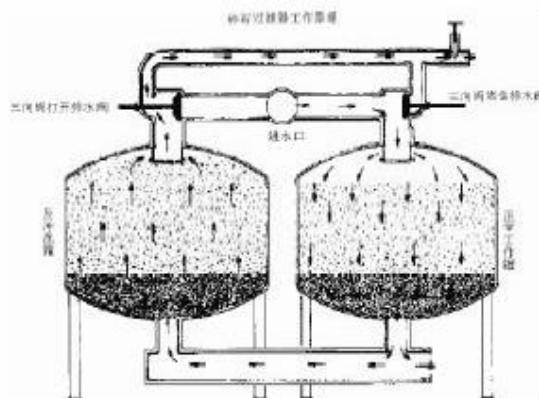
过滤器是喷、微灌十分重要部件。是否选配了合理的过滤器，很多情况下决定灌溉系统的成败。

灌溉水源许多情况下为河、湖水或井水，常常含有泥沙及其它有机、无机杂质。如不加处理，会堵塞及损伤灌水器、电磁阀等设备。

过滤器通常有下列几种：

· 砂石过滤器

砂石过滤器（又叫砂介质过滤器）一般由两个以上充满石英砂的钢罐(碳钢或不锈钢)组成。其工作原理如下图所示。



砂石过滤器最好采用自动反冲洗（定时或定压差）。只有及时冲洗，才能保持系统正常工作。

砂石过滤器过滤有机杂质，效果非常好。所以常做为河、湖水过滤首选过滤器。缺点是体积大，致使泵房空间大，造价高。

市场上还有一种单罐双腔式砂石过滤器。其工作原理与双罐式相同。其制造成本要低一些，但耐久性不如双罐。

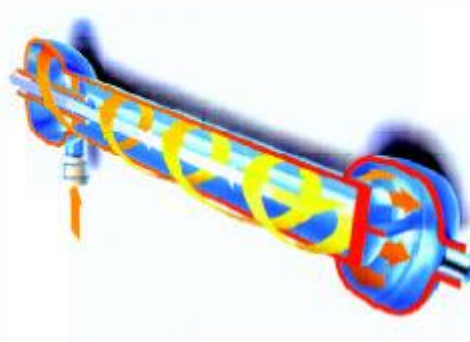
· 离心式过滤器

通过水的离心力，将灌溉水中的无机杂质分离出来，排到泥沙收集室集中排放的过滤器为离心过滤器。

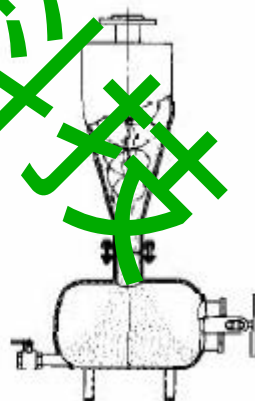
离心过滤器常做井水一级过滤或河、湖水二级过滤。



斜卧式离心过滤器



立式锥形离心过滤器



· 叠片过滤器

叠片过滤器由多片有流道的塑料片叠加而成（如下图示）。

叠片过滤器的最大优点是易于清洗。如果水质优良，可以作为一级过滤。否则应当作二级或三级过滤。



· 网式过滤器

网式过滤器是最传统的过滤器。手动网式过滤器制造简单，成本低。但过滤有机杂质效果不好，清洗不方便。手动网式过滤器在水质优良时可作一级过滤，其它情况下最好作二级、三级过滤。

近年面市的吸力自清洗网式过滤器过滤有机、无机杂质效果均不错。可以作一级过滤。但有机杂质含量过多时，前边最好加一级砂石过滤器。



手动网式过滤器



吸力自清洗网式过滤器

过滤器选择必须因地制宜，合理选配。

滴灌过滤要求高，一般在120目以上佳。如果水质差，必须考虑多级组合过滤。有条件的最好选择自动冲洗。只有自动清洗才能保证过滤器正常工作，保证灌溉系统安全运行。过滤是滴灌的生命，如何强调滴灌过滤的重要性都不为过。

第四节 自动控制设备

自动控制设备主要包括控制器，电磁阀，电线。

一、自动控制器

自动控制器可分为：时间控制器，水量控制器，中控控制器。此外，解码器中控系统的解码器也相当于一个田间控制单元。

· 时间控制器

编程设定灌溉制度：灌水时间，灌水延续时间，灌水周期的控制器为定时控制器（如下图所示）。时间控制器有交流、直流两种。直流控制器适合于无220 伏电源区域的灌溉自动控制。广泛适用于农业灌溉，沙漠铁路、公路防风林带灌溉，城市公路隔离带等。

时间控制器造价低廉，编程简易，控制可靠，维修方便。大量应用于农业灌溉、园林灌溉、运动场灌溉。

随着技术的进步，近年来时间控制器越来越趋向智能化。大部分中档控制器可以带1-2 个传感器如：温度传感器，雨量传感器等。高档的商用控制器已发展到可带温度、流量、雨量传感器，对系统实施半智能化控制。

此外，时间控制器近年还趋向模块化，以便于用户扩、减灌溉站数，减少批发商、承包商储货量。

交流时间控制器额定输入电压一般为220 伏，输出为24伏。

· 水量控制器

水量控制器一般应用于定量灌溉，应用无时间控制器广泛。

· 中控控制器及中控系统

中控系统全名为中央计算机控制系统。目前流行有卫星站系统及解码器系统两种。

卫星站式中控系统由一台电脑，若干卫星站（又叫田间控制器，分控箱），若干传感器组成。下图描述了一个中控系统的组成部分及相互关系。

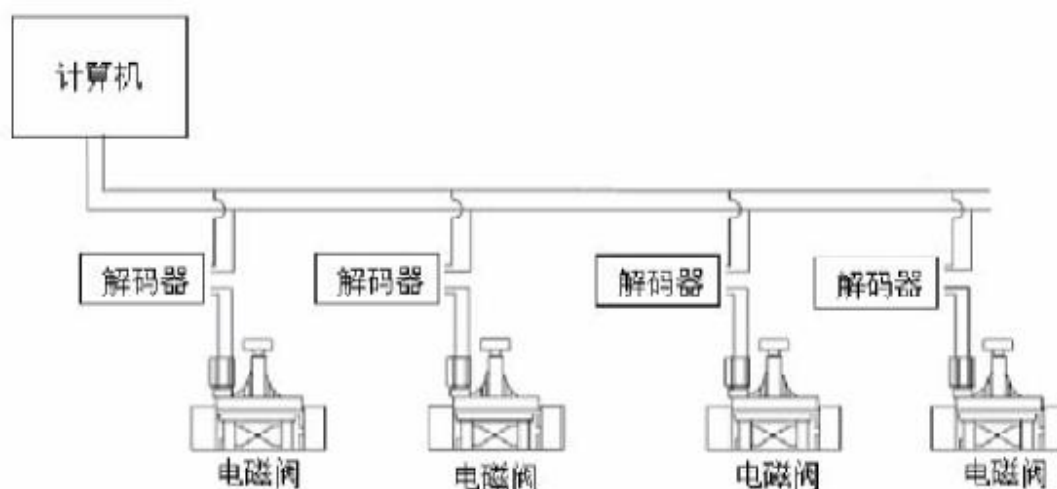




另外一种中央计算机控制系统为解码器系统。如下示意图所示。解码器站数一般为1-4站。计算机编程，解码器指挥电磁阀动作。

卫星站系统一般比解码器系统安全，适合于开放式公园、绿地等。解码器系统电线用量小，在窄长项目上使用，造价低。解码器系统如果两条主线某处被挖断，系统会终止工作。比较适合应用于封闭的公园，高尔夫球场等。

此外，还有全无线中控系统。从电脑到控制器，再到电磁阀所有路径上均无电线连接。这种系统在开阔地区，沙漠防风林带区使用效果很好。可有效的减少电线投资，减少安装、维护费用。



近年，灌溉系统采用中央计算机控制的越来越多。其原因是这种控制功能强大。大部分产品具有智能化功能。以下列出多数中控产品所具备的功能参考。具体细节，请咨询相关厂家。

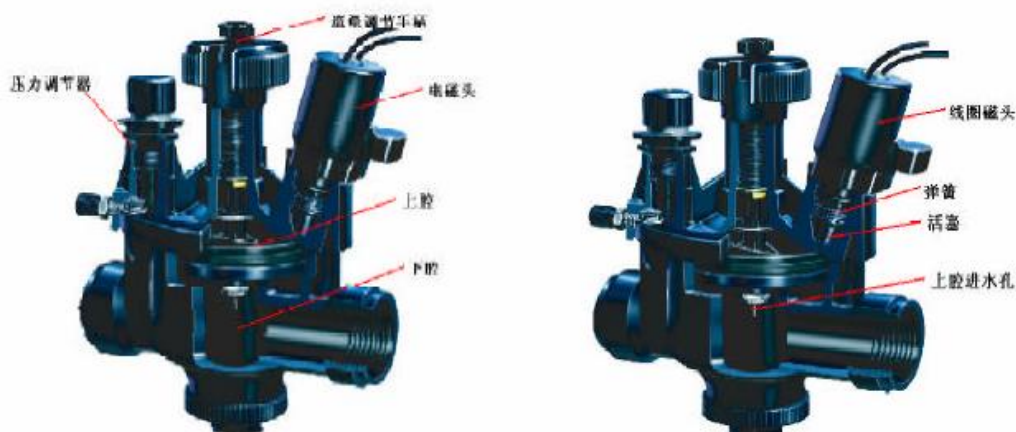
- 1、自动采集各种气象数据，计算并记录蒸发蒸腾量ET；
- 2、根据前一天的ET值自动编制当天灌溉程序并实施灌溉；
- 3、可由连接的土壤湿度传感器、风速传感器、雨量传感器等干涉程序，启动、关闭、暂停灌溉系统；
- 4、连接流量传感器可自动监测、记录、警示由于输水管断裂引起的漏水及电磁阀故障；最大限度管网输水能力；
- 5、自动记录、显示、储存各灌溉站的运行时间；自动记录、显示、储存传感器反馈数据，以积累资料，修改程序，修改系统等；
- 6、手动干涉灌溉系统：可在阀门上手动启、闭系统；可在田间卫星站上手动控制系统，也可在计算机上手动启、闭任何一站，任何一个电磁阀；
- 7、一套中央计算机控制系统可控制小到一个公园或地块，大到上百个公园或地块，甚至全城或全地区的所有灌溉系统。

卫星站式中控系统中电脑与田间控制器的连接方式有：无线连接、通讯电缆连接及电话线连接三种。

· 电磁阀

结构：

灌溉自动控制用的是最多的是先导隔膜电磁阀。其结构如下图示。



工作原理:

先导隔膜电磁阀的动力实际为水动, 非电动。电磁部分为电磁头(9V、12V、24V, AV或DV), 其余为水动部件, 包括: 阀底、阀盖、隔膜。

灌溉时, 自动控制器将水泵打开, 水顺着管道抵达电磁阀下腔, 然后通过进水孔进入上腔。同时控制器给电磁阀一个电信号, 在电磁作用下, 将电磁头活塞提起, 上腔的水经泄水孔泄到阀下游。此时上腔压力降低, 下腔水将隔膜顶起, 阀门打开, 管道中的水奔涌而下。

灌到控制器设定的时间, 控制器电流中断, 电磁消失。在电磁头弹簧的作用下, 活塞向下运动, 顶住泄水孔。此时上、下腔压强平衡。由于隔膜上腔面面积大, 压力大, 隔膜被压差向下推动, 堵死阀门, 终止水流下泄, 灌溉结束。

电磁阀上也可以手动启动, 只要将电磁头松动一下即可。电磁头松动时上腔水顺泄水孔而下, 上腔压力降低, 电磁阀打开。手动拧紧, 则电磁阀关上。

· 电线

灌溉用自动控制电线一般采用铜芯线, 外包绝缘材料可以是PE也可以是PVC。PE包层薄, 但强度并不比PVC差。应当认真选择电线断面。过细会影响远端阀门启闭。过粗则浪费。

以下为电线选择推导, 供参考:

● 一站只连一个电磁阀

- 选择离控制器最近的电磁阀
- 计算控制器到电磁阀的距离
- 参考下列表按最长的距离来选择公用线和控制线的线径
- 公用线的线径要比控制线的线径大或相同
- 保持公用线的线径不变, 选择其他控制线

例如, 从控制器到电磁阀的最远距离为1000米, 查表可选择公用线为4.0mm², 控制线为2.5mm²

当一个电磁阀工作时, 控制器和电磁阀之间的距离(m)和线径(mm²)的关系表

公用线 (mm ²)	距离 (m)						
	0.5	1	1.5	2.5	5	10	10
0.5	180	240	250	300	310	320	320
1	240	370	400	520	550	570	570
1.5	250	400	500	620	730	800	870
2.5	300	520	620	810	1120	1200	1300
4	310	550	730	1120	1530	1700	1900
6	320	570	800	1200	1730	2220	2500
10	320	600	870	1330	1930	2530	3330

● 当一站同时连接多个阀门时, 需通过计算等效长度来选择电线

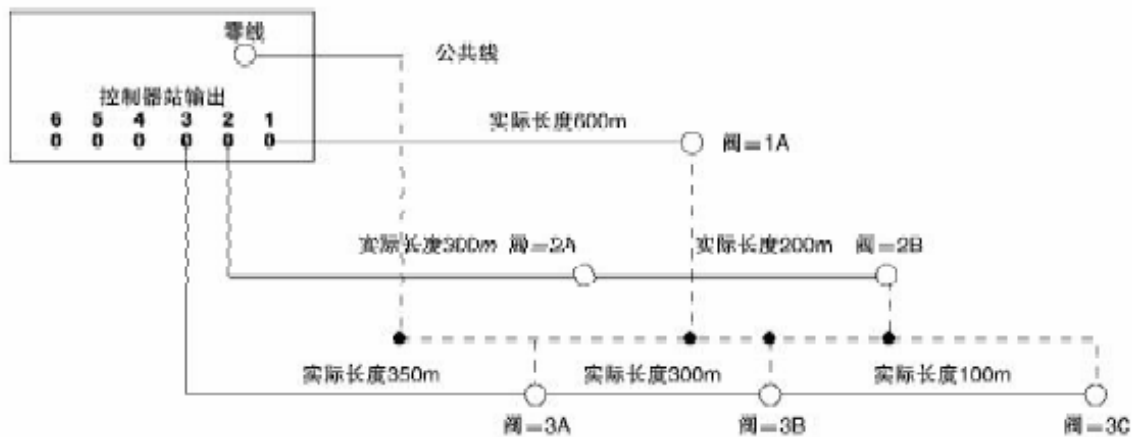
- 等效长度的计算

第一站: 因为只有一个阀, 所以等效长度 = 实际长度600m

第二站: 等效长度 = (1 个阀 x 200m) + (2 个阀 x 300m) = 800m

第三站: 等效长度 = (1 个阀 x 100m) + (2 个阀 x 300m) + (3 个阀 x 350m) = 1750m

参考上表, 用等效长度来选择电线的线径, 方法同一, 例如第三站, 公用线选择4mm², 控制线选择6mm²



第五节 施肥设备

利用灌溉系统施肥（fertigation），可以大大提高肥料的利用率。采用滴灌系统施肥，效果更佳，氮肥效率可达70%以上。但是利用滴灌系统施肥要特别注意肥料的可溶性。肥料中的不可溶颗粒，沉淀物及包衣杂质都会堵塞滴头。请参照有关技术资料选择合理的N、P、K 肥料（托罗网站：<http://www.toro.com.cn> 上有相关参考资料）

一、施肥罐

如右图所示。施肥罐进口、出口之间要加闸阀。闸阀减压，造成下游压力低而上游压力高，靠压差将溶解肥料注入灌溉系统。压力罐造价低廉，维护简单，维护费用低。但罐内肥料浓度不能控制，初期高，后来低，很难做到均匀施肥。对生产不利。



二、文丘里注肥器

根据文丘里原理制作的文丘里管，当有压水通过时，最小断面处的压力为负压。将此处安装的吸水管放入肥料溶解设备（罐、箱、池均可），在大气压作用下，肥料源源不断流入灌溉系统中。为了提高注入率，进、出口中间也要加闸阀，以便提高压差，以利将肥料注入灌溉水中。安装图如下：

第二张图中在文丘里管前端加了一台泵，目的是为提高注入压力，从而提高注入流量。





单台注入泵

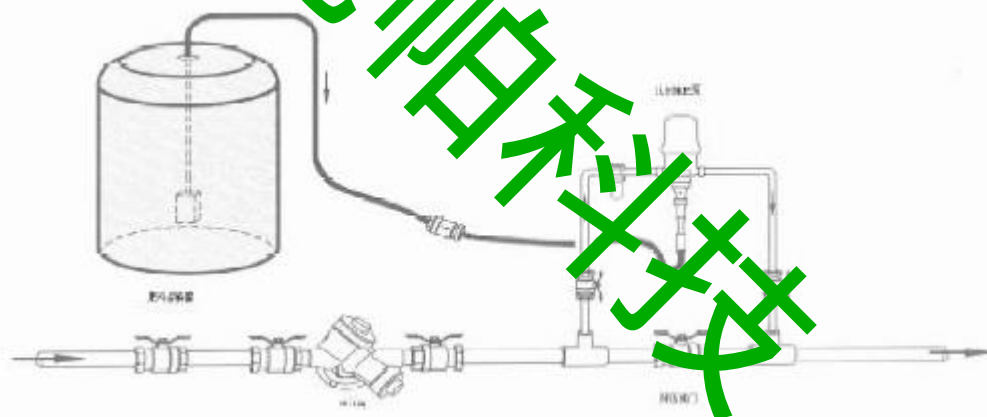


多台并联泵

三、比例施肥

采用比例施肥泵，可根据植物需求，按一定浓度施肥，保持植物健康生长。比例施肥泵为水驱动活塞泵。其注肥量与压差有关系。所以装比例施肥泵后，灌溉系统压降大。此外，这种泵单泵注入量有限。如要加大注入量，可以增加泵，用并联的办法解决。

如要用不降低系统压力的办法注肥，则应采用如下图示电驱动注入泵。



比例施肥泵连接示意图



电动注肥泵带肥料罐



电动注肥泵

第六节 安全防护设备

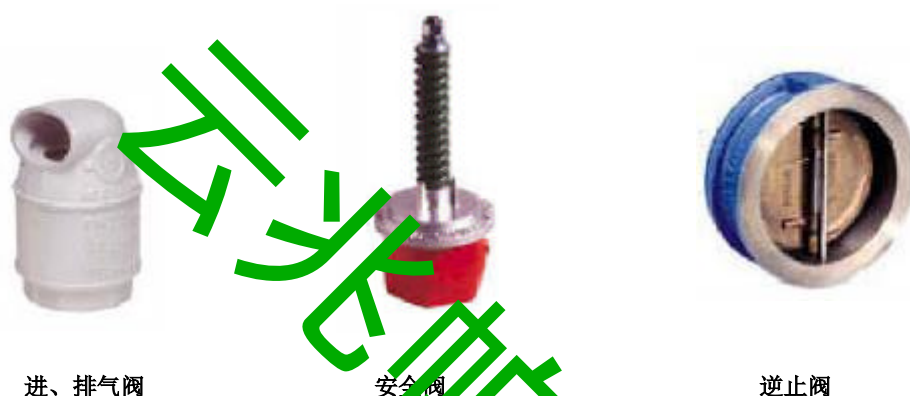
喷、微灌系统为有压系统，运行期间管道系统中阀门有时会突然开启或关闭，管道系统中的水泵会因为断电或其它机械故障突然停机。这些情况会导致水击产生，使管网上的某些管段的压力、流速突然增大，超过管道、管件、阀门或其它附属设备的承受能力，导致管道系统强烈振动、出现噪声和气穴，使管道严重变形或爆裂等。安全防护设备就是用来保障灌溉系统安全运行，防止损伤灌溉设备及管理人员的。

常用安全防护设备有：进、排气阀，安全阀、逆止阀等，如下图示：

进、排气阀一般在顺坡布置安装在管道系统首部，逆坡布置时在管道系统尾端。地形起伏变化时，安装在管道系统的凸起处，管道朝水流方向下折处及超过10°的变坡处等。

安全阀是一种压力释放装置，安装在管路较低处，起超压保护作用。

逆止阀常常安装在水泵出口，以防止管道水倒流损坏水泵。



第七节 管道与管件

一、管道

喷灌管道通常采用铝合金管（农业移动喷灌）、钢管（农业固定喷灌）、PVC管、PE管、PP管等。微灌通常采用塑料管道，以防金属管道锈蚀堵塞。

国标PVC（聚氯乙烯管）、PE管（聚乙烯管）公称直径有：25(mm)、32、40、50、63、75、90、110、125、160、200、250.....

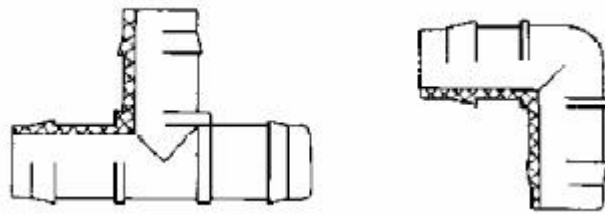
聚氯乙烯管是以聚氯乙烯树脂为主要原料，与稳定剂、润滑剂等配合后经挤压成型的。它具有良好的抗冲击和承压能力，刚性好。但耐高温性能差，在50℃以上时即会发生软化变形。聚氯乙烯管属硬质管，韧性强，对地形的适应性不如半软性高压聚乙烯管道。

聚乙烯管分为高压低密度聚乙烯管和低压高密度聚乙烯管两种。低压高密度聚乙烯管为硬管，管壁较薄。

高压低密度聚乙烯管为软管，管壁较厚，对地形的适应性比低压高密度聚乙烯要强。高压聚乙烯管是由高压低密度聚乙烯树脂加稳定剂、润滑剂和一定比例的碳黑等制成的，它具有很高的抗冲击能力，重量轻、韧性好、耐低温性能强、抗老化性能比聚氯乙烯管好。但不耐摩，耐高温性能差，抗张强度低。

通常90mm以上的PVC管采用承插连接，75以下管采用PVC胶粘接。粘接管牢固，但无活动余量，大口径管不易拐弯。

大口径PE管通常采用焊接法连接。小口径PE管可采用倒钩内插式和螺纹锁紧连接两种接头连接，如下图示：



倒钩内插式接头



螺纹锁紧式接头

喷灌机的种类很多，按运行方式可分为定喷式和行喷式两类，在每一类中，由于系统组装形式、喷洒控制面积大小和喷洒特征的不同又有不同的机型。现将常用机型划分如下：

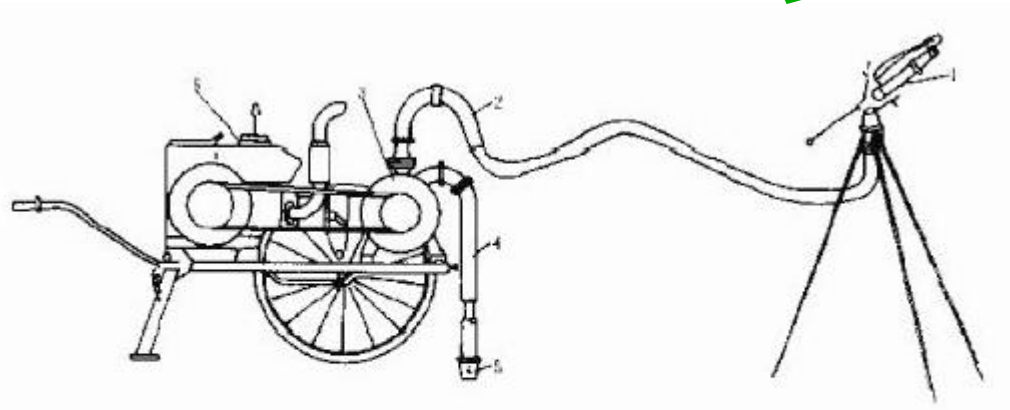
- 手推(抬)式喷灌机
- 滚移式喷灌机
- 中心支轴式喷灌机
- 平移式喷灌机

第八节 喷灌机组

定喷式喷灌机组是指喷灌机工作时，在一个固定位置进行喷洒，达到灌水定额后，按预定好的程序移动到另一个位置进行喷洒，在灌水周期内灌完计划的面积。行喷式喷灌机组是在喷灌过程中一边喷洒一边移动(或转动)，在灌水周期内灌完计划的面积。

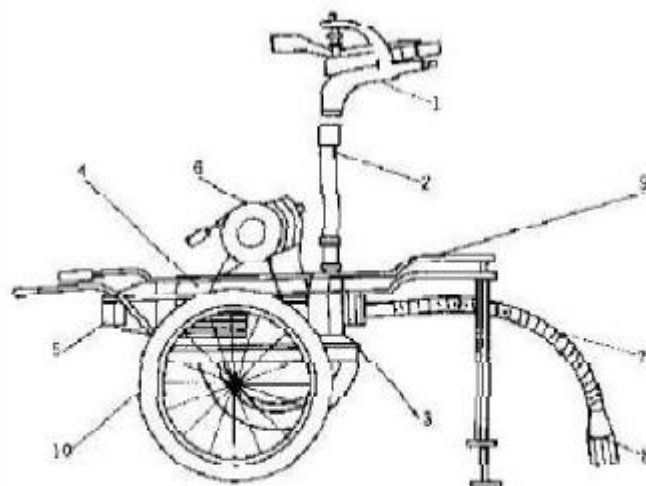
上述各种喷灌机中，手推、手抬式是小型机组，由于它具有结构简单、体积小、使用灵活、价格较低等特点，在我国发展喷灌技术中曾是使用最广的机型。

手推(抬)式喷灌机



手推管引式喷灌机（柴油机配套）

1—喷头；2—出水管；3—水泵；4—进水管；5—底阀；6—柴油机



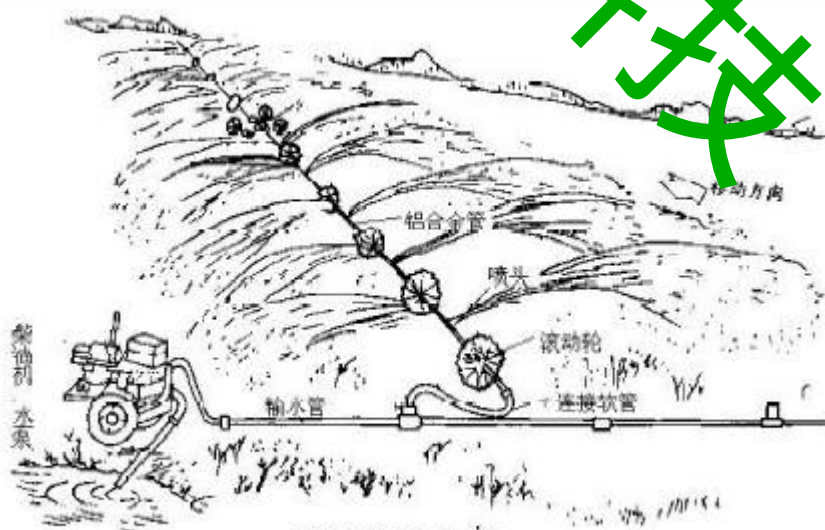
手推直联式小型喷灌机组

- 1—喷头；2—软管；3—水泵；4—电动机；5—开关；
6—电机；7—吸水管；8—底阀；9—机架；10—车轮

二、滚移式喷灌机

滚移式喷灌机的特点是结构简单，便于操作，沿着耕作方向作业，与排水、林带结合较好，对不同水源条件都适用，爬坡能力较强。它是国内外均在使用的一种单元组装多支点结构的喷灌机，根据地块的情况，可组装成长机组和短机组来使用。

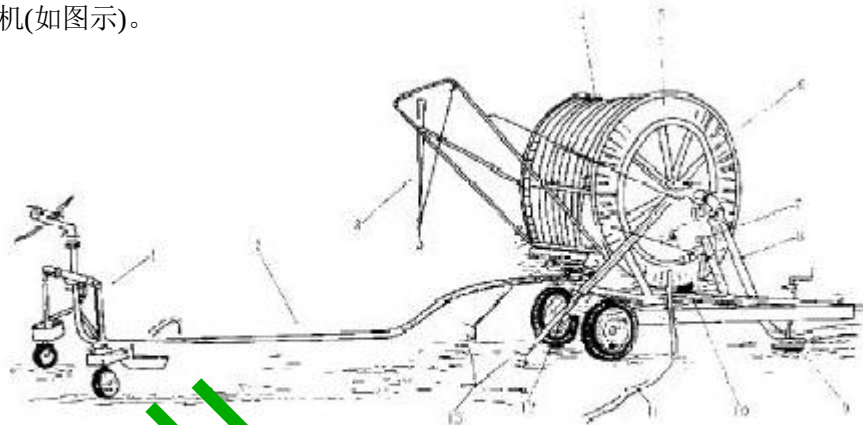
滚移式喷灌机机组管道采用铝合金管，具有轻便、耐腐蚀、坚固耐用，快速联接、拆装方便、一机多用等优点。它的缺点是不能灌溉高秆作物，只能对大豆、小麦、玉米前期(株高在75cm 以下)、甜菜、蔬菜等矮株作物喷灌。灌溉作业的情形如图所示。这类喷灌机适合用于大面积喷灌，要求有丰富的水源。



滚移式喷灌机工作示意

三、卷盘式喷灌机

卷盘式喷灌机是指用软管输水，在喷洒作业时利用喷灌压力水驱动卷盘旋转，卷盘缠绕软管(或钢索)，牵引大射程喷头，使其沿管线移动且喷洒的喷灌机械，又称为绞盘式或卷筒式喷灌机(如图示)。



软管卷盘式自动喷灌机

1—喷头；2—PE软管；3—喷头车收放吊架；4—PE软管；5—卷盘；6—卷盘车；7—伸缩式翼式水动力机；8—进水管；9—可调节臂；10—翼轮轴；11—热水孔管；12—自动排管器；13—支轴

卷盘式喷灌机 在欧洲普遍采用，美国应用很少。适合中小地块灌溉。优点是自动化程度比手推小型机组高，劳动强度小。缺点是喷枪能耗高，运行费用高，喷枪打击强度大，不利作物生长。我国曾大量进口过这种喷灌机，但因为运行费用太高，许多地方闲置不用。

四、电力驱动中心支轴式全自动喷灌机

电力驱动中心支轴式全自动喷灌机又称轮辐式圆形喷灌机(如图示)。它的喷水管(支管)由一节一节的薄壁镀锌钢管连接而成，称之为塔架。其上按一定要求布置有许多低压喷头。塔架由间距差不多相等的若干塔车支撑，它的一端与灌溉地块中央的固定中心支座连接，支座处的水泵和中心控制箱供给压力水并起控制作用，以保证塔架绕中心支轴按预先调好的速度保持近于直线的连续缓慢旋转喷灌。由于这种喷灌机绕中心点旋转灌溉，故称之为中心支轴式喷灌机。

这种喷灌机的主要优点是：自动化程度高，可昼夜工作，一人就可管理8—12台喷灌机，工作效率很高；节约水量、劳力和土地；可适时适量地满足作物需水要求，增产效果显著；适应性很强，可适应地形坡度达30%左右，几乎适宜灌溉所有的作物和土壤；能一机多用，可用来喷施化肥、农药、除草剂等；喷头工作压力低，类似于微喷，整体能耗比卷盘机低。非常适合于大中型农场灌溉。其不足之处是四个地角不易灌溉。该机型是全世界最受欢迎的先进机型之一，发达国家应用较多。近年来在我国内蒙、宁夏、黑龙江广受农民欢迎，大部分用于土豆、牧草等经济价值高的作物的灌溉。随着我国农业结构的调整，城市化的发展，中心支轴喷灌机将会有非常好的前景。



各种喷灌机专用低压喷头



五、平移喷灌机

平移喷灌机又称连续直线自走式喷灌机，它是以中央控制塔车沿供水线路(如渠道、供水干管)取水自走，其输水支管的运动轨迹互相平行(即支管轴线垂直于供水轴线)的多塔车喷灌机。平移喷灌机是由中心支轴式喷灌机发展而来的，实际上，是两台中心支轴式喷灌机在其中心支轴处代之以中央控制塔车并呈反对称组装而成的。所以它在结构上与中心支轴喷灌机很相似，而灌溉的面积是矩形的。

平移喷灌机除了中心支轴式喷灌机的优点外，其主要优点是土地利用率高，可达98%。窄长型地块采用平移喷灌机较适宜。平移机的主要缺点是造价高，这是因为塔架，发电机、水泵必须安装在一块，整机移动之故。此外，平移机还必须配置排水渠道或移动取水管，工程整体造价要比中心支轴机高。平移机使用率比中心支轴机低许多。

此外，爬坡能力低，只能在地面坡度小于7%的地块作业也是影响平移机大面积应用的重要因素之一。



轮道取水 平移式喷灌机

习题：

- 1.绿地花卉、灌木用什么灌溉技术好？
- 2.果园灌溉采用什么技术好，为什么？
- 3.阐述先导隔膜式电磁阀工作原理。那几种情况可能导致电磁阀不能启闭？
- 4.阐述中控卫星站系统与解码器系统各自优缺点。
- 5.如电磁阀不能正常开、关，可能的原因是什么？
- 6.阐述喷头工作压力、喷嘴尺寸、喷头仰角、喷头出水量、喷头射程之间的关系。
- 7.为什么园林草坪灌溉应采用地埋喷头，而不是摇臂喷头？
- 8.解释等喷灌强度，并阐述其意义？
- 9.什么情况下选用止溢喷头？如果支管中静水压高于喷头止溢高度怎么办？
- 10.阐述压力补偿原理及意义。什么情况下宜采用压力补偿滴灌产品，什么情况下采用非补偿产品即可？
- 11.某滴灌系统采用河水灌溉。水中含有大量有机杂质及大量泥沙。设计一个保证不会堵塞滴灌系统的水质处理方案（造价不受限制）？
- 12.阐述先导隔膜式电磁阀工作原理。那几种情况可能导致电磁阀不能启闭？

- 13.施肥罐、文丘里管、比例施肥泵的进、出水口之间为什么要加闸阀？
14.什么条件要大量安装进、排气阀？
15.你认为浅丘陵地带应采用什么喷灌机？

第五章 节水灌溉常用水泵及其应用

第一节 泵及泵站类型和用途

泵是一种能量转换机械，它将外部施加的能量转施于液体，使液体的能量增加，从而将液体提升和/或压送到所需之处。用于提升和/或压送水的泵称为水泵。

为了完成提升和/或压送水的任务，除水泵自身外，还必须有配套的动力设备、附属设备、管路系统和相应的建筑物等组成一个整体，这一总体工程设施称为水泵站，简称泵站。

一、泵的类型和用途

泵是一种通用机械，广泛应用于农业、水利、建筑、电力、石油、化工、冶金、造船、国防等各个部门，在国民经济中占有重要地位。

泵的品种繁多，可按工作原理、结构形式、用途、配套动力机类型等进行分类。本讲义按其工作原理进行分类，大致分为叶片式泵、容积式泵和其他类型泵三大类。

1. 叶片式泵

叶片式泵是指利用叶轮的旋转运动将机械能转换为液体动能和压能的一类泵。根据叶轮旋转时对液体作用力的形式，叶片式泵分为离心泵、轴流泵和混流泵三种。

(1) 离心泵：利用叶轮旋转时产生的惯性离心力而工作的泵。按其结构型式，分为单级单吸式离心泵、单级双吸式离心泵、多级式离心泵和自吸式离心泵等。**离心泵流量范围广，扬程较高，节水灌溉大多采用这类泵。**

(2) 轴流泵：利用叶轮旋转时产生的轴向推力而工作的泵。按其主轴安装方向，分为立式轴流泵、卧式轴流泵和斜式轴流泵；按叶片调节的可能性，分为固定叶片式轴流泵、半调节式轴流泵和全调节式轴流泵。轴流泵流量大，扬程低，通常用于排水泵站和低扬程灌溉泵站。

(3) 混流泵：叶轮旋转时既产生惯性离心力又产生轴向推力的泵。按其结构形式，分为蜗壳式混流泵和导叶式混流泵。混流泵的适用范围介于离心泵和轴流泵之间。

工作原理与上述三种泵相同，仅结构形式或使用场合不同的叶片式泵还有长轴井泵、潜水电泵和水轮泵等。长轴井泵借助一根长传动轴将水泵潜入井中工作；根据扬程高低的不同，分为浅井、深井和超深井长轴深井泵等。潜水电泵将水泵与电动机联成一体潜入水中工作；根据使用场合不同，分为井用潜水电泵和地表水（作业面）潜水电泵等。水轮泵利用水轮机作为动力带动水泵工作，按水轮机的工作原理分为轴流式水轮泵和混流式水轮泵。

2. 容积式泵

容积式泵是指利用工作室容积的周期性变化而提升和/或压送液体的一类泵。根据工作室容积改变的方式，容积式泵分为往复式泵和回转式泵两种。

(1) 往复式泵：利用工作件的往复运动挤压液体而工作的泵，包括活塞泵、柱塞泵和隔膜泵等。三种泵的区别在于活塞泵的工作件是盘状活塞，柱塞泵的工作件是柱状活塞，而隔膜泵的工作件是橡胶隔膜。**柱塞泵和隔膜泵在丘陵山区提灌、人畜引水工程中也有应用。往复式化肥-农药注入器实际上就是一种利用管路自身水流（水压）工作的往复式泵。**

(2) 回转式泵：利用回转转子凸缘挤压液体而工作的泵，包括齿轮泵、凸轮泵和螺杆泵等。其中螺杆泵又分为单螺杆泵、双螺杆泵和三螺杆泵等。

3. 其他类型泵

其他类型泵是指除叶片式泵和容积式泵以外的特殊泵。在灌溉排水泵站中，有射流泵、水锤泵、气升泵（又称空气扬水机）、螺旋泵等。其中，除了螺旋泵是利用螺旋推进原理来提高液体的位能外，其他各种泵都是利用工作流体传递能量来输送液体的。

一般说来，容积式泵适用于高扬程、小流量的场合；叶片式泵覆盖了从低扬程到高扬程、从大流量到小流量的广阔区间，适用范围宽广。

二、泵站的类型和用途

根据用途，泵站可分为灌溉排水泵站、城镇给排水泵站和工矿供排水泵站等；根据使用的动力类型，可分为电力、机械（以柴油机为主）、水力、风力和太阳能泵站等。为了适应水位变化，常常需要修建移动式泵站。此外，潜水泵泵站不但能适应水位变化，还可大量节约水工建筑物投资，是泵站发展的趋势之一。

1. 灌溉排水泵站

灌溉排水泵站包括灌溉泵站、农田排水泵站和灌溉排水双向泵站等。我国北方井灌面积所占比重很大，井泵站是该地区灌溉泵站的主要类型。除了灌溉、排水功能外，我国广大农村还需修建大量解决人畜饮水的给水泵站。在水利建设中，泵站用于基坑排水、施工工地供水以及混凝土、砂浆和泥浆输送等。

2. 城镇给排水泵站

城镇给水泵站用于将水从水源地输送到水厂，并将净化后的清水输送到城镇管网和用户。城镇排水泵站用于排除污水和雨洪涝水。

3. 工矿供排水泵站

供排水泵站在工矿企业中大量采用，对工矿设备和设施的安全、经济运行起着重要作用。在火力发电厂中，有向锅炉供水的给水泵站，还有用于冷却循环水的循环水泵站。在采矿业中，竖井的井底排水、矿床地表疏干、煤的水力开采和输送等，都需要大量泵站。

本讲义简要讨论采用离心泵的节水灌溉泵站，并以水泵机组为主。

需要指出的是，虽然各种泵站因用途不同而采用不同的水泵类型和配套设施，但其基本组成、设计方法、水泵机组的选型原则和方法，以及安全运行要求等大体相同。

第二节 离心泵的工作原理、分类与构造

一、离心泵的工作原理

图 5-1 是离心泵的工作原理示意图。单级单吸式离心泵主要由叶轮、泵壳和泵轴组成，叶轮安装在固定不动的泵壳内，中心对着泵进口；泵壳分别与吸水管和出水管连接。普通离心泵启动前，吸水管和泵壳腔内应灌满水。当动力机通过泵轴带动叶轮高速旋转时，叶轮中的水由于受到惯性离心力作用，由叶轮中心甩向叶轮外缘，并汇集到泵壳内；获得势能和动能的水被导向出口，沿出水管输送到出水池或管路系统。与此同时，叶轮进口处产生真空（小于大气压），而作用于进水池水面的压力为大气压，进水池中的水便在此压力差的作用下，通过进水管吸入叶轮。叶轮不停地旋转，水就源源不断地被甩出和吸入。这就是离心泵的工作原理。

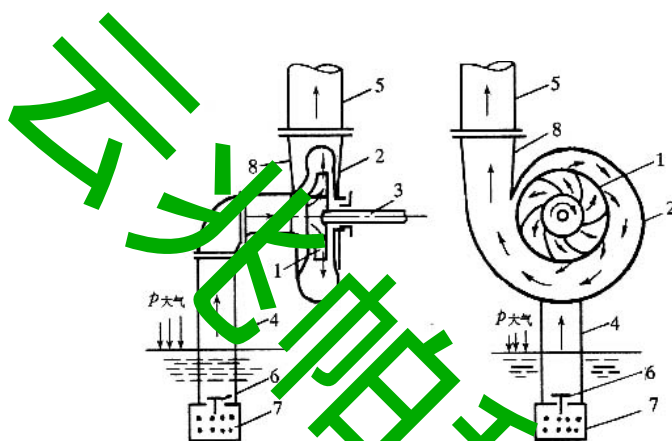


图 5-1 离心泵工作原理示意图

1—叶轮 2—泵壳 3—泵轴 4—吸水口 5—出水管
6—底阀 7—滤水网 8—扩散锥管

二、离心泵的分类

离心泵的类型很多，并且可按不同的方法分类。按级数可分为单级和多级，进入泵的液体仅一次通过叶轮的称为单级，进入泵的液体多次串联地通过叶轮的称为多级。按吸入方式可分为单吸和双吸，叶轮仅一侧有吸入口的称为单吸，叶轮两侧都有吸入口的称为双吸。按泵体剖分形式可分为径向剖分式和轴向剖分式，以垂直于泵轴的平面剖分泵体的称为径向剖分式，其中每一级都具有副分面的称为节段式；通过泵轴线的平面剖分泵体的称为轴向剖分式，如果该平面为水平面，则称水平中开式泵。按泵轴方向可分为卧式、立式和斜式。按所输送水的性质可分为清水离心泵、污水离心泵和污物离心泵。按进口直径或配套功率大小可分为微型、中小型、大中型和大型离心泵。按是否具有自吸功能，可分为普通离心泵和自吸式离心泵。

节水灌溉工程最常用的是中小型单级单吸清水离心泵。由于立式离心泵具有占地面积小、振动小、噪音小等显著优点，近年来在城镇园林节水灌溉中应用较多。

三、离心泵基本构造

下面以单级单吸离心泵为例,简要介绍离心泵的构造,其他离心泵的构造与此基本相同。

单级单吸离心泵常为卧式,其结构特点是叶轮固定在泵轴的一端,支撑重量的轴承位于另一端,受力如同悬臂梁,故又称悬臂式或悬架式离心泵。如图 5-2 所示,该型泵主要由叶轮、泵体、泵轴及轴承、轴封装置等组成。

1. 叶轮

把能量传给液体的具有叶片的旋转体称为叶轮。它的几何形状、尺寸、所用材料和加工工艺等对泵的性能起着决定性的作用,是水泵的核心。

输送清水或含有较少固体颗粒的水的离心泵一般采用封闭式叶轮。它由前盖板、叶片、后盖板和轮毂组成,如图 5-3 和 5-4 (a) 所示。前盖板为形成叶轮流道吸入侧的盖板,后盖板为形成叶轮流道后侧壁并与轮毂连在一起的盖板,轮毂为叶轮固定在泵轴上的部分。前、后盖板之间装有 5~10 片向外弯曲的圆柱形或扭曲形叶片。叶轮旋转时,水从进口吸入,在惯性离心力的作用下从叶轮四周甩出,所以水在离心泵叶轮中的流动方向是轴向进,径向出。离心泵前、后盖板不全的叶轮称为开式叶轮,其中只有后盖板的叶轮称为半开式叶轮,如图 5-4 (b) 所示;前、后盖板都没有或只有很短的盖板的称为全开式叶轮,如图 5-4 (c) 所示。开式、半开式叶轮多用于抽吸含有较多固体或纤维状物的液体,即通常所说的污水泵或污物泵。

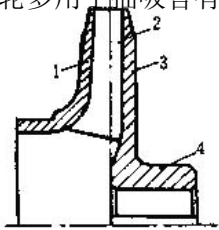


图5-3 封闭式叶轮

1—前盖板; 2—叶片; 3—后盖板; 4—轮毂

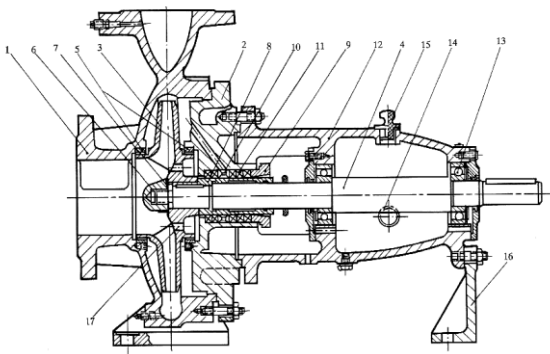


图 4-2 IS 型离心泵结构图 (剖面)
1—泵体; 2—泵盖; 3—叶轮; 4—泵轴; 5—密封环; 6—叶轮螺母; 7—止动垫圈; 8—轴承; 9—填料压盖; 10—填料环; 11—填料; 12—悬架; 13—轴承; 14—油杯; 15—油孔盖; 16—支架; 17—水压平衡孔

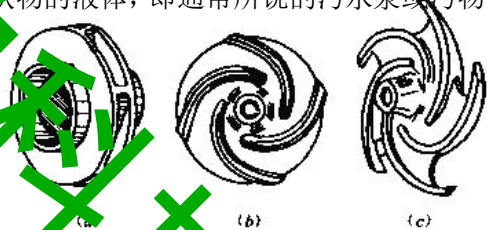


图5-4 离心式叶轮

(a) 封闭式; (b) 半开式; (c) 全开式

中小型清水泵的叶轮材料多为铸铁,近年来也有一部分采用工程塑料;大中型清水泵的叶轮材料通常为铸钢。加工好的叶轮要作静平衡试验,以消除不平衡重量,避免泵运行时产生振动。

水泵运行时,叶轮前、后盖板外侧与泵体之间的间隙中充满了具有一定压力的液体。由于后盖板受到排出液体作用的面积大于前盖板,因此就产生了一个指向泵进口方向的轴向力,如图 5-5 所示。此力会使叶轮和泵轴产生向泵进口方向的窜动,严重时会使叶轮螺母松动,叶轮口环端面与泵体发生摩擦。因此,必须设法平衡或消除作用在叶轮上的轴向力。对于扬程较低的单吸式离心泵,该力较小,一般由轴承承受。对于扬程较高的单吸式离心泵,通常在叶轮后盖板靠近轮毂处开平衡孔,如图 5-5 所示。水泵工作时,后盖板外侧的液体与进口相通,其压力与进口压力相近,使轴向力得以消除,少部分未消除的轴向力由轴承承受。但是,开了平衡孔后,水泵的效率会有所下降。此外,也有在叶轮后

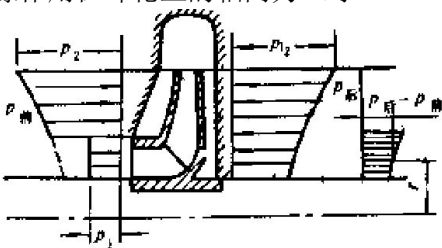


图5-5 叶轮前后侧的压力分布

盖板处用平衡管或加做平衡筋板的方法，使叶轮两侧的压力基本达到平衡。

2. 泵体和减漏环

泵体（泵壳）是形成包容和输送液体外壳的总称，由泵盖和蜗形体组成，如图 5-1 和 5-2 所示。泵盖为泵的吸入室，其作用是将吸水管路中的水以最小的水力损失均匀地引向叶轮。蜗形体由蜗室和扩散管组成，其作用是汇集从叶轮中高速流出的液体，消除液体从叶轮中流出时的旋转运动，将液体的一部分动能转化为压能，并将其输送到泵出口。泵体及进、出口法兰上通常设有泄水孔、排气孔（灌水孔）和测压孔，用以停机后放水，起动时抽真空或灌水，并安装真空表和压力表。

离心泵叶轮进口外缘与泵盖内缘之间配有一定的间隙。如果此间隙过大，泵出口侧回流到进口侧的水量增加，会使泵的出水量减少，效率降低。但过小时，又可能使叶轮与泵体之间产生机械摩擦。为了尽可能减少漏损，同时使磨损后便于修复或更换，一般在泵盖上或泵盖和叶轮上分别镶装一个圆环。由于它既可减少漏损，又能承受磨损，且位于水泵进口，故称减漏环，又称密封环、承磨环或口环。

3. 泵轴及轴承

泵轴起支承叶轮并将动力传递给叶轮的作用。它的一端借助键和叶轮螺母固定叶轮，另一端安装联轴器或皮带轮，如图 5-2 所示。泵轴上安装叶轮螺母的螺纹旋向与泵的旋转方向相反，以保证泵运行时叶轮螺母处于拧紧状态。为保护泵轴免遭磨损，通常在与填料密封对应的轴段安装一个轴套，轴套磨损后可以更换。为防止水进入轴承，泵轴上安装有挡水圈或防水盘等挡水件。

轴承的作用是支承泵的转子部分，分为滚动轴承和滑动轴承两大类。单级单吸离心泵通常采用滚动轴承中的深沟（单列向心）球轴承。深沟球轴承除承受径向载荷外，也可承受不太大的轴向荷载。滚动轴承采用机油或钙基脂润滑。

4. 轴封装置

泵轴穿过泵体处，必然有间隙存在，从叶轮流出的高压水会通过此间隙流到泵外。如果间隙处的压力低于大气压，则空气会从该处进入泵内，因此，必须设置轴封装置。填料密封是一种传统的轴封装置，它由底衬环、填料、水封环、水封管和填料压盖等组成，如图 5-6 所示。填料密封依靠填料与轴套的紧密接触，以及填料中的润滑油被挤出后在接触面上形成的油膜实现密封。填料压紧的程度，用压盖上的螺母来调节。如果压得过紧，填料与轴套摩擦损失增加，会缩短填料和轴套的寿命，严重时甚至将填料轴套磨坏；如果压得过松，会有大量的水泄漏到泵外。故填料应压得松紧合适，一般以液体每分钟外滴 40~60 滴为宜。填料中部的水封环，是一个中间凹下、外周凸起的圆环，环上开有若干小孔，水封环对准水封管。水泵运行时，泵内压力较高的水，通过水封管进入水封环，引入填料进行水封，同时还起冷却和润滑作用。

填料的种类较多，清水离心泵常用的填料是油浸石棉盘根。它由石墨浸渍过的石棉线或钢丝石棉线编结而成，具有耐热、耐磨、柔软和良好的润滑特性。填料的根数应不少于 4 根，放入填料时接缝处要相互错开。为保证填料密封的良好工作状态，对已磨损或硬化的填料，应及时更新。填料密封的优点是结构简单，成本低，拆装方便，但使用寿命短，密封性能差。

除石棉盘根填料密封外，近年来许多水泵已

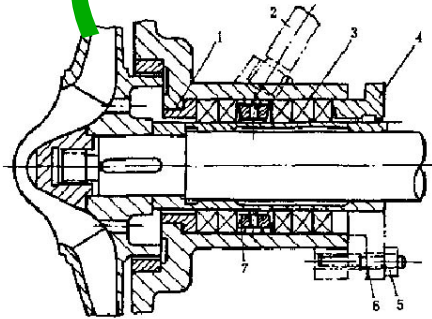


图 5-6 离心泵的填料密封

1—底衬环；2—水封管；3—填料；4—填料压盖；5—螺母；6—双头螺栓；7—水封环

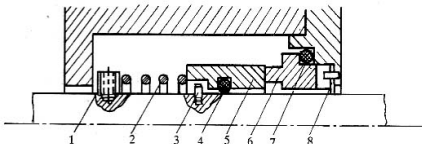


图 5-7 机械密封构造和原理图

1—弹簧座；2—压紧弹簧；3—传动销；4—动环密封端面；5—静环；6—静环密封端面；7—静环密封端面；8—防转销

逐步采用机械密封、磁液密封等新的轴封装置。图 5-7 为机械密封原理图，它由动环（随泵轴一起旋转并能做轴向移动）、静环、压紧弹簧和密封胶圈等组成，动环的光洁端面依靠弹簧和液体的压力，紧密贴合在静环的光洁端面上而形成径向密封，同时由密封胶圈完成轴向密封。机械密封结构紧凑，摩擦损失小，密封性能可靠，但制造工艺稍复杂，价格较高，损坏后更换也不太方便。

第三节 离心泵的性能

一、离心泵的性能参数

离心泵的性能参数是用来表征水泵性能的一组数据，包括**流量、扬程、功率、效率、必需汽蚀余量和转速等**。

1. 流量

流量是指单位时间内从泵出口排出并进入输水管路的液体体积，常用 Q 表示，单位为 m^3/h 、 m^3/s 或 L/s 。

泵运行时，从泵出口实际流出的流量称实际流量。水泵标牌上的流量是这台泵的额定流量，又称设计流量。一般情况下，泵在额定流量点或其附近运行时效率最高。如果泵运行时的实际流量偏离额定流量较多，效率通常会降低。

2. 扬程

扬程是指单位重力的水从水泵进口到水泵出口所增加的能量，用 H 表示，单位是 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{N}$ ，习惯上简略为 m 。

水泵标牌上的扬程是这台泵的设计扬程，即对应于额定流量的扬程，又称额定扬程。

3. 功率

功率是指泵在单位时间内所做功的大小，单位是 kW 。

(1) 有效功率：有效功率又称输出功率或水功率，是指泵传递给所输出水的功率，用 p_u 表示，可用下式计算：

$$p_u = \frac{\rho g Q H}{1000} \quad (5-1)$$

式中 ρ ——液体的密度， kg/m^3 ；

g ——自由落体重力加速度， m/s^2 。

(2) 轴功率：轴功率又称输入功率，是指泵轴所接受的功率，用 P 表示。水泵标牌上的轴功率是指对应于额定流量的轴功率，又称额定功率。

(3) 配用功率：配用功率又称配套功率，是指与泵配套的动力机功率。为了保证水泵机组和泵站安全运行，避免因泵的轴功率增大而造成配套动力机损坏，配用功率应大于轴功率。

对于节水灌溉常用的中小型离心泵，水泵标牌上通常仅标出配用功率，而不标出轴功率。

4. 效率

泵的轴功率不可能全部传递给被输出的液体,其中必有一部分能量损失。因此水泵的有效功率总是小于轴功率。有效功率与轴功率的比值称为水泵的效率,它标志着水泵对能量的有效利用程度,是水泵设计和制造质量的重要考核指标,用 η 表示。其表达式为:

$$\eta = \frac{P_u}{P} \times 100\% \quad (5-2)$$

水泵铭牌上的效率是对应于额定流量的效率,该效率通常为泵的最高效率。

5. 必需汽蚀余量

必需汽蚀余量是表征叶片泵汽蚀性能的参数,用 $(NPSH)_r$ 表示,单位为 m。将在第五节详细介绍。

6. 转速

转速是指泵轴每分钟旋转的圈数,用 n 表示,单位是 r/min。水泵标牌上的转速是泵的设计转速,又称额定转速。

转速是影响水泵性能的一个重要参数,当转速变化时,水泵的上述五个性能参数都相应地发生变化。

二、离心泵的性能曲线

离心泵的性能参数标志着泵的性能,但各个性能参数之间不是孤立的、静止的,而是相互联系和相互制约的。对既定的泵,这种联系和制约具有一定的规律性。它们的变化规律,通常用曲线表示,称之为基本性能曲线,简称性能曲线。

通常将泵的转速 n 作为常量,将扬程 H 、轴功率 P 、效率 η 和必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 等4个参数,随流量 Q 而变化的关系分别绘制成 $Q \sim H$ 、 $Q \sim P$ 、 $Q \sim \eta$ 和 $Q \sim (NPSH)_r$ 曲线。

了解泵的性能,掌握其变化规律,熟悉性能曲线的特点,对泵的合理选型和配套、确定吸上高度、调节运行工况以及科学管理等都极为重要。

到目前为止,泵的性能参数只能通过试验得出。试验时,通常保持泵在额定转速下运行,通过调节试验管路中泵出口阀门的开度改变水泵的运行工况,测出所需的各项数据,并通过计算得出一系列性能参数值。以流量为横坐标,分别以扬程 H 、轴功率 P 、效率 η 和必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 为纵坐标,将这些数值绘制在图上,便可得出在额定转速下的 $Q \sim H$ 、 $Q \sim P$ 、 $Q \sim \eta$ 和 $Q \sim (NPSH)_r$ 曲线。

离心泵的性能曲线如图 5-8 所示,以下作简要分析。

(1) 水泵制造厂产品样本及其他技术资料中给出的性能参数和性能曲线,是在水泵结构尺寸不变(例如叶轮外径不切割)和额定转速下得出的。如果这两个参数中的任意一个发生变化,性能参数和性能曲线就将随之发生变化。

(2) 离心泵的 $Q \sim H$ 曲线通常是一条缓慢下降(也有带驼峰的)曲线,即零流量下的扬

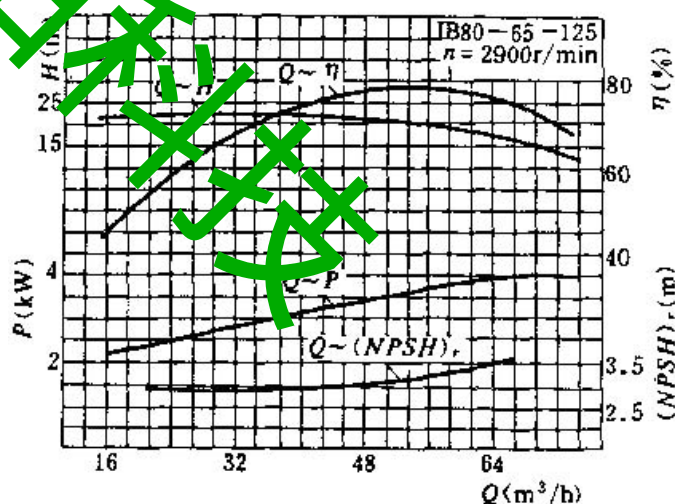


图5-8 IB 80-65-125型离心泵性能曲线

程最高，并随着流量的增大而逐渐减小。因此，那种认为关闭叶片泵尤其是离心泵出口管路上的阀门，压力会急剧甚至无限升高，以至于损坏输水管道的看法是错误的。

(3) 离心泵的 $Q \sim P$ 曲线通常是一条近似直线的缓慢上升曲线，即零流量下的轴功率最小（约为额定功率的 30%），并随着流量的增大而逐渐增大。因此，离心泵应尽可能关阀启动，以减小动力机的起动负载。因此，那种认为选择一台扬程偏高的水泵，运行时工作在大流量工况，可保护动力机、节省运行费用的做法，恰恰是错误的、适得其反的。

(4) 离心泵的 $Q \sim \eta$ 曲线通常是一条上凸曲线，即最高效率点与额定流量大体对应，并随着流量的增大或减小而逐渐减小。因此，为节约能源，降低提水加压成本，应尽可能使离心泵在额定工况或其附近运行。通常推荐离心泵运行工况点的流量应在 $0.7 \sim 1.2Q$ 范围内。

(5) 离心泵的 $Q \sim (NPSH)_r$ 曲线通常是一条下凹的曲线，即在额定流量附近的汽蚀余量最小，并随着流量的增大或减小而逐渐增大。

(6) 水泵的性能曲线对水泵的正确选型和运行管理非常重要，有些水泵厂仅给出额定点的一组性能参数，是不负责任的，因为任何一台水泵都不可能正好在额定工况点运行。另有少数水泵厂甚至仅给出最高扬程和最大流量，更是荒唐的，选用水泵时应引起注意。

(7) 如果水泵厂仅提供了三个点（通常为 $0.7Q$ 、 Q 和 $1.2Q$ ）的性能参数，未提供性能曲线，水泵选型时， $0.7 \sim 1.2Q$ 之间的其他性能参数可近似按插值法得出。

三、比转速

比转速也称比转数，或简称比转，用 n_s 表示。比转速是泵的一个重要特征参数，主要用于泵的分类、设计、性能对比分析和系列型谱制定等。本讲义不作详细介绍，但作为一名灌溉工程师应该有所了解，最好能记住。比转速 n_s 的表达式如下：

$$n_s = 3.65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (5-3)$$

我国规定计算 n_s 的单位是：

Q —— m^3/s （双吸泵取 $Q/2$ ）；

H —— m （多级泵取单级扬程）；

n —— r/min 。

第四节 离心泵运行工况的确定及调节

一、单泵运行工况点的确定

离心泵运行时的工况点，就是在水泵型号、管路系统（包括进、出水管路和进、出水池水位）已定的情况下，求出水泵实际运行时的扬程 H 、流量 Q 、轴功率 P 、效率 η 和必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 等性能参数。在水泵选型、泵站设计和运行管理中，水泵运行工况点的确定非常重要。

泵的运行工况点必定是泵性能曲线上的一个点，但究竟是哪一个点，不仅决定于泵自身性能，还决定于反映进、出水池水位与进出水管路的管路系统性能，因而是由泵的性能和管路系统性能共同决定的。

1. 管路系统性能曲线

如图 5-9 所示，以进水池水面为基准面，列出进、出水池水面的能量方程式：

$$0 + \frac{P_{\text{进}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{进}}^2}{2g} + H = H_{\text{实}} + \frac{P_{\text{出}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{出}}^2}{2g} + h_{\text{损}}$$

即

$$H = H_{\text{实}} + \frac{P_{\text{出}} - P_{\text{进}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{出}}^2 - v_{\text{进}}^2}{2g} + h_{\text{损}} \quad (5-4)$$

式中 $\frac{P_{\text{进}}}{\rho g}$ 、 $\frac{P_{\text{出}}}{\rho g}$ ——进、出水池水面的压力水头，m；

$\frac{v_{\text{进}}^2}{2g}$ 、 $\frac{v_{\text{出}}^2}{2g}$ ——进、出水池的流速水头，m；

H ——单位重力的水从泵进口到出口能量增加的数值，m；

$H_{\text{实}}$ ——进、出水池水位差（淹没出流）或出水管口中心至进水池水位的高差（自由出流），m；

$h_{\text{损}}$ ——管路水头损失，m。

图 5-9 所示的进、出水池水面为自由水面，故进、出水池的压力水头差等于零。若流速水头差忽略不计，则式（5-4）可化简为：

$$H_{\text{需}} = H_{\text{实}} + h_{\text{损}} \quad (5-5)$$

式中， $H_{\text{需}}$ 表示把单位重力的水从进水池输送到出水池所需消耗的能量值。该值与水泵提供的扬程 H 是一致的。

由水力学知，管路水头损失包括沿程水头损失 $h_{\text{沿}}$ 和局部水头损失 $h_{\text{局}}$ 两部分，即：

$$h_{\text{损}} = h_{\text{沿}} + h_{\text{局}} = \sum \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \xi \frac{v^2}{2g} \quad (5-6)$$

式中， λ 和 ξ 分别表示沿程阻力系数和局部阻力系数； L 和 d 分别表示直管长度和管道

内径； v 为通过管路的平均流速或与 ξ 值相对应位置的平均流速，对于圆管 $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ ，则公式（5-6）可写成下列形式：

$$h_{\text{损}} = \left(\sum \frac{\lambda L}{12.1d^5} + \sum \frac{\xi}{12.1d^4} \right) Q^2 = (\sum S_{\text{沿}} + \sum S_{\text{局}}) Q^2 = S Q^2 \quad (5-7)$$

式中 $S_{\text{沿}}$ ——管路沿程阻力参数， s^2/m^5 ；当管材、管长和管径确定后， $S_{\text{沿}}$ 为常数；

$S_{\text{局}}$ ——管路局部阻力参数， s^2/m^5 ；当管径和局部水头损失类型确定后， $S_{\text{局}}$ 为常数；

S ——管路沿程和局部阻力参数之和， s^2/m^5 。

将式（5-7）代入式（5-5），得：

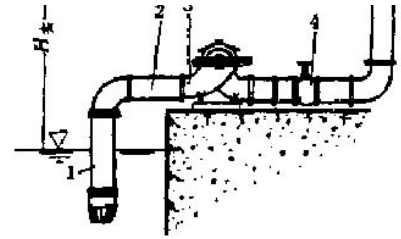


图 5-9 管路系统示意图

1—进水池；2—管路；3—泵；
4—逆止阀；5—出水池

$$H_{\text{需}} = H_{\text{实}} + SQ^2 \quad (5-8)$$

式 (5-8) 表示顶点在 $Q=0, H=H_{\text{实}}$ 的二次抛物线, 称管路系统性能曲线或需要扬程曲线, 如图 5-10 所示。

对于节水灌溉泵站, 以进水池水面为基准面, 列出进水池水面与田间首部某一位置 (需加上首部设计压力水头) 的能量方程式, 便可得出与式 (5-8) 相同的二次抛物线方程。

2. 离心泵运行工况的确定

离心泵运行工况点的确定有图解法和数解法两种。

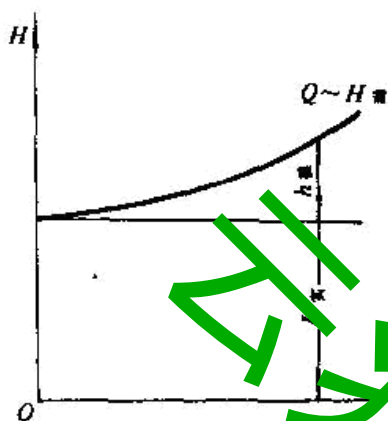


图 5-10 管路系统性能曲线

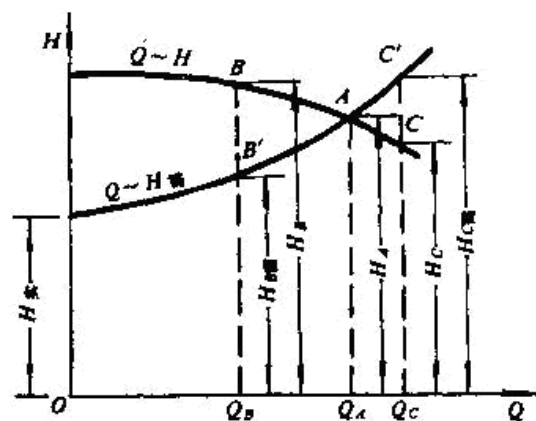


图 5-11 水泵的工况点

(1) 图解法

将水泵的性能曲线 $Q \sim H$ 和管路系统性能曲线 $Q \sim H_{\text{需}}$ 绘在同一个 Q, H 坐标内, 两条曲线相交于 A 点, 则 A 点即为水泵运行的工况点, 如图 5-11 所示。A 点表明, 当流量为 Q_A 时, 水泵所提供的能量恰好等于管路系统所需要的能量, 故 A 点为供需平衡点。若工况点不在 A 点而在 B 点, 从图 5-11 可以看出, 此时流量为 Q_B , 水泵供给的能量 H_B 大于管路系统所需要的能量 $H_{B\text{需}}$, 供需失去平衡, 多余的能量 ($H_B - H_{B\text{需}}$) 会使管中的水流加速, 流量加大, 直到工作点移到 A 点、达到能量供需平衡为止。反之, 若工况点在 C 点, 则水泵供给的能量 H_C 小于管路系统所需要的能量 $H_{C\text{需}}$, 能量供不应求, 管中水流减速, 流量减小, 直到减至 Q_A 为止。因此, 只要水泵性能、管路损失和进、出水池水位等因素不变, 水泵将稳定在 A 点工作。工作点确定后, 其对应的轴功率、效率等参数可从相应的水泵性能曲线上查得。水泵运行时, 水泵装置的工作点应在水泵的高效区内, 这样泵站运行经济。

在实际扬程多变的情况下, 运用上述方法确定工作点需绘制一系列 $Q \sim H_{\text{需}}$ 曲线, 比较繁琐。采用扣损法则方便得多。如图 5-12 所示, 先在 Q 坐标轴的下面画出管路损失曲线 $Q \sim h_{\text{损}}$, 再在水泵性能曲线 $Q \sim H$ 上减去相应流量的水头损失, 得到水泵装置性能曲线 $Q \sim H_{\text{装置}}$, 它与实际扬程 $H_{\text{实}}$ 水平横线相交于 A' 点, 再由 A' 点向上引垂线与 $Q \sim H$ 曲线交于 A 点, 此点即为水泵工作点。

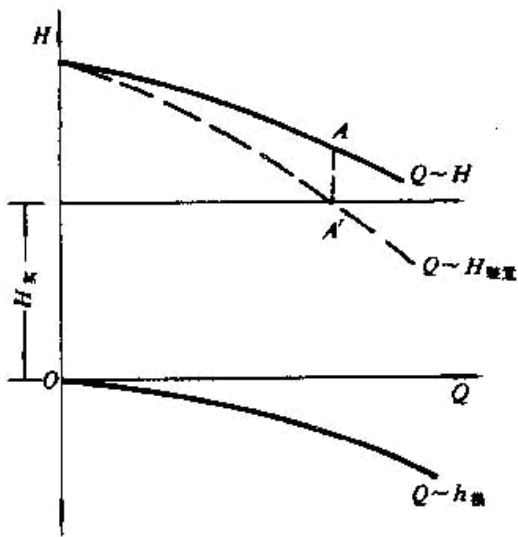


图5-12 用加损法求工况点

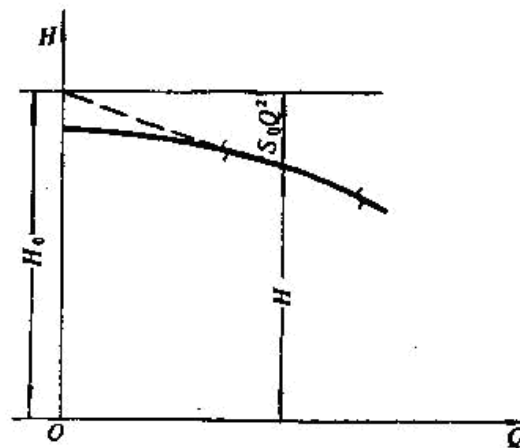


图5-13 离心泵的实验性能曲线与经验方程曲线

(2) 数解法

离心泵 $Q-H$ 曲线在高效率区范围内的一段曲线，可用下列经验方程表示：

$$H = H_0 - S_0 Q^2 \quad (5-9)$$

式中， H_0 、 S_0 分别为水泵的扬程常数和阻力系数。

在 $Q-H$ 曲线高效率区范围内选两个点的 Q 、 H 值，分别代入上式，解联立方程式即可算出 H_0 、 S_0 值。图 5-13 中的虚线为式 (5-9) 的图形。在高效率区范围内它和试验性能曲线很接近，但在 $Q=0$ 时虚线 H_0 通常不等于试验性能曲线中 $Q=0$ 时的扬程。

在工况点处 $H_{需} = H$ ，因此解联立方程式 (5-9) 和式 (5-9)，即可求得工况点的流量：

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 - H_{实}}{S_0 + S}} \quad (5-10)$$

二、离心泵的并联和串联运行

1. 并联运行

在泵站中，如果水泵台数较多，出水管路较长时，为了节省管材，减小出水建筑物的占地面积，降低工程造价，可以采用几台水泵共用一条出水管，这种运行方式称为水泵的并联运行。

(1) 两台同型号水泵、管路对称布置的并联运行

由于管路对称布置，联接点前两条管路的水头损失相等，因此，两台同型号水泵并联运行时扬程相等，并联后的 $Q-H$ 曲线等于单台水泵 $Q-H$ 曲线在同一扬程下的流量相叠加，但各台水泵的流量小于一台泵单独运行时的流量。

(2) 两台不同型号水泵、管路不对称布置的并联运行

由于两台水泵型号不同，管路布置不对称，并联点前两条管路的水头损失不相等，两台泵并联运行时每台泵工况点的扬程也不相等。因此并联后的 $Q-H$ 曲线绘制不能采用同一扬程下流量叠加的原理。

两台不同型号水泵并联运行时,关死点扬程低的泵呈空载运行,会使泵中水的温度上升,导致泵损坏,并有可能出现事故。如果扬程低的泵无逆止阀,水将通过该泵倒流,机组倒转。所以不同型号水泵并联运行时,各台泵的扬程应基本相等,至少各台泵的关死点扬程应基本相等。

2. 串联运行

将水泵首尾相接串联在同一管路系统中运转,称水泵的串联运行。当水泵串联运行时,同一流量经过每一台泵,因此串联水泵的总扬程等于每台泵在同一流量时的扬程之和。

多级泵实质上就相当于几台单级泵串联运行,因此当用一台泵的扬程不够时,可选用多级泵。

如果需要水泵串联运行,要注意各泵的额定流量应基本相等。否则,当流量小的泵在后面一级时会过载,在前面一级时会变成阻力,使流量大的泵发挥不出应有的作用,且串联后的泵不能保持在高效率区运行。如果两台泵的流量不同,应将流量较大的泵放在第一级内,且后面泵的耐压强度要高,以免泵损坏。

三、运行工况的调节

在选择和使用水泵时,如果运行工况不在高效率区,或水泵的扬程、流量不符合实际需要,这时可采用改变水泵性能或改变管路性能或两者都改变的方法来移动工况点,使之符合要求。这种方法称为水泵工况的调节。

1. 变速调节

改变水泵的转速,可以使水泵的性能参数改变,达到调节水泵运行工况的目的。这种方法称为变速调节。

(1) 变速公式——比例率

同一台泵在不同转速下运行,由相似定律,可得流量、扬程、轴功率与转速之间的关系为:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5-11)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (5-12)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (5-13)$$

以上三个式子是相似定律的一个特例,称比例律。变速公式表明,对同一台水泵,当转速改变时,流量与转速的一次方成正比,扬程与转速的二次方成正比,轴功率与转速的三次方成正比。

(2) 变速方法

改变水泵转速的方法大体有两种,一种是采用可变速的传动设备,如带传动、齿轮传动、液压传动等;另一种是采用可变速的动力机,如柴油机、直流电动机、异步电动机(改变极对数、转差率或频率)等。

变速调节具有良好的节能效果,在离心泵中广泛应用。但改变转速是有限度的,降低转速一般不应低于额定转速的 20%,否则水泵效率会明显下降;提高转速应与水泵厂协商,一

般不宜超过额定转速的 5%，否则不但会引起动力机超载和发生汽蚀，也会增加水泵零件的应力。

2. 变径调节

车削叶轮外径，可使水泵的性能参数改变，达到调节水泵运行工况的目的。这种调节方法称为变径调节。

(1) 叶轮切割公式

$$\frac{Q_a}{Q} = \frac{D_{2a}}{D_2} \tag{5-14}$$

$$\frac{H_a}{H} = \left(\frac{D_{2a}}{D_2} \right)^2 \tag{5-15}$$

$$\frac{P_a}{P} = \left(\frac{D_{2a}}{D_2} \right)^3 \tag{5-16}$$

以上三个公式中， D_2 为水泵的叶轮外径，脚标 “a” 表示车削后的水泵叶轮外径及对应的性能参数，其他符号意义同前。

叶轮切割公式表明，对同一台水泵，当叶轮外径在一定限度内改变时，流量与叶轮外径的一次方成正比，扬程与叶轮外径的二次方成正比，轴功率与叶轮外径的三次方成正比。

(2) 车削叶轮应注意的问题

叶轮车削量有一定限度，否则原来的结构被破坏，使叶片出口端变厚，叶轮与泵壳隔舌之间的间隙增大，导致水泵效率降低太多。叶轮的最大车削量与比转速有关，如表 5-1 所列。从表中可以看出，比转速超过 350 的泵不允许车削叶轮。故变径调节只适用于离心泵和一部分比转速较小的混流泵。

表 5-1 叶片式泵叶轮的允许最大车削量

比转速	60	120	200	300	350 以上
允许最大车削量 ($D_2 - D_{2a}$) / D_2	20%	15%	11%	7%	0
估计效率下降值	每车削 10%，下降 1%		每车削 4%，下降 1%		

叶轮车削后应重新作平衡试验，调整水泵转动部件的平衡度。

加大叶轮外径也可以达到调节水泵工况的目的。叶轮外径的增加量仍按切割定律计算，但需考虑叶轮外缘与泵壳隔舌之间的间隙，并应满足水泵零件的强度要求，且不得使动力机超载。

在离心泵设计、制造中，除了标准叶轮外径外，大多数还有同型号带 “A”（叶轮第一次切割）或 “B”（叶轮第二次切割）的叶轮可供选用。

3. 变阀调节

改变出水管路中阀门的开度，可使管路系统性能改变，达到调节水泵运行工况的目的。这种调节方法称为变阀调节或节流调节。

管路中的阀门关小，局部水头损失增大，管路系统性能曲线向左上方移动，水泵运行工况点也向左上方移动。阀门关得越小，局部水头损失越大，流量也就越小。由此可见，变阀调节不仅造成额外损失，还减少了流量，很不经济。但由于简单易行，仍在实践中大量采用。

4. 变角调节

变角调节适用于大中型轴流泵和混流泵，本讲义不作介绍。

第五节 离心泵的汽蚀及安装高程的确定

一、水泵的汽蚀及危害

1. 汽蚀的概念

液体气化时的压力称为液体的汽化压力（饱和蒸汽压力）。液体汽化压力的大小与温度有关。温度越高，分子运动就越剧烈，汽化压力也就越大。20℃常温清水的汽化压力水头为0.24m，而100℃时的汽化压力水头为10.33m（一个标准大气压）。所以当压力水头降为0.24m时，常温清水就开始汽化。由此可见，在一定温度下，压力是促成液体汽化的外界因素。水在不同温度下的汽化压力水头见表5-2。

表 5-2 水在不同温度下的汽化压力水头

水 温 (℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$p_v/\rho g$ (mH ₂ O)	0.06	0.12	0.24	0.43	0.75	1.25	2.02	3.17	4.82	7.14	10.33

在一定温度下，将压力降低到液体在该温度下的汽化压力时，液体便产生气泡。这种液体产生气泡的现象称为汽蚀。实际上，气泡内的气体不完全是蒸汽，还包含着以溶解或核的形式存在的气体（主要是空气）。液体中溶解的气体由于扩散而进入气泡中，将助长气泡的成长。

2. 泵内汽蚀的过程

泵运行中，若其过流部分的局部区域（通常是叶轮的叶片进口边稍后处），因某种原因使所输送液体的绝对压力下降到当时温度下的汽化压力时，液体便在该处开始汽化，产生蒸汽，形成气泡。这些气泡随液体向前流动，至某高压处时，气泡周围的高压液体使气泡急剧缩小，以致破裂（凝结）。在气泡凝结的同时，液体质点以极高的速度填充空穴，发生互相撞击。这种现象发生在固体壁面上，将使过流部件受到腐蚀破坏。

3. 水泵发生汽蚀时的危害

水泵发生汽蚀，主要造成以下三方面的危害。

(1) 性能曲线下降

水泵发生汽蚀时，因水流中含有气泡，引起水泵性能的变化。这种变化对不同比转速的水泵有不同的特点。离心泵叶槽狭长，汽蚀初生时，性能曲线开始下降，但对泵的运行没有明显的影响，当汽蚀严重时，气泡大量产生，阻塞流道，性能曲线急剧下降，出现“断裂”工况。在多级离心泵中，因汽蚀发生在首级，所以性能曲线下降比单级泵小。

(2) 过流部件遭到剥蚀

气泡溃灭时，产生强烈的水锤，其作用力可高达 50MPa。如此大的力频繁作用，引起金属表面局部塑性变形和硬化变脆，产生疲劳现象，发生微小裂缝，进而使金属破裂与剥落。

除力学作用外,气泡溃灭时产生的冲击波和微射波,以及水流与金属材料之间产生的化学和电化学腐蚀作用,都会加速金属的剥蚀速度。当水中含沙量较高时,泥沙磨损伴生汽蚀,同时汽蚀又促进磨损。水泵在严重的汽蚀状态下运行时,发生汽蚀的部位开始时出现麻点,随后很快扩大成海绵或蜂窝状,直至大片脱落而破坏。

(3) 产生噪声和振动

水泵发生汽蚀时,由于气泡振动和气泡破灭产生噪声,危害泵站管理人员的身心健康。由于气泡溃灭,气泡团或涡带汽蚀的不稳定性均引起强烈振动,使水泵装置不能工作,甚至造成装置和泵房结构的破坏。

二、汽蚀余量

一台水泵在运行中发生汽蚀,但在完全相同的条件下,换上另一台水泵就可能不发生汽蚀,这说明水泵是否发生汽蚀与其本身的抗汽蚀性能有关。反之,同一台水泵在某一吸入装置条件(例如吸上高度 7m)下运行时发生汽蚀,但在改变吸入装置条件(例如吸上高度 5m)后则不发生汽蚀,这说明水泵是否发生汽蚀还与装置条件有关。可见,水泵发生汽蚀的条件是由泵站吸入装置和水泵本身两方面决定的。

1. 装置汽蚀余量(NPSH)_a

装置汽蚀余量也称有效汽蚀余量,是指水流从进水池经吸水管到达泵进口时,单位重量的水所具有的总水头减去相应水温的汽化压力后的剩余水头。装置汽蚀余量(NPSH)_a用下式计算:

$$(NPSH)_a = \frac{P_{\text{进}}}{\rho g} - \frac{P_{\text{汽}}}{\rho g} - H_{\text{吸}} - h_{\text{吸}} \quad (5-17)$$

式中: $\frac{P_{\text{进}}}{\rho g}$ ——进水池水面(亦即水泵安装地点)的大气压力水头, m;

$\frac{P_{\text{汽}}}{\rho g}$ ——所输送水在一定温度下的汽化压力水头, m;

$H_{\text{吸}}$ ——水泵的吸上高度, m; 若水泵安装于进水池水面以下,称注水高度或淹没深度,为负值;

$h_{\text{吸}}$ ——吸水管的水头损失, m。

从上式可以看出,装置汽蚀余量仅与进水池水面的大气压力、泵的吸水高度(或淹没深度)、吸水管的水头损失和水温有关,即由泵吸入侧管路的装置条件及输送水的流量所决定,与泵本身无关。

2. 必需汽蚀余量(NPSH)_r

必需汽蚀余量是指在一定转速和流量条件下,保证泵不发生汽蚀必需具有的(即需要的)汽蚀余量。

到目前为止,还没有准确计算必需汽蚀余量的方法,只能通过水泵汽蚀试验获取。汽蚀试验规定在额定转速下进行。如果试验转速与额定转速不同,应按汽蚀相似公式(式(5-21))将在试验转速下得到的汽蚀余量,换算为额定转速下的汽蚀余量。试验时,通过调节出口阀门,保证流量在试验过程中不变。试验过程中的汽蚀余量用 (NPSH)_t 表示,对应性能(扬程或效率)下降(2+k/2)% (k 为型式数)时的汽蚀余量称为临界汽蚀余量,用 (NPSH)_c 表示。试验中,一台泵要取几个不同的流量(通常为 0.8Q、Q 和 1.2Q 三个流量),重复上述试验,求取各个对应流量下的(NPSH)_c。

为了保证水泵正常工作,通常加 0.3m 安全量作为不产生汽蚀所需要的最小汽蚀余量,即必需汽蚀余量(NPSH)_r。(NPSH)_r 可从制造厂提供的 Q~(NPSH)_r 曲线或性能参数表中查得。

必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 是表征水泵汽蚀性能的参数,是计算水泵允许吸上高度的依据。在相同的流量和转速条件下, $(NPSH)_r$ 值越小,表示泵的抗汽蚀性能越好,反之抗汽蚀性能就越差。

3. 几个汽蚀余量的定义以及它们之间的关系

- (1) 装置汽蚀余量 $(NPSH)_a$: 是由吸入装置提供的, $(NPSH)_a$ 越大,泵越不容易发生汽蚀。
- (2) 试验汽蚀余量 $(NPSH)_t$: 是指泵试验过程中的汽蚀余量。试验结束,它就失去了价值,泵使用者不需要掌握。
- (3) 临界汽蚀余量 $(NPSH)_c$: 泵汽蚀试验时,对应泵性能(扬程或效率)下降规定值的试验汽蚀余量。临界是指该值为泵发生汽蚀的临界点。
- (4) 必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$: 考虑了一定安全余量的汽蚀余量。对一般清水泵,通常留0.3m的安全余量,即 $(NPSH)_r=(NPSH)_c+0.3m$ 。水泵制造厂提供的性能参数表或性能曲线中给出的应是该汽蚀余量。注意,某些水泵厂对汽蚀余量的概念并不一定清楚,他们提供的可能是临界汽蚀余量 $(NPSH)_c$,而不是必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 。

结论: 为了保证泵不发生汽蚀,必须满足 $(NPSH)_a \geq (NPSH)_r$ 。

三、离心泵安装高程的确定

水泵的安装高程是指满足水泵不发生汽蚀的水泵基准面高程,根据泵对应工况点的汽蚀性能参数和进水池的水位确定。对于节水灌溉工程,由于水泵尺寸和泵站规模一般都比较小,所以人们更关心的是水泵基准面(离心泵的基准面是叶轮进口中心线)距进水池水面的最大高度,即水泵允许吸上高度。

1. 水泵允许吸上高度 $H_{允吸}$

由式(5-17)得:

$$H_{吸} = \frac{P_{进}}{\rho g} - \frac{P_{汽}}{\rho g} - (NPSH)_a - h_{吸} \quad (5-18)$$

用必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 代替上式中的装置汽蚀余量 $(NPSH)_a$,则水泵的吸上高度 $H_{吸}$ 就成了水泵在标准状况(即一个标准大气压力,水温为20℃)下的允许吸上高度 $H_{允吸}$,即:

$$H_{允吸-标准} = \frac{P_{标准}}{\rho g} - \frac{P_{20}}{\rho g} - (NPSH)_r - h_{吸} \quad (5-19)$$

式中: $\frac{P_{标准}}{\rho g}$ ——标准大气压力水头, m (即 10.33m);

$\frac{P_{20}}{\rho g}$ ——水在 20℃的汽化压力水头, m (即 0.24m)。

由于 $\frac{P_{标准}}{\rho g} - \frac{P_{20}}{\rho g} = 10.33 - 0.24 \approx 10$, 所以式(5-19)可表示为:

$$H_{允吸-标准} = 10 - (NPSH)_r - h_{吸} \quad (5-20)$$

2. 对 $H_{允吸}$ 的修正

必须指出,水泵汽蚀试验是在标准状况和额定转速下进行的,泵的实际使用条件常常与这些条件不符,因此必须对 $H_{允吸}$ 进行修正。

(1) 转速修正

如果水泵实际转速与额定转速不同,则应按下式进行修正:

$$(NPSH)_{r\text{转速}} = (NPSH)_r \left(\frac{n_{\text{实}}}{n} \right)^2 \quad (5-21)$$

式中 $(NPSH)_{r\text{转速}}$ ——按水泵实际运行转速修正后的必需汽蚀余量，m；

$n_{\text{实}}$ ——水泵实际运行转速，r/min。

用 $(NPSH)_{r\text{转速}}$ 代替式(4-20)中的 $(NPSH)_r$ ，则转速修正后的允许吸上高度为：

$$H_{\text{允吸-转速}} = 10 - (NPSH)_{r\text{转速}} - h_{\text{吸}} \quad (5-22)$$

式中 $H_{\text{允吸-转速}}$ ——转速修正后的允许吸上高度，m；

(2) 大气压力和温度修正

如果水泵安装地点的大气压和水温与标准状况不同，则修正后的允许吸上高度为：

$$H_{\text{允吸-气温}} = \frac{P_{\text{进}}}{\rho g} - \left(\frac{P_{\text{汽}}}{\rho g} - \frac{p_{20}}{\rho g} \right) - (NPSH)_r - h_{\text{吸}} \quad (5-23)$$

如果同时进行转速、大气压和水温，则修正后的允许吸上高度按下式计算：

$$H_{\text{允吸-同时}} = \frac{P_{\text{进}}}{\rho g} - \left(\frac{P_{\text{汽}}}{\rho g} - \frac{p_{20}}{\rho g} \right) - (NPSH)_{r\text{转速}} - h_{\text{吸}} \quad (5-24)$$

3. 关于允许吸上高度的几点说明

(1) 允许吸上高度与水泵安装地点的大气压力有关。海拔越高，大气压力就越小，水泵的允许吸上高度也就越小。计算时，应根据当地的海拔高程从表 5-3 中查取大气压力水头。海拔高程为表中的中间值时，可用插值法，也可从相关资料中查取准确数值。

(2) 允许吸上高度与所输送水的温度有关。水温越高，汽化压力（饱和蒸汽压力）越大，水泵的允许吸上高度越小。计算时，应根据泵运行中可能出现的最高水温从表 5-1 中查取汽化压力水头。水温为表中的中间值时，可用插值法，也可从相关资料中查取准确数值。

(3) 允许吸上高度与吸水管道的的水头损失有关。当水泵装置吸水管道的布置方式、吸水管道的长度、管径等）一定时，实际上主要与所输送水的流量有关。计算时，应根据泵运行中可能出现的最大流量计算吸水管道的的水头损失。

(4) 利用允许吸上高度计算水泵的安装高程时，应考虑进水池可能出现的最低水位。

(5) 应将允许吸上高度理解为极限吸上高度或最大吸上高度。如条件许可，应尽可能留出一定的富裕量，即采用较小的吸上高度。

4. 离心泵安装高程的确定

离心泵的安装高程为：

$$\nabla_a = \nabla_{\text{min}} + H_{\text{允吸}} \quad (5-22)$$

式中 ∇_a 、 ∇_{min} ——分别为水泵基准面高程和进水池最低工作水位高程，m。

注：如需要修正， $H_{\text{允吸}}$ 应取修正后的数值。

表 5-3 不同海拔高程的大气压力水头

海拔高程 (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000	3000	4000	5000

$p_a/\rho g$ (mH ₂ O)	10.33	10.22	10.11	9.97	9.89	9.77	9.66	9.55	9.44	9.33	9.22	8.11	7.47	6.52	5.37
-------------------------------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

第六节 节水灌溉常用水泵简介

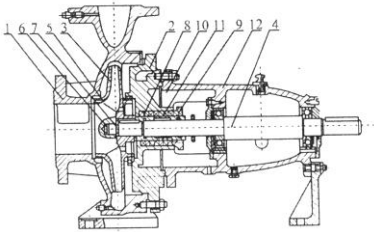
到目前为止,我国节水灌溉单项工程的控制面积一般不大,因而所需的灌溉水流量不大,又因节水灌溉系统的工作压力也不高,并有向低压发展的趋势,所以节水灌溉常用的水泵为中小型离心泵(少数为混流泵)或其在结构上的变种,包括普通离心泵、管道泵、自吸泵和潜水电泵等。

一、普通离心泵

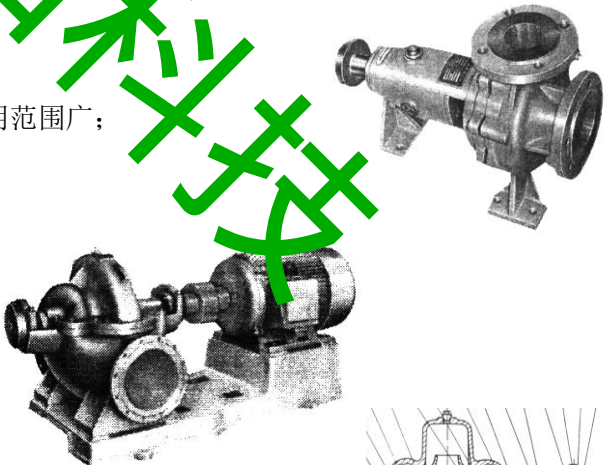
1. IS 和 IB 型离心泵

- (1) 性能参数范围:
 进口直径: 50~200mm;
 流量 Q : 6.3~400m³/h;
 扬程 H : 5~125m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 0.55~110kW;
 转速 n : 2900 和 1450r/min 两种。

- (2) 主要特点:
 常用中小型单级单吸卧式离心泵, 适用范围广;
 按国际标准设计, 通用性强;
 悬臂式结构, 价格低。



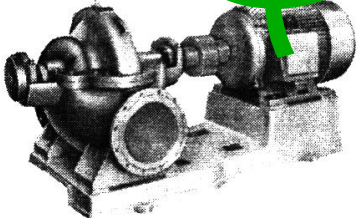
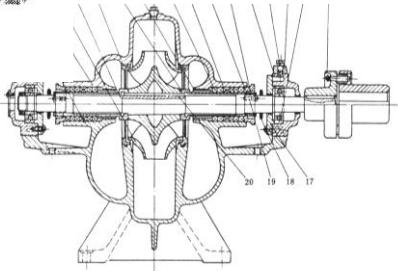
IS、ISR、ISF、ISW、ISJ 型单吸离心泵结构简图



2. S 型双吸离心泵

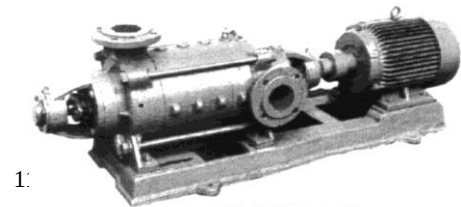
- (1) 性能参数范围:
 进口直径: 150~1200mm;
 流量 Q : 160~11000m³/h;
 扬程 H : 11~125m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 22~1150 kW;
 转速 n : 2950~730r/min, 共 4 种。

- (2) 主要特点:
 常用中大型卧式离心泵, 适用范围广;
 单级双吸水平中开式结构, 维修方便;
 结构稍复杂, 价格偏高。



3. D 型多级离心泵

- (1) 性能参数范围:
 进口直径: 40~200mm, 共 7 种。

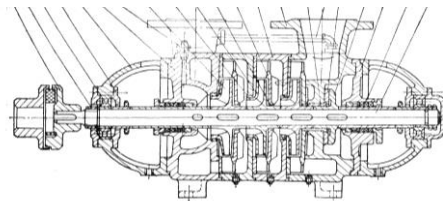


1.

D型多级离心泵

流量 Q : $6.3 \sim 450 \text{ m}^3/\text{h}$;
 扬程 H : $50 \sim 650 \text{ m}$;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: $3 \sim 440 \text{ kW}$;
 转速 n : 2900 和 1450r/min 两种;

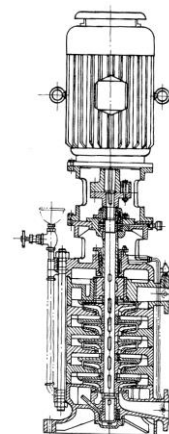
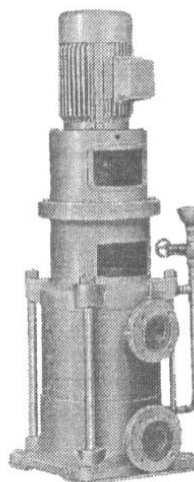
(2) 主要特点:
 常用中小型卧式多级离心泵, 多在工矿中应用;
 适用于流量小、扬程高的场合。



4. DL 型多级离心泵

(1) 性能参数范围:
 进口直径: $50 \sim 100 \text{ mm}$;
 流量 Q : $12.6 \sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$;
 扬程 H : $24.4 \sim 200 \text{ m}$;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: $3 \sim 90 \text{ kW}$;
 转速 n : 2900 和 1450r/min 两种。

(2) 主要特点:
 常用中小型立式多级离心泵, 多在工矿中应用;
 适用于流量小、扬程高的场合;
 占地面积小, 噪音低, 适用于园林灌溉。



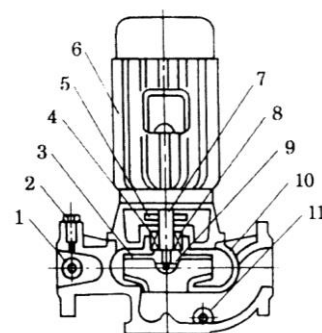
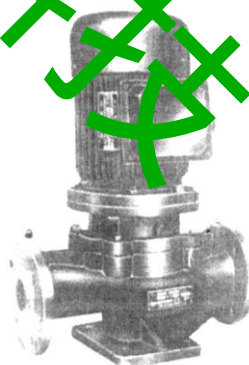
DL 型立式多级清水泵结构图
 Sketch of DL Vertical, Multi-stage
 Clear-water Pump

二、管道泵

1. SG 型管道泵

(1) 性能参数范围:
 进口(出口)直径: $25 \sim 200 \text{ mm}$;
 流量 Q : $3 \sim 450 \text{ m}^3/\text{h}$;
 扬程 H : $5 \sim 125 \text{ m}$;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: $0.55 \sim 90 \text{ kW}$;
 转速 n : 2900、1450 和 975r/min 三种。

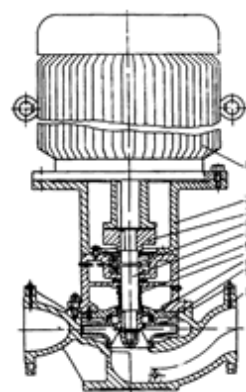
(2) 主要特点:
 单级单吸立式结构, 价格低;
 常用中小型管道离心泵, 多在工矿中应用;
 电动机与水泵直联, 结构简单;
 进出口直接与管道相连, 安装方便, 节省占地。



2. ISG 型管道泵(离心泵)

(1) 性能参数范围:
 进出口直径: $15 \sim 300 \text{ mm}$;
 流量 Q : $1.5 \sim 1080 \text{ m}^3/\text{h}$;
 扬程 H : $8 \sim 125 \text{ m}$;
 转速 n : 2900、1450 和 970r/min 三种。

(2) 主要特点:
 性能参数符合国际标准;



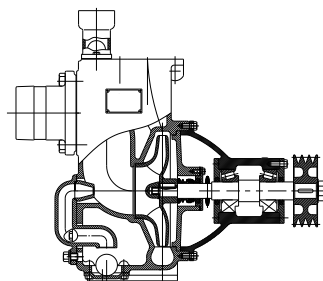
参数范围比 SG 型管道泵更广；
其他特点同 SG 型管道泵。

三、自吸泵

1. BPZ 型自吸式喷灌泵

(1) 性能参数范围：
进口直径：50~80mm；
流量 Q ：12~72m³/h；
扬程 H ：28~56m；
配用功率 $P_{配}$ ：3~15kW；
转速 n ：2600、2900 和 3000r/min 三种。

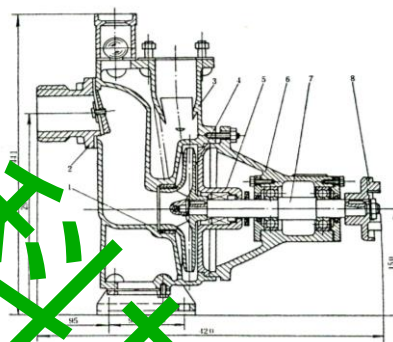
(2) 主要特点：
单级单吸卧式悬臂结构，价格低；
无需底阀，适用于移动式灌溉系统；
同时考虑与柴油机 and 电动机合理配套。



BPZ自吸泵

2. ZB 型自吸泵

(1) 性能参数范围：
进口直径：40~100mm；
流量 Q ：6~120m³/h；
扬程 H ：4.8~87m；
配用功率 $P_{配}$ ：1.5~45kW；
转速 n ：2900r/min；
(2) 主要特点：
结构形式同 BPZ 型；
标准规定自吸泵需采用 ZB 作为型号标志。

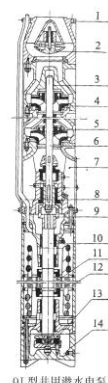


ZB型自吸泵结构
1—进水管；2—泵体；3—叶轮；4—油封；5—油封盖；6—轴；7—联轴器；8—油封盖

四、潜水电泵

1. QJ 型井用潜水电泵

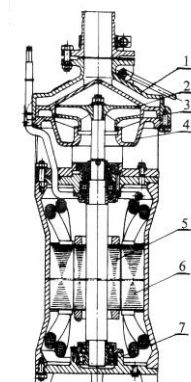
(1) 性能参数范围：
适用井径：100~400mm；
流量 Q ：2~500m³/h；
扬程 H ：9~598m；
配用功率 $P_{配}$ ：0.55~220kW；
转速 n ：2900 和 1450r/min 两种。
(2) 主要特点：
最常用的井用潜水电泵；
性能参数范围广。



QJ 型井用潜水电泵

2. QS 型（作业面）潜水电泵

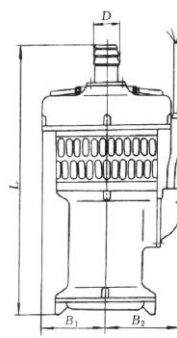
- (1) 性能参数范围:
 流量 Q : 15~250m³/h;
 扬程 H : 5~56m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 3~7.5kW;
 转速 n : 2860 和 1440r/min 两种。
- (2) 主要特点:
 常用地表水(作业面)潜水电泵;
 充水式上泵型结构。



QS 型潜水电泵结构图
Structural Map of QS Submersible Motor Pump

3. QY 型(作业面)潜水电泵

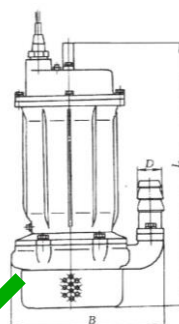
- (1) 性能参数范围:
 流量 Q : 8~180m³/h;
 扬程 H : 3~50m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 2.2~5.5kW;
 转速 n : 2860r/min。
- (2) 主要特点:
 常用地表水(作业面)潜水电泵;
 充油式上泵型结构。



QY 型泵外形和安装尺寸

4. QX 型(作业面)潜水电泵

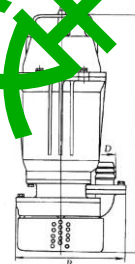
- (1) 性能参数范围:
 流量 Q : 3~100m³/h;
 扬程 H : 6~55 m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 0.55~7.5kW;
 转速 n : 2860、2820r/min。
- (2) 主要特点:
 干式下泵型结构。



潜水电泵外形和安装尺寸

5. QDX 型(作业面)潜水电泵

- (1) 性能参数范围:
 流量 Q : 3~25m³/h;
 扬程 H : 3.5~30m;
 配用功率 $P_{\text{配}}$: 0.18~1.1kW;
 转速 n : 2850r/min。
- (2) 主要特点:
 单相电机、干式下泵型结构。



QDX 型泵外形和安装尺寸

第七节 水泵机组的选型与配套

泵站中的水泵机组由主水泵、配套动力机和传动装置等组成，是泵站的核心。其选型配套是否合理，不但直接影响泵站能否满足灌溉要求，同时也影响到工程投资、运行费用、泵站效益和运行安全性等。

一、主水泵的选型

水泵选型的基本依据是泵站特征扬程和设计流量。下面简要介绍水泵的选型原则、步骤和选型中的几个问题。

1. 选型原则

- (1) 在设计扬程下，泵站的流量应满足灌溉设计流量的要求。
- (2) 水泵长期运行中，多年平均的泵站效率高，运行费用低。
- (3) 水泵应能在最高、最低扬程下稳定、安全运行。
- (4) 按照选定的水泵机组建站，设备费用和土建投资最省。
- (5) 便于运行和管理。
- (6) 选用系列化、标准化程度高的产品和更新换代产品。

2. 水泵选型的方法和步骤

(1) 根据平均扬程，利用水泵产品样本或其他技术资料中的水泵系列谱图、性能曲线或性能参数表，初步选出扬程符合要求、流量不等的几种水泵，并根据灌溉设计流量和每种泵型的额定流量，算出所需泵型的台数。

(2) 根据初步选出的水泵，确定管径大小及管路布置方式，绘制管路特性曲线。根据水泵性能曲线和管路特性曲线求出在设计、平均、最高和最低扬程下的工作点。校核所选水泵在设计扬程下的流量是否满足要求，在平均扬程下是否在高效区运行，在其他扬程下能否稳定、安全运行。

(3) 根据吸入装置条件计算泵站装置汽蚀余量，并根据必需汽蚀余量校核所选水泵在所有工况点能否满足汽蚀要求。

(4) 只有所选水泵能同时满足上述(2)和(3)要求，才能确定所选泵型合理。如不符合要求，可采用调节措施或另选泵型。

3. 选型中的几个问题

(1) 水泵类型的选择

水泵类型主要根据泵站设计扬程确定。一般情况下，当泵站设计扬程小于10m时，宜选用轴流泵；泵站设计扬程为5~20m时，宜选用混流泵；泵站设计扬程为20~100m时，宜选用单级离心泵；泵站设计扬程大于100m时，宜选用多级离心泵。

(2) 水泵结构型式的选择

卧式泵，泵房占地面积较大，但机组安装、检修方便，适用于水源水位变幅不大的场合；立式泵，泵房占地面积较小，但安装要求较高，检修较麻烦，适应于水源水位变幅较大或已有泵房面积小的场合。另外，立式离心泵的噪音较小，如果对避免噪音要求较高（例如园林灌溉），应选用立式泵。

(3) 水泵台数的确定

水泵台数少，单机容量大，运行检修方便，但流量调节受到限制；水泵台数多，单机容量小，流量调节灵活性大，但运行管理费用相应增加。因此，水泵台数的选择，需进行多方案技术经济对比。

(4) 汽蚀问题

如果说水泵的流量、扬程不完全符合要求还能“凑合”的话，水泵（尤其是离心泵）发生汽蚀则是一种病态，甚至导致“死亡”——泵站不能运行，这样的例子很多。因此，笔者认为应对水泵汽蚀问题引起高度重视，实行“一票否决”。

二、动力机的类型与选择

1. 动力机类型

与水泵配套的动力机主要有电动机、柴油机、拖拉机（发动机仍为柴油机）和汽油机等。通常，选择动力机时，除需要了解名称、型号、功率、效率、转速、电压等参数外，还应了解它与水泵的可能动力传递方式。

2. 各种动力机的优缺点对比

（1）购机费用：电动机最便宜，柴油机居中，汽油机较贵。但电动机的附属电气设备投资较大。另外，小型汽油机的价格有逐年下降的趋势。

（2）运行经济性和运行费用：电动机最好，柴油机次之，汽油机最差。有文献认为，柴油机的运行费用大约是电动机的 1.5 倍，汽油机大约是电动机的 4.8 倍。

（3）运行可靠性和方便性：电动机比内燃机（柴油机、汽油机）好。但电动机受到电源和线路影响，通常仅适用固定泵站。

（4）重量：电动机和汽油机较轻，柴油机较重。

3. 动力机选择

综上所述，动力机的选择应根据实际条件和配套要求来决定。电动机是水泵的主要配套动力机，电动机的特点是起动方便、操作简单、运转可靠、运行费用低等，且易于实现自动化。电动机的局限是受电力条件（电力线路、设备、设施）的制约和限制。在不需重新架设电线、电力供应可靠的条件下，应尽量选用电动机。无电源时，优先选用柴油机；需要频繁移动时，应选择小型柴油机或汽油机；有风力、太阳能等自然能源的场合，应因地制宜地加以采用。

三、动力机与水泵的配套

动力机与水泵的配套，主要指动力机的功率、转速及动力传动方式符合水泵配套的要求，能保证整个机组可靠、安全运行，且运行费用低。

1. 功率配套

（1）动力机的功率

电动机的功率称额定功率，即电动机可以在该功率下不间断地运行。内燃机的功率称标定功率，按用途和使用特点，分为 15min 功率、1h 功率和 12h 功率三种。如果灌溉系统的设计日灌水时间小于 12h，可采用 12h 功率；如果大于 12h，通常以 12h 功率的 90% 作为内燃机的持续功率。

（2）水泵标牌上的配用功率

水泵标牌的配用功率通常都在水泵轴功率的基础上加了一个备用系数，只要配套动力机的功率等于或大于该功率，水泵的实际工况点流量又在 $0.7 \sim 1.2Q$ 范围内，动力机通常不会过载。如果水泵的性能参数进行了调节，需要重新计算轴功率，并按下述（3）乘以一个系数，选配适宜的动力机功率。

（3）配套功率备用系数

水泵与动力机配套时，水泵的轴功率必须乘以一个大于 1 的安全系数，这个安全系数称为配套功率备用系数，简称配套系数或备用系数。该系数用 k 表示，可按表 5-4 和表 5-5 查取。

表 5-4 水泵配套功率备用系数（内燃机）

水泵轴功率 (HP)	<5	5~10	10~50	50~100	>100
k (内燃机)		1.5~1.3	1.3~1.2	1.2~1.15	1.15

表 5-5 水泵配套功率备用系数 (电动机)

水泵轴功率 (kW)	<1	1~2	2~5	5~10	10~50	50~100	>100
k (电动机)	2.5	2~1.5	1.5~1.3	1.3~1.15	1.15~1.1	1.08~1.05	

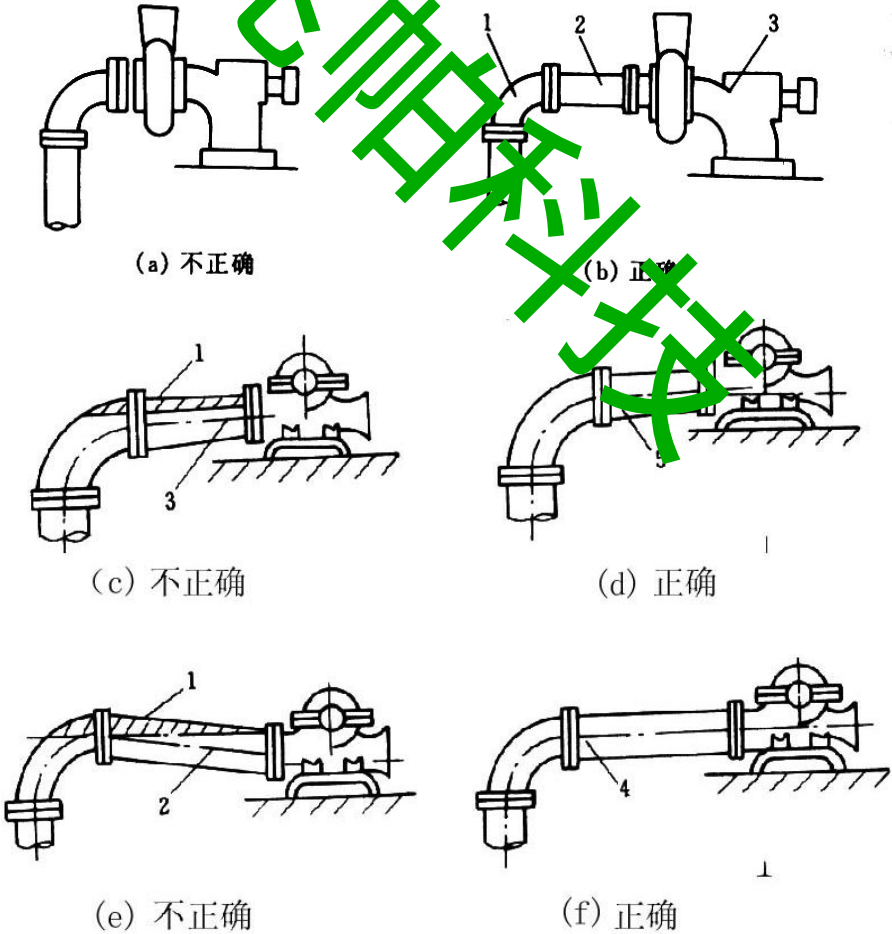
2. 转速配套

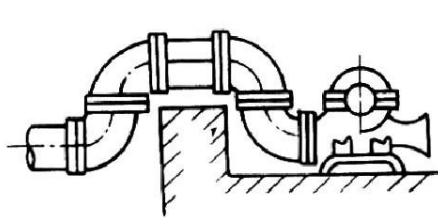
转速配套是指动力机在额定 (标定) 转速时, 所传给水泵的转速应与水泵的额定转速 (或调速后的转速) 相一致 (相差不宜超过 2%)。

3. 转向及传动装置配套

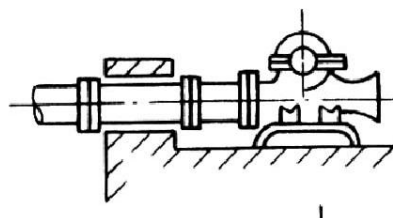
动力机的旋转方向, 应保证通过传动装置后与水泵的设计旋转方向一致。传动装置的尺寸、位置、运行可靠性和安全性等也应与水泵和动力机相适应。

附录 离心泵吸水管布置、安装常见错误图例

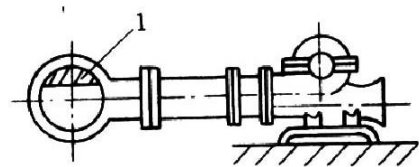




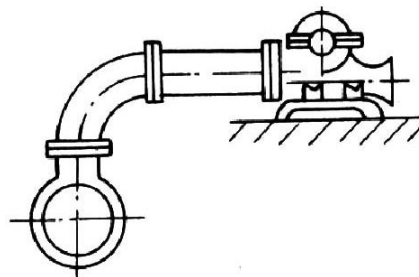
(g) 不正确



(h) 正确



(i) 不正确



(j) 正确

水泵进水管布置 安装四字诀：短、平、直、严。

光普科技

习题

- 1、通常将泵分为哪三大类？节水灌溉常用水泵属于哪一大类？
- 2、按叶轮种类分，可将叶片式泵分为哪三种类型？
- 3、按吸入方式分，离心泵可分哪两类？按级数分，离心泵可分哪两类？按主轴方向分，离心泵可分哪三类？
- 4、常用离心泵主要有哪四部分组成？
- 5、离心泵的性能参数包括哪些？请说出它们的名称、常用表示符号和常用单位。
- 6、离心泵的性能曲线是指那四条曲线？（可用文字叙述，也可用符号表示）
- 7、试说出四条离心泵性能曲线（包括流量—必需汽蚀余量曲线）的大致形状。
- 8、有人说关闭离心泵出口阀门，泵的出口压力会急剧甚至无限升高，以至于迅速造成泵和输水管道损坏。您认为这种说法对吗？为什么？请根据离心泵流量~扬程（ $Q \sim H$ ）曲线进行简要分析。
- 9、请写出泵比转速 n_s 的表达式，并注明我国规定计算 n_s 的单位。
- 10、一台单级单吸离心泵的额定流量 $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=50\text{m}$ ，转速 $n=2900\text{ r/min}$ 。试计算这台泵的比转速 n_s 。
- 11、离心泵运行时的工况点是由进水管路的管路系统性能决定的，还是由泵本身决定的，还是有管路系统性能和泵的性能共同决定的？
- 12、泵的管路系统性能曲线是一条什么样的曲线？试在平面坐标中划出该曲线的大体形状。
- 13、离心泵的运行工况点是哪两条曲线的交点？
- 14、一个衬砌渠道输水小型灌溉工程，从一口动水位约为 40m 的井中提水。用户为了水泵运行安全，购买了一台额定扬程为 80m 的井用潜水电泵（该泵叶轮为离心式）。运行一段时间后，泵的潜水电机烧毁。用户认为是泵质量差，要求赔偿。水泵厂说是用户的责任。你认为该泵电机被烧毁可能是什么原因造成的？主要责任在哪一方？另一方是否也有责任，应负什么责任？
- 15、两台水泵并联运行，最好采用（ ）相同的水泵，起码应保证两台水泵的（ ）相等，且（ ）对称布置。
- 16、两台水泵串联，最好那个参数相同？如果这两台水泵的流量不一样，流量大的水泵应该放在前级还是后级？为什么？
- 17、调节离心泵运行工况常采用哪几种方式？它们分别调节的是水泵性能还是管路系统性能？
- 18、请写出离心泵变速公式。
- 20、请写出离心泵叶轮外径切割公式。
- 19、一台离心泵的额定转速 $n=2900\text{r/min}$ ，对应的其他性能参数分别为 $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程 $H=50\text{m}$ 、轴功率 $P=17.0\text{kW}$ 。如果将该泵的转速改为 $n_1=2600\text{ r/min}$ ，假定效率不变，试计算改变转速后的流量 Q_1 、扬程 H_1 和轴功率 P_1 。如果取配套功率备用系数 $k=1.15$ ，则配套功

率 $P_{\text{配}}$ 至少应为多大？（答案保留一位小数）

21、水泵机组（水车站）为什么要采用调频装置？在什么情况下效益最佳，为什么？

22、一台离心泵的叶轮外径 $D_2=196\text{mm}$ ，额定转速下的性能参数分别为 $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程 $H=50\text{m}$ 、轴功率 $P=17.0\text{kW}$ 。如果想将该泵的扬程降到 45m ，车削后的叶轮外径应为多大？假定车削后的效率不变，试计算车削后的流量 Q_a 和轴功率 P_a 。如果取配套功率备用系数 $k=1.15$ ，则配套功率 $P_{\text{a配}}$ 至少应为多大？（答案保留一位小数）

23、清水在 30°C 的汽化压力（饱和蒸汽压力）水头是多少？

24、北京、郑州、成都、兰州、昆明、拉萨的海拔高度分别为 52m 、 109m 、 506m 、 1517m 、 1891m 和 3958m ，这些地方的大气压力水头大约是多少？同一型号的水泵安装在这些地方，如果装置条件基本相同，各地的水泵允许吸上高度是否一样？哪个地方最大，哪个地方最小？

25、一台水泵的吸水管长度为 12m ，能不能说该泵的吸程（吸上高度）达到了 12m ？

26、在输水量相同的情况下，一个泵站的装置汽蚀余量 $(\text{NPSH})_a=4\text{m}$ ，另一个泵站装置汽蚀余量 $(\text{NPSH})_a=3\text{m}$ 。如果安装相同型号的水泵，哪一个泵站的水泵不容易发生汽蚀？

27、在水泵厂提供的产品样本中，一台水泵的必需汽蚀余量 $(\text{NPSH})_r=4\text{m}$ ，另一台水泵的必需汽蚀余量 $(\text{NPSH})_r=3\text{m}$ 。如果安装相同的泵站装置上，哪一台水泵的不容易发生汽蚀？

28、一台水泵的必需汽蚀余量 $(\text{NPSH})_r=3\text{m}$ ，欲安装在海拔高程为 2000m 的某泵站。假定该泵在最大可能输水流量下吸水管路的水头损失（包括沿程损失和局部损失）为 1.6m ，可能出现的最高水温为 30°C ，试计算该泵的允许吸上高度 $H_{\text{允吸}}$ 。

29、其他条件同 28 题。如果水泵转速由 $n=2000\text{r/min}$ 改为 $n_1=2600\text{r/min}$ ，试计算该泵的允许吸上高度 $H_{\text{允吸}}$ 。

30、潜水电泵分那两大类，它们分别适用于那些场合？

31、通常认为离心泵的高效区流量范围是多少？

32、如果对水泵的振动和噪音要求较高，通常应选择泵轴为什么方向的水泵？

33、内燃机（柴油机、汽油机）标定功率分哪几种？如果灌溉系统的设计日灌水时间大于 12h ，通常怎样确定内燃机的持续功率？

34、与水泵配套的动力机主要有哪些？如果有可靠电源，从运行经济性考虑应优先选用哪种配套动力机？

35、请指出讲义附录中五组吸水管布置、安装图形中的错误，并说出为什么。

第六章 灌溉工程项目管理

第一节 建设项目管理概论

一. 项目的概念和特征

项目是指在一定的约束条件下,具有特定的明确目标的一次性事业(或活动)。项目的概念有广义和狭义之分,就广义的项目概念而言,凡是符合上述定义的一次性事业都可以看作项目,如技术更新改造项目、新产品开发项目、科研项目等。在工程领域,狭义的项目概念,一般专指工程建设项目,如修建一座水电站、一栋大楼、一条公路等具有质量、工期和投资目标的一次性工程建设任务。工程建设项目要求在特定的工期、投资和规模的质量要求标准下,实现工程建设的最终目标。

项目的内涵,项目的特性和内在规律性,主要体现在以下几个方面:

1. 项目的一次性和单件性

所谓一次性,是指项目过程的一次性。它区别于周而复始的重复性活动。一个项目完成后,不会再安排与之具有完全相同开发目的、条件和最终成果的项目。项目作为一次性事业,其成果具有明显的单件性。它不同于现代工业化的大批量生产。因此,作为项目的决策者和管理者,只有认识到项目的一次性和单件性的特点,才能有针对性地根据项目的具体情况和条件,采取科学的管理方法和手段,实现预期目标。

2. 项目的目标性

任何一个项目,不论是大型项目、中型项目,还是小型项目,都必须有明确的特定目标。所谓项目目标一般包括成果性目标和约束性目标。项目的成果目标一般是指工程建设项目的功能要求,即项目提供或增加一定的生产能力,或形成具有特定使用价值的固定资产。例如,修建一座水电站,其成果性目标表现为形成一定的建设规模,建成后应具有发电供电能力等。项目的约束性目标也称约束条件或限制条件。就一个工程建设项目而言,是指明确规定的建设工期、投资和工程质量标准等。作为项目管理者要充分认识到:项目成果性目标和约束性目标是密不可分的,脱离了约束性目标,成果性目标就难以实现。所以,项目管理必须认真分析研究和处理好投资、工期、质量三者之间的关系,力争获得三个目标的整体最优,最终实现成果性目标。项目中的任何约束性目标,都必须受控于项目的成果性目标。

二. 建设项目的概念

任何工程项目的运营，都必须具备必要的固定资产和流动资产。固定资产是指在社会再生产过程中，可供较长时间反复使用，使用年限在一年以上，单位价值在规定的限额以上，并在其使用过程中基本上不改变原有实物形态的劳动资料和物质资料。

基本建设即固定资产的建设，包括建筑工程。安装和购置固定资产的活动及与其相关的工作。建设项目即基本建设项目，是指按照一个总体设计进行施工，由若干个具有内在联系的单项工程组成，经济上实行统一核算，行政上实行统一管理的基本建设单位。为了工程管理的需要，建设项目可进行如下划分：

1. 单项工程：是建设项目的组成部分。一个单项工程应有独立的设计文件，建成后可以独立发挥设计文件所规定的生产能力或效益。如水电站工程中的拦河坝工程、泄洪工程、引水工程等。

2. 单位工程：是单项工程的组成部分。按照单项工程各组成部分的性质及能否独立施工，可将单项工程划分为若干个单位工程。单位工程一般还可划分为建筑工程和安装工程两类。

3. 分项工程：是分部工程的组成部分。对于水利水电工程，一般将人力、物力消耗额基本相近的结构部位，归为同一分项工程。

应当说明的是：根据不同管理需要，项目划分方式有所不同，在《水利水电工程质量评定规程》规定，在质量评定中，项目划分分为单位工程、分部工程和单元工程。

三. 建设项目管理的概念

建设项目管理是指在建设项目生命周期内所进行的计划、组织、协调、控制等管理活动，其目的是在一定的约束条件下最优的实现项目建设的预定目标。美国项目管理专家对项目管理作了如下定义：项目管理是为限期实现一次性特定目标，对有限资源进行计划、组织、指导、控制的系统管理方法。项目管理的内容十分广泛，即通过一定的组织形式，采取各种措施、方法，对投资建设的工程项目的全部工作，包括项目建议书、可行性研究、决策、设计、施工、竣工验收等系统的活动过程，进行计划、组织、协调、控制，以实现建设项目的质量、工期和投资效益目的。

四、建设项目管理的目标

项目管理必须以项目目标为基本出发点,在保证项目总目标实现的前提下,合理、可行的确定项目的各分项目目标和阶段性目标。项目管理的基本目标一般归结为三大目标:

1. 投资目标。每个建设项目所需总投资是预测计算和确定的。由于项目的建设需要一个较长的建设周期,在这个过程中情况不断发生变化,控制预定的投资额是一项十分艰巨的任务。因此,在工程项目的周期内,投资估算控制项目的设计概算,设计概算控制施工预算。

2. 进度目标。就是建设工期目标。进度控制,是带动整个工程项目建设的中心环节。如在施工环节,工程进度延误后赶进度,必然导致人力、物力的浪费,甚至影响工程质量和施工安全。

3. 质量目标。工程项目的质量必须满足规定的标准、规范、设计要求、合同要求以及发挥其功能所需的各种隐含需要的特征,体现在工程所具有的性能、时间性、可信性、适应性、经济性和安全性等方法。

五、建设项目管理的阶段划分

1995 年,水利部《水利工程建设项目管理规定(试行)》(水建 128 号)文件规定,水利工程建设程序一般分为:项目建议书、可行性研究报告、初步设计、施工准备(包括招标设计)、建设实施、生产准备、竣工验收、后评价等阶段。

1. 项目建议书

项目建议书是要求某一具体工程项目的建议文件,是基本建设程序中最初阶段的工作,是投资决策前对拟建项目的轮廓设想。

2. 可行性研究报告

项目建议书一经批准,即可着手进行可行性研究,在进行全面技术经济预测、计算、分析论证和多种方案比较的基础上,对项目在技术上是否可行和经济上是否合理进行科学的分析和论证。

3. 设计工作

设计是对拟建工程的实施在技术上和经济上进行的全面而详细的安排,是基本建设计划的具体化,是整个工程的决定环节,是组织施工的依据。它直接关系着工程质量和将来的使用效果。经批准可行性研究报告的建设项目,应委托设计单位,按照批准的可行性研究报告的内容和要求进行设计,编制设计文件。

(1) 初步设计

初步设计是根据批准的可行性研究报告和必要而准确的设计资料,对设计对象进行系统研究,阐明拟建工程在技术上的可行性和经济上的合理性,规定项目的各项基本技术参数。

(2) 技术设计

技术设计是针对初步设计中的重大技术问题而进一步开展的设计工作。它在进行科学研究、设备试制后取得可靠数据和资料地基础上,具体地确定初步设计中所采用的工艺、土建结构等方面的主要技术问题,并编制修正总概算。

(3) 施工图设计

施工图设计是按初步设计或技术设计所确定的设计原则、结构方案和控制尺寸,根据建筑安装工作的需要,分批分批地编制工程详图地设计。在施工图设计中,还要编制施工图预算。

4. 施工准备

(1) 项目报建

施工准备工作开始前,项目法人或其代理机构,依照《水利工程建设项目管理规定(试行)》和《水利工程建设项目管理暂行办法》的规定,向水行政主管部门办理报建手续,项目报建须交验工程建设项目的有关批准文件。

工程项目进行报建登记后,方可组织施工准备工作。进行施工准备必须满足如下条件:

- 1) 初步设计已经批准。
- 2) 项目法人已经成立。
- 3) 项目已列入国家或地方水利建设投资计划,筹资方案已经确定。
- 4) 有关土地使用权已经批准。
- 5) 已办理报建手续。

(2) 施工准备工作

- 1) 建设项目列入国家年度计划、落实年度建设资金。
- 2) 施工现场的征地、拆迁。
- 3) 完成施工用水、电、通信、路和场地平整工程。
- 4) 必须的生产、生活临时建筑工程。
- 5) 组织招标设计、咨询服务。
- 6) 选择设计单位并落实初期主体工程施工详图设计。
- 7) 组织项目监理、设备采购、施工等招标。

5. 建设实施

建设实施是指主体工程的建设实施。建设项目经批准开工后,项目法人按照批准的建

设文件，组织工程建设；参与项目建设的各方，依照项目法人或建设单位与设计、监理、工程承包单位以及材料与设备采购等有关各方签订的合同，行使各方的合同权利，并严格履行各自的合同义务。

6. 生产准备

生产准备是为使建设项目顺利投产运行在投产前进行的必要的准备工作。

7. 竣工验收

竣工验收是建设工程的最后一环，是全面考核基本建设成果、检验设计和工程质量的重要步骤，也是基本建设项目转入生产或使用的标志。

8. 后评价

项目后评价是固定资产投资管理工作的一项重要内容。项目后评价的内容包括：影响评价——项目投产后对各方面的影响进行评价；经济效益评价——对项目投资、国民经济效益、财务效益、技术进步和规模效益、可行性研究深度等进行评价；过程评价——对项目的立项、设计施工、建设管理、竣工投产、生产运营等全过程进行评价；持续运营评价——对项目持续运营的预期效果评价。

六、建设项目管理的参与方和相互关系

1. 政府部门

(1) 国家发展计划委员会

国家发展计划委员会主要负责对中央投资和中央、地方合资的国家重点建设项目进行管理，其主要职责为：

1) 审批大中型建设项目的可行性研究报告。审批过程中，国家计委要征求行业归口主管部门和政策投资银行的意见，并委托有资格的工程咨询公司评估。

2) 审查总投资额超过 2 亿元的重大建设项目的可行性研究报告。

3) 负责国家重点项目的后评价。国家计委在项目法人自评、行业评价的基础上，委托中国国际工程咨询公司组织复审。

2. 行业主管部门

(1) 水利部对全国水利工程实行宏观管理。

(2) 流域机构是水利部的派出机构，对其所在流域行使水行政主管部门的职责。

(3) 省水利厅是本地区的水行政主管部门。

3. 建设项目法人

新上项目在项目建议书被批准后，应及时组建项目法人筹备组，具体负责项目法人的筹

备工作。项目法人的主要职责是：

- (1) 负责组建项目法人在现场的建设管理机构。
- (2) 负责落实工程建设计划和资金。
- (3) 负责对工程质量、进度、资金等进行管理、检查和监督。
- (4) 负责协调项目的外部关系。

4. 建设单位

建设单位是由项目法人组建的专门从事项目建设组织和管理工作的工作班子，是项目法人的办事机构。

5. 勘测设计单位

勘测设计单位是从事建设项目规划和勘测设计活动的各类勘测设计院。

6. 施工企业

施工企业是从事项目建筑活动的各类施工企业。

7. 设备材料供应单位

设备材料供应单位是指为工程项目提供设备和材料的供应商或制造企业。

8. 金融机构

金融机构是指专门从事货币信用单位的中介组织。

9. 中介服务单位

- (1) 工程咨询公司
- (2) 监理单位

七、建设管理的主要任务

建设管理的主要任务包括：安全管理；投资控制和总承包方的成本控制；进度控制；质量控制；合同管理；信息管理；与建设项目总承包方有关的组织与协调；现场文明；安全施工。

第二节 工程竣工验收

一、一般规定

由于灌溉工程一般规模较小，因而可以采用一次验收。竣工验收是灌溉工程项目完成建设任务的标志，是建设过程的最后一环，是全面考核项目建设成果，检验设计和工程质

量的重要步骤。

1. 灌溉工程验收应具备的条件

- (1) 工程按照批准文件和设计内容及图纸要求全部建成；
- (2) 正式验收前自验所发现的问题全部处理完毕；
- (3) 工程经试运行和技术检测，工程质量和技术指标达到设计要求；
- (4) 施工决算完成并通过施工审计；
- (5) 竣工验收的有关文件资料齐全、完整，符合建档要求。

2. 施工验收的程序和组织

灌溉工程全部完成，符合批准文件和设计的要求，具备施工图表、施工决算、工程总结等必要文件资料。由建设单位向项目主管部门提出验收申请报告。

大中型和限额以上项目由国家计委或国家计委委托项目主管部门、地方政府组织验收，小型和限额以下项目由省级行业主管部门组织验收。竣工验收委员会由验收主持单位、地方政府、水利行政主管部门、银行（贷款项目）、质量监督、投资单位代表和有关专家组成。一般应有3个以上节水灌溉方面的专家。工程项目法人、设计、施工、监理等单位作为验收单位，不参加验收委员会，但应派员参加验收会议，解答验收委员的质疑。

验收委员会负责审查工程建设的各个环节，听取建设各方工作报告、审阅工程档案、查验灌溉工程和设备安装，考察工程试运行状况，对工程设计、施工和工程质量做出全面评价，并对验收合格的工程通过竣工验收报告。

竣工验收的交工主体：承包人；竣工验收的验收主体：发包人；竣工验收程序：准备—编制计划—现场验收—竣工结算—移交竣工资料—办理交工手续。

二、竣工验收准备

- 1、项目经理部建立竣工收尾小组；
- 2、编制竣工收尾计划；
- 3、检查竣工收尾计划执行情况并记录；
- 4、承包人对分包人验收；
- 5、项目经理部向企业报告验收；
- 6、承包人向发包人发出预约竣工验收的通知书。

三、竣工验收资料

根据 2002 年 1 月 10 日发布、2002 年 5 月 1 日实施的《建设工程文件归档整理规范》B/T50328—2001 的规定，应归档的土建工程的资料包括：

1、施工资料：施工技术准备文件，施工现场准备文件，地基处理记录，工程图纸变更记录，施工材料预制构件质量证明文件及复试试验报告，施工试验记录，隐蔽工程检查记录，施工记录，工程质量事故处理记录，工程质量检验记录

2、竣工图：综合竣工图，专业竣工图

3、竣工验收文件：

(1) 竣工验收记录：单位工程（子单位）工程质量竣工验收记录，竣工验收证明书，竣工验收报告，工程质量保修书。

(2) 财务文件：交付使用财产总表和财产明细表。

四、竣工验收管理

1、竣工验收对象：

- (1) 单独签订施工合同的单位工程
- (2) 符合竣工验收条件的单项工程
- (3) 符合竣工验收标准的建设项目

2、竣工验收应依据的文件

批准的设计文件、施工图纸及说明书双方签订的施工合同、设备技术说明书、设计变更通知书、施工验收规范及质量验收标准。

3、竣工验收要求

- (1) 设计文件和合同约定的施工内容施工完毕
- (2) 竣工资料符合验收规定
- (3) 有确认的工程质量合格文件
- (4) 有物资进场证明及试验报告

4、竣工验收工程必须符合的规定

- (1) 合同约定的工程质量标准
- (2) 单位工程质量竣工验收的合格标准
- (3) 单项工程达到使用条件或满足生产要求
- (4) 建设项目能满足建成投入使用或生产的各项要求

5、竣工验收程序

承包人向发包人提交“工程验收报告” 发包人组织勘察、设计、施工、监理核查工程，做出验收结论 形成“工程竣工验收报告” 竣工结算移交竣工资料 办理工程移交手续。

五、竣工结算

1、竣工结算依据

- (1) 施工合同，中标投标书的报价单；
- (2) 施工图，设计变更通知单 ；
- (3) 工程变更记录，技术经济签证 ；
- (4) 定额及调价规定；
- (5) 施工技术资料，工程竣工验收报告 ；
- (6) 工程质量保修书，其他有关资料。

2、编制竣工结算报告的原则

应对原报价单进行检查和核对，及时进行调整 汇总编制单项工程综合结算书 汇总编制总结算书 撰写编制说明。

习题：

1. 水利工程建设项目的阶段划分？与建设部建设项目项目管理阶段划分有何区别？
2. 竣工决算与竣工结算有何区别？

第七章 灌溉工程设计案例

第一节 喷灌工程设计实例

固定式喷灌系统设计

一、基本资料

某农场位于我国长江中游某城市的东北郊区，南邻长江，东邻汉北河，地势较平坦，已规划为市蔬菜基地之一。为解决蔬菜灌溉，以利蔬菜高产稳产，作到均衡上市，拟定建设喷灌工程。现有资料如下。

- (一) 地形：实测1/1000地形图。
- (二) 拟建灌区面积：138亩。290米X320米地块
- (三) 作物：小白菜、包菜、萝卜、大蒜、辣椒等蔬菜。
- (四) 水源：灌区北端，离中心200米处，有池塘，常年水量充足。持续旱年可从长江引水入池。
- (五) 土壤：砂壤土。 $p_{\text{允}}=15$ 毫米/小时， $r=1.35 \text{ g/cm}^3$ ，田间持水量为18%（重量比）。
- (六) 气象：根据当地中心气象台编印的《某城市气象资料》，多年平均降雨量为1271毫米。但年内分配不均，常发生干旱，尤以伏、秋旱显著。风向：4至7月为东南风，10月为北风，其余月份为东北风，年平均风速2.8米/秒。极端最高气温为41.3℃，极端最低气温为-14.9℃。土壤冻结最大深度为9厘米。地面以下0.4米至0.8米处最低地温为3.2℃至6.6℃，最高地温为26.3℃至28.2℃。年蒸发量1238.9毫米。
- (七) 电源：离灌区中心600米处有100千伏安变压器，可给该系统供电。

二、系统选型

考虑到地表大平小不平；土壤透水性强，干旱频繁；蔬菜需要勤灌浅灌，劳动力少等原因，研究商议，决定建设固定式喷灌系统。

三、灌溉制度及用水量计算

(一) 设计灌水定额 m

设计灌水定额依下式计算

$$m = 0.1 r H (\beta_1 - \beta_2) / \eta$$

式中： m ——设计灌水定额，mm；

r ——土壤干容重， g/cm^3 ；

H ——计划湿润层深度，cm。可取计划湿润层深度为25cm。

β_1 ——为以干土重%表示的适宜土壤含水量上限，一般取田间持水量的80% - 100%

β_2 ——为以干土重% 表示的适宜土壤含水量下限，一般取田间持水量的
60% - 90%

η ——喷洒水利利用系数，无试验数据时可取0.7 - 0.9

$$m = 0.1 \times 1.35 \times 25 (0.8 - 0.7) \times 18 / 0.9 = 6.75 \text{ mm}$$

(二) 设计灌水周期 T

$$T = m / ET_p$$

式中： ET_p ——日平均耗水量，取4.8毫米

$$T = 1 \text{ 天}$$

(三) 日喷灌用水量 $W_{\text{净}}$

$$W_{\text{净}} = m_0 A$$

式中： A ——喷灌面积(亩)

$$W_{\text{净}} = 645 \text{ 米}^3$$

四、喷头选型与组合间距

(一) 喷头选型

表7-1 选用TR2摇臂喷头，其性能如下：

型号	喷嘴直径 (mm)	工作压力 (kg/cm ²)	射程R (m)	流量q (m ³ /h)
TR2	14×8	3	15.5	2.76
		3.5	15.7	2.96
		4	16.1	3.13

喷头设计工作压力定位3.5公斤 / 厘米²

(二) 喷洒方式和喷头组合形式

- 1、喷洒方式：全圆。
- 2、喷头组合形式：正方形布置。

(三) 喷头组合间距

为了使系统能在三级风(风速3.4米 / 秒至5.4米 / 秒)的条件下正常工作，喷头组合间距设计如下：

$$\text{喷头间距} = \text{支管间距} = \text{射程} R$$

(四) 组合喷灌强度校核

$$p = 1000q/a/b = 11.56 \text{ 毫米 / 小时} \quad \text{故 } p < p_{\text{允}}$$

(五) 雾化指标

五、系统布置

(一) 布置方案

系统内138亩菜地，其耕作、排水方向均为南北。为便于耕作和不改变原有的排水系统，拟支管走向与地垅耕作方向一致，泵站设在灌区北部。主干和地垅耕作方向一致，分干管和地垅耕垂直布设且与支管垂直，分为东、西分干管。

(二) 布置情况

根据布置方案及喷头组合间距设计，从泵站引出干管，布设东、西分干管各一条；每条分干管上布南北支管各10条，全系统共计40条；每条支管有9个喷头，全系统共计360个。详见工程平面布置图。

表7-2 各级管道的长度统计

管道名称	管 长 (米)	控 制 支 管 情 况		
		条 数	编 号	喷头个数
干 管	200			
东分干管	152	20	支11一支20，支31一支	180
西分干管	152	20	40	180

六、工作制度与轮灌方式

(一) 喷头在喷头上的工作时间 t

$$t = a \cdot b \cdot m / 1000q = 1.42 \text{ 小时}$$

(二) 全系统一次灌水所需时间 $t_{\text{系统}}$

设每天灌溉8小时，因为1天1日，所以 $t_{\text{系统}}$ 拟定为8小时。

(三) 同时工作的支管数和喷头数

1、全系统支管轮灌组数 N

$$N = t_{\text{系统}} / t = 19 \text{ 组。设计取 } N = 10 \text{ 组}$$

2、同时工作的喷头数 n_p

$$n_p = \text{喷头总数} / N = 36 \text{ 个}$$

3、同时工作的支管数 n_z

$$n_z = n_p / \text{每条支管喷头数} = 4 \text{ 条}$$

(四) 轮灌方式

蔬菜生产的特点是在同一地块中，品种不尽一致，茬口也不尽一致，当前生产体制更不能使系统内138亩菜地同期只种植一个品种的蔬菜，在实际运用中，农民要求灵活的轮灌方式。故将轮灌方式设计为同时工作的支管集中运行。

表7-3 支管轮灌编组表

次 序	支 管 号	同时工作喷头数
1	支1、支2、支3、支4	36
2	支5、支6、支7、支8	36
3	支9、支10、支11、支12	36
4	支13、支14、支15、支16	36
5	支17、支18、支19、支20	36
6	支21、支22、支23、支24	36

7	支25、支26、支27、支28	36
8	支29、支30、支31、支32	36
9	支33、支34、支35、支36	36
10	支37、支38、支39、支40	36
总 计		360

由于同时工作的四条支管可集中运行，在实际运用中可以根据生产的需要，调整上表中组合，任意组合四条支管同时工作。

七、管材与管径选择

(一) 管材的选用

干管、支管选PVC塑料管，竖管为镀锌钢管；吸水管和出水管明设部分选用热轧无缝钢管。塑料管性能：

工作压力： $P \geq 62 \text{ 公斤/厘米}^2$

爆破压力： $P_{\text{爆}} \geq 24 \text{ 公斤/厘米}^2$

(二) 管径选择。

1、干管管径选择。

按四条支管集中运行时，干管各段通过的设计流量选择管径。

$$Q_{\text{设}} = n_p \times q$$

利用经验公式： $D = 13 \sqrt{Q_{\text{设}}}$ ，计算各段管径，并根据管材实际情况确定实选管径。

表7-4 干管各段设计流量和管径

管 段	净流量 (米 ³ /小时)	设计流量 (米 ³ /小时)	管 长 (米)	计算管径 (毫米)	实选管径 (毫米)	管中流速 (米/秒)	水力损失 (m)
干 管	106.56	107	200	134	160	1.68	3.4
分干AB	106.56	107	104	134	160	1.68	1.77
分干BC	79.92	80	16	116	160	1.21	0.16
分干CD	53.28	54	16	95	110	1.79	0.48
分干DE	26.64	27	16	67	90	1.34	0.37

2、支管管径选择。

支管拟选用为2英寸PVC管。管径63毫米。

校核首末喷头工作压力差是否在20%以内。

(1) 首末喷头允许工作压力差：

$$\text{和 } h_w + \Delta Z \leq h_p = 7 \text{ 米}$$

由于灌区地势较平坦，支管要求平直埋设，故各支管首末喷头位置等高，选其中一条支管计算

(2) 支管沿程水头损失 h_w

用哈森——威廉斯公式计算

计算结果 $h_w = 5.9\text{m}$

(3) 支管局部水头损失。列表计算，(略)。计算结果为 $h_j = 0.6\text{m}$ 。

$h_w + h_j = 6.5\text{米} < 0.2h_p$ 。故该管合适。

3、主管入口压力

$H_m = (3.4 + 1.77 + 0.16 + 0.48 + 0.37) + 6.5 + 35 + \Delta Z = 47.68\text{米}$

八、管道系统结构

(一) 干、支管埋设深度：考虑机耕管底至地表0.7米，平直安设。详见干管、分干管纵断面图。

(二) 干管输水方向改变处、两闸阀之间，分干管、支管末端设置镇墩。详见镇墩图。

(三) 东、西分干管首端设置闸阀及闸阀井，以便检修管道时，不影响系统运行。

(四) 支管首端设置闸阀及闸阀井。详见闸阀井图。

(五) 分干管末端设置排气阀。

(六) 竖管全长1.1米，埋入土中0.6米，露出地表0.5米。在地表下0.3米处套一预制混凝土块，稳定竖管。

九、水泵与动力选配

(一) 设计扬程 H 和设计流量

水泵设计扬程为

$$H = H_m + \sum h_{f1} + \sum h_{j1} + \Delta Z_1$$

式中： H_m ——主管入口处压力(m)

$\sum h_{f1}$ ——水泵吸水管沿程水力损失之和(m)

$\sum h_{j1}$ ——水源至主管入口之间所有局部损失之和(m)

ΔZ_1 ——水泵安装高程和水源水位之高差(m)

(此处假设) $\sum h_{f1} + \sum h_{j1} + \Delta Z_1 = 3\text{米}$ ，则 $H = 50.67\text{米}$

$Q_{\text{设}} = 107\text{米}^3 / \text{小时}$

(二) 水泵及电机的选配

根据设计流量和扬程，参考北京水泵二厂的水泵参数，选择两台SFZ80-50-250B型喷灌用离心泵。其性能如下：

表7-5 SFZ80-50-250B型喷灌用离心泵性能参数

泵型号	流量 m³/h	扬程 m	转速 r/min	功率 (KW)		效率 %	必需气蚀余量 (NPSH)r
				轴功率	配套功率		
SFZ80-50-250B	26	66	2900	8.89	15	52	2.5
	43.3	60		11.23		63	
	52	55		12.16		64	

选择两台功率15KW， 转速2900r/min 的电动机。

十、绘制设计样图

喷灌系统平面布置图

- (一) 主干分干的纵剖面图
- (二) 管系结构示意图
- (三) 局部详图

十一、主要设备及预算

灌溉系统的总造价为设备总价和工程施工总造价之和。有些灌溉工程还需考虑设计费、运输费及一些配套工程的费用等。

表7—6 主要设备清单

设备名称	型号及规格	单 位	数 量	单 价 (元)	复 价 (元)
水泵	SP 220-50 250B	台	2		
电气设备		套	1		
钢管	Φ100×4mm	米	12		
钢管	Φ150×4mm	米	8		
PVC管	Φ160mm/0.63MPa	米	440		
PVC管	Φ110mm/0.63MPa	米	32		
PVC管	Φ90mm/0.63MPa	米	32		
PVC管	Φ63mm/0.63MPa	米	440		
PVC管	Φ32mm/1.25MPa	米	10		
PVC三通	Φ160	个	1		
PVC三通	Φ160X160X90	个	16		
PVC三通	Φ110X110X90	个	2		
PVC三通	Φ90	个	2		
PVC三通	Φ63X63X32	个	360		
PVC变径	Φ160X110	个	2		
PVC变径	Φ110X90	个	2		
PVC变径	Φ90X63	个	42		
PVC内螺纹接头	Φ32X3/4"	个	360		
镀锌钢管	3/4"	米	396		
TR2喷头	14X8	个	360		
进排气阀	2"	个	2		
压力表	0-10Kg/cm ²	快	1		
安全阀	GULF 2"	个	1		

第二节 滴灌工程设计实例

资料：椰枣（印度枣），种植间距 $3\text{m} \times 4\text{m}$ ，日耗水量 $E_c=4.5\text{mm}$ ，面积 150 亩，地形微缓坡地，最大地形高差为 3m（见平面图）

要求：做节水灌溉设计，给出总布置图，首部枢纽图、各级管道布置、管径和工作压力、灌水器布置、灌溉制度和工作制度，管道水力计算、水泵选型和确定主要材料设备及概算（材料设备）。

一、基本资料的分析和选型

果树，间距中等，大约每亩~60 棵，耗水量一般，地形起伏不大，水源水量有保证，河水，土壤砂壤土，允许喷灌强度为 15mm/h ，比较大，计划湿润层深度中等。

可能采用的灌溉方式有以下几种：

1、滴灌。简单的一行果树一排滴灌带，行距 3m，株距 4m，滴头为内镶式，间距 0.5m，平均 1 棵树 8 个滴头。优点是便宜，操作简便。缺点是湿润带为窄长条形，对根系发育有些影响，另外 0.5m 间距流量小，单棵数 24L/h，有可能调为 0.3m，但铺设长度会减小。

2、滴灌。一行果树两排毛管（16），滴头为管上式，间距 0.5m，只在树附近处（2m 以内）布置，平均一棵树 10 个滴头。优点：具有补偿性，铺设长度可增长，受地形影响也小，单棵数的流量加大到 37.5L/h，湿润带形状也大大改善。缺点：毛管多铺 1 倍，管上滴头价格也贵很多，如果滴灌带按 0.4 元/m，毛管按 0.2 元/m，管上滴头 0.5 元/个，按果树行距 3m 计，则末级管道和灌水器的投资大致由 30 元/亩上升到 60 元/亩。

3、微喷灌。一棵树一个微喷头，置于树下，选用流量 70L/h 的单侧小旋轮微灌头，毛管 $\Phi 25$ ，优点是流量更加大，湿润带呈圆形。缺点是收放麻烦，价格大致为每亩微喷头 55 个，每个 5~7 元，按 5 元计，共 275 元，毛管 222m，按 1.6 元/m，共 355 元，总共 630 元/亩。

其它灌溉方式根据经验判断暂不考虑。如果投资方经济条件有限，可选第一种方案，最简单也最便宜。

二、技术参数的选定

资料中部分参数已经给出，有些参数可查相关资料，在不影响总体设计和不出现原则性问题前提下可以自行选定和补充。

1、实际日耗水量

日耗水量 4.5mm，但须注意由于选择了滴灌，要看是不是局部湿润灌溉，如此例即是局部湿润灌溉，则要确定两个参数。湿润比和遮荫率。湿润比根据滴灌在土体下湿润宽度按 1m，湿润长度同株距，则湿润比为 0.33，此参数在后面计算灌水定额时要。遮荫率按树冠遮挡地面面积的比例，根据经验可取 0.7，此参数用来计算由于局部湿润灌溉，使日耗水量减少。即折减后的日耗水量。计算式如下：

$$E_a = K_r \cdot E_c$$

$$K_r = \frac{G}{0.85}$$

式中 E_a 为折减后的日耗水量, K_r 为折减系数, G 为湿润比, 得到:

$$E_a = \frac{0.7}{0.85} \times 4.5 = 3.6 \text{ mm}$$

如果灌溉水利用系数取 0.9, 则实际的毛日耗水量为 $E_a' = 4 \text{ mm}$

2、灌水定额 m

这里需要确定的参数是土壤容重、土壤田间持水量和适宜含水量的上下限。前两个参数可查表得砂壤土容重 $1.3 \sim 1.55$, 取 $r = 1.4 \text{ g/cm}^3$, 田间持水量为 $12 \sim 22\%$, 为了设计方便可取稍大些, 取 20% 。适宜含水量上下限原则上应做试验确定, 但对多数工程设计, 很难做此试验, 一般可取上下限得差值在 $20 \sim 30\%$, 如本例取 30% 。

$$m = 0.1rhP(\beta_1 - \beta_2) = 0.1 \times 1.4 \times 80 \times 0.333 \times 0.2 \times 30 = 22.4 (\text{mm})$$

$$\text{毛灌溉定额 } m' = \frac{22.4}{\eta} = 25 (\text{mm}) = 16.6 (\text{m}^3 / \text{亩})$$

$$3、\text{轮灌周期 } T = \frac{m'}{E_a'} = \frac{25}{4} = 6.25 (\text{天})$$

三、具体设计步骤和方法

设计有两种思路和方法, 一种由上而下, 先水源、干、分干, 再到支、毛和小区。一种是由下而上, 先设计小区支毛管, 再分干、干管。对本案例, 采用后一种方式。

1、确定毛管最大铺设长度、支管铺设长度和小区尺寸范围

毛、支管得最大铺设长度取决于各自允许的水头损失、允许水头损失又和允许灌水量流量偏差及地形高差有关。

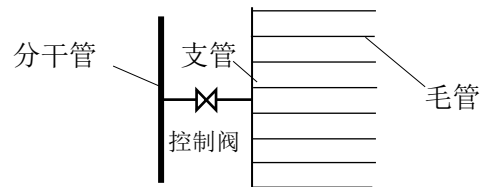
为了保证灌水的均匀性, 微灌要求在一个灌水小区内, 其流量偏差约为 20% , 其灌水器的压力偏差为 42% 。该水头偏差是由支管水头偏差和毛管水头偏差两部分组成的, 这两部分的分配随毛、支管的长短不同 (即小区的形状和毛支管的布置方向) 而有所不同。按《微灌工程技术规范》有一个很复杂的计算公式, 实际设计中可以按公式:

$$\text{支管允许水头偏差: 毛管允许水头偏差} = 0.45: 0.55$$

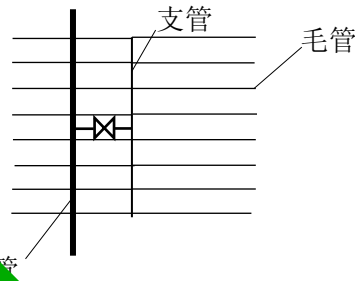
所分配的内容去计算。滴灌的设计工作压力可以取 1.0 Mpa (10 m 水头), 则总水头偏差为 4.2 m , 接上分配比例, 支管允许水头偏差 $\Delta H_{\text{支}} = 4.2 \times 0.45 = 1.9 \text{ m}$, 毛管允许水头偏差为 $\Delta H_{\text{毛}} = 4.2 \times 0.55 = 2.3 \text{ m}$, 如果不考虑地形高差影响, 上两值即为支、毛管的允许水头损失。

小区的尺寸和支、毛管长度得关系还和支毛管是单侧分水还是双侧分水有关, 一般有下面 3 种情况:

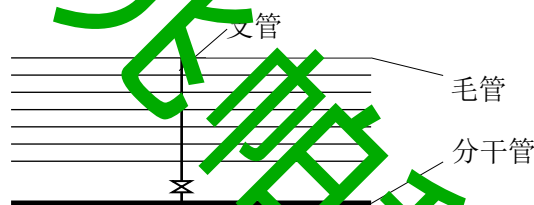
1) 毛管单侧，支管双侧



2) 毛管双侧，支管双侧



3) 毛管双侧，支管单侧



有时在同一系统中，两种方式都用，但一般多以一种为主，另一种为辅。

毛管允许铺设长度的计算：

毛管允许压差 2.3m，考虑在毛管上地形有起伏，可能出现逆坡，计算逆坡高差为 0.6m，

则允许最大水头损失 $h_{f\max} = 2.3 - 0.6 = 1.7(m)$

有下式：

$$h_{f\text{毛}} = F \cdot f \frac{L_{\text{毛}} Q_{\text{毛}}^{1.77}}{d_{\text{毛}}^{4.77}} \leq h_{f\max} = 1.7(m)$$

式中： $h_{f\text{毛}}$ ——毛管水头损失 (m)；

f ——水头损失系数， $f=94800$ ；

F ——毛管多口系数，一般为 0.36~0.40，可取 0.38；

$L_{\text{毛}}$ ——毛管长度 (m)；

$Q_{\text{毛}}$ ——毛管流量，(m³/h)。

$d_{\text{毛}}$ ——毛管内径，若用 Φ14 滴灌带，则内径为 13mm；

$$\text{有: } Q_{\text{毛}} = \frac{L_{\text{毛}}}{0.5} \cdot q = \frac{L_{\text{毛}} \times 2.8}{0.5 \times 1000} = 5.6 L_{\text{毛}} \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{h})$$

将数据带入上公式有:

$$0.38 \times 94800 \frac{L_{\text{毛}} \times (5.6 L_{\text{毛}} \times 10^{-3})^{1.77}}{13^{4.77}} \leq 1.7$$

可求出 $L_{\text{毛}} \leq 62(\text{m})$, 即滴灌带铺设长度在 50~65m 之间。

同时求出 $Q_{\text{毛}} = 0.35 (\text{m}^3/\text{h})$

同样方法可求支管铺设长度, 计算时注意毛管是单侧布设还是双侧布设, 另外也应考虑地形影响, 如本案例可取逆坡最大高程差为 0.4m, 则支管允许最大水头损失为 1.5m。

毛管单侧布设时:

$$h_{f\text{支}} = 0.40 \times 94800 \times \frac{L_{\text{支}} \times \left(\frac{L_{\text{支}} \times 0.35}{3} \right)^{1.77}}{d_{\text{支}}^{4.77}} \leq 1.5 \quad \text{求得 } L_{\text{支}} = 46 (\text{m})$$

毛管双侧布设时:

$$h_{f\text{支}} = 0.40 \times 94800 \times \frac{L_{\text{支}} \times \left(\frac{2L_{\text{支}} \times 0.35}{2} \right)^{1.77}}{d_{\text{支}}^{4.77}} \leq 1.5 \quad \text{求得 } L_{\text{支}} = 30 (\text{m})$$

本案例以毛管单侧、支管双侧布置考虑, 按毛管间距, 则支管通过闸阀后向一侧的最大铺设长度 (即 OB 段) 应在 40~46m (约布 12~15 条毛管), 如两侧均分整条支管 (即 AB 段) 的长度应在 80~92m (约布 26~30 条毛管)。取小区的大致范围为 $78\text{m} \times 60\text{m} = 4680\text{m}^2$, 约为 7 亩 (一般为 6~10 亩)。

确定小区的流量范围和入口压力, 并根据灌水定额、灌水器流量计算小区的工作时间 (即一个位置上的工作时间)。

$$\text{小区流量 } Q_{\text{小区}} = \frac{78}{3} \times 0.35 = 9.1 \text{m}^3/\text{h} \quad (\text{一般约在 } 8 \sim 15 \text{m}^3/\text{h})$$

若设计滴头工作压力为 0.1Mpa (即 10m 水头), 允许小区灌水器水头差 4.2m, 采用和喷灌支管入口压力确定相似的方法, 可取末端滴头 (或最不利滴头) 工作压力为 0.088Mpa (即 8.8m 水头) 则小区入口压力为 0.13Mpa (即 13m 水头)。

同时可以得到一个小区的工作时间, 按单滴头控制范围和流量即可以求出:

$$t = \frac{m' \times l_{\text{滴}} \times l_{\text{毛}}}{q} = \frac{25 \times 0.5 \times 3}{2.8} = 13(\text{h})$$

基本上一天只工作一个位置。

2、以小区为单元在微灌范围内做布置。

如果种植的垅、行不定，则小区支、毛管的方向可任意，布置时比较方便。如果垅、行的方向是确定的，一般毛管应顺作物的行（如大棚蔬菜、果园等）。本案例花卉，其垅行不定，故布置小区比较容易，布置结果见平面布置图。

布置时注意以下几个问题：

(1) 小区的长短是一个范围，允许在此范围内做适当的调整，由于实际地形不规整，故布置在总图上的实际每个小区的形状尺寸可能是不同的。

(2) 为了控制灌水的均匀和系统运行的协调，小区的大小应基本相等，同时考虑距水源的远近、地形的高低因素等，一般近处和低处的小区面积应比远处和高处的小区略大些。

(3) 小区的数目应与轮灌周期及轮灌编组相协调，既能充分发挥设备的效率，又能保证在轮灌周期内灌完所有的地块，同时各轮灌编组的流量和压力相对均衡。

本案例 150 亩地，共布置 24 个小区，平均每个小区约 6.25 亩。

3、干管、分干管布置。

小区的控制即微灌田间的首部，大多数是分干管在小区首部通过三通管出地，然后有弯头、压力表、闸阀和二滤过滤器等进入支管。小区布置好后，通过分干管将小区首部连接，再连至干管并至水源（泵站），形成一套完整的管道系统，见平面布置图。

4、进行轮灌编组，确定工作制度，并根据不同编组时干、分干管的流量初选各级管道管径，然后进行水力计算，校核管径。

本案例 150 亩地，分为 24 个小区，按 6 天轮灌，每天应灌 4 个小区，小区工作时间 13 小时，同时开 4 个小区。实际布置 2 条分干管，按流量分散原则，可能出现 1 条分干管上开 2 个小区的情况，此时分干管的流量为 $Q_{分} = 2Q_{小区} = 18.2\text{m}^3/\text{h}$ ，干管的流量北侧大于南侧，北侧有 2 条分干，可能同时开 3 个小区，则 $Q_{干} = 3Q_{小区} = 27.3\text{m}^3/\text{h}$ ，总干管流量即系统流量 $Q = 4Q_{小区} = 36.4\text{m}^3/\text{h}$ ，依下式初选各级管径：

$$D = 13\sqrt{Q}$$

初选情况见下表：

表 7-7

管道初选管径

管级	流量 (m^3/h)	计算管径 (mm)	实选管径 (mm)
分干管	18.2	55	65
干管	27.3	68	75
总干管	36.4	78	90

说明：Φ90，Φ75，Φ50 为 PVC 管例中常用管径，分干管选 Φ60 略嫌偏小，考虑选 Φ65 实用较少，仍选 Φ75，实际工程可根据具体情况进行调整或采用变径。管道壁厚主要考虑系统工作压力，一般面积不大的较平坦地区，可选 0.6Mpa 压力级别的管道。

5、系统总流量和总扬程计算，选择水泵

系统总流量前面已有结果， $Q = 36.4\text{m}^3/\text{h}$ 。

系统总扬程原则上由三部分组成：

$$H = h_{\text{滴}} + h_w + \Delta Z$$

式中： $h_{\text{滴}}$ ——滴头工作压力，设计工作压力为 0.1Mpa，即 10m 水头。

h_w ——水泵进水口线路上最远（或最不利）的灌水器（滴头）的总水头损失，包

括沿程损失和局部损失（m）；

ΔZ ——水泵至计算滴头的地面之间高程差，m。

由于前面已确定了小区进口处所需的压力，故实际计算时上公式修改为：

$$H = h_{\text{小区}} + h_w' + \Delta Z'$$

式中： $h_{\text{小区}}$ ——小区进口所需压力，按前计算 $h_{\text{小区}} = 13\text{m}$ ；

h_w' ——由水泵进水口至最远小区入口的总水头损失，包括沿程损失和局部损失， m ；

$\Delta Z'$ ——水泵进水口的水面至最远小区入口地面之间的高程差，依据本案例的条件，简化可取 $\Delta Z' = 3\text{m}$ 。

由此，关键是计算 h_w' ， h_w' 包括管道系统的沿程损失和局部损失，以及系统首部枢纽的局部水头损失（包括泵管少量沿程水头损失）。

管道系统的沿程水头损失包括总干、干、分干（支、毛管损失已不用再算）的损失，均通过计算得到，局部水头损失一般应查表，得到局部水头损失系数，再考虑流速计算得出，对于小工程也可以按沿程水头损失的 10%~20% 计。首部枢纽的局部水头损失包括水泵底阀、泵管、泵、闸阀、过滤系统、施肥系统、连接管件等的损失，一般均可查到。简单也可分水泵、过滤、设备三部分计，为清楚可列下表：

表 7-8 水头损失计算表

计算内容	长度 (m)	外径 (mm)	内径 (mm)	流 量 (m^3/h)	h_f (m)	h_w (m)
总干管	30	90	84	36.4	1.1	1.2
干管	80	75	70	27.3	4.2	4.6
	160	75	70	18.2	4.1	4.5
分干管	150	75	70	18.2	3.8	4.2
	70	75	70	18.2	0.5	0.6
水泵						2
过滤器						5
施肥						2
Σ						24.1

总扬程为：

$$H = 13 + 24.1 + 3 = 40 (\text{m})$$

按流量 $36.4\text{m}^3/\text{h}$ 扬程 40m 选普通离心泵 IS80-50-200 型，其扬程 $H = 50\text{m}$ ，流量 $Q = 50\text{m}^3/\text{h}$ ，配套功率 $P = 15\text{w}$ 。（此型号流量扬程都稍偏大，但若降一型号，选 IS80-500-250A，配套功率降为 11kw，但扬程 38m 略嫌不足。实际按性能参数可内插得到在扬程 40m 时流量为 $37\text{m}^3/\text{h}$ ，但无富余量，故为安全起见，仍选 IS80-50-200 型号。

6、材料设备用量和概预算

材料设备用量统计也可按三部分考虑。

(1) 小区材料设备用量

小区材料设备用量从 $\Phi 75$ 分干管三通出地开始，包括三通、出地管、弯头、闸阀、压力表、筛网过滤器、快接三通（中心阴螺纹变径，由 $\Phi 50$ 变 $\Phi 40$ ）、 $\Phi 40\text{PE}$ 支管堵头（两个）、毛管旁通（26 个）、毛管（即 $\Phi 14$ 滴灌带）60m 长 26 条，毛管堵头（26 个）等。算出一个小区用量后乘 24 得总用量。

(2) 总干、干、分干管道用量

总干、干、分干可从布置图上得出用量，按Φ90、Φ75等不同规格分别统计。

(3)泵站和首部枢纽

水泵、电机、起动开关、闸阀、压力表、过滤器组（1个50m³砂石过滤器加两个20m³不锈钢筛网过滤器）、施肥罐（200L）、Φ80安全阀、Φ63空气阀、泄水阀、6m长钢管及相应的钢管件（包括弯头、法兰、三通等）。

表 7-9 果树滴灌工程材料设备用量以及概算表

序号	名称	型号规格	单位	数量	单价	复价	备注
1	PVC管	Φ90, 0.6Mpa	m	30	18	540	6m长承接
2	PVC管	Φ75, 0.6Mpa	m	1000	15	15000	备用4%, 6m长承接
3	PE管	Φ40, 0.6Mpa	m	2000	12	24000	备用10%
4	滴灌带	Φ14, 滴头间距0.5m	m	40000	0.6	24000	备用7%
5	PVC管	Φ50, 0.6Mpa	m	25	8	200	出地管
6	闸阀	Φ50, 铜制	个	25	50	1250	
7	压力表	0~1Mpa, Φ60表盘	个	25	20	500	
8	过滤器	2个不锈钢筛网式	个	25	800	2000	
9	快接三通	中心圆螺纹变径Φ50×Φ40	个	25	20	500	
10	堵头	Φ40PE	个	50	5	250	
11	滴灌带旁通	Φ14	个	700	1	700	备用10%
12	毛管堵头	Φ14	个	700	1	700	
13	变径三通	Φ75×Φ50	个	25	30	750	承接变径
14	闸阀	3" (Φ75)	个	3	150	450	
15	三通	Φ75	个	2	30	60	
16	弯头	Φ75	个	1	30	30	
17	水泵	IS80-50-200	台	1	4000	4000	配套电机15kw
18	起动开关	配15kw电机起动用	个	1	800	800	
19	闸阀	4"	个	1	300	300	
20	过滤器组	一个50m ³ /h砂石+2个20m ³ /h筛网	套	1	5000	5000	
21	施肥罐	200L	个	1	500	500	
22	压力表	0~1Mpa Φ100表盘	个	1	40	40	
23	安全阀	A49×-10-80	个	1	300	300	
24	空气阀	KQ42×-10	个	1	200	200	
25	水阀	2"	个	1	50	50	
26	钢管	4"	m	6	120	720	泵站用
27	钢管件		项	1	200	200	泵站用
28	合计					82590	

以上为直接费中的材料费，总价为82590元，平均亩投资为550元，总的费用还应加上人工费、预备费以及各项间接费。实际投资大致在12万元，平均亩投资800元。此投资在滴灌中属于中等水平。目前国内滴灌投资差别很大，最低的如新疆的棉花膜下滴灌，平均亩

投资约 200 元，最高得如大棚滴灌，约 2000 元左右。

四、关于影响设计的主要因素讨论

本案例有很多影响设计的因素是做了限定的，如地形坡度、地块形状、作物种类、种植间距、节水灌溉类型选择、滴灌带的单双行或是否做绕树毛管等等。实际中这些因素是有很多变化的，可能完全不同于案例中的情况。这些因素变化时，对最终的设计可能产生不同的影响，下面简单地讨论对设计影响比较大的因素。

1、日耗水量

不同作物、不同地区日耗水量差异较大，即使同一作物、同一地区，由于水源水量的丰沛程度不同，也可能造成日耗水量的取值有所不同。取值较高，作物相对生长较好，取值偏低，则生长较差，但也不见得就早死，因而这是一个相对的概念。当水源水量有限而又希望多灌溉一些土地时，可以适当将日耗水量取小些，但无论怎样应保证基本用水，取值应在本地区试验资料或经验值的下限以上。日耗水量取值较大，会造成系统总用水量和总流量加大，同时工作的灌水器或小区数量要增加，各级管道的管径会加大。如果不增大总流量，则需要延长工作时间。

2、地形坡度和地块形状

地形坡度较大和地块形状复杂都会大大增加设计的难度。地形坡度增大，上坡毛管和上坡支管的铺设距离就要缩短，即使是采用补偿式滴头铺设长度也有一定限制。对普通滴灌带来讲，坡度过大了，有时就只能顺坡铺设或顺等高线铺设，对于山丘区坡向不断变化，等高线复杂弯曲或呈环形，布置毛管或支管应格外小心，不能随意在图上一画即可，必须看上坡管的高程差。一般坡度大于 1/10，不宜逆坡布置，只能单向（顺坡）布置。对于本案例，由于坡度的影响，毛管允许水头损失少了 0.5m，如果是平地，则毛管允许铺设长度应为 69m，如毛管逆坡再增高 1m，则毛管允许铺设长度仅为 45m，如逆坡坡度为 1/10，则只能铺设 22m。

3、双行管和单行管的影响

沿树行铺双行管，湿润宽度增大，对作物根部吸收水分效果更好，但增大了毛管用量，滴灌带由现在 40000m 增加 1 倍为 80000m，每亩增加投资 160 元，若小区流量保持不变，则小区的数目会增大 1 倍，小区田间二级枢纽数也会增加，投资也要加大些。若小区数不变，则小区流量加大为 18.2m³/h，可能会造成支管管径增大，投资也会增加。如采用绕树毛管，道理也相似，灌溉效果好，但投资会增大，另外绕树毛管收放困难，给运行管理带来麻烦。

4、种植间距的影响

种植间距直接影响毛管的数量，如按每行作物铺 1 条毛管，则每亩毛管用量

$$l = \frac{667}{a}$$

式中， l ——每亩毛管用量，(m)；

a ——作物种植间距，(m)；

本案例种植行距 3m，亩投资约 800 元，如改为种植间距 1m 的蔬菜，亩投资将上升至 1300 元左右。

5、灌溉周期和灌水定额的影响

灌水周期和灌水定额对系统布置、系统总投资没有什么影响。延长轮灌周期，灌水定额和在一个位置的工作时间也随之相应的扩大和延长。对系统工作开关阀的操作频率会有影响，而对流量、压力均不产生影响。

6、采用微喷灌和滴灌的比较。

对于果树灌溉，采用微喷灌也是常见的选择。对本案例，如采用微喷灌也是可以的。

如用微喷灌，一般每棵数布置一个微喷头，喷洒半径取 3m，流量 70L/h 计，由于接近于全面湿润灌溉，即日耗水量无折减， $E_a' = 4.5/0.9 = 5mm$ 。灌水定额由于湿润比加大(可取 0.8)，则

$$m = 0.1 \times 1.4 \times 80 \times 0.8 \times 0.2 \times 30 = 54mm$$

$$m' = 54/0.9 = 60mm$$

实际灌水可取其 1/2，即 $m' = 30mm$ ，灌水周期同滴灌仍为 6 天。

一个位置工作时间

$$t = \frac{30 \times 3 \times 4}{70} = 5(h)$$

一天可以工作三个位置，日工作时间 15h。

毛管用 $\Phi 25$ ，口径 6mm，最大铺设长度约 67m，取 62m，即 16 个微喷头，毛管流量 1.12 m^3/h ，如仍和滴灌小区一样，则小区流量将加大为 26 m^3/h ，同时工作两个小区总流量 52 m^3/h ，用现水泵仍可以，每天 6 个小区，4 天轮灌完。小区支管将放大为 $\Phi 50$ ，其它可不变。

投资上差异主要是毛管和微喷头，毛管总量 40000m，单价 1.2 元/m，增加 24000 元，微喷头 13000 个，单价 4 元/个，增加 52000 元，总增加 76000 元，平均亩投资增加 500 元，总的亩投资将达到 1300 元左右。但灌水效果将明显好于现滴灌。

7、另一种设计思路的介绍

本案例的设计方法，其思路是由下而上，先确定小区毛支管，再逐级到分干、干、总干，完成整个系统的设计。

另一种设计思路是由上而下，先确定主干管道，再由主干管线分水至小区。该种设计方式主要适应以下几种情况：

(1) 系统总面积较小，分为小区范围后一般毛支管长度在 30m（棚宽）以下，凭经验可以直接布置干管、分干管，然后确定毛支管长度，不会出现大的反差，如小块蔬菜地、足球场。

(2) 小区实际上已基本确定，即可从水源处直接引干、分干管，再连至小区，如高尔夫球场一般以 1 个球道为一个灌溉小区，常见 18 道或 32 道，大体按球道布置，再根据球道的长短适当做少量调整。又如保护地蔬菜，大棚的规格尺寸基本已定，多长为 50~100m，宽为 6~8m，毛管只有顺棚（有中心入和一端入两种）和垂直棚布置，故设计也可简单地先做干、分干管设计，再作棚内设计（也可先做棚内设计）。

(3) 系统地块零乱分散，自然形成若干分区，如山丘区分散的若干个山丘或山脊，可以先做干、分干设计，将水引至山丘或山脊的控制位置，再对各分区进行局部设计。

在很多设计中，两种思路并不是完全对立的，而是相互交融、相互补充的，有时按一种思路设计后，又用另一种思路进行验证、校核。需要设计者善于逆向思维和辩证思维。

小结：

1、微灌工程设计首先认真分析基本资料，选择适宜的微灌类型，必要时对不同的类型做对比分析。

2、对设计中所需要的技术参数进行整理，如果资料中已有，可直接选用，如果基本资料中没有，应通过查找相关资料或经验判定补充。主要参数和资料包括地块形状，地形、面积、土壤、作物种类、种植间距、计划湿润层深度、日耗水量、灌水定额、轮灌周期、水源情况、主选灌水器性能参数等。

3、可采用先确定小区范围的方式，得到系统布置的基本单元，包括通过水力计算确定毛管长度和支管长度，并以基本单元在灌溉范围内进行布置。小区的大小、长短和布置数要适应地块形状、灌水均匀和轮灌组流量压力均衡等要求。

4、通过将各小区首部连接的方式布置干、分干等管道，得到整个系统布置，同时进行轮灌编组和制定灌溉制度和工作制度。

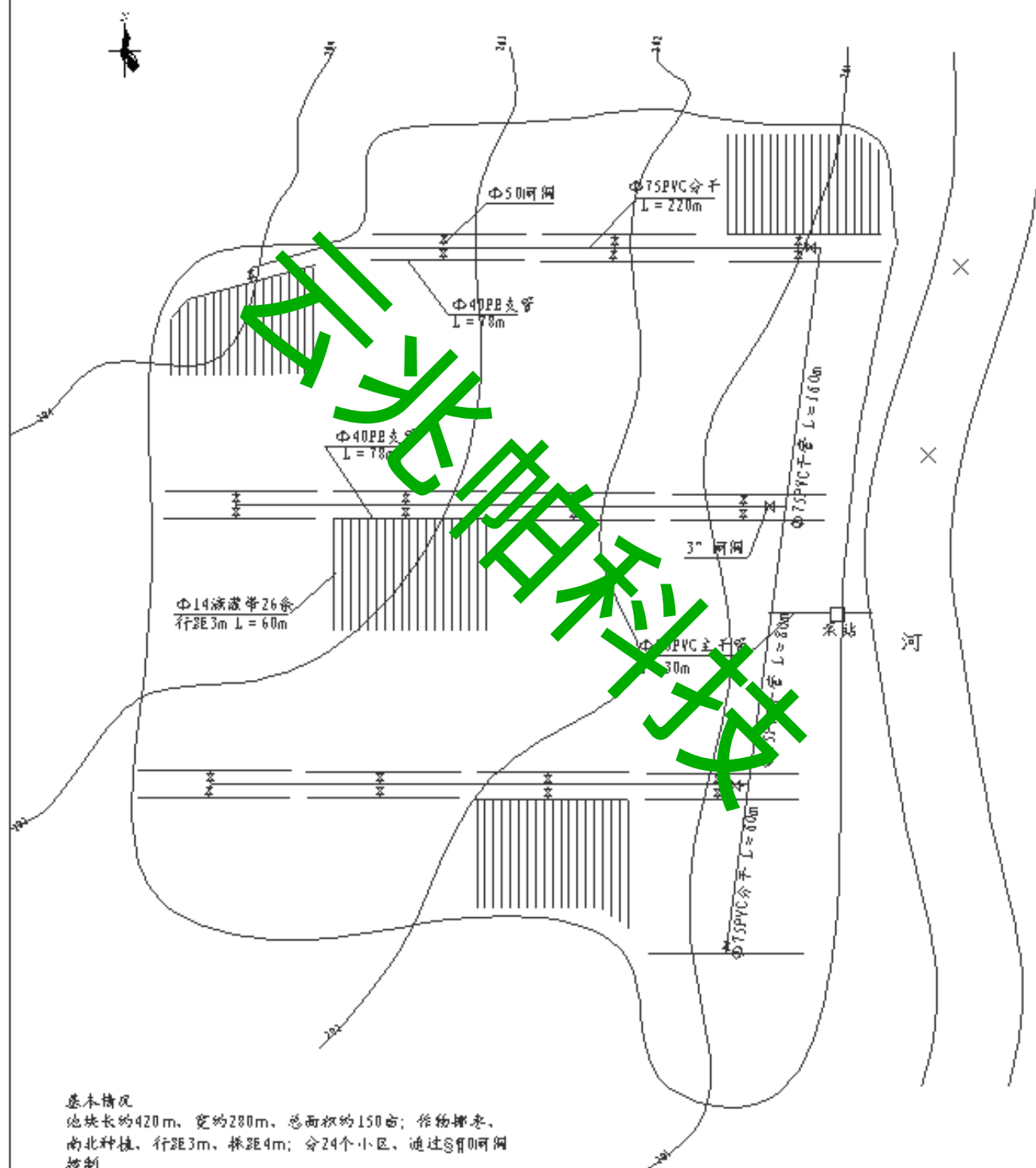
5、选择典型的小区 and 轮灌组进行水力计算，确定各级管径，并计算系统流量、扬程。

6、统计材料设备用量，做工程概预算。

7、对整个设计过程的各个步骤补充、完善、优化，编写设计说明书，概预算书，绘制设计图纸。

农业科技

果树滴灌工程平面布置图1: 2000



基本情况

地块长约420m, 宽约280m, 总面积约150亩; 作物椰枣, 南北种植, 行距3m, 株距4m; 分24个小区, 通过Φ50球阀控制。

主要管道用量: Φ50PVC 30m
 Φ55PVC 1000m
 Φ40PE 2000m
 Φ14滴灌带 4000m

第三节 新疆某 1500 亩地埋滴灌工程设计实例

一、工程概况

项目地位于天山南麓，塔克拉玛干沙漠的北沿。占地面积 152.6 平方公里，距阿克苏市 97 公里。现有人口 11188 人，从业人员 2626 人。全团有耕地面积 5.86 千公顷。项目区建设面积为 1500 亩，主要种植棉花。采用自动化地埋滴灌系统。

项目区属暖温带极端大陆性荒漠气候，极端最高气温 35 度，极端最低气温零下 28 度。太阳辐射年均 133.7~146.3 千卡/平方厘米，年均日照 2 556.3~2 991.8 小时，日照率为 58%~69%。垦区雨量稀少，冬季少雪，地表蒸发强烈，年均降水量为 40.1~82.5 毫米，年均蒸发量 1 876.6~2 558.9 毫米。垦区以河水灌溉为主。

项目区土壤多为砂壤土，少量地块中有粘质壤土，土壤条件良好。ET 值选 6mm/天

二、工程总体方案

1、节水灌溉技术方案选择

为了把项目区建设成为高效的科技示范区，应选用起点高，节水、增产效果好，适用于集约化农业生产的灌溉方式，经多次考察优选，选用地埋滴灌方式，滴灌在兵团甚至整个新疆已成为了主要的节水灌溉形式，经过四、五年的大面积试验推广，该项目灌溉技术和配套的栽培技术已臻完善。地埋滴灌是近年来从国外引进的一项新的灌溉技术，其主要的技术要求与常规的滴灌基本上一致，这种灌溉方式的最大特点是将主管、支管、毛管均埋设于地面以下，减少每年地面支管、毛管的回收费用，更适用于机械化生产。

2、工程规模和工程布局

项目区总设计面积 1500 亩，主要种植加工棉花。

(1). 水源布置

项目区采用地表水，项目区面积 1500 亩，水源水量计算如下

$$Q = \frac{10E_a A}{\eta t}$$

式中：Q——水源流量 (m³/h)；

A——灌溉面积，100hm²；

Ea——设计耗水强度，取 Ea=6.0mm/d；

T——每日最大供水时数 (h/d)，取 t=20h。

计算得，Q=285m³/h。

(2). 工程系统规划布置

根据项目区的地块的现有条件，管网系统采用鱼骨式布置。作物种植为东西向行播的基本格局，决定了管网的布置方式；毛管东西向，支管南北向垂直于毛管，分干管南北向，与干管垂直，首部系统布置在项目区中部。

这种布置的优点是与水文地质条件、作物种植条件相一致，支管平行于分干管布置，可以减少管沟的开挖及回填的工程量，运行管理方便。

三、滴灌工程设计

1、工程设计依据、标准及设计内容

(1) 设计依据及设计原则

- 1) 微灌系统设计依据中华人民共和国行业标准 SL103-95《微灌工程技术规范》。
- 2) 设计参数力求科学，并参照和田地区的经验系数。
- 3) 按国产和国外进口设备厂商提供的技术参数推荐值，结合项目区实际情况进行设计。
- 4) 根据项目区土壤、作物、气候条件，尽量立足当前，并兼顾长远，选择固定式系统。
- 5) 设计中要使管道总长度最短，少穿越障碍物，管道纵剖面力求平顺，满足各灌溉单元用水要求，管理维护方便。

(2) 设计执行以下技术标准

- 1) 《节水灌溉技术规范》SL207-98;
- 2) 《微灌工程技术规范》SL103-95;

(3) 设计内容

- 1) 管路布置、管材选择、管径、管长及连接方式设计;
- 2) 首部过滤系统、控制设备选择布置;
- 3) 安全设施的设计与布置;
- 4) 灌水器及毛管选择及布置;
- 5) 运行方案、轮灌编组、工作制度确定;
- 6) 不同条件下的工作参数等。

2、系统首部设计

系统首部工程是以达到水质净化处理、施肥、量测压力和水量、调节和控制灌溉用水为目的而系统的开始部分，由过滤设备、施肥设备、控制设备、安全设备及稳定建筑等五个部份组成。

过滤设备：根据水源水质情况和地埋滴灌系统对水质的要求选择过滤系统，项目地所用水源地地表水，水中含有细砂及少量大粒径砂粒，属于水质条件较差的水源种类。采用二级过滤系统，第一级采用砂石过滤器，可过滤水中的大部分沙石及杂质，第二级采用叠片式过滤器，叠片过滤器精度为 120 目，可进一步对水质进行净化，确保水质清洁，以保证滴灌管线经长期使用而不会发生堵塞的现象。叠片过滤器的叠片为杂质处理载体，由上下两片紧贴的槽形叠片形成无数道杂质颗粒无法通过的滤网，总厚度相当于 30 层普通滤网而过流能力高于滤网 10 倍。叠片材质是优质工程塑料，耐磨性极高，使用寿命可超过 15 年。系统过水能力为 300m³/hr。

过滤器组将位于水渠旁，通过法兰与水泵直接相连。过滤器由多组单体并联而成，每组单体均包括砂石分离器和叠片式过滤器，单元间装有隔离阀，可保证在运行过程中进行检修。

施肥系统：施肥装置采用施肥罐，容量为 220L。本施肥罐是采用定量施用的原则，可在灌溉过程中连续进行施肥操作，施肥罐无活动部件，使用简单方便，运行可靠，无须人员值守看护。可使用固体可溶性肥料，可实现不同品种肥料的混和施加。罐体为钢质材料，外涂防腐油漆，可以防止气候及肥料的影响，极耐化学腐蚀，使用年限超过 15 年，施肥过程应伴随灌溉同时进行，建议在灌溉过程进行到 1/3 时开始。这样可以保证对灌溉系统的正确冲洗和尽可能地减少化学物质对滴头的堵塞。施肥完毕后，必须继续灌溉 15 分钟。特别适用于大田的滴灌系统施肥。

控制设备：首部安装两套闸阀，过滤器进口处安装一个，可调节进水量，过滤器出口处安装一个可调节过滤器前后压力差以控制施肥速度。

量测设备：量测设备包括一个压力表和一台水表，压力表安装在过滤器上，通过一个三向阀门可量测过滤器进水口和出水口的压力，用于灌溉系统的压力监控和判定过滤器的清洁程度及清理时间。水表安装在过滤器后用来量测用水量。

安全设备：安全设备包括一个逆止阀、自动进排气阀两个，逆止阀安装在过滤器进口处，用于防止管道水锤，保护首部系统。自动进排气阀安装在过滤上和弯头高处。

3、田间控制阀门设计

田间阀门属液压隔膜阀类型，该项目应用 3" DOROT 水力调压阀，其阀体上安装有压力调节器。压力调节器用于调节阀门出口压力，使之稳定在滴灌管线所要求的压力数值上。此装置为外置连续可调型，使用十分方便。工作原理为改变阀门隔膜室的体积来控制阀门的过流断面，从而调节阀门出口压力。优点是开关动作可靠，水头损失小，阀门出口压力连续可调，寿命长可保证正常使用 20—30 年且使用方法简单，是全套滴灌系统成功的可靠保证。

4、田间系统设计

(1) 微灌系统规划参数

目前地埋滴灌尚无形成的技术和设计参数规定，因此采用地面滴灌的部分经验参数。

根据水利部颁发的《微灌工程技术规范》和新疆多年的滴灌实施的的经验，各技术参数定为下值：

- (1) 微灌土壤湿润比：P=80%
- (2) 微灌水利用系数： $\eta=0.95$
- (3) 设计灌水均匀度： $Eu \geq 95\%$
- (4) 设计湿润深度：Z=0.4m
- (5) 设计日耗降水强度： $Ea=6.0\text{mm/day}$

(2) 管材选择

1) 主管道材料选择

由于项目区采用滴灌形式，面积又不大，根据类似工程的经验，因此管材采用 PVC 管材，其优点是价格较便宜，施工安装简单，能适应一定程度的地基不均匀沉降，缺点是老化速度快，为防止其老化将主干管埋设于地下，这样 PVC 管材寿命可达 30 年。

2) 滴灌管线选择

滴灌管线选择选用技术成熟、质量优良的产品，经考察比较，国内目前尚无成熟产品，因此选用以色列耐特菲姆公司生产的 SUPERTYPHOON 125 型滴灌管线。其技术参数如下：

滴灌管线所用的滴头为内镶式结构，滴头在生产过程中直接“焊”于滴灌管的内侧壁上，最大限度的防止机械损伤。

滴头流量：Typhoon125 有 1.1L/H、1.65L/H、2.0L/H 三种，本系统采用 1.1L/H 流量。

滴头结构：每个滴头进水口处均有单独的过滤器，紊流流道，流道宽短，有效防止滴头堵塞。

压力 / 流量关系：Supertyphoon125 流态指数 $b=0.45$ ，流量系数 $a=0.39$ ， $Q=a \cdot P^b=0.39 \cdot P^{0.45}$ 。

毛管材质---由 Hexin 低密度聚乙烯拉制而成。滴管材质的化学配方具有抗环境应力破坏的能力，例如在极端的气象条件(高温，冰冻温度等)。同时内含有抗紫外线的添加剂，可防止暴露在田野中管线的老化，延长其使用寿命。

滴灌管线规格---Supertyphoon125 壁厚 0.31mm，管壁厚均匀；毛管外径—17 毫米，内径---15.9mm，最高工作压力 14 米。

制造偏差系数 Typhoon125=0.03。

本项目选用滴头间距为 0.4 米，滴头流量为 1.1L/H（工作压力 10 米水头），设计中滴头流量 1.09L/H(工作压力为 11 米)，图中数据参数表中的流量为灌溉小区中的平均流量。

3、管网布置

项目区地块为矩形，泵房在地块中间处，管网采用鱼骨式布置。管道系统分为干管、分干管、支管、毛管、集水管五级管道。

项目区整个地块东西宽 1160 米，南北长 890 米。

东西向布置干管，干管总长 1000 米，管径为 200mm-160mm。在干管南北两侧各布置六条分干。

分干管六条南北向布置，垂直于主干管，分干管总长 4470 米，管径为 160mm 、110mm，在分干管尾部设置自动进排气阀和排水阀。

支管 72 条南北向布置，平行于分干管，支管总长为 5340 米，管径为 90mm 和 75mm。支管进口处安装压力调节阀和真空阀，压力设置为 11m。

毛管东西向布置，对称分布在支管两侧。毛管铺设长度为 75-98 米，埋设于地表 40cm 以下，间距为 1.235 米。毛管滴头间距为 0.4 米，滴头平均流量为 1.09 升/小时。

集水管 144 条东西向布置，总长 10680 米，管径为 63mm。布设在毛管尾部与毛管相连，平行于支管。主要用于处理毛管的冲洗，在集水管尾部设置有真空阀和排水阀。

4、灌水制度的确定

(1) 灌水量的确定

$$m=0.1\gamma zp(\theta_{\max}-\theta_{\min})/\eta$$

式中：m——设计灌水定额，mm；

γ ——土壤容重， $\gamma=1.48\text{g/cm}^3$ ；

Z——计划土壤湿润层深度， $z=0.4\text{m}$ ；

P——设计土壤湿润比， $p=80\%$ 。

$\theta_{\max}$ ， $\theta_{\min}$ ——占干土重的百分比，取 $\theta_{\max}=25\%$ ， $\theta_{\min}=18\%$ ；

η ——灌溉水的有效利用系数，取 $\eta=0.95$ 。

由以上各参数，得到地块的设计灌水定额：

$$m=0.1 \times 1.48 \times 0.4 \times 80 \times (25-18)/0.95$$

$$=34.9\text{mm}$$

(2) 灌水周期的确定

滴灌系统设计日耗水强度 $E=6.0\text{mm/d}$ ；

灌水周期 $T=m\eta/E=35.6 \times 0.95/6.0=5.5$ (天) 取 5 天

(3) 一次灌水延续时间

$$t=mS_pS_e/\eta q$$

式中： S_p ——滴头间距 m， $S_p=0.4\text{m}$ ；

S_e ——毛管间距 m； $S_e=1.24\text{m}$ ；

q ——滴头平均流量 L/h， $q=1.09\text{L/h}$ 。

$$t=35.6 \times 0.4 \times 1.24/(0.95 \times 1.09)=17\text{h}$$

(4) 工作制度在确定

轮灌组数：

$$N = \frac{C \cdot T}{t}$$

$$= \frac{20 \cdot 6}{17}$$

$$= 7.1 \text{ 个} \quad \text{取 8 个}$$

式中：N——轮灌组数

T——灌水周期

T——灌水时间

C——每天运行小时数，取 20 小时

(5) 轮灌区的划分

根据水源供水能力、自动控制操作的方便性、滴灌均匀度控制和管网运行的合理性等综合因素的考虑，整个灌区的划分详见设计图。每个灌水单元的流量压力设置与轮灌区的划分见图相应参数表格。

轮灌组	地 块									
1	1.1	1.2	1.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	
2	1.4	1.5	1.6	3.4	3.5	3.6	4.4	4.5	4.6	
3	1.7	1.8	1.9	3.7	3.8	3.9	4.7	4.8	4.9	
4	1.10	1.11	1.12	3.10	3.11	3.12	4.10	4.11	4.12	
5	2.1	2.2	2.3	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	6.3	
6	2.4	2.5	2.6	5.4	5.5	5.6	6.4	6.5	6.6	
7	2.7	2.8	2.9	5.7	5.8	5.9	6.7	6.8	6.9	
8	2.10	2.11	2.12	5.10	5.11	5.12	6.10	6.11	6.12	

设计要求为每天灌溉，这可结合作物的生长特性和不同生育期作物对水的需求及当年的气候的实际情况而操作轮灌。

5、系统水力计算

(1) 水量计算

1) 一条毛管输水量

在每条支管进水口处设一调压阀，压力设为 11m。

$$Q_{L1} = nq_d = 98 / 0.4 \times 1.09 = 267 \text{ L/h} = 0.267 \text{ m}^3/\text{h}$$

2) 支管输水量

$$Q_s = (Q_{L1} + Q_{L1}) \times \frac{L_s}{S_L}$$

计算结果如下：

小区	流量	小区	流量	小区	流量	小区	流量	小区	流量	小区	流量
1.1	30.8	2.1	30.3	3.1	27.0	4.1	32.3	5.1	27.2	6.1	30.8
1.2	30.8	2.2	30.3	3.2	30.8	4.2	32.3	5.2	30.8	6.2	30.8
1.3	30.8	2.3	29.6	3.3	30.8	4.3	30.5	5.3	30.8	6.3	29.0
1.4	30.8	2.4	30.3	3.4	27.0	4.4	32.3	5.4	27.2	6.4	30.8
1.5	30.8	2.5	30.3	3.5	30.8	4.5	32.3	5.5	30.8	6.5	30.8
1.6	30.8	2.6	29.6	3.6	30.8	4.6	30.5	5.6	30.8	6.6	29.0
1.7	30.8	2.7	30.3	3.7	27.0	4.7	32.3	5.7	27.2	6.7	30.8
1.8	30.8	2.8	30.3	3.8	30.8	4.8	32.3	5.8	30.8	6.8	30.8
1.9	30.8	2.9	29.6	3.9	30.8	4.9	30.5	5.9	30.8	6.9	29.0
1.10	30.8	2.10	30.3	3.10	27.0	4.10	32.3	5.10	27.2	6.10	30.8
1.11	30.8	2.11	30.3	3.11	30.8	4.11	32.3	5.11	30.8	6.11	30.8
1.12	30.8	2.12	29.6	3.12	30.8	4.12	30.5	5.12	30.8	6.12	29.0

3) 干管输水量

分干管输水量等于支管输水量，主管输水量为同一轮灌组内各条分干管输水量的和。

$$Q_m = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + \dots + Q_{s5}$$

计算结果如下：

轮灌组	流量 (m ³ /h)	轮灌组	流量 (m ³ /h)
1	276.1	5	269.6
2	276.1	6	269.6
3	276.1	7	269.6
4	276.1	8	269.6

(2) 水力计算

1) 毛管设计及水力计算

毛管长度设计最长铺设长度 98 米，支管进口压力为 11m。

毛管允许工作压力偏差率：

$$H_v = \frac{1}{x} q_v \left(1 + 0.15 \frac{1-x}{x} q_v \right)$$

$$= \frac{1}{0.45} 0.2 \left(1 + 0.15 \frac{1-0.48}{0.48} 0.2 \right)$$

$$= 0.46$$

H_v ——设计滴头工作压力偏差率

q_v ——设计允许流量偏差率

x ——流态指数

毛管极限孔数:

$$N_m = \left(\frac{5.446 D^{4.75} h_d H_v}{K \bullet S_e \bullet q_d^{1.75}} \right)^{0.364} + 0.52$$

$$= \left(\frac{5.446 \times 15.9^{4.75} \times 1.4 \times 0.46}{1.1 \times 0.4 \times 1.31^{1.75}} \right)^{0.364} + 0.52$$

$$= 495.58$$

$$= 495$$

毛管最大铺设长度

$$L_m = N_m S_e + S_0$$

$$= 495 \times 0.4 + 0.5$$

$$= 198 \text{ 米}$$

毛管设计铺设长度 89m 是合理的

毛管沿程水头损失:

$$h_f' = \frac{f S q_d^m}{d^b} \left[\frac{(N + 0.48)^{m+1}}{m+1} - N^m \left(1 - \frac{S_0}{s} \right) \right]$$

$$= \frac{0.502 \times 0.4 \times 1.25^{1.75}}{15.9^{4.75}} \left[\frac{(245 + 0.48)^{1.75+1}}{1.75+1} - 245^{1.75} \left(1 - \frac{0.4}{0.4} \right) \right]$$

$$= 0.58 \text{ m}$$

毛管局部水头损失

$$h_s' = 0.2 \times h_f' = 0.1 \times 0.58 = 0.06 \text{ m}$$

2) 支管设计

支管管径的选择

根据《微灌工程设计规范》的要求, 支管水头损失按工作水头 10% 计, 由此计算管径。

$$D \geq \sqrt[b]{f \frac{Q^m}{h_f} \times L \times a}$$

式中：b=4.77, m=1.77, f=94800, L=73, a=0.37, h_f=1.52m

当 Q_支=30.8m³/h 时，

代入式中，计算得：D≥72.0 取 75mm。

支管水头损失

支管沿程水头损失：

$$\begin{aligned} h'_f &= \frac{f S q_d^m}{d^b} \left[\frac{(N + 0.48)^{m+1}}{m+1} - N^m \left(1 - \frac{s_0}{s} \right) \right] \\ &= \frac{0.464 \times 1.5 \times 498^{1.77}}{104.8^{4.77}} \left[\frac{(59 + 0.48)^{1.77+1}}{1.77+1} - 59^{1.77} \left(1 - \frac{0.62}{1.24} \right) \right] \\ &= 1.5\text{m} \end{aligned}$$

支管局部水头损失

$$h'_s = 0.1 \times h'_f = 0.1 \times 1.5 = 0.15\text{m}$$

3) 主管设计

根据相关技术规范的要求，主管管径根据经济流速设计 V=1.5m/s，由此计算管径。分段进行计算：

第一段： Q=30.8 m³/h

管径为：

$$D = \sqrt[2]{\frac{Q}{A}} = \sqrt[2]{\frac{30.8}{0.785 \times 1.5 \times 3600}} = 0.098\text{m} \quad \text{取 } 110\text{mm}$$

第二段： Q=58.6 m³/h

管径为：

$$D = \sqrt[2]{\frac{Q}{A}} = \sqrt[2]{\frac{58.6}{0.785 \times 1.5 \times 3600}} = 0.117\text{m} \quad \text{取 } 160\text{mm}$$

第三段： Q=119.7m³/h

管径为：

$$D = \sqrt[2]{\frac{Q}{A}} = \sqrt[2]{\frac{119.7}{0.785 \times 1.5 \times 3600}} = 0.168\text{m} \quad \text{取 } 200\text{mm}$$

第四段： Q=180.8m³/h

管径为：

$$D = \sqrt[2]{\frac{Q}{A}} = \sqrt[2]{\frac{180.8}{0.785 \times 1.5 \times 3600}} = 0.206\text{m} \quad \text{取 } 200\text{mm}$$

主管水头损失

沿程水头损失

$$h_{FF} = f \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} L$$

局部水头损失为沿程水头损失的 10%。

管段	长度 (m)	流量 (m³/h)	管径(mm)	沿程损失 (m)	局部损失 (m)	总损失 (m)
1	290	29.0	110	2.22	0.22	2.44
2	228	29.0	160	0.29	0.03	0.32
3	196	58.6	160	0.88	0.09	0.97
4	196	119.7	200	1.10	0.11	1.21
5	100	180.8	200	1.18	0.12	1.30

总水头损失：6.3 米

4) 系统水泵工作参数

支管进口调压阀设定压力为 11m，阀门水头损失为 5m，系统首部过滤器、阀门、水表总水头损失 10m，开启阀门富余压力 5 米。

系统总水头损失 H:

$$H = 5 + 10 + 6.3 + 5 = 26.3\text{m}$$

水泵所需程 P:

$$P = H + Z + H_0 = 26.3 + 11 = 37.3 \text{ 米} \quad \text{取 } 40 \text{ 米。}$$

水泵所流量 Q:

$$Q = M \times A (Q_m) = 276.1\text{m}^3/\text{h} \quad \text{取 } 280\text{m}^3/\text{h}$$

水泵选型为:

根据水源情况和多年滴灌系统应用情况，采用渠水做灌溉水源的系统一般用离心泵，由于系统工程控制面积较小选用一台水泵，也可采用一用一备这种配置。

水泵型号为 ISG200-315(I) 电机功率 55KW

附录一 喷灌工程术语

1、节水灌溉

用尽可能少的水投入，取得尽可能多的农作物产出的一种灌溉模式，目的是提高水的利用率和水分生产率。节水灌溉的内涵包括水资源的合理开发利用，输配水系统的节水、田间灌溉过程的节水、用水管理的节水以及农艺节水增产技术措施等方面。

2、灌溉水利用系数

灌入田间的水量（或流量）与灌溉系统引入总水量（或流量）的比值。

3、管系水利用系数

末级管道放出的总水量与管道系统的总水量的比值。

4、田间水利用系数

实际灌入田间的水量（即净灌水定额）与末级固定渠道放出的水量或末级输水管道通过水量的比值。

5、喷灌

喷洒灌溉的简称。它是借助一套专门设备将具有压力的水喷到空中，散成水滴降落田间，供给作物水分的一种先进的灌水方法。

6、喷灌系统

由水源工程、输水与配水管（渠）道及喷灌设备等组成的完整灌溉设施。

7、机压喷灌

利用动力机和水泵提供工作压力的喷灌。

8、自压喷灌

利用自然水头获得工作压力的喷灌。

9、定喷

喷水时喷头位置相对于地面不动的喷灌形式。

10、行喷

喷水时喷头位置不断移动的喷灌形式。

11、管道式喷灌系统

水源、水泵与喷头之间由一级或数级压力管道连接，管道成为主要组成部分的喷灌系统。

12、固定管道式喷灌系统

灌溉季节内各级管道位置固定不动的喷灌系统。

13、半固定管道式喷灌系统

灌溉季节内，干管固定不动，支管在不同位置间搬移、轮换作业的喷灌系统。

14、移动管道式喷灌系统

灌溉季节内，干、支管均在不同位置之间搬移、轮换作业的喷灌系统。

15、机组式喷灌系统

使用由动力机、水泵、喷头、机架等组成定型机组的喷灌系统。

16、定喷机组式系统

喷洒时机组位置不动的喷灌系统。

17、行喷机组式系统

机组边行进边喷洒的喷灌系统。

18、喷洒水利用系数

喷洒到地面、作物上的水量与喷头喷出水量的比值，用 η 表示。

19、设计风速

喷灌工程设计中，确定喷头间距、喷洒水利用系数和喷灌均匀系数时采用的风速。

20、漂移损失

喷洒水滴因空中蒸发和风吹漂移而损失的水量。

21、喷灌均匀系数

表示喷洒水量在喷灌面积上分布均匀程度的系数，用 C_u 表示。

22、喷洒方式

用喷洒湿润面积图形的形状表示的喷洒特征，分为全圆喷洒和扇形喷洒。

23、喷头组合形式

相邻喷头在平面位置上组成的几何图形，有矩形和三角形两种。

24、喷头组合间距

喷头在一定组合形式下工作时，支管布置间距与支管上喷头布置间距的统称。

25、组合间距系数

支管上相邻喷头的水平距离或相邻支管间的水平距离与喷头射程之比值。

26、喷灌强度

单位时间内喷洒到地面上的水深，用 ρ 表示，单位为 mm/h。

27、组合喷灌强度

多喷头同时喷洒时，喷洒区域内的平均喷灌强度。

28、允许喷灌强度

根据土壤入渗特性、地面坡度及覆盖程度等确定的喷灌强度的允许值。

29、雾化指标

反映喷头射流碎裂程度的指标，用 p_d 表示。

30、日工作时间

喷灌或微灌系统每天的总工作小时数。

31、喷灌工作制度

喷灌工程设计所拟定的喷头在一个位置上工作的时间、每天的喷头工作位置数、同时喷洒的喷头数、喷头或支管的运行编组和轮灌顺序。

32、设计喷头工作压力

喷灌系统规划设计中所确定的正常工作压力，用 h 表示。

33、设计喷头流量

喷头在设计工作压力下的流量。

34、喷灌系统设计流量

喷灌工程设计中，根据灌溉面积和灌溉制度所确定的系统总流量。它应和最多同时喷洒的喷头流量之和相吻合。

35、喷灌系统设计水头

喷灌工程设计中，根据水源、地形、管道、喷头工作压力等选定的用以确定水泵扬程的总水头。它由地形高差、水头损失和喷头设计工作压力三部分组成。

36、多口系数 factor of multiple outlets

管道进口流量相同时，多口出流的沿程水头损失与该管道只有末端出流的沿程水头损失的比值。

37、喷头

将有压水喷洒在空中粉碎成细小水滴并散布在一定范围内的机具。

38、竖管

连接支管与喷头，并将喷头安置在适当高度的竖直短管。

39、滴灌设备

用于灌溉的各种机电设备、滴头、过滤器、管道及其附件的统称。

40、滴灌系统

由水源工程、首部枢纽、输配水管道和滴水设备等部分组成的灌溉系统。

41、湿润比

在计划湿润层内，滴灌湿润的土体与灌溉区域总土体的比值。

42、重力滴灌

利用容器内具有一定压力水头的进行滴灌的灌溉系统。

43、湿润半径

湿润球体在水平方向的平均最大半径。

44、毛管间距

滴灌系统中最末级相邻管道的水平距离。

45、设计滴头工作压力

滴灌工程设计中选定的滴头工作压力。

46、设计滴头流量

设计工作压力下单个滴头的流量。

47、滴灌系统设计流量

滴灌系统设计时的最大流量。

48、滴灌系统设计水头

滴灌系统设计中，根据地形、管道和滴头工作压力等所确定的总水头。

49、堵塞

滴头或毛管被固体颗粒、化学沉淀物或生物堵塞而不能正常工作的现象。

50、冲洗

用压力水、压缩空气或酸溶液疏通堵塞的滴头或管道的技术措施。

51、施肥罐

盛装肥料溶液，并能注入有压管道系统的压力容器。

52、滴头

使有压水减压形成水滴并断续滴出的灌水装置。

53、滴灌带（管）

滴头与毛管制成一体，并有输水和滴水功能的软管。

54、管间滴头

直径与毛管相近并串接在毛管中间的滴头。

55、管上滴头

插入毛管并固定在管壁的滴头。

56、涡流式滴头

以涡流方式消能的滴头。

57、压力补偿式滴头

能随压力变化而改变过水断面或流道长度，保持滴水量不变的滴头。

58、微喷灌系统

由水源、控制首部、输配水管网和微喷头组成的低压微量喷灌的工程设施。

59、微喷头

将有压水流粉碎成细小水滴，实行喷洒灌溉的微小喷头。

60、干管

喷微灌系统中末级管道以上各级管道（主干管、干管、分干管）的总称。

61、支管

在喷灌管网中，指连接竖管或直接连接喷头的末级管道，微灌管网中指连接毛管的一级管道。

兴光科技

附录二 常用符号

1. 灌溉制度

m ——设计灌水定额；流量指数
 γ ——土壤容重
 h ——计划湿润层深度；喷洒水深
 Δh ——喷洒水深的平均误差
 β_1 ——适宜土壤含水率上限（重量百分比）
 β_2 ——适宜土壤含水率下限（重量百分比）
 T ——设计灌水周期，时间
 W ——日需水量；管道放水量

2. 流量、速度与加速度

Q ——喷灌系统设计流量，流量
 q ——喷头流量
 q_s ——1000m 长度管道实际渗水量
 $[q_s]$ ——1000m 长度管道允许渗水量
 v ——管道流速
 a ——水锤波传播速度
 g ——重力加速度

3. 压力、水头及其损失

$P_{\max}$ ——最大表压力
 h_p ——喷头工作压力水头
 H ——喷灌系统设计水头
 H_z ——自压喷灌支管首端的设计水头
 h_f ——管道沿程水头损失
 h_j ——管道局部水头损失

4. 几何特征

d ——喷头主喷嘴直径；管道内径
 S ——喷洒面积
 Z_d ——典型喷点的地面高程
 Z_s ——水源水面高程
 h_s ——竖管高度
 L ——管长
 D ——管平均外径
 $e_{\min}$ ——管最小壁厚

5. 数、系数与指数

η ——喷洒水利用系数
 C_u ——喷灌均匀系数
 n ——测点数；同时工作的喷头数

F ——摩阻系数
 b ——管径指数
 F ——多口系数
 N ——喷头或孔口数
 X ——多孔支管首孔位置系数
 ζ ——局部阻力系数
 K_s ——管道渗水系数

6. 其他

R ——喷头射程
 T_s ——关阀历时
 σ ——塑料管瞬时爆破环向应力
 t ——试验温度

立光皓科技

附录三 常用单位换算

长度:

$$1 \text{ ft (英尺)} = 12 \text{ in} = 0.305 \text{ m}$$

$$1 \text{ in (英寸)} = 2.54 \text{ cm}$$

面积:

$$1 \text{ hm}^2 (\text{公顷, ha}) = 15 \text{ 亩} = 10000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ 亩} = 666.7 \text{ m}^2 = 0.0667 \text{ ha}$$

体积容积:

$$1 \text{ L (升)} = 1000 \text{ cm}^3 (\text{毫升}) = 0.001 \text{ m}^3 (\text{米}^3)$$

$$1 \text{ Imp.gal (英加仑)} = 4.546 \text{ L}$$

重量:

$$1 \text{ t (吨)} = 1000 \text{ kg (公斤)}$$

$$1 \text{ lb (磅)} = 453.6 \text{ g (克)} = 0.4536 \text{ kg}$$

流量:

$$1 \text{ L/s (升/秒)} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h} (\text{米}^3/\text{小时})$$

$$1 \text{ m}^3/\text{h} (\text{米}^3/\text{小时}) = 0.278 \text{ L/s} = 0.000278 \text{ m}^3/\text{h}$$

压力、压强:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 (\text{公斤力/厘米}^2) = 9.8066 \text{ Pa (帕)} = 98.066 \text{ kPa (千帕)} \\ = 0.968 \text{ 标准大气压} = 10 \text{ m 水柱}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 (\text{牛/米}^2) = 0.0000102 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ kPa (千帕)} = 1000 \text{ Pa} = 0.012 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa (兆帕)} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ 标准大气压} = 101.3 \text{ kPa}$$

功率:

$$1 \text{ hp (马力)} = 0.746 \text{ kW (千瓦)} = 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$1 \text{ kW} = 1.34 \text{ hp}$$

$$1 \text{ kWh (千瓦时)} = 361800 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} = 362 \text{ tf} \cdot \text{m/s}$$