

微灌技术发展 及微灌系统设计

中国水利水电科学研究院 龚时宏

1.1 微灌的特点

微灌包括滴灌（地表滴灌、地下滴灌）、微喷、涌泉灌（或小管出流灌）等，具有较突出的特点：

- (1) 微灌具有灌水均匀、机械化程度高和适用性广等特点，并有利于作物抵御不良气候条件，保持稳产高产、提高了作物品质等优点，一般比传统灌溉节水33~50%，产量提高30-40%。
- (2) 微灌技术对地形适应性强，与传统灌溉技术相比，可提高土地的利用率约8%；微灌系统可以随水将肥料和农药直接输送到作物根区，提高了化肥和农药的利用效率，可节省化肥、农药用量50%，利用率提高30-40%；微灌不使土壤板结，不破坏团粒，节省了大量劳力费、机力费。综合考虑农产品产量、品质提高和节省农业生产成本，采用微灌技术一般可增收30%左右。

(3) 在微灌条件下，通过采用封闭管道输水，减少了输送过程中的渗漏损失和水对病虫害的传播，病虫害发生率降低，明显减少除草剂、杀虫剂、杀菌剂用量，不但保护了环境，而且防治效果好。

(4) 应用微灌技术后，减轻了农民的劳动强度，提高了灌水方便程度和劳动效率，有效避免了过去争水、抢水引发的水事纠纷，并且农村劳动力可更多地向第二、第三产业转移，进一步增加了农民收入。

(5) 微灌技术应用带来了农村生产经营方式的转变，微灌技术应用于设施农业、现代农业中，促进了农业规模化经营和产业化发展，在增加农民收入的同时，带动了农民用水合作组织、农村经济合作组织的发展，加快了农民民主管理进程，有效促进社会主义新农村建设和社会和谐发展。

(6) 微灌不足:

- 系统一次性投入较高;
- 技术性较强, 需要专业管理;
- 大规模工程需要良好的集约经营和运行维护。
- 系统堵塞仍然是制约发展的因素之一



温室微喷



温室滴灌



大棚微喷



棉花



小麦

滴灌作物喜获丰收



谷子



大豆

1.2 微灌发展现状

1.2.1 微灌区域分布及模式

微灌（微喷灌、滴灌）技术在节水灌溉技术中占据重要地位。据统计，我国目前微灌面积达到4200万亩左右，分别占有有效灌溉面积8.9亿亩的4.7%、占高效节水灌溉（喷灌、微灌、管灌）工程面积1.74亿亩的24.1%。

• 微灌区域分布

从地区发展情况看，有10个省份微灌发展面积超过了15万亩，包括新疆、山东、辽宁、山西、甘肃、河北、北京、浙江、内蒙古、陕西等，该10省的面积之和达到占全国微灌面积的90%以上。新疆、甘肃等地大面积的棉花、西红柿膜下滴灌及葡萄滴灌，山东、辽宁、山西、浙江、甘肃等地温室大棚蔬菜和花卉、果树微灌，成为全国微灌发展的主战场和代表性工程

•我国业已形成的微灌技术应用模式

- **长江以南**：大棚微灌为主（提高作物产量和品质，减低田间劳动强度），其次为果树微灌。



- 山东、东北、华北：温室蔬菜、果树微灌并重。



•西北：以棉花、果树为主，其次为荒漠化治理、荒山和道路绿化



1.2.2 微灌设备

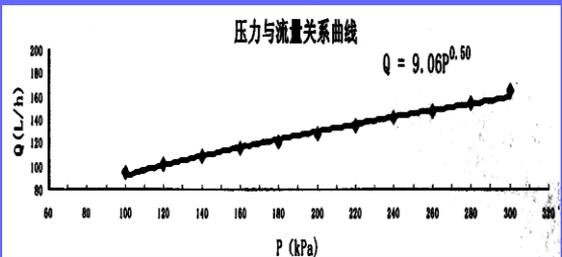
随着技术的发展，我国微灌设备也取得了长足的发展。

• 微灌产品门类和系列基本配套

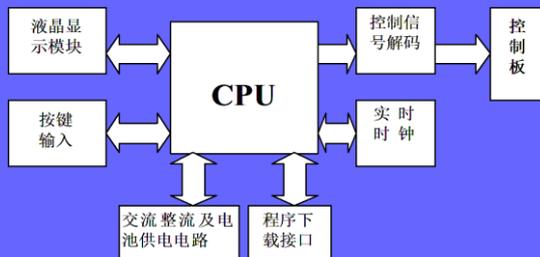
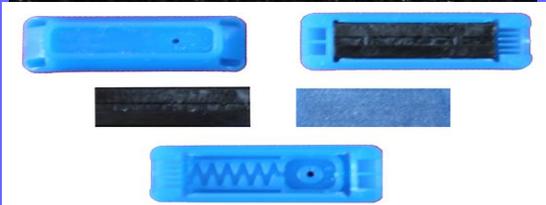
- **灌水器**：滴头、滴灌管（带）、压力补偿灌水器、微喷头、涌泉头。
- **管材及管件**：PVC管材及管件、PE管材及管件、旁通、鞍坐。
- **水质净化装置**：筛网过滤器、叠片过滤器、砂石过滤器、水沙分离器、自动反冲洗过滤器及沉淀池
- **控制装置**：压力调节器、流量调节器、各种手动阀门、流量阀、电磁阀、控制器。
- **注肥设备**：压差式、文丘里式、水动泵（活塞式、隔膜式）

- 基本可满足各类用户的需要
 - 林果、温室大棚、大田、道路绿化、荒山绿化、园林、草坪
- 质量得到了较大幅度的提高（与20世纪90年代以前比较）
 - 水力性能、制造偏差、耐压能力、耐老化能力、耐折弯、寿命

- 一些产品的研制成功，在国际学术界和工业界已产生较大反响：
 - 德国农业部在一年一度的关于世界微灌技术和产品的报告中，详细描述了我国小直径滴灌管带的研究和使用的。
 - 美国Toro公司从2003年也开始生产小直径滴灌管。
 - 在我国微灌市场日益扩大的情况下，对美国、以色列、澳大利亚等发达国家在我国市场已出生了很大的压力：美国RainBird公司已基本退出中国农业微灌市场，澳大利亚Irritrol和以色列Netfaim、Naan、Plastro在我国的农业微灌市场的份额已大幅度缩小



内镶式滴灌管 微喷头



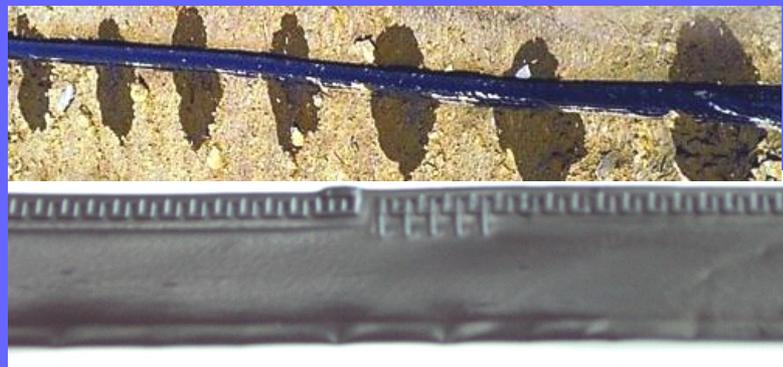
微灌控制器



定量阀



微灌管件



滴灌带



自动反冲洗

砂石和网式过滤器



手动反冲洗



移动式过滤设施



离心和网式过滤设施

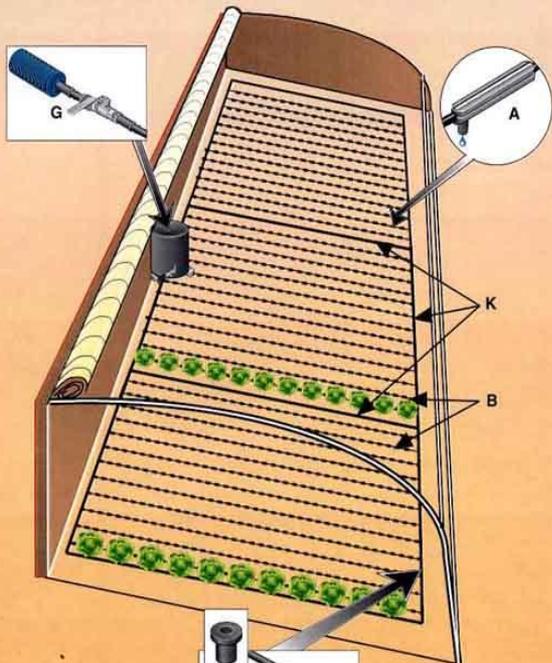
1.3 技术发展趋势及存在的问题

尽管我国及世界其他国家的微灌取得了较快发展，但也存在不少值得思考的问题。综观国内外微灌技术发展，其总体发展趋势及存在的问题如下。

1) 家庭小型微灌系统在促进农业发展中的作用已受到人们的普遍关注

家庭小型灌溉系统，也称重力滴灌，控制面积1~2亩，工作水头1~2米，水源可以是水桶、水箱等，有效地利用非常小的水源，适合于中国农村土地承包经营的特点，在一些地方得到推广应用。但存在系统设计（灌水均匀度、灌水量等）和适宜的灌水器品种少等问题的制约。

重力滴灌系统用于日光温室



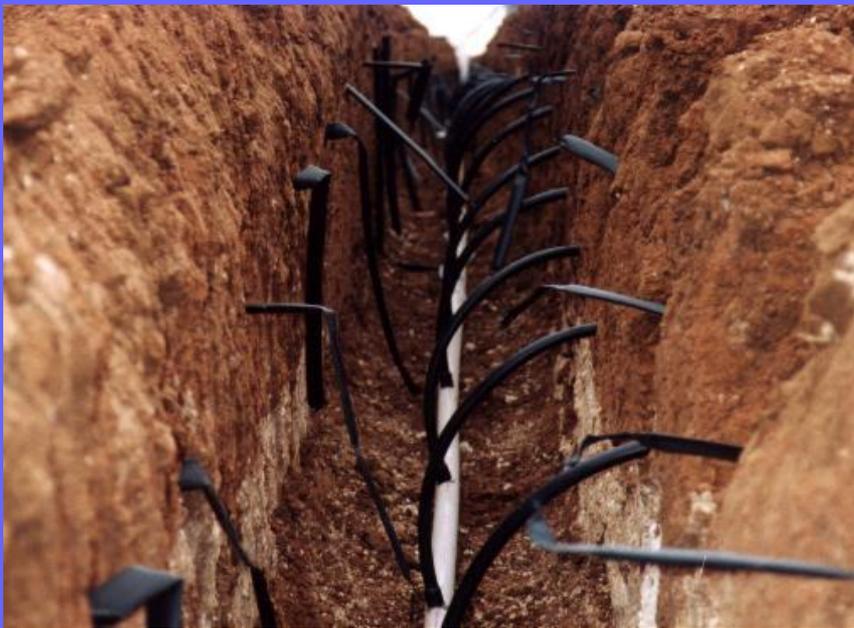
- A-微量滴头
- B-滴灌带
- F-阴接头
- G-重力过滤器
- H-快速套筒接头
- K-16mm管





2) 地下滴灌技术已成为研究热点

地下滴灌有着其它灌水方法无可比拟的优点，可利用污水灌溉、没有地表大田滴灌带回收和铺设问题二大优势已成为采用地下滴灌的两个主要原动力。地下滴灌已成为近几年世界各国科学家研究的热点，并取得了很大的进展。我国新疆已开展了地下滴灌的规模应用，但所使用的设备大多为进口设备，单位投资较大，且应用技术研究不充分，目前大规模萎缩。



新疆棉花地下滴灌





地下滴灌的根系堵塞及鼠害问题受到关注

根系堵塞及鼠害问题是影响地下滴灌系统进一步推广应用的主要制约因素之一。

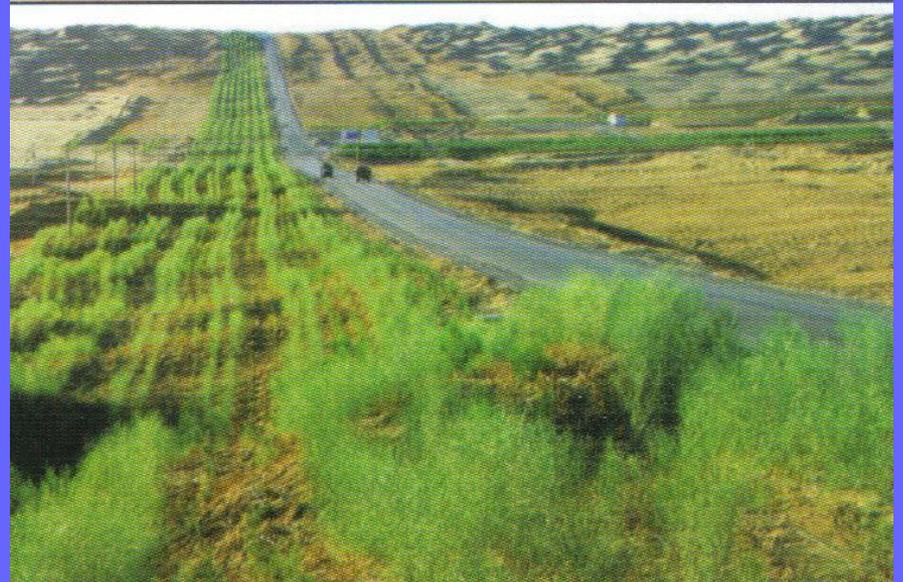
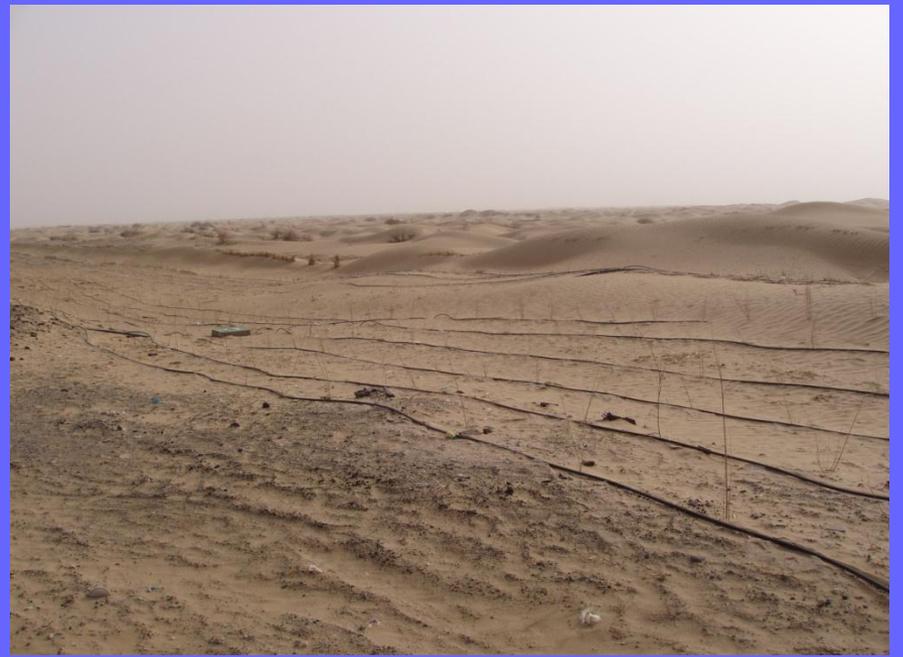


3) 微灌已做为一项具有保护自然环境功能的灌水技术

众所周知，微灌不仅可以提高肥料和农药的使用效率，减少化学物质的施用量，有效防止地下水污染，同时还可以利用污水(地下滴灌)或微咸水灌溉，并且微灌在防止沙漠化、生态改良等方面也具有重要的作用。如新疆沙漠公路林带微灌在防沙固沙、保护公路中发挥着重要作用。



新疆库
尔勒荒
山滴灌



新疆沙漠公路滴灌

4) 滴灌带来的环境恶化问题已引起人们的重视

出于经济目的，滴灌带越来越薄，使用寿命一季或两季，这是世界大田滴灌的趋势。目前滴灌带带来的环境问题已引起用户的警觉，部分农民已认识到问题的严重性。但是，如何回收和再利用废旧滴灌带是值得深入研究的课题。

5) 微灌设备系列化、可靠性问题越来越受到重视

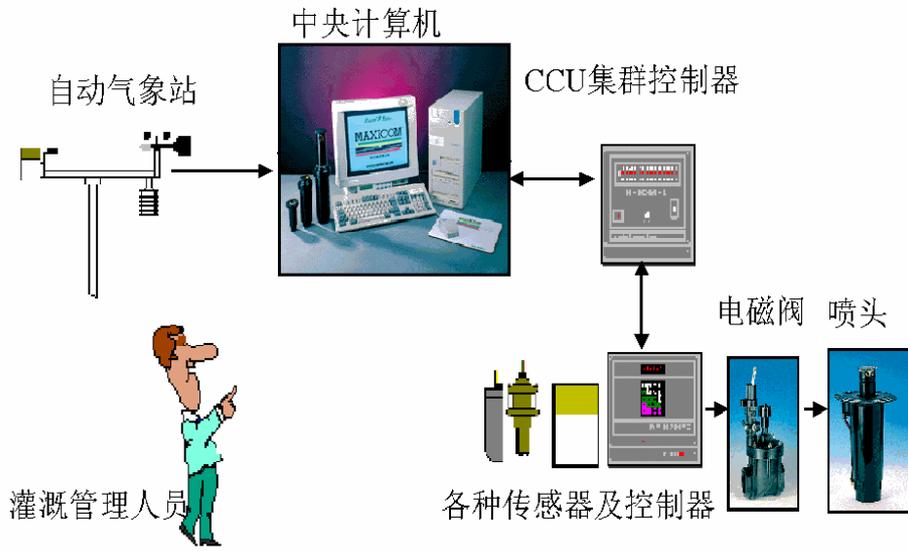
微灌灌水器是微灌系统的核心部件之一，目前世界先进制造公司或厂家具有较完善的系列和可靠性，而我国目前具有完全自主知识产权的灌水器不多。在配套设备如过滤器、注肥装置、控制调节装置、自动控制设备等方面存在技术水平较低、系列化不足等问题。

(6) 自动化设备集成化及智能化程度越来越高

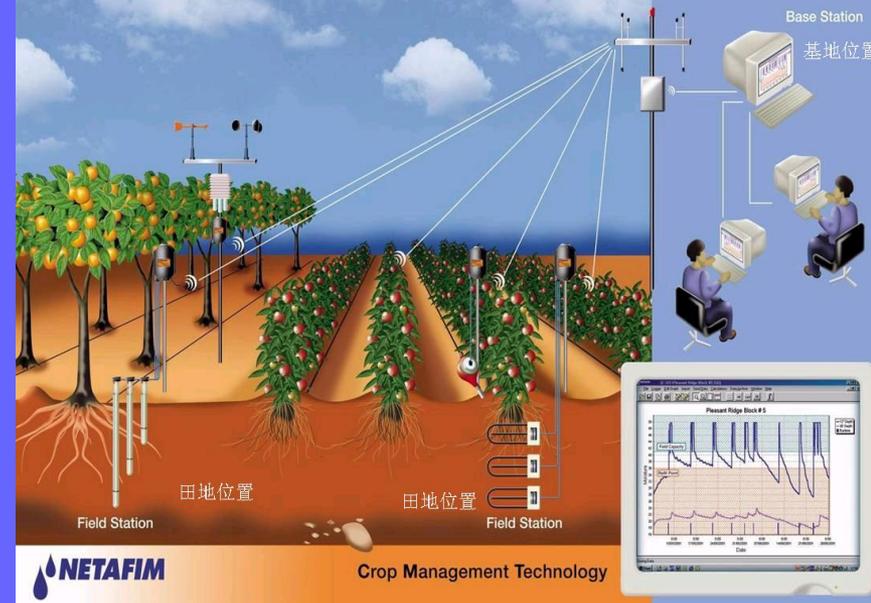
从最早的水力控制、机械控制，到目前应用广泛的计算机控制、模糊控制和神经网络控制等，控制精度、智能化程度及可靠性越来越高，操作也越来越简便。如以色列近年来开发的可编程逻辑控制器（PLC），通过把不同的网络连接到主机上进行数据采集和处理；开发的现代诊断式控制器，通过不同的传感器采集信息，通过Internet网、远程控制、GSM等来实现数据传输，然后通过计算机处理信息，作出灌溉计划。

自动灌溉系统使用的各类传感器（土壤水分、温度、压力、水位、雨量、作物生理指标等）已系统化，控制阀（水动阀、电磁阀等）已形成系列。

中央计算机自动控制系统构成图



无线作物监控系统



雨鸟Maxicom 2中央计算机控制系统



以色列开发的小型灌溉控制器

NETAFIM公司无线作物监控系统

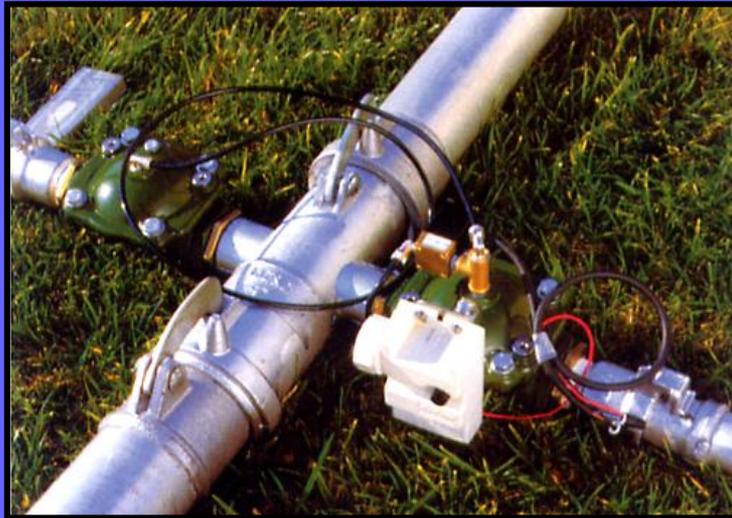


新疆某地区应用的作物灌溉自动监控装置

流量传感器



雨量传感器





植物生理生态监控系统照片



精准变量灌溉

中国水利
水电科学
研究院精
量灌溉实
验场



张力传感器



发射器

第二部分

微灌系统设计

- 设计依据：微灌工程技术规范GB/T50485-2009
- 控制性指标：
 - 灌溉设计保证率 $\geq 85\%$
 - 灌溉水利用系数 滴灌 ≥ 0.9
 - 微喷、涌泉灌 ≥ 0.85
 - 灌水小区流量偏差率 $\leq 20\%$
 - 灌水器选择制造偏差 ≤ 0.07
 - 灌水均匀系数 ≥ 0.8

2.1 微灌总体设计

- 微灌工程建设应符合当地水资源开发利用、农村水利、农业发展及园林绿地等规划要求，并与灌排设施、道路、林带、供电等系统建设和土地整理规划、农业结构调整及环境保护等规划相协调。
- 微灌工程设计应收集水源、气象、地形、土壤、植物、灌溉试验、能源与设备、社会经济状况和发展规划等方面的基本资料。
- 微灌工程设计保证率应根据自然条件和经济条件确定，不应低于85%。
- 微灌工程设计包括水源工程设计、微灌系统设计参数的确定、系统水力计算、系统设备选型等。

- 微灌水质应符合《农田灌溉水质标准》GB5084的规定。当使用微咸水、再生水等特殊水质进行微灌时，应有论证。
- 应根据水源、气象、地形、土壤、植物、社会经济、生产管理水平和劳动力等条件，按照经济性、实用性和可靠性等原则，通过技术经济比较，优化选择滴灌、微喷灌、涌泉灌等灌水方式。
- 微灌管网布置应综合考虑地形、植物等因素，通过方案比较确定，力求管理维护方便。管道应尽量避免穿越障碍物，避开地下电力、通讯等设施。输配水管道宜沿地势较高位置布置；支管宜垂直于植物种植行布置，毛管宜顺植物种植行布置。

2.2 水源工程设计

- 微灌工程规划必须对水源水量、水位和水质进行分析，确定设计供水能力。并进行供用水平衡计算。
- 微灌工程以水量丰富的江、河、水库和湖泊为水源时，可不作供水量计算，但必须进行年内水位变化和水质分析。
- 微灌工程以小河、山溪和塘坝为水源时，应根据调查资料并参考地区水文手册或图集，分析计算设计水文年的径流量和年内分配。
- 微灌工程以井、泉为水源时，应根据已有资料分析确定供水能力。无资料时，应对水井作抽水试验，对泉水进行调查，分析、计算确定供水能力。
- 微灌工程以水窖等雨水集蓄利用工程为水源时，应根据当地降雨和径流资料、水窖蓄水容积及复蓄状况等，分析确定供水能力。

- 在水源供水流量稳定且无调蓄时，可用下式确定微灌面积：

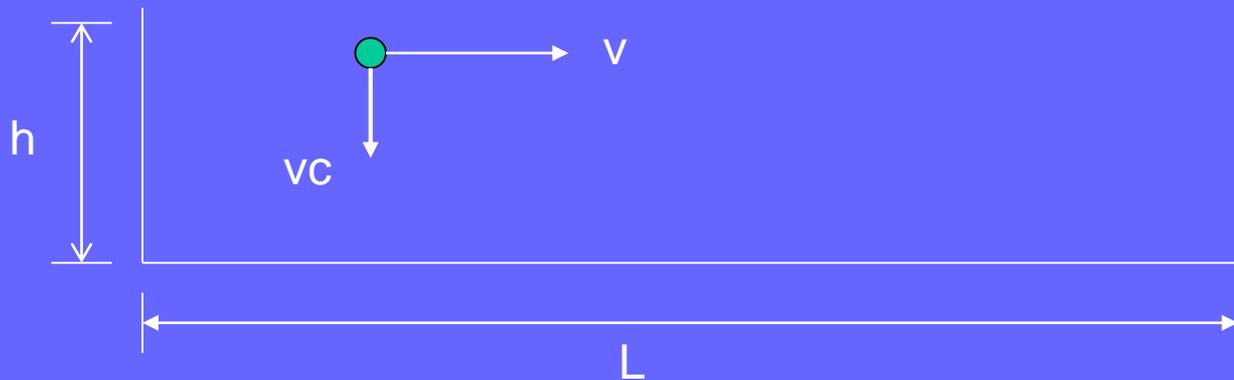
$$A = \frac{\eta Q_s t_d}{10 I_a}$$

- 在水源有调蓄能力且调蓄容积已定时，可按下式确定微灌面积：

$$A = \frac{\eta_0 KV}{10 \sum I_i T_i}$$

- 在灌溉面积已定，需要确定系统需水流量时，可用1式计算；需要修建调蓄工程时，可用2式确定调蓄容积V。

- 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。



标准粒径泥沙的沉降时间为:

$$t_c = h / v_c$$

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

v_c : 为设计标准粒径的沉速, m/s;

D_c : 为设计标准粒径即应沉淀的最小粒径, 可取灌水
器流道最小尺寸的1/7-1/10, mm;

r : 为泥沙颗粒密度;

h : 为沉沙池水深, m。

同时设引水流量为 $Q(\text{m}^3/\text{h})$ ，沉沙池长为 L ，则泥沙颗粒的水平运移速度和运移时间为

$$v = \frac{Q}{3600 A_q}$$

$$t_L = L/v = A_q L / Q$$

v : 泥沙颗粒的水平运移速度, m/s

A_q : 沉沙池过流断面积, m^2

故在范围内的运行时间为

若预先拟定了沉沙池水深 h （一般 $h \geq 1\text{m}$ ）及沉沙池断面，由设计条件得 $t_c = t_L$ ，可解得 L 。

沉淀池深度 $h \geq 1.0\text{m}$;

沉淀池宽 $B = \sqrt{\frac{F_s \times Q}{5v_c}}$

沉淀池长度 $L = 5B$

F_s —蓄水系数， $F_s = 2$ 。

为防止水流挟带泥沙，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，以便冲洗泥沙。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。

2.3 微灌工程设计的技术参数

微灌工程设计的主要技术参数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。

2.3.1 微灌设计耗水强度与设计耗水强度

(1) 耗水强度

微灌作物耗水强度与气象条件、作物种类、土壤类别和农业措施密切相关，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。我国引进微灌技术以来，就一直进行这方面的研究工作，特别是对果树、棉花、蔬菜及大田作物等作物的耗水规律进行了大量研究，但还没有形成全国性系统完善的实用成果，因此，一般应根据当地试验资料确定。

在无实测资料时，可通过下述方法计算：

$$E_a = k_r E_c$$

$$k_r = \frac{G_e}{0.85}$$

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，当计算出的数值大于1时，取=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，即

$$I_c = \max_{i=1}^{12} (E_{ai})$$

在无实测资料时可按表选取。

表 设计耗水强度参考值 (mm/d)

作物	滴灌	微喷灌	作物	滴灌	微喷灌
葡萄、树、瓜类	3~7	4~8	蔬菜（露地）	4~7	5~8
粮、棉、油等	4~7	——	冷季型草	——	5~8
蔬菜（保护地）	2~4	——	暖季型草	——	3~5

注① 干旱地区宜取上限值；

注② 对于在灌溉季节敞开棚膜的保护地，应按露地选取设计耗水强度值

2.3.2 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体湿润比。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。
- 影响土壤湿润比的因素很多，如毛管的布置方式、灌水器的类型和布置方式、灌水器的流量和灌水量大小、土壤的种类和结构、坡度等均影响土壤湿润比的大小。

对于点源其湿润比可按下式计算：

$$p = \frac{0.785 D_w^2}{S_e S_l} \times 100\%$$

式中：

p —土壤湿润比， %；

D_w —土壤水分扩散直径（m）， 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。

- 各种土壤和作物的恰当的最小湿润比还没有明确的结论。对于宽行距作物如葡萄、灌木和树，合理的设计目标应是至少达到根系所占据的可能的水平截面面积的1/3，至多2/3，即 $33\% < p < 67\%$ ；在雨水充沛的地区，由于有雨水补充，对于中质土壤和重质土壤，湿润比小于1/3是可接受的。对于宽行距作物，湿润比应小于67%，这样是为了在作物行间有一个相对较干的地带，便于田间作业和减少地面蒸发损失。
- 另外，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。

在无实测资料时可表选取。

表 微灌设计土壤湿润比参考值 (%)

作物	滴灌、涌泉灌	微喷灌	作物	滴灌	微喷灌
果树、乔木	25~40	40~60	蔬菜	60~90	70~100
葡萄, 瓜类	30~50	40~70	粮, 棉, 油等植物	60~90	——
草、灌木	——	100			

注 干旱地区宜取上限值。

2.3.3 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。常用克里斯琴森均匀系数表达。

克里斯琴森均匀系数反映的是工程结束后系统应用时的灌水均匀程度，在工程使用前无法知道每个灌水器的确切流量。因此设计中无法应用，人们一般采用流量偏差来控制设计灌水均匀度。

灌水单元中灌水器的最大流量差间接反映了微灌系统的灌水均匀程度。用灌水单元中灌水器最大流量与最小流量偏差来表示：

$$q_v = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_a}$$

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。

灌水小区流量偏差率 $\leq 20\%$

2.3.4 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。它主要与灌水均匀度、由于土壤湿润模式和不定时的降雨可能产生的渗漏损失、过滤冲洗水量损失、管线冲洗损失等有关。但只要设计合理，精心管理，渗漏损失是可以避免的，而过滤冲洗水量损失、管线冲洗损失所占比例很小。

因此，规范规定灌溉水利用系数，滴灌应不低于0.9，微喷灌、涌泉灌应不低于0.85。

2.3.5 田间滴灌灌溉制度

(1) 最大净灌水定额:

$$m_{\max} = 0.001\gamma zp(\theta_{\max} - \theta_{\min})$$

$$m_{\max} = 0.001zp(\theta'_{\max} - \theta'_{\min})$$

式中

m_{\max} —最大净灌水定额或最大净灌水深度, mm;

γ —土壤容重, g/cm³;

z —土壤计划湿润层深度, cm;

p —设计土壤湿润比, %;

θ_{\max} —适宜土壤含水率上限 (重量百分比), %;

θ_{\min} —适宜土壤含水率下限 (重量百分比), %;

θ'_{\max} —适宜土壤含水率上限 (体积百分比), %;

θ'_{\min} —适宜土壤含水率下限 (体积百分比), %。

表 华北平原不同土壤质地的土壤容重与田间持水量

质地名称	容重 t/m^3	田间持水量	
		重量比(%)	体积比(%)
紧砂土	1.45~1.60	16~22	26~32
砂壤土	1.36~1.54	22~30	32~42
轻壤土	1.40~1.52	22~28	30~36
中壤土	1.40~1.55	22~28	30~35
重壤土	1.38~1.54	22~28	32~42
轻粘土	1.35~1.44	28~32	40~45
中粘土	1.30~1.45	25~35	35~45
重粘土	1.32~1.40	30~35	40~50

(2) 设计灌水周期:

$$T \leq T_{\max}$$

$$T_{\max} = \frac{m_{\max}}{I_a}$$

式中 T —设计灌水周期, d;
 T_{\max} —最大灌水周期, d。

(3) 设计灌水定额:

$$m = T \cdot I_a$$

$$m_{\text{毛}} = \frac{m}{\eta}$$

式中 m —设计净灌水定额, mm;
 $m_{\text{毛}}$ —设计毛灌水定额, mm。

(4) 一次灌水延续时间:

$$t = \frac{m_{\text{毛}} S_e S_l}{q_d}$$

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。

(5) 轮灌组划分:

较大的微灌系统为了减少工程投资,提高设备利用,增加灌溉面积。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:

- a. 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。
- b. 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。
- c. 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。
- d 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。

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：

$$N = \frac{\sum q}{Q}$$

式中：

$\sum q$ - 整个灌溉面积上的灌水器总流量， m³/h

Q - 水量平衡要求的最小系统设计流量， m³/h

最大轮灌组数目应满足下式

$$N \leq N_{\text{最大}} = \frac{CT}{t}$$

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，最终使计算值成为整数。

2.4 水力计算

- 关系系统设计的经济性
- 关系系统设计的可靠性
- 关系系统设备选型的合理性
- 关系系统运行匹配性

沿程沿程水头损失计算

微灌管道一般采用塑料管，对于PE管，常用勃拉修斯(Blasius)公式计算沿程水头损失：

$$h_f = 8.4 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \times L$$

式中： h_f ——沿程摩阻损失水头，m；

Q ——流量， m^3/h ；

D ——管道内径，mm；

L ——管道长度，m。

对于PVC管，常采用以下公式计算沿程水头损失：

$$h_f = 9.48 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} \times L$$

多口出流管道的沿程水头损失计算

微灌支管和毛管是沿程多口出流管道，沿程流量逐渐减小，至末端流量等于零。其沿程水头损失的计算，通常用一个多口系数F来进行修正。

$$\Delta H_t = F \cdot h_f$$

$$F = \frac{N \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) - 1 + x}{N - 1 + x}$$

式中：

ΔH_t —多口出流沿程水头损失，F—多口系数， h_f —无旁孔出流时的沿程水头损失，m；

N—出口数目；

m——流量指数；

x—进口端至第一个出水口的距离与孔口间距之比

局部水头损失：

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

式中 h_j —局部水头损失，m；

ξ —局部阻力系数；

v —管道流速，m/s；

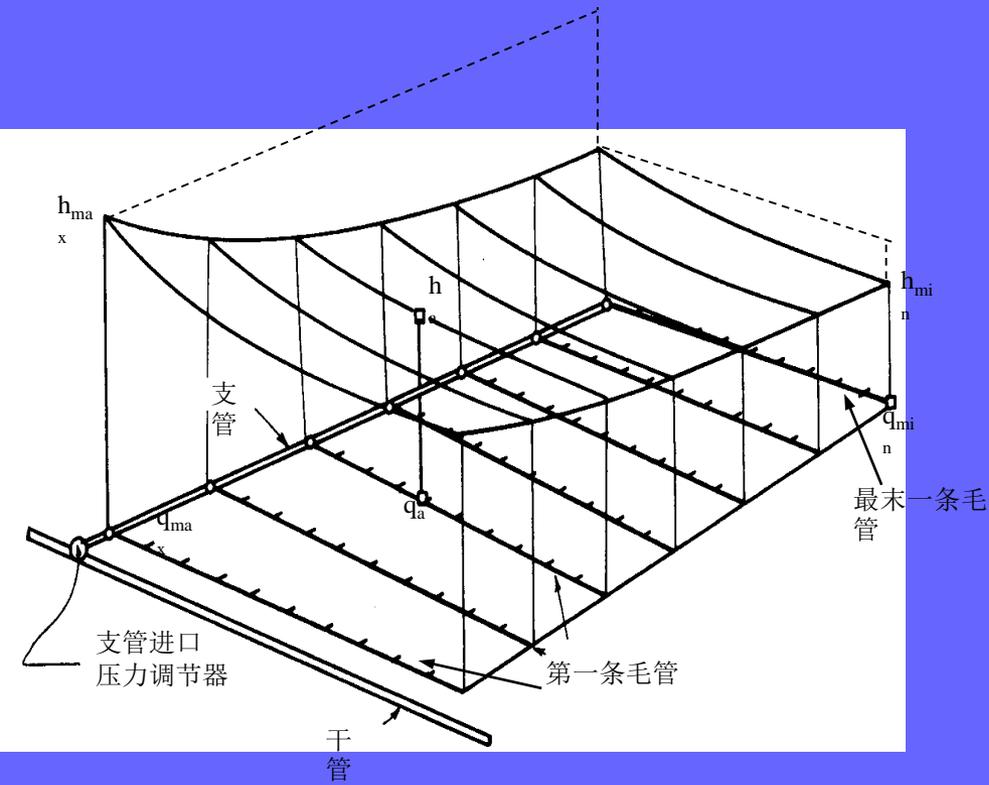
g —重力加速度，9.81 m/s²。

当参数缺乏时，局部水头损失也可按沿程水头损失的一定比例估算，支管为0.05~0.1，毛管为0.1~0.2。

(1) 灌水单元中允许水头差的分配

- 灌水均匀度主要反应在流量偏差上
- 灌水单元中灌水器的流量差异取决于灌水器的水头差异
- 灌水单元中允许水头差在支管、毛管间分配关系到系统的经济性，如分配给毛管少，则满足均匀度的毛管长度短，支管用量增加；反之，如分配给毛管多，则满足均匀度的毛管长度可长，支管流量增加，管径也就增加。

灌水器的最大水头和最小水头与流量偏差的关系为:



$$\left. \begin{aligned} h_{\max} &= (1 + 0.62q_v)^{\frac{1}{x}} h_a \\ h_{\min} &= (1 - 0.38q_v)^{\frac{1}{x}} h_a \end{aligned} \right\}$$

- h_{\max} —灌水单元中灌水器最大水头, m;
- h_{\min} —灌水单元中灌水器最小水头, m;
- x —灌水器流态指数
- q_v —灌水器流量偏差
- h_a —灌水单元中灌水器平均水头或灌水器设计水头, m。

因此，灌水单元中最大水头差为

$$\Delta H_s = h_{\text{最大}} - h_{\text{最小}} = h_a [(1 + 0.62q_v)^{\frac{1}{x}}] - h_a [(1 - 0.38q_v)^{\frac{1}{x}}]$$

若选定了灌水器，已知流态指数 x ，则可用上式求出与允许流量偏差相应的灌水单元中允许的最大水头差。同时，水头差可表示为

$$\Delta H_s = \Delta H_{\text{支}} + \Delta H_{\text{毛}}$$

如果支管以下不装压力调节装置，则依据上式允许水头偏差需要在支管和毛管间分配。

允许水头差的最优分配比例受所采用的管道规格、管材价格、灌区地形条件等因素的影响，需要经过技术经济论证才能确定。在平坦地形的条件下，允许水头差可按下列比例分配：

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

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

$\Delta H_{\text{毛}}$ ——毛管允许的水头差，m；

$\Delta H_{\text{支}}$ ——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：

$$\Delta H_{\text{毛}} = \Delta H_s$$

对于温室大棚，当毛管横向布置时，由于毛管较短，支管的允许水头偏差可以直接用允许水头差减去毛管损失即可：

$$\Delta H_{\text{支}} = \Delta H_s - h_{f\text{毛}}$$

(2) 毛管水力计算

毛管水力计算的任务是根据灌水器的流量和规定的允许水头偏差，计算毛管的最大允许长度和实际使用长度，并按使用长度计算毛管的进口水头。

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。

①毛管极限长度确定

$$L_m = \left(\frac{5.446 \times \Delta H_{\text{毛}} d^{4.75}}{KSq_a^{1.75}} \right)^{0.364} \times S$$

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。

②极限长度条件下，最末一条毛管进口水头

灌水单元中最末一条毛管进口水头 $h_{0\min}$ ：

$$h_{0\min} = (1 - 0.38q_v)^{\frac{1}{x}} h_a + 0.55 \times \Delta H_s$$

③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，计算出毛管实际的水头差。则支管实际允许的水头差为：

$$\Delta H_{\text{支实际}} = \Delta H_s - \Delta H_{\text{毛实际}}$$

(3) 支管水力计算

选择支管管径，使支管上出水口（或毛管进口）的最大水头差不能超过允许值 $\Delta H_{\text{支实际}}$

问题：支管用经济管径法或经济流速法计算

(4) 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，管径选择主要基于投资、能耗和管理而定（一般可采用经济管径或经济流速法）。如可根据下式进行估算：

当 $Q < 120 \text{m}^3/\text{h}$

$$D = 13\sqrt{Q}$$

当 $Q > 120 \text{m}^3/\text{h}$

$$D = 11.5\sqrt{Q}$$

式中：

Q-管道内的流量， m^3/h ；

D-管道内径，mm。

(5) 水泵的选型

由最不利轮灌组推求的总水头就是系统总扬程：

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

式中：

H—系统总扬程， m；

H₀—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
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（面积较大可选择多台泵，最小泵流量与一个或多个轮灌组流量对应）。一般所选择的水泵参数应略大于系统的总扬程和流量。

(6) 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，然后计算支、毛管允许的水头差。
- 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 ），根据毛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，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。
- 6 按经济管径或经济流速法计算干、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。
- 7 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。
- 8 根据已定水泵型号，干、分干管管径，计算其它轮灌组工作时干管、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。

2.5 首部枢纽设计

- 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、控制阀、进排气阀、压力流量量测仪表等，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。
- 下面介绍首部枢纽中某些关键设备的选择和配置原则

(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。

(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，则应安装在肥料注入口上游，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。

举例（以375英亩为例）：

一、系统设计流量

- 滴灌系统所需的供水流量：

$$Q = \frac{10AI_a}{\eta \times C} = \frac{10 \times 375 \times 0.4065 \times 6}{0.9 \times 20} = 508.125 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Q：设计流量，m³/h；
- A：面积，hm²；
- I_a：灌溉设计补充强度，mm，取6mm；
- η：灌溉水利用系数，取C：日灌水时间，h，取C=20h

二、沉沙池

采用矩形断面，则可按下式计算：

流量 $Q=508.125 \text{ m}^3/\text{h}=0.1411 \text{ m}^3/\text{s}$

- 沉淀池深度 h 取1.0m
- 灌水器流道最小直径为1.0 mm，泥沙颗粒比重 $\gamma=2.67$ ，设计标准粒径取灌水器流道最小直径的1/10，则 $D_c=0.1 \text{ (mm)}$
- 沉速=
$$0.563 \times D_c^2 (\gamma - 1)$$
$$= 0.563 \times 0.1^2 \times (2.67 - 1)$$
$$= 9.4 \times 10^{-3} \text{ (m/s)}$$
- 沉淀池宽 $B = \sqrt{\frac{F_s \times Q}{5v_c}} = \sqrt{2 \times \frac{0.1411}{5 \times 9.4 \times 10^{-3}}} = 2.45 \text{ (m)}$
- 沉淀池长度 $L=5B$
- 池长 $L=5B=5 \times 2.45=12.25 \text{ (m)}$
- 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格栅。

三、田间滴灌灌溉制度

1、最大净灌水定额：

设田间持水量为38%（体积比），则

$$m_{\max} = 0.001zp(\theta'_{\max} - \theta'_{\min}) = 0.001 \times 40 \times 80 \times 0.38 \times (95 - 75) = 24.32$$

z —土壤计划湿润层深度，cm，取40cm

p —设计土壤湿润比，%，取80%

θ'_{\max} —适宜土壤含水率上限（体积百分比），取
0.38*95%

θ'_{\min} —适宜土壤含水率下限（体积百分比），取
0.38*75%。

2、设计灌水周期

$$T_{\max} = \frac{m_{\max}}{I_a} = \frac{24.32}{6} = 4.05$$

取 $T=4$ 天

3、设计灌水定额：

$$m = T \cdot I_a = 4 \times 6 = 24 \text{ mm}$$

$$m_{\text{毛}} = \frac{m}{\eta} = \frac{24}{0.9} = 26.67 \text{ mm}$$

4、一次灌水延续时间：

$$t = \frac{m_{\text{毛}} S_e S_l}{q_d} = \frac{26.67 \times 0.3 \times 0.8}{2} = 3.2$$

式中 t —一次灌水延续时间，h；

S_e —灌水器间距，0.3m

S_l —毛管间距，0.8m

q_d —灌水器流量，2l/h

5、轮灌组划分

375英亩滴头数为： $375 \times 4065 / 0.3 / 0.8 = 6351563$ 个

则轮灌组个数N

$$N = \frac{\sum q}{Q} = \frac{6351563 \times 0.002}{508.125} = 25 \quad \text{个}$$

- 同时，最大轮灌组数目应满足下式：

$$N \leq N_{\text{最大}} = \frac{CT}{t} = \frac{20 \times 4}{3.2} = 25$$

满足要求，即一个轮灌组流量为

$508.125 / 25 = 20.325 \text{m}^3/\text{h}$ ，一个轮灌组面积为15英亩。

四、水力计算

1、灌水单元中允许水头差的分配

设计灌水器流量偏差率=0.2，灌水器流态指数取0.5，灌水器设计水头取10m则，灌水器的最大水头和最小水头与流量偏差的关系为：

$$\left. \begin{aligned} h_{\max} &= (1 + 0.62q_v)^{\frac{1}{x}} h_a = (1 + 0.62 \times 0.2)^{\frac{1}{0.5}} \times 10 = 12.633 \\ h_{\min} &= (1 - 0.38q_v)^{\frac{1}{x}} h_a = (1 - 0.38 \times 0.2)^{\frac{1}{0.5}} \times 10 = 8.538 \end{aligned} \right\}$$

因此，灌水单元中允许的最大水头差为

$$\Delta H_s = h_{\max} - h_{\min} = 12.633 - 8.538 = 4.095 \text{ m}$$

按在平坦地形的条件下考虑支、毛管允许水头差分配：

$$\Delta H_{\text{毛}} = 0.55\Delta H_s = 0.55 \times 4.095 = 2.25 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{支}} = 0.45\Delta H_s = 0.45 \times 4.095 = 1.84 \text{ m}$$

2、毛管水力计算

毛管极限长度确定：

$$L_m = \left(\frac{5.446 \times \Delta H_{\text{毛}} d^{4.75}}{K S q_a^{1.75}} \right)^{0.364} \times S = \left(\frac{5.446 \times 2.25 \times 16^{4.75}}{1.1 \times 0.3 \times 2^{1.75}} \right)^{0.364} \times 0.3 = 86.83$$

式中

L_m -毛管允许的最大铺设长度，m；

q_a -滴头设计流量，取2 L/h

S -毛管上出水孔间距，取0.3m；

d -毛管内径，取16mm；

K -毛管局部损失加大系数，取1.1

3、支管水力计算

- 先布置支管，根据具体地块大小，取毛管长度85m，毛管双向布置，则支管间距为170m。支管前端设压力调节阀，按轮灌组流量确定支管流量。参考轮灌组计算面积15英亩和流量 $20.325\text{m}^3/\text{h}$ 布置滴灌管和支管，由于支管控制面积为50英亩，可分为3个轮灌组，每个轮灌组实际流量为 $20.325*50/15/3=22.583\text{m}^3/\text{h}$ （具体要看布置，按轮灌组计算流量 $20.325\text{m}^3/\text{h}$ 选择毛管条数，每个轮灌组流量可比轮灌组计算流量 $20.325\text{m}^3/\text{h}$ 略大或略小，尽量保持一致）。
- 由于每条毛管长度为85m，每条毛管流量为 $85/0.3*0.002=0.567\text{m}^3/\text{h}$ ，则 $22.583\text{m}^3/\text{h}$ 可带40条毛管，毛管间距取0.8m，则支管长度为32m，支管管径暂取63，则：

$$F = \frac{N\left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}\right) - 1 + x}{N - 1 + x} = \frac{40\left(\frac{1}{1.77+1} + \frac{1}{2 \times 40} + \frac{\sqrt{1.77-1}}{6 \times 40^2}\right) - 1 + 1}{40 - 1 + 1}$$

$$= 0.374$$

支管损失:

$$\Delta H_t = Fh_f = 0.374 \times 8.4 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \times L = 0.374 \times 8.4 \times 10^4 \times \frac{22.583^{1.75}}{57^{4.75}} \times 32$$

$$= 1.074\text{m} < \Delta H_{\text{支}} = 1.84\text{m}$$

满足要求。

4、分干管水力计算

分干管总流量为 $22.583 \times 3 = 67.75 \text{ m}^3/\text{h}$

考虑集中分片轮灌，不采用变径设计，按经济管径计算支管管径为：

$$D = 13\sqrt{Q} = 13\sqrt{67.75} = 107 \text{ mm}$$

选用125PVC管，其损失为：

$$h_f = 9.48 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} \times L = 9.48 \times 10^4 \times \frac{67.75^{1.77}}{117^{4.77}} \times L = 0.0225L$$

5、干管水力计算

采用下述公式，分段计算流量和管径：

如：

- 第一段，流量508.125 m³/h，则管径：

$$D = 11.5\sqrt{Q} = 11.5\sqrt{508.125} = 259.2 \text{ mm, 取250mm}$$

- 第二段，流量474.25 m³/h，则管径：

$$D = 11.5\sqrt{Q} = 11.5\sqrt{474.25} = 250.4 \text{ mm, 取250mm}$$

....

最后一段，流量135.5m³/h，则管径：

$$D = 11.5\sqrt{Q} = 11.5\sqrt{135.5} = 133.86 \text{ mm, 取150mm}$$

○ ○ ○ ○ ○ ○

将上述计算用表列既可。

管径选定后可由下式分段计算干管水头损失：

$$h_f = 9.48 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} \times L$$

6、水泵的选型

由最不利轮灌组推求的总水头就是系统总扬程：

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

式中：

H—系统总扬程， m；

H₀—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（面积较大可选择多台泵，最小泵流量与一个或多个轮灌组流量对应，该示例可选择3台泵，一台流量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，另两台选择流量为 $200\text{m}^3/\text{h}$ 的泵，扬程根据计算结果确定）。一般所选择的水泵参数应略大于系统的总扬程和流量。

报告结束
谢谢！

