

序

(一)

“中国灌溉排水技术开发培训中心”是由水利部申请并经国家科委正式批准的中日政府间专项技术合作项目。1993年2月中日双方正式批准签署了实施协议，日方执行单位是国际协力事业团，合作自1993年6月起执行，为期五年。

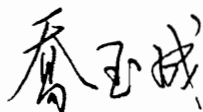
通过项目的实施，将引进、消化、吸收日本的灌排新技术，开发我国的灌排技术，促进我国农田水利事业的技术进步。“中国灌溉排水技术开发培训中心”是一个承担灌溉排水实用技术开发、培训、推广和技术咨询任务的部属事业单位，旨在联络全国从事灌溉排水的科研单位、大专院校、生产单位，广泛采集技术信息，为农田水利事业发展提供技术服务。并通过培训传播技术，提高技术人员业务素质。

学习、消化日本灌溉、排水规划设计技术标准是中日双方议定技术合作的重要内容。为此，中日双方专家携手组织翻译了日本土地改良工程规划设计规范。可供我国灌溉排水技术规范的制定修改时借鉴。这对我国灌排技术的发展无疑是有益的。

本次翻译的日本土地改良工程规划设计规范—旱田灌溉、日本土地改良工程规划设计规范—管道工程设计、日本土地改良工程规划设计指南—滴灌和日本土地改良工程规划设计指南—大面积水田规划，除“中国灌溉排水技术开发培训中心”中、日专家付出了辛勤劳动外，承蒙北京市水利科学研究所、北京沃特水技术公司大力协助。借此一并表示诚挚的感谢。

中国灌溉排水技术开发培训中心

主任



1994年1月

(二)

1993年6月，中日两国政府合作进行的“中国灌溉排水技术开发培训中心”项目开始执行。与此同时我们日本专家组也开始了工作。

本项目的主要目的在于通过中日两国的技术交流，引进和消化日本的灌溉排水技术，促进新技术的开发普及，提高灌溉排水技术水平，并培养技术人员。合作的主要内容有五方面：

(1) 灌溉排水技术开发；(2) 水管理技术开发；(3) 规划设计技术标准的整理；(4) 系统开发；(5) 以上四个领域的技术培训。

为了达到预期的目的，我们感到首先向中国介绍日本的最新技术文献和资料是有益的，为此中日双方进行了《日本土地改良工程各类规划设计规范》的翻译工作。

这部规划设计规范是由日本农林水产省制订的，并已在日本全国水利系统推广施行。我们把它介绍给大家，希望能为中国同行提供一些参考资料。

在本书的出版过程中得到了各有关单位的大力协助，在此我们表示衷心的感谢。

中国灌溉排水技术开发培训中心

日本国际协力事业团专家组

团长

平田四郎

1994年1月

目 录

第一章 总论	(1)
1.1 定义以及本规范的适用范围	(1)
1.2 旱地灌溉的目的	(2)
1.3 制定规划的基本原则	(3)
第二章 调查	(6)
2.1 调查的顺序	(6)
2.2 调查(详查)项目	(8)
2.2.1 地形及面积调查	(8)
2.2.2 气象调查	(9)
2.2.3 土壤调查	(9)
2.2.4 地质调查	(15)
2.2.5 水利建设现状调查	(15)
2.2.6 水源调查	(15)
2.2.7 社会经济条件调查	(16)
2.2.8 农业种植状况调查	(17)
2.2.9 农户等意向调查	(18)
2.2.10 相关工程的调查	(19)
第三章 规划	(21)
3.1 基本设想	(21)
3.1.1 制定规划的程序	(21)
3.1.2 基本设想的确定	(21)
1) 基本设想	(21)
2) 受益地区的初步确定	(21)
3) 农业经营计划的初步确定	(23)
4) 用水计划的初步确定	(23)
5) 水源规划的初步确定	(23)
6) 水的供求计划调整	(23)
7) 主要工程设施规划的初步确定	(24)
3.1.3 基本规划的制定	(24)
1) 基本规划	(24)
2) 受益地区的确定	(24)
3) 农业经营计划的确定	(24)

4) 灌溉方式的确定	(25)
5) 用水计划的确定	(27)
6) 水源计划的确定	(28)
3.2 用水计划	(28)
3.2.1 决定用水量的基本要点	(28)
3.2.2 用水计划诸要素的确定	(29)
1) 补充灌溉水量	(29)
①灌溉水量计算的顺序	(30)
2) 土壤水分调查	(30)
①调查地点的选定	(30)
②土壤水分的测定和表示	(30)
③水分常数等的确定	(31)
④耗水量及计划日耗水量的确定	(32)
3) 计划间断日数及一次的计划灌溉水量的确定	(36)
4) 滴灌的用水量	(37)
5) 多目标用水量	(38)
3.2.3 计划用水量的确定	(43)
3.2.4 水源规划	(44)
1) 规划典型年	(44)
2) 有效雨量	(45)
3) 水源规划	(45)
3.3 配套工程的总体规划	(46)
3.4 田间灌溉系统规划	(47)
3.4.1 喷灌	(47)
1) 基本原则	(47)
2) 喷洒单元的规模	(48)
3) 田间器材的选择	(48)
4) 田间设备的配置	(53)
5) 田间管道布置规划	(57)
3.4.2 固定管道灌溉	(67)
3.4.3 地面灌溉	(70)
1) 沟灌	(70)
2) 畦灌	(77)
3.4.4 粪尿灌溉	(80)
3.5 配水系统规划	(87)
3.5.1 配水系统规划要点	(87)
3.5.2 配水系统的控制规模	(88)
3.5.3 系统容量的确定	(89)
3.5.4 配水系统的自由度	(91)

3.5.5	配水系统的组成以及各种设施的配置	(92)
3.5.6	配水设施规划	(93)
1)	田间蓄水池规划	(93)
2)	管道设计	(100)
3.5.7	农药液及化肥施入处理系统的规划设计	(103)
1)	灌溉区及设施组成	(103)
2)	农药液及肥料施入方式	(104)
3)	残液处理方式	(106)
3.6	输水系统规划.....	(107)
3.6.1	输水系统的规划	(107)
3.6.2	水量调节设施	(110)
3.6.3	水泵	(113)
3.6.4	附属设施	(113)
3.6.5	综合水力解析	(113)
3.7	管理控制设施.....	(118)
3.8	设施的管理运营规划.....	(126)
3.8.1	管理运营规划	(126)
3.8.2	管理项目	(128)
3.9	系统的规划和综合评价.....	(129)
3.10	工程效果	(134)

第一章 总论

1.1 定义以及本规范的适用范围

本规范依据土地改良法（1949 年第 195 号法律），详细规定了在规划旱地灌溉工程时，有关必要的基本内容和应注意的事项等。

旱地灌溉主要是对大田、果园、人工草场所种植的旱作物，供给必要水分的基本手段，改善和维持其生育环境。

本规范适用于旱地灌溉从水源至田间的综合性水利工程系统的规划。

〔说明〕

（1）地区的特殊性

我国位于太平洋和亚州大陆之间，南北端的纬度相差很大，日本列岛中部又有山脉纵贯，因此，各地区气候，土壤水分等条件相差甚大，作为旱地灌溉对象的耕地所处的自然条件和农业种植条件各不相同。制定完全适合这些多种多样条件的规范是困难的。因此，在应用本规范进行旱地灌溉规划时，希望能结合该地区旱作农业的特点，创造性地进行工作。

（2）水利利用的多样化

我国的旱作区域与国外旱地灌溉发达地区相比，降雨量多，但其年际分布和年内分布不稳定，季节之间变动很大。

这种条件在很大程度上影响了旱地的水利利用形态，造就了我们独具特色的湿润地带旱地灌溉技术的发展。本规范主要以湿润地带旱地的补充灌溉为中心，同时包括了近年来持续发展的旱地灌溉设施的综合利用技术。

（3）旱作水田以及大棚栽培基地的处理

①本规范区别水田和旱地，并仅以大田、果园以及人工草场为适用对象。

旱用水田因条件与大田不同，不作为本规范的适用对象。但也允许使用本规范中的适用部分。

（旱作水田是指作为旱地使用期间的水田。）

②近年来，不仅仅是蔬菜生产基地，大田和果园也采用旱地灌溉设施，并发展起大棚种植业，其生产基地也倾向于大型化，大棚内的灌溉形态与露地栽培差异很大，灌溉方法也多种多样，本规范难以对此做出详细规定。但是，大棚种植基地如作为土地改良工程建设项目时，希望尽可能采用本规范中的适用部分。

（4）规划的整体性

旱地灌溉工程的规模小至数十公顷，大至数千公顷，而且多数必须新开发水源，因此，本规范从水源规划开始，包括了输水系统规划，配水系统规划直至田间灌溉系统的规划。

从水源取得的水，途经输水、配水系统，直至被送到田间，补充给有效土层，这一过程中应符合水的有效、经济利用的原则。这就是说，旱地灌溉设施既是涉及大范围的水利

工程项目，同时在田间还是农民进行农业种植的一项设施，故应使用方便，效果显著。为此，必须作为一个综合系统、统筹兼顾地进行规划。

本规范主要详细说明田间调节池以下的灌溉系统的规划，但也考虑了自水源至田间的各级系统在规划中的整体性，包括了与整体有关的必要内容。

有关的土地改良工程规划设计技术标准包括规划田间基本建设（旱地）（1978年9月）、规划农地开发（开垦旱地）（1977年1月）、渠道工程设计（之一）（1970年11月）、渠道工程设计（之二）——管道（1977年10月）、渠道工程设计（之三）——隧洞（1975年8月）、水库设计（1981年4月）、渠首工程设计（1978年10月）等。

（5）规范的应用

这一规范规定了规划旱地灌溉工程时所涉及的必要的标准化内容，但这并非企图束缚规划人员的手脚和统一设计，它的作用是为减少在众多选择中进行规划的困难，提供规划考虑的原则并指明应把握的方向。

规划人员在遵循本规范所指明的方向的同时，必须发挥基于自身经验的判断能力和具有的创造能力，致力于制定适合现场条件的最好的规划。

1.2 旱地灌溉的目的

旱地灌溉通过向农作物补充必要的水分和灌溉设施的综合利用，实现水利用的高效化，并进而实现提高规划区域土地生产率和劳动生产率的目的。

〔说明〕

由于实施了旱地灌溉，作物所需水分可以得到补充，从而能提高旱作物的产量和质量。此外，实施灌溉设施的综合利用，还可实现栽培管理的合理化，防止气象灾害，节省管理劳力等。如上所述，旱地灌溉可以引种高经济性作物品种，改善种植结构，提高土地利用价值以及按计划组织生产和供货，成为发展农业种植的基础条件，因此，规划时应以这样广阔的视野考虑问题。

（1）补充灌溉

旱地灌溉的基本任务是以人工方式提供作物必需的土壤水分，即从水源将水引入田间，通过灌溉系统进行分配，满足作物必要的水分要求，提高土地的生产能力。

对于旱地，作物生长所需的水分，依靠降雨也能维持，但如仅仅依赖降雨，并非总能满足作物对水分的要求。我国地处亚洲季风地带，年降雨量比较丰富，因此，认为灌溉仅仅是补充降雨不足部分水量的所谓补充灌溉的看法占主导地位，这一点和干旱、半干旱地带，全年或季节性绝对降水量不足的地区是不同的。

因此补充的水量，相对旱地作物全生长期耗水量并不一定占多大比重。

但是，降雨分布年际间和季节间均不稳定，有时连续干旱，有时降下大雨，因此仅仅以降雨总量或平均值等是难以判断水量是否充足的。特别是在夏季，旱地作物蒸腾量有时很大，如遇连续数日无雨，土壤水份不足，势必对作物生育造成很大的危害。因此，这一时期的灌溉是为了防止土壤过分干燥，保持土壤水分处于最适合作物生长的范围内，实现增产和提高品质的目的，该措施对稳定农业生产的作用已被大家所接受。此外，灌溉设施的使用推动了土地的合理利用，夏季以外的其他季节里补充灌溉的必要性也随之逐渐增

加。

(2) 其他

除补充灌溉以外，灌溉设施还被用于①种植管理合理化，②防止气象性灾害，③节省管理劳力等。本规范中，称以上应用为综合利用。

随着旱地灌溉工程设施费用的上涨，水费也在上涨，作为发展农业种植业的措施，灌溉系统的综合利用被大力倡导。通过提高设施的利用率来提高工程效益是很必要的。

但是另一方面，对于某些类型的综合利用，短期用水量大，需要增大补充灌溉工程的流量，另外，用水操作更为复杂，需要增加附加管理费用，这有时与单纯进行补充灌溉所需规模和设施相比并不合算。如进行综合利用，但预见到要花费过多的工程设施费和维护管理费，并需投入过多的管理劳力，或者认为综合利用的内容并不具有很好的效果，这时应重新考虑是否将灌溉设施用于该方面。另一种情况是，对于多雨地区，综合利用的效益大于补充灌溉的效益，这时可考虑灌溉系统的规模由综合利用的要求确定，并以此进行补充灌溉。

综合利用有以下多项内容，但以哪项内容为主则应认真分析。

①种植管理的合理化

a.播种、定植期的灌水：促进发芽、生长

b.耕地，整地前的灌水：松软板结的土壤，或使拖拉机能在砂土上行走

②防止气象性灾害

a.防止风蚀和干热风：防止表土、种子和苗等被风吹飞，防止作物体内的水分异常蒸发。

b.防止霜冻：利用喷洒水滴结冰时散发的潜热

c.防止潮风害：冲洗因潮风附着在作物上的盐分

d.防止降尘危害：冲洗作物上附着的火山灰

③节省用于管理的劳力

a.施肥：可施液肥

b.防止病虫害：喷洒农药

c.喷洒家畜尿和淀粉厂废液：使养份回归大田或人工草场

④其他

a.喷洒除草剂：

b.喷洒土壤改良药液

c.喷洒摘果剂

d.调节田间小气候和地温

e.其他

1.3 制定规划的基本原则

制定规划时，在充分分析水源开发的可行性和经济性、规划区域的农业种植计划以及相关项目的同时，应考虑将来的运行管理，求得水利用系统整体的平衡，这是基本的原则。

〔说明〕

(1) 水源开发规划

我国降雨的特征是雨量多,但降雨的季节分布和地区分布很不均衡,占水资源量大部分的河流短且坡降大,降水在很短时间内即流入大海,不利于水的利用。

根据近年水需求量的变化,可以预测在生活用水和工业用水显著增加的同时,因田间基本建设导致单位面积用水量的增大,且旱地灌溉面积也将进一步扩大,故在全国性的水资源短缺的情况下,今后保证农业用水将是相当困难的。

因此,进行旱地灌溉而开发新水源时,必须协调生活用水,工业用水和环境保护用水,掌握农业用水供需的变化趋势,考虑综合性的水利建设规划。

此外,一般认为旱地灌溉的新水源依靠单一水源是很难得到充分保证的,故应考虑采取若干座水库、水库和地下水、水库和淡水湖联合运用的形式。

有必要很好地理解上述水源状况,并在此基础上掌握本地区水资源的可利用量,根据水源开发成本和灌溉效益的关系充分分析其经济性,然后确定基本方针。

(2) 种植计划

我国的旱地分布在水利条件不良,因而不易开发水田的地带,旱地作物依赖降雨种植,因降雨分配不均匀,有时遇到旱灾,即处于潜在干旱的状态下,造成多数地区的生产不稳定且产量较低。

旱地作物与水田不同,种类多且因地区不同适宜种植作物的种类也不同。多年生作物除外,旱地作物主要有支撑农业经济的主要作物,以及为充分利用土地,调整劳力,维护地力,分散风险等,与主要作物配合种植的辅助作物。此外,几乎所有的作物如不倒茬将会减产并影响品质,故采用轮作方式,导致作物种类增多。特别是农产品的价格受供需状况的影响,因此在确定该地区未来种植计划的基础上,应充分注意对作物需求的变化。

通常在制定农业种植规划时,要充分分析研究该规划区所处市、镇、村等的农业振兴计划,并调查了解该地区的实际情况。

关于生产体制,应考虑以水的利用为契机,建立能动的市场,为此以集团的形式重新组织生产形式是必要的。此外,为实现生产的稳定,有必要建立能在各个环节进行质量以及保证连续上市的生产体制,最重要的是如何把旱地灌溉的效果引向这些方面。

种植结构以及由此确定的各季节的作物构成对用水量的影响很大,因此必须事先预测将来的农业种植状况。

(3) 与田间基本建设等相关发展计划的协调

制定规划时,如有与规划区相关的田间基本建设计划或扩大耕地计划等,则有必要统筹处理。建议旱地灌溉的田间工程应作为田块调整、农道、改土、农地保护等田间基本建设工程的一部分进行规划。

与田间基本建设结合进行时,应注意以下几点。

①与农业种植的关系 对于以进行旱地灌溉为前题的农业种植计划,在决定引种新作物品种或决定种植结构时,必须统筹考虑包括在田间基本建设计划中的农业机械利用计划。这时,为发挥农业机械的效率,实行耕地集中使用并建立各种作物的生产基地是必要的,这将影响旱地灌溉规划。

②与地块形状、大小的关系 田间基本建设规划主要应从发挥农业机械效率的角度确

定地块形状、大小以及配置农道系统，但是灌溉设施的配置、运营管理以及灌水方法与此也有密切的关系，有必要同时考虑。

③与坡耕地水土保持的关系 从耕地水土保持角度考虑的截水沟、排水沟、农道等、与田地形状和大小同样影响灌水方式的选择和灌溉系统的运行管理，有必要重新进行分析。此外，灌水强度的确定要慎重考虑不致因灌水而造成土壤流失的要求。

④与防风设施的关系 田间基本建设规划中，有时包括防止农作物遭受风害的防风设施。进行旱地灌溉时，某些灌水方法受风的影响较大，故包括选择灌水方法评价防风设施的设置有时也是必要的。

⑤与水田灌溉的关系 如与周围的水田灌溉合并考虑，水利用的效率和经济性均合理的话，建议作为一个整体进行规划。

(4) 整体的均衡

根据以水利用为前题条件的农业种植计划和田间基本建设等有关工程规划，初步确定各季节的作物构成，如再大体确定受益地区的范围，则该地区全年用水量 and 高峰用水量就可掌握。另一方面，分析水源的种类和可利用水量，可以初步确定每一个水源可提供多少水量。确保旱地灌溉水源的制约因素越来越严峻，面临着水源开发费用逐步增加，工程费也在增加的困难局面。因此，在分析总体的水供需状况时，有必要分析明确必要的灌水量和灌溉效果，并与工程费、水费等进行比较，使其能在经济性上取得平衡。

此外，对于水源、输水、配水、调节池、扬水站等骨干工程设施进行规划时，有必要包括将来所采用的管理控制方式和运行管理机构，制定具有整体一致性和协调性的工程基本设想。

第二章 调查

2.1 调查的顺序

进行规划所必需的调查程序必须根据计划实施的工程规模以及地区特点确定。

此外,调查和规划的工作应经常保持联系,平行且科学、有效地进行。

〔说明〕

调查的程序应根据计划实施的工程规模以及地区特点确定,故统一规定并不适宜,作为标准的考虑如图-2(1)所示。

为科学有效地进行调查,首先应从宏观方面了解地区的特点,据此再对必要的内容进行详细调查,这是最一般的作法。即调查大体上可分为概查和详查。

概查是指对工程必要性进行判断,构思工程的总体设想,同时为规划所需的调查制定具体调查计划,大体了解现状。

详查是指对规划所需基本资料的调查,应根据总体设想以及概查的结果制定调查计划,并据此进行调查。

最终规划方案的合理性应根据详查的结果评价,但在概查阶段对工程必要性和合理性的判断将影响是否继续将该项工程推向实施,故应慎重进行。

1. 概查

(1) 概查应了解的内容

- ①气象、地形、地质、土壤的概况
- ②田间配套状况
- ③农田水利工程现状(灌排现状和灌排工程现状)
- ④地域和区域的社会经济状况、农业种植概况
- ⑤县及市、镇、村的开发设想以及相应工程计划的概况
- ⑥该地区农民的意向

(2) 概查程序及内容

概查的程序和注意事项如下所述:

①收集下列各种已有资料,并据此掌握该地区的概况

a) 国土地理院发行的地形图(比尺 $1/25000 \sim 1/50000$), 国土基本图(比尺 $1/2500 \sim 1/5000$)等。

b) 市、镇、村势要览(市、镇、村编写)

c) 地质图(通产省地质调查所、都道府县发行)以及土地分类图(国土厅发行)

d) 土壤图(都道府县农业试验场绘制)

e) 分水源灌溉区划图(都道府县耕地课等编写)

②访问调查

通过访问农户和市镇村以及土地改良区,了解农业种植现状、道路、地块划分等土地的状况,灌排工程现状,水利现状,田间基本建设以及农民对改善农业种植的意向,计划

水源的状况，所属地域将来的发展设想等。

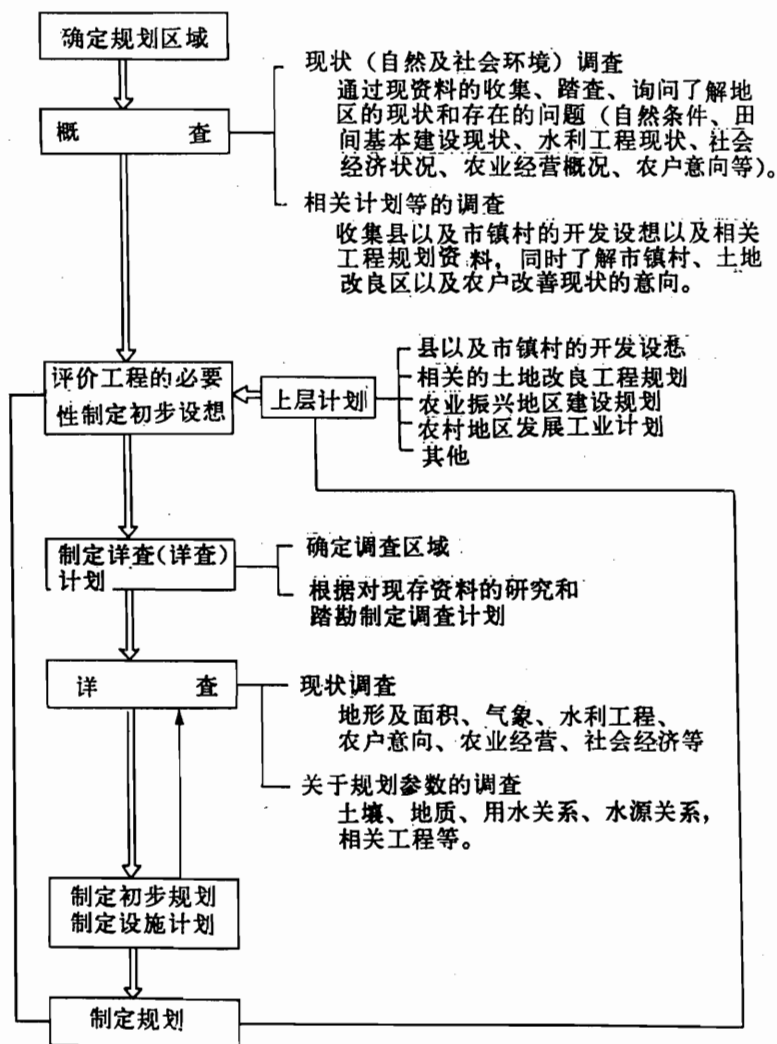


图-2 (1) 调查顺序

③踏勘

根据①和②的调查结果确定踏勘的范围。

踏勘应携带图纸和简单的测量工具（卷尺、测距仪等），调查地块划分、道路、灌排工程和灌溉设备的现状，地形和地质状况，作为水源的河流的水流状况，取水适宜位置等。

踏勘的结果汇入图面并整理。踏勘时应尽可能由熟悉该地区情况的人作为向导。

④根据概查结果所作出的决策

根据概查所了解的情况，对该地区工程的必要性和合理性进行评价

根据县以及市、镇、村的开发计划以及有关的土地改良工程计划，决策符合该地区未来发展方向的工程的基本方针。

基本方针的内容——受益地区的大致范围、主要作物、灌溉方式、水源及取水位置、田间基本建设是否同时进行等。

2.详查

根据概查的结果制定详查计划并据此实施，详查计划包括调查范围、必须的调查项目、调查时期、观测设施的安装位置等。

详查时应注意最大限度利用已有资料，并对必要的内容进行重点调查。

此外，详查应和规划的编制保持经常的联系同步进行，对于编制规划过程中出现的新情况也应作出反应。

2.2 调查（详查）项目

2.2.1 地形及面积调查

地形是影响灌溉规划的重要因素，应根据规划内容所要求的精度绘制地形图。

面积的统计是为了明确受益面积的大小，应正确进行。

〔说明〕

(1) 绘制地形图

规划所需精度的地形图依据国土基本调查、地籍调查、有关土地改良工程的资料，如已绘制则可直接使用，如未绘制则希望在调查初期组织绘制。所需精度和绘图范围如下所述。

①图面比尺

对于灌溉工程，确定地区范围、面积、灌溉方式，灌溉系统等规划对所需比尺为 $1/2500 \sim 1/5000$ ，等高线间距为 1.0~2.5 米。

同时进行田间基本建设时，需确定道路、田块、灌溉渠道和排水沟的雨量以及土地调整计划，并在可能范围内计算土方量。为此，标准的比尺为 $1/500 \sim 1/1000$ ，等高线间距为 0.5~1.0 米。

②绘图范围

地形图是制定各项规划的基础资料，应考虑制定规划时所需的各种内容，充分估计所需绘图范围的大小。

一般而言，地形图应包括概查所确定的受益地区和周围地区以及规划灌溉系统所涉及

的范围。

(2) 面积的统计

原则上根据实测结果，即依据(1)项规定绘制的地形图进行图测作业或通过地籍调查的结果，按3.1、3.2项所确定的受益面积分类统计。

2.2.2 气象调查

规划区域的气象调查应依据代表该地区的气象站等的长期观测资料。

〔说明〕

气象资料是规划的基本内容，应依据代表该地区的气象站等的长期观测资料（原则上应超过10年，与灌溉计划关系密切的气温、降水量、连续无雨日数、蒸发皿蒸发量等建议超过20年）。缺少本地区必要资料时，可使用与本地区条件相近的相邻地区的资料。

此外，蒸发皿蒸发量目前气象站已停止观测，因此需收集已有资料以及农业试验场等其他部门的观测资料，同时也应尽早开始进行现场观测，力求得到尽可能长期的观测资料。

调查项目按用途分类如表-2.(1)所示，根据各自的作用和必要性确定调查项目。

表-2.(1) 各种计划的调查项目

项目		用途分类		
		农业经营计划	用水计划	其他设施计划
气温	平均气温	○		
	最低气温	○	○	
降水量	日降水量	○	○	
	各月降水量	○	○	
	年降水量	○	○	
	最大时间雨量			○
降雨日数		○	○	
日照时间		○	○	
连续无雨日数		○	○	
降雪期间		○	○	
无霜期间		○	○	
主风向		○		○
最大风速		○		○
蒸发皿蒸发量		○	○	

2.2.3 土壤调查

作为规划所需基本资料，调查地区的土壤性状、入渗等。

〔说明〕

(1) 土壤调查

①调查项目查明耕层以及有效土层内各层的厚度，土性以及土色，潜育层的位置，犁

底层及其硬度, 作物根系的分布状况等。

②调查地点的选择 调查按方格法大体以每 25 公顷一个测点的比例布置测坑(原则上深 1 米, 但对果园、计划中的果园以及旱作梯田深度取 1.5 米以上), 观察土壤剖面, 采集土样并进行分析。

此外, 进行土壤分类时, 如有必要应按每公顷一个测点的比例进行钻孔取土。这时, 如地形、土壤分布状态复杂时, 或是确定各土壤类型的分布区域时, 如有必要应追加测点。

③土壤分析 土壤分析按各种土壤类型的代表位置分层进行土壤粒径组成、真比重、干容重、三相分布以及 PF~含水量关系等物理分析。

④调查结果的整理

a) 根据土壤调查的结果进行土壤分类, 土壤的基本类型其母质和堆积形态应大体相同, 在土壤生成学方面应处于同一剖面形态。

此外, 母质和堆积形态原则上按表-2. (2) 和表-2. (3) 的分类标准分类

表-2. (2) 成土岩石分类

成土岩石	内 容	备 注
I 非固结火成岩	火山灰、火山砂、火山岩屑、浮石等	表示方法(例): 非固结火成岩 (火山灰)
II 固结火成岩	集块岩、流纹岩、安山岩、硅岩、花岗岩等	
III 非固结沉积岩	砾、砂、泥、崖锥堆积物等	
IV 固结沉积岩	砾岩、砂岩、泥岩、石灰岩等	
V 变质岩	结晶片岩、千纹岩、压碎岩、大理岩等	

表-2. (3) 堆积形式的分类

母质		备 注
I 残积	河成堆积、湖成堆积、海成堆积 ①火山灰, ②非火山性 高位、中位、低位的各种泥炭, 黑泥	包括被认为是洪积世堆积的火山降下堆积物 冲积世崩积的堆积物 冲积世以水压为主堆积而成的堆积物 ①不属于 I、IV 的其他火山性降下堆积物, ②砂丘等
II 洪积世堆积		
III 崩积		
IV 水积		
V 风积		
VI 坡积		

b) 绘制土壤分类图并统计各土壤类型的面积 根据土壤分类绘制土壤图, 统计各土壤类型的面积。在土壤图中记入代表各土壤类型的土壤柱状图。

(2) 入渗强度的调查

入渗强度是指在特定条件下灌溉水或降水渗入土壤的比例, 一般以 mm/h 表示, 是非饱和土壤透水性的指标, 对于旱地灌溉也是确定灌溉方式和适应灌水强度的重要因素。

入渗强度的测定方法, 根据使用目的主要有园筒入渗仪和沟畦入渗仪两种, 对于沟灌采用沟畦入渗仪测定。

〔参考〕入渗强度调查

1. 测定方法的分类

测定方法有使用圆环, 在沟间蓄水以及根据入沟流量和排出流量测定入渗量等方法。

(1) 园环入渗仪 (用于确定喷灌的喷灌强度)

① 园筒法……在不产生地表径流的条件下测定单位时间供水量的方法

(2) 沟畦入渗仪 (适用于沟灌)

① 垄沟蓄水法……测定单位时间内田间供水量 (垂直入渗和侧向入渗) 的方法

② 流入流出法……测定单位时间内供水量和地表流出量之差的方法

2. 测定地点的选择以及测定时间

测定地点根据土壤调查结果选择对地区有代表性的耕地。

土壤前期湿度以及地表状态影响测定的结果, 故测定应在土壤接近需要灌水时进行。

3. 测定工具及设备配置

(1) 圆筒法

包括铁制园环、打入铁板、打入锤、测针、秒表、运水工具等

铁制园环的高度为 30~35cm, 内径以 28、29、30cm 3 个为一组。

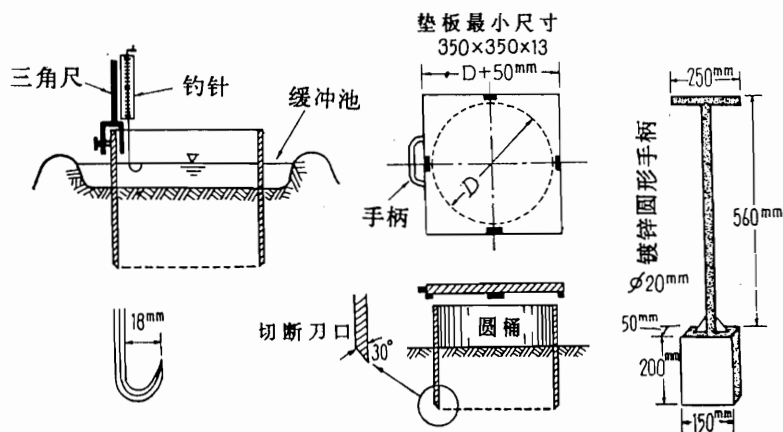


图-2. (2) 圆筒法

(2) 垄沟蓄水法

包括供水罐、挡水铁板、测针、秒表、铁锹、运水工具等。

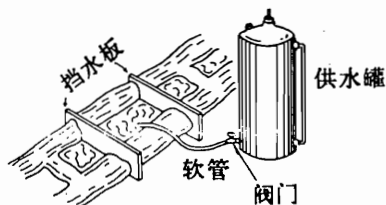


图-2. (3) 垄沟蓄水法

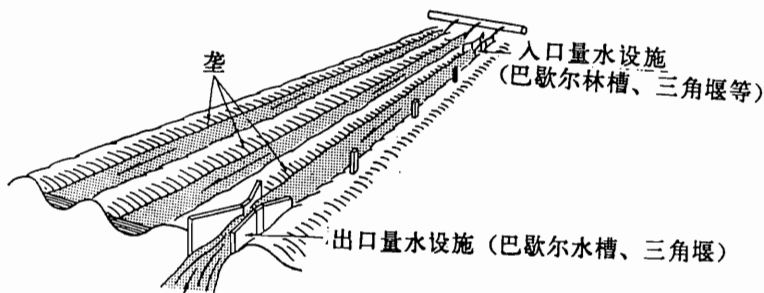


图-2. (4) 流入流出法

(3) 流入流出法

包括量水设施、测针、秒表、铁锹、卷尺、水准仪、盒尺、皮尺、桩、供水设施。

4.测定方法

1) 圆筒法

(1) 圆环的设置

圆环的设置直接影响测定的精度，应按以下顺序进行。

①圆环应设置在调查地点处，且尽量压入土壤。

②铁制打入垫板应在圆环的中央，打入锤的手柄垂直上下运动，在保持圆环顶部水平的状态下慢慢将其打入土壤。

③打入深度为 20cm。

④圆环外侧 10cm 处围成土埂作为隔离带，这时不应搅动隔离带内的土壤。在取水困难或土壤透水性好的地方使用金属圆环代替土埂更为方便。

(2) 测定操作 (测定操作顺序如下)

①为防止环内泥泞，可用麻布或塑料膜覆盖表面。

②向圆环内注水至水深 10~15cm。

③迅速撤去麻布或塑料膜。

④同时用测针测定水面高度，这时极易产生误差，应尽量快速测定。

⑤读取测针读数并记录测定时刻。

⑥每隔一定时间用测针测定水面高度并记录数值。测定频率应依据水的入渗速度确定，对于普通土壤在测定开始后的第 1、5、10、15、20、25、30、40、50、60 分钟后进行。

⑦中途加水的时候，必须正确记录前后的水位。

⑧发现测定值异常时，应继续测定相当一段时间后拔出圆环并观察土壤状态，做好记录。

⑨清扫拔出的圆环，恢复土壤原状。

(3) 整理测定结果

①累积入渗量 D 依据 3 个圆环数据的中间值，绘制入渗曲线，确定待定系数和指数。在双对数纸上以横座标表示历时 T ，以纵座标表示累积入渗量 D ，测定数据大致呈直线关系，故可用下式表示。

$$D = C \cdot T^n$$

D: 累积入渗量 (mm); T: 注水后的历时 (min); C: 常数 (T=1时的D值); n: 常数(直线的斜率)。

②入渗速度 I

入渗速度 I 可对 $D = CT^n$ 求导得出。

$$I = 60 \cdot C \cdot n T^{n-1}$$

I: 入渗速度 (mm/h); T: 历时 (min); n: 常数 (直线的斜率)。

③稳定入渗速度

入渗速度自灌水后随着历时的延长逐渐减小, 并稳定在某一数值上, 此时的土壤入渗速度称为稳定入渗速度, 它表示非饱和土壤的透水性。

稳定入渗速度规定为入渗曲线对时间的变化率小于 10% 时的值, 达到稳定入渗的时间为

$$T = 600 \cdot (1-n)$$

稳定入渗速度 I_b 可由 C 和 n 的值按下式计算:

$$I_b = 60 \cdot C \cdot n [600 \cdot (1-n)]^{n-1} \text{ (min/hr)}$$

另外, 利用测定的入渗曲线也可求得 I_b , 即 T 所对应的入渗速度就是 I_b 。

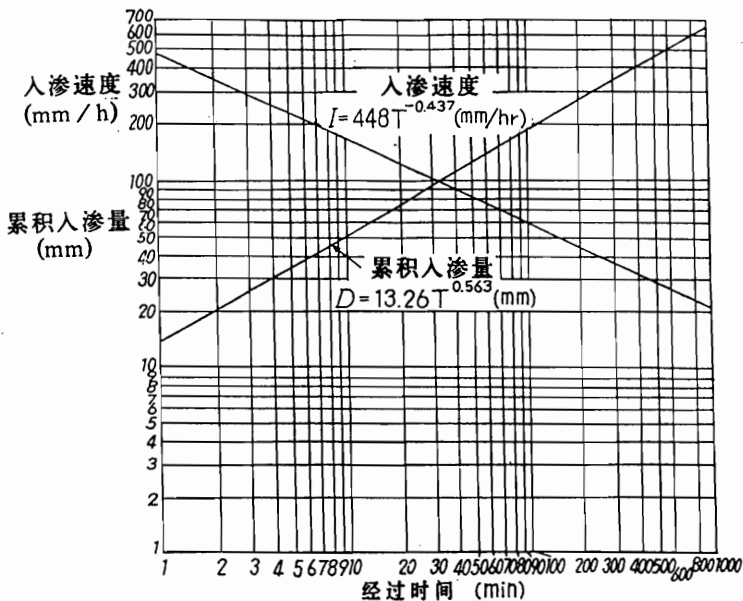


图-2. (5) 入渗曲线示例

2) 垄沟蓄水法

(1) 测定方法 如图-2 (3) 所示相隔 50~100cm 用铁板或其他材料在垄沟上做堰,

并在沟中蓄水。测定的要领与圆筒法相同。但因入渗量大，采用供水罐注水比较方便。这种方法因测定装置简单适用于现场测定，但因土壤特性的原因，有时测定值和实际灌溉时的数值存在差异。

(2) 整理测定的结果 测定的 D 与 T 的关系是相对于测定时的沟内水面宽度的结果，据此可求出实际田间的 D 与 T 的关系。相对每一地块的 D 与 T 的关系可由测定时水面宽与实际沟宽的比值修正得出：

$$D_f = \frac{b}{B} \cdot CT^n$$

D_f ：每一种地块的累积入渗量 (mm)； B ：沟宽 (cm)； b ：测定时水面宽； T ：历时 (min)； C 、 n ：常数。

3) 流入流出法 (沟中入渗)

该方法是在沟中通过适当的流量，测定入沟流量和退水流量，由其差值求出平均沟中入渗量。因为在与实际灌溉相同的条件下进行测定，固可以得到最合理的入渗值，但测定操作复杂，且需要相当大的面积和大量的水。

沟中入渗量是单位时间沟中单位面积上的入渗量，包括侧向入渗，这与国际入渗仪的测定不同。

(1) 测定方法

①根据水流推进速度 (参见 3.4.3.1 沟灌) 的测定结果，确定合适的试验流量 (便于灌水人员操作且不产生冲刷)。

②沟的形状依照习惯，试验沟长当坡度大时取 50m，坡度和水流推进速度均小时取 25m 或以下。

③沟的首部和尾部设巴歇尔量水槽等，当水流推进到沟尾时每隔一定时间同时测量入沟流量和退水流量。这种方法不能直接测定累计入渗量，而是实测历时和瞬时入渗速度 i (l/min，等于单位时间内入沟水量与退水量的差)。

(2) 整理测定结果

水对土壤的入渗，其入渗速度与时间之间的关系与国际入渗相同，即 $i = K'T^n$ 。

对于沟灌，虽然测定了沟中入渗速度，但必须将其换算为各地块的入渗速度，其关系如下所述。

通常入渗速度以 mm/h 表示，故设 $I = 60 \cdot K \cdot T^n$ (l/h) $= \frac{60 \cdot K'}{L \cdot B} \cdot T^n$ (mm/hr) 即换算为各地块的入渗速度。

这里， L ：流入点至流出点的垄沟的长度， B ：沟距。

如设 $K = \frac{60}{L \cdot B} \cdot K'$ ，则以 mm/h 表示的各地块沟中入渗速度如下所示：

$I = KT^n$ ，这里 K 和 n 称为沟中入渗常数。

(3) 土壤水分相关调查

①调查地点 按土层厚度和土性等条件对调查范围进行分区，大体上每个分区选择 1 个位置作为调查地点。

②调查项目及调查方法 应对田间持水量、凋萎点、土壤水分消耗类型等内容进行调查。调查方法参照 3.2.2 (2) 土壤水分调查一项。

③收集资料 收集邻近或条件相似且已实施旱地灌溉地区的有关资料, 包括各类作物灌溉定额、日耗水量、灌溉制度等。

2.2.4 地质调查

作为工程规划的基本资料, 应调查规划区及邻近地区的地质状况。

〔说明〕

地质条件直接影响各工程设施的位置选择是否合适以及能否施工等, 在收集规划区及周围地区已有资料的同时, 如有必要还应进行现场调查, 以掌握其地质状况。

现场调查的主要内容如下:

①水库: 地面踏勘、物探、挖调查竖坑、钻探、挖调查横坑等。

②渠首: 泵站、调节池、钻探等

③隧洞: 物探、钻探等

④渠系: 地面踏勘等

详细规定参照土地改良工程规划设计规范: 设计(水库)(1981年4月), 设计(渠首)(1978年10月), 设计(渠系(之一))(1970年11月)。

2.2.5 水利建设现状调查

作为规划的基本资料, 调查规划区及周围地区的水利工程现状和使用现状, 以及旱灾受害情况等。

〔说明〕

(1) 水利建设现状调查内容

关于规划及周围地区的水利工程现状, 调查灌溉面积、引水量、用水惯例、工程规模、能力、老化程度等, 同时应将渠首、渠系等设施的位置以及灌溉范围标入图纸并整理。

还应调查喷洒农药的用水设施、农牧副业等杂项用水设施、自来水安装情况等。

(2) 旱灾受害情况调查

通过向农户和有关部门询问和依据现存资料调查过去 10 年期间干旱的受害情况, 查明发生旱灾的气象条件(连续无雨日, 降雨状况等)、作物种类、受灾面积、受灾程度、经济损失、农民采取的措施等。

2.2.6 水源调查

为制定水源规划, 调查规划区及周围地区的河流、湖泊、地下水等, 包括水量、水温、水质以及水权等权力关系等。

〔说明〕

旱地灌溉工程往往需新开发水源, 这对用水计划、工程费以及竣工后的维修影响很大。因此对于规划区及周围地区的各种水源, 在收集现存资料和询问土地改良区的同时, 进行必要的踏勘和实测, 以作为制定水源规划的基本资料。

(1) 收集现存资料

为掌握地区内及周围水源开发利用的可行性, 询问或收集已开发利用水量、引水位置及方式、水源的水量状况、有关水源流量的观测结果等。

此外,作为确定设计基准年水源流量的基本资料,应尽力收集在地区附近测定的河流流量的观测资料。

(2) 掌握水量等

根据(1)收集的现存资料、(4)所进行的调查结果,以及向市、镇、村和土地改良区有关人员和水源管理人员等征求意见,进行踏勘,选择本工程可开发水源的引水地点,掌握水量等,并推算可能利用的水量。

①关于河流

a 希望对预定的全部水源进行流量测定。因需要长期的流量资料,故应与调查同时进行连续2年以上的观测。

b 推算水库的洪水径流量以及利用相关关系由雨量推求流量时,必需具有流域内的雨量记录基本资料。为此,可使用流域内或附近可信赖的雨量站的观测资料,如没有,原则上应在流域内设置自记雨量计进行观测,建议取得尽可能长期的资料。

②关于湖泊

为掌握目前可能利用的水量,依据湖泊图或实测绘制水位-蓄水量关系曲线,同时观测湖泊水位与径流量。雨量记录等同①。

③关于地下水

a 依据现存地质图并进行踏勘、询问以及电测,判断地下水的埋藏状况,选择开采地下水的位置,在典型位置设观测井。

b 在观测井上进行抽水试验并同时调查地下水位下降情况,推算地下水的埋藏量。此外,还应对开采地下水所引起的地面沉陷及对周围水井是否有影响进行调查。

c 已有水井时,则利用其作为观测井,没有时应打新井。

(3) 水温、水质调查

①水温 对于防止干旱而进行的旱地灌溉,尽管夏季时使用比气温低的地下水一般也不会受害。因此,除非在引高山融雪作为水源等水温特殊低的情况下需调查水温外,一般不必进行。

②水质 认为水源存在水质方面的问题时进行水质调查,调查内容包括 PH、COD、SS、DO、T-N、电导率(含盐浓度)、砷、锌及铜等重金属。

详细规定参见土地改良工程规划设计规范规划(水质问题对策)(1980年8月)。

(4) 有关权力的调查

调查规划及周围水源有关权力方面的事项。主要包括①农业及其他类型用水的水权,②渔业权,③自然保护等有关环境的规定等,对以上内容应正确地进行调查。

2.2.7 社会经济条件调查

为明确规划区今后的农业发展方向,并就此制定规划,应调查与此有关的围绕该地区农业的社会经济条件。

〔说明〕

收集国势调查、农林业国势调查、市镇村统计资料等,明确围绕农业的社会经济环境和农业所处地位,同时有必要找出阻碍农业发展的原因,参考区域开发计划和农业振兴计划等,明确未来农业的发展方向和进行旱地灌溉等农业开发工程的必要性。

主要调查项目和内容概要如下所述。

(1) 地理经济条件的调查

进行区域的地理条件、土地利用现状、交通条件、河流利用状况等地理经济条件的调查,明确规划区所处的位置。

(2) 社会经济条件的调查

调查总人口、户数、各产业就业人数、各产业的收入情况、主要产业、耕地转为他用的情况等,明确在地区社会经济中农业所处的位置。

(3) 有关区域性计划的调查

调查有关该地区的县和市镇村的振兴计划、城市计划、农业方面的各种振兴计划等,研究分析将来规划区农业的发展方向,并以此作为确定受益区范围的资料。

(4) 有关农业结构的调查

从农业经营结构、收入结构、流通结构、水利现状以及农民意向等方面找出制约规划区农业发展的原因,明确农业开发的方向和进行土地改良工程的必要性,为此就以下内容进行调查分析。

①农业结构和收入结构调查,即应明确地区农业经营结构(规模、组织、资金构成、农户阶层的构成)的组成因素,如农用土地、农业劳动力、农业资金、作物种类、农户实际状况等,此外还应查明农户经济状况、各类作物的纯收益(生产费用),这是以上各组成因素综合影响的结果。如土地、水利条件也制约经济发展的话,应事先查明其实际状况和相互关系。

②流通结构调查系指从各种作物、各时期的数量和价格的内在关系着手,调查农产品流通的实际状况,预测各种作物的供需数量,研究存在的问题和对策。

③水利现状调查是指查明现状土地、水利条件,同时调查以往土地改良工程的进展情况、土地改良工程的管理团体,水利资产以及水利惯例、水费等,从水利的角度分析阻碍农业发展的原因。

2.2.8 农业种植状况调查

调查农业经营状况及种植管理状况,是为查明农业经营及种植方面存在的问题和原因,并据此研究改进的举措和评价工程的必要性,以利于确定开发方向和制定计划。

〔说明〕

主要调查项目及其内容如下所述。

(1) 土地利用状况

通过统计资料及现场踏勘,按市镇村和土地利用类别分别调查土地利用的现状和最近的动向,同时了解制约土地利用的各种条件,研究改善农业经营的方向和必要的工程措施。

(2) 主要作物和栽培管理体系

为了制定将来的农业经营计划和必要的工程规划以及预测经济效益,作为基本资料调查目前种植的主要作物的种植比例、种植动向、栽培期及栽培技术等,并查明其在农业经营方面和栽培技术方面存在的问题。

调查内容及方法

①作物种植调查

a) 利用农林统计以及农业改良普及所得资料,按市镇村分别调查其作物种植(夏、

冬作物)及种植比例。

b) 为提高 a) 项的调查精度进行现场补充调查。

②种植期调查 通过农业试验场、农业改良普及以及现场调查等了解各种作物的种植期(播种、移苗以及收获期)。

③种植技术调查 通过农业试验场、农业改良普及以及现场调查,了解主要作物现行的种植技术。

根据①~③的调查结果,查明各主要作物在农业经营和种植技术方面存在的问题,明确其对策。

(3) 产量及减产量

调查现在种植的主要作物每 10 公亩的产量和各类灾害的受灾情况,以及工程实施后计划引种的作物每 10 公亩的产量,研究制约目前产量提高的原因、改善的可行性以及必要的工程措施,并以此作为制定农业经营计划和预测经济效益的基本资料。

①通过农林统计和农业共济会的资料调查每 10 公亩的产量以及减产量 原则上应按市镇村分别收集最近 5 年每 10 公亩的产量以及最近 10 年的减产量。

②现场调查产量 因地区的特殊原因,上述①调查的产量与实际情况有显著差异时,应通过测产或现场调查等确定每 10 公亩的产量。这种情况下应事先明确通过现场调查确定每 10 公亩产量的理由和作出这种决定的根据。

③现场调查受灾情况 以市镇村、农协等当地有关组织的受灾调查记录为基础,通过现场访问,查明受灾区域、受灾面积、受灾程度、受灾主要原因等,绘制受灾状况图。

④影响作物产量的主要原因和必要的工程措施

从①、②以及③的调查结果以及目前的农田状况、种植条件分析影响作物生长的主要原因,减灾的可能性,以及必要的工程措施。

(4) 家畜饲养状况 分类调查各种家畜的饲养头数、饲养户数、饲养规模、饲养体系、饲养状况等,明确目前存在的问题和改善的方向。

(5) 农业经营状况

以经营规模和种植结构、种植作物大致划分农业经营类型,调查各种经营类型的农业经营和农户收入的现状,同时调查主要作物的单位面积生产费用和收入额,明确农业经营上的问题和改善的方向,以及降低生产费用,增加农业收入的具体可行性。这些情况也是制定未来经营计划和分析工程费负担能力的基本资料。

2.2.9 农户等意向调查

调查农户等对未来的农业经营构想及对本工程的意向。

〔说明〕

调查以当地农户、土地改良区、农协、农业改良普及所、市镇村等为对象进行。

(1) 调查方法

建议采用询问的形式,但农户多,直接询问困难的,可采用填表调查。

抽样调查时应考虑地区分布、经营规模和年岁等差异,注重使调查结果反映规划区全体成员的意向。

(2) 调查项目

①农业经营实际状况

- ②改善农业经营的措施
- ③对农田基本建设的意向
- ④判断负担能力的标准
- ⑤对工程管理运行的意向
- ⑥其他必要的内容

2.2.10 相关工程的调查

调查规划区及周围已建、在建或计划进行的与本规划有关的土地改良工程或其他工程，以及既定规划区的情况

〔说明〕

相关的主要工程及调查内容如下：

(1) 土地改良工程

为有助于进行规划、设计以及施工，应确认在规划区域或周围地区是否有规划中或在建、已建的、国营、县营、集体经营以及利用贷款进行的骨干农业灌溉排水工程改建、农道、改土、暗管排水等农业基础建设工程。如有以上工程，应通过规划书和设计书以及询问，调查这些工程已确定的设计参数、路线配置、结构、施工年限、施工时的状况、当地负担工程费的年偿还情况，以及土地改良区、市镇村、农协、有关农业部门和个人对这些工程的评价等。

(2) 其他工程

①改河工程 规划区及其周围地区有改河计划时，应调查改河后的路线、河面宽、横断、纵断、洪水位、正常水位、河床高程、施工期、排水模数、地区淹没状况、用地解决方法等。

②国道、县道以及市镇村道路的改建、新建工程 规划区及其周围地区有改建或新建国道、县道、市镇村道的计划时，应调查其路线、路基宽度、结构、路面宽度、施工期、用地的解决方法等。

③水利工程 规划区及其周围地区有发电、防洪等水库工程及自来水、工业用水等工程计划时，应调查其水利用等方面的规划内容。

(3) 既定规划区

①农业振兴区域发展计划 规划必须与农业振兴区域发展计划所确定的农业土地利用计划农业生产基础条件治理开发计划相协调，故需要事先充分掌握农业振兴区域发展计划的内容。

②城镇规划 为判断农业方面的投资是否适当，应按城市规划法明确城镇规划和占地情况，还应调查规划区域内的供水、排水及道路与工程的关系。

供水方面应调查规划区域内目前需要的供水量、缺水量、水利用状况、水利方面的惯例，对地区内供水工程运行管理费的负担情况。

排水方面应调查规划区的排水量、对地区内排水工程运行管理费的负担情况、排水方面的惯例等。

道路方面应调查连接该地区的道路的位置、路面宽、结构、改建计划等。

③农业机械化、农业设施建设及其农业工程 规划区和与其相关的地区有引进拖拉机和各种收割机等农业机械的计划，建造加工和食储设施、蔬菜、水果收购和供应设施等工

程，以及山村振兴计划、蔬菜生产供应近代化计划、果树振兴计划等时，应调查这些工程的内容或计划的内容。

④国立公园等 应调查规划区及其周围地区是否有国立、国家指定、县立公园、自然保护区、矿区等土地利用管制区，如有则需充分了解管制范围、管制内容等。

第三章 规划

3.1 基本设想及基本规划

3.1.1 制定规划的程序

制定规划，从原则上讲，应该立足于基本设想，在考虑基本规划及工程设施规划关联性的同时，由根本要素逐次转向细节部分，通过必要的反馈，使之成为最为妥当的规划。

〔说明〕

制定规划，从原则上讲，应在基本设想的基础上，从根本要素逐次转向细节部分。但是，也应考虑到要实施的工程其规模及当地的实际情况，在研究了规划内容的基础上，有效实行。

制定规划的标准程序可以由图-3. 1 (1)来表示。这个程序，可以大致分为四个过程：基本设想的确定、基本规划的确定、工程设施规划的确立及规划的评价和决定。在规划制定过程中，首先必须充分研究基本构想、基本规划、设施规划的各个过程，最后再进行规划评价和效果评定，从而确定规划。

但是，如果评价不恰当的话，就有必要再重新反馈到最初的基本设想。

3.1.2 基本设想的确定

1) 基本构想

在制定规划时，在综合分析有关规划基本组成部分的受益地区范围、农业经营计划、用水计划、水源规划等的同时，还必须分析县市镇村等的各种振兴计划，确定基本设想。

〔说明〕

在制定规划时，地区范围、农业经营计划、用水计划、水源规划等是基本事项，为了合理有效地制定规划，在综合分析这些计划的同时，分析县市镇村等制定的各种振兴计划，在制定规划前预先确定基本构想也是很重要的。

在重新规划旱田灌溉工程的地区，重新确保水源将会越发困难，在规划预定区域规模很大的情况下，尤多必须考虑多种水源，因此，就有必要严谨分析有关的基本事项。

2) 受益地区的初步确定

受益地区，要在考虑自然、农业经营、社会、经济等各项条件及管理运营的顺利程度的基础上，再大致确定。

〔说明〕

在行政区域、农协的地区范围、集货、发货等的支配范围、农业经营团体的扩展等调查结果以及各种振兴计划、将来的农业经营方向、和当地的申请、意向的基础上，确定受益区域，在此基础上，再考虑自然、农业经营、社会、经济等各项条件及管理运营的顺利程度，然后再大致确定受益地区。

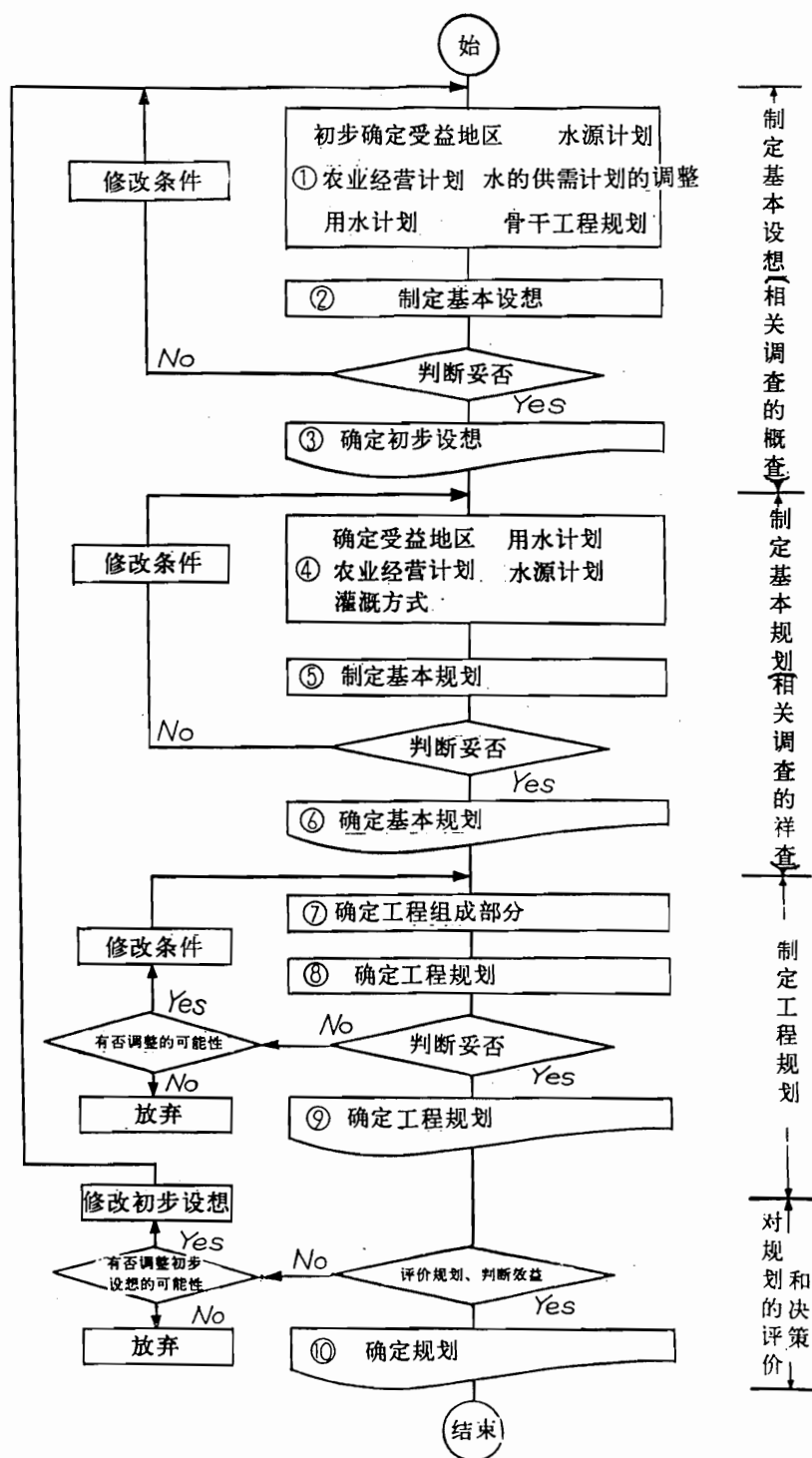


图-3.1 (1) 规划的顺序

3) 农业经营计划的初步确定

农业经营计划要在充分考虑区域自然条件、社会经济条件、县市镇村制定的各种振兴计划及农户的意向等基础上来初步确定。

〔说明〕

农业经营计划是区域工程结束后，土地利用规划及个别经营的方针或目标。因此，规划的内容必须谋求农户收入增加及农户经营的改善，并且必须是切实可行的东西。

在确定农业经营计划时，要参考县市镇村等制定的各种振兴计划，确定有关主要的农业经营类型，引进作物，培植体系及栽培技术等。

4) 用水计划的初步确定

用水量要在农业经营计划、气象、土壤、水利状况等资料的基础上来大致确定。

〔说明〕

首先，要在气象调查资料的基础上，搞清降雨量及其分布、无雨天的频率等，分析气象条件上的灌溉必要期。

然后，以从农业经营计划出发制定的种植体系为基础，因为要确定各个季节的作物构成，所以要根据作物及土壤来确定需要灌溉的部分和不需要灌溉的部分。这种情况，要参考旱情调查、土壤调查、水利条件状况调查等资料。有关需要灌溉的作物，要参考现有资料、其他地区的事例等，搞清各种作物的大致灌溉期，各月平均日耗水量，灌溉日数及灌溉效果等。

根据这些资料，来大致确定各灌溉作物的面积、和需水量等。这种情况一般希望能获得与规划典型年相等程度条件下的必要水量值。

5) 水源规划的初步确定

在有关水源的调查资料的基础上，根据水源种类及不同典型年位置来确定可利用的水量。

〔说明〕

除了水源单一而丰富、受益面积小的情况以外，有必要根据水源的种类及位置，粗算可利用的水量，在此情况下，一般都希望能获得与规划典型年同等程度条件下的可利用的水量。并且，在计算可能的用水量时，还必须分析现有水利条件，最低下泄流量等的关系。

另外，因为大坝、取水枢纽等重要水利建筑物，其种类、位置等会对工程规划的基本构想带来很大影响，因此，必须在地形、地质等调查结果的基础上，慎重研究其设置的可行性。

6) 水的供求计划调整

在大致确定用水计划及水源规划以后，就必须按基本构想制定的程序来研究分析用水的供求关系。

〔说明〕

用水的供求关系，会影响规划制定的可行性，因此，有必要按基本构想制定的程序来加以充分分析。

作为可利用水量不足的调整方法，可以考虑：①水源规划的重新评价；②农业经营计划，用水计划的变更；③受益面积的重新确定等。

在旱作地带，一般说来水源很少，即使有增加的可能性，其开发也需要大量的经费。

因此，在调整时，必须进行工程设施成本的概算，比较研究其经济可行性。

7) 主要工程设施规划的初步确定

有关水源设施、供水设施、配水设施等主要工程设施，要大致确定其位置、规模、构造、造价等。

〔说明〕

主要工程设施规划，是工程费概算、效果估算及评定的基础，同时也影响着规划制定的可行性。因此，在设计时，必须使之成为技术上可行、又经济的东西。

3.1.3 基本规划的制定

1) 基本规划

在彻查基础上，综合分析农业经营计划、用水计划及水源规划，就基本构想来确定基本规划。

〔说明〕

基本规划在确定受益地区的同时，要以农业经营计划、用水计划、水源规划为内容。

基本规划影响着工程设施规划、左右着规划整体的评价和效果，在确定时，要充分研究详查结果，求得规划内容整体的协调。

2) 受益地区的确定

确定受益地区，是规划的基本组成部分，要考虑详查结果等，切实进行。

〔说明〕

受益地区，是在基本构想确定阶段形成的，但还要在地形、土地面积、农业经营经济、农户意向及相关工程等详查结果的基础上，进一步分析灌溉方式和必需水量，灌溉设施管理运营的顺利程度等，来确定地区范围。

另外，受益地区，与农业经营计划、用水计划及水源规划密切相关，因此，为作出慎重的决定，还必须寻求与这些规划的一致性。

3) 农业经营计划的确定

农业经营计划，是在确定作为用水计划基础各类作物的生育期、栽培方法以及施肥管理技术体系等的同时，分析作物的供求状况等，制定主要农业经营类型的经营改善计划。

〔说明〕

1 农业经营计划，在确定基本的区域土地利用规划的同时，要明确各农户或经营规模、目的一致的农户团体具体的经营计划和经营活动中必要的组织计划。但是，作为计划制定前提的农户经营劳动力、经营的耕地等经营基础是变动的，而且，农产品的供求动向、价格动向等也是流动性的。因此，在设定农业经营计划时，必须着意制定能够适应围绕地区农业的环境和经营条件变化的、具有弹性的计划。

2 在选定计划引进作物时，除了县市镇村的开发构想规划、农业振兴区整顿计划、农产品供需前景等以外，还要充分反映农户的意向。此外，如果附近有正在实施旱田灌溉的地区，作为计划的参考，也可调查该地区农业经营与工程实施前相比发生了什么样的变化等。引进的作物必须符合以下条件。

①与地区农业振兴方向一致，并考虑到作物的供求动向。

②适合自然条件，并可望获得经济效果。

③与该引起作物有关的栽培体系，要考虑到农户团体的耕地、劳动条件等，并要切实可行。

④与该引进作物有关的栽培方式，从地区农业技术水平来看，应该是切实可行的。

3 改善经营计划，要在基于现状的个别经营劳动力、面积规模、资本装备等各经营基础的前提下，按主要农业经营类别，确定以该基础整治工程为契机的改善该经营的目标及达到目标的进程。在与有关行政机关、受益方代表充分商讨的基础上制定。

改善经营计划，是根据该基础整治工程的经济效益，偿还能力及工程，来使其该实现的整治水平等的判断成为可能，应使其具备以下内容：

①农业经营的基本方向

②按标准经营类别区分的有关经营规模、资本装备、技术体系、务农组织体系等的目标以及达到目标的进程。

③不同农业经营的种植计划、劳动计划、资金计划、经营收支计划等。

4) 灌溉方式的确定

灌溉方式，与田间用水密切相关，并影响着田间设施费、维修管理费等。因此，要充分分析场地条件、农业经营条件、水利状况等，确定最适合该地区的方式。

〔说明〕

1 灌溉方式的分类

灌溉有各种各样的方式，但大致可以分为以下几类。

①喷灌

②固定式管道灌溉 ———— 多孔管灌溉
滴灌

③地表灌溉 ———— 沟灌
畦灌
水平沟漫灌
盘灌

④地下灌溉

其中，地表灌溉方式的水平沟漫灌及盘灌法，作为土地改良工程的实施例子很少。从我国的实际情况来看，适用的可能性很少。另外，有关地下灌溉方式，其技术尚未充分确立，因此，有关其灌溉方式，在本规范中将略而不提。

(1) 喷灌方式 是用压力从喷头中喷出水，象降雨似地喷洒在土壤表面的方式。喷头有各种类型，喷洒的圆的直径、喷水分布压力都不同。一般情况下，都是在田间设置地面固定管道或地埋管道，每隔一定距离，装上喷头进行喷洒，使喷洒圈重合，以便尽可能均匀地喷洒。能够减少在地表灌溉方式中不可避免的灌水过程中的深层渗透损失。因地面不平整而造成的渗透损失等。但反过来说，喷水的分布又很容易受风向影响。与地表灌溉方式相比，适合少量但频繁的灌溉，灌溉管理的劳动力投入也不用太多。

(2) 固定式管道灌溉

①多孔管灌溉方式 是在铝管、氯乙烯管、聚乙烯管等管道或软管橡皮管上开孔，固定在地表进行喷水的方式。喷洒形状呈长方形，压力较低，但灌溉强度大，与喷灌相比，喷洒距离短，管道分布密。

②滴灌方式 又叫点滴灌溉或细流灌溉，是通过按一定间隔安装在设置于作物垄间的地表固定式聚乙烯管上的滴灌滴头或滴孔，漏入土壤并不断地向作物根部供水的方式。在滴水过程中，为了减轻水的压力，配有各种各样的减压方式。把小的螺丝状的流道内装在滴头里，在管道隔板上又有节流小孔，当1次压力水通过时，都具有减压功能，在这种方式下，土壤表面只有以滴水点为中心的一部分湿润。同时是最适合少量而频繁的灌溉。

这些方式的特点有：①因其能较好地保持住滴水点附近的土壤水分，因此可以提高产量；②因其只向根部供水，因此能够节约用水；③如果灌溉水含有盐分，因根部主要区域保存的水分较多，就可以降低盐分浓度，减轻盐碱灾害；④管内流速小，便于均匀供水；⑤便于管理省力。

一般都是通过 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右工作压力，但首部有必要减压、过滤，特别是为防止堵孔的滤清则更为重要。

(3) 地表灌溉方式

①沟灌 流在沟里的水从沟的侧面入渗到作物根部地区的方式。按一定间隔设置渠道，平整沟与沟之间的土地，使坡降趋缓，通过渠道，使各沟之间按一定流量流入。在沟的下游部，为确保向根部区域充分补充水分所必要的水深，应在必要的人渗期间蓄水，但从上游部到下流部的流动期间，上游地区因多余时间蓄水，这就无法避免向根层下方的深层渗透损失。采用这种方式，根据地形、土壤入渗率、沟长流入水量等，田间水的有效利用率就会出现差别。另外，为形成匀称的坡度，还须配备土工机械。

②畦灌 用低的畦埂把耕地切割成细长的带状，形成一定的缓坡，通过坡面径流使水全面流下，入渗到土壤中去的方式。有关深层渗透损失及田间水的有效利用率与沟灌相同。与沟灌相比，其灌溉所需投入劳力较少，但反过来，又需要大流量，受坡度制约，还必须有更大范围的平整。多用于牧草类的灌溉。

③水平沟漫灌法 把引入灌溉水的沟，沿着等高线，处理成大致为1%的坡度，使水从沟上的供水口沿坡面流下的灌溉方式。也适用于地形比较复杂的坡地，但田间水的有效利用率低。

④盘灌法 平整地面，用畦划分区段，用渠道或管道引进水，间断性地实行淹灌的方式，多用于地形平坦、渗透率小的土壤。

(4) 地下灌溉方式 这是向地下供水，通过土壤的毛管作用，润湿根部地区，提高灌水效果的方式。有明渠和暗渠两种方式。

明渠式，是按一定间隔配置渠道通水，通过渠道渗水从而使地下水位上升、从下部向根区供水的方式；暗渠式则是在地下埋设管道，通过这些管道来供水的方式。

要采用这种方式，必须具备下列条件，在表土土质上，在其上方和侧方，水分能比较迅速地通过毛管移动；土壤透水性能好，并且，在比较浅的土层中存在着不透水层，要能够防止因为深层渗透而造成的水的损失。

2 灌溉方式的确定

充分研究以下诸条件，确定适合农业经营计划、并最适合当地的方式。

①场地条件

土地的倾斜度、等高线状态等地形条件、土壤的适水性、风向风速等气象条件。

②农业经营条件

栽培作物：由作物种类决定的灌溉方式的限制要素。

栽培方法：种植密度、筑沟方法、轮作体系等。

集约化程度：种植集约化、合作经营的可行性、机械化程度。

经营规模：经营面积大小、农业经营规划等。

③水利状况

水源水量的制约、必要水量、灌溉效率等。

④经济性等

[参考] 选择灌溉方式的一般性条件

(1) 在我国，喷灌方式是最近 20 年迅速发展起来的，旱田灌溉大多采用这种方式。究其原因如下：

①主要旱作地带都以火山灰土壤为主，入渗率高，采用地表灌溉方式，深层渗透损失大，因此喷灌法比较适用。②一次灌水量少，并且可以频繁灌溉，适合充当与降雨分布相适应的补充灌溉。③较易适应坡度大、起伏多的地形。④因为管道便于向起伏地供水，因此由于开挖渠道被占被毁的耕地较少。⑤与各种地块相适应。⑥即使根区土层薄的场合，也能相对均匀地灌溉。⑦在小规模集约型农业经营中，劳力少，使用方便。⑧农业经营技术水平高，掌握了这种方式的运用。⑨工业技术先进，物资、器材的改进、开发及到手都很容易。这些都是喷灌方式的优点。反过来，喷灌方式也有缺陷：①喷洒分布受风影响。②一般情况下，因为需要 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 的左右压力，动力费用增多。③只有喷洒重迭，才能均匀分布，因此，在未进行农田基本建设的田间很难利用。

(2) 多孔管灌溉方式 适用于无法使用喷灌的小地块、集约管理的作物。喷洒距离短、灌溉强度大，因此必须不断地移动，转换喷洒方向。

(3) 滴灌适用于水源不足，需要节水的情况。如果是种植间距密的作物，滴水管的数量多，田间设施费就会增加。温室大棚栽培、坑道栽培、膜下栽培中，能配置在土壤表面，因此很有利，在渗透性土壤中，这种方式渗透损失小，最适于少量频繁的灌溉。另外，根系集中在滴水点附近，养分管理方便，对于注重产品糖分质量的栽培来说，通过施加液肥，更能取得明显效果。

(4) 地表灌溉方式（沟灌和畦灌），宜适用于比较平坦、粘土类等入渗率小的土壤地带。为把田间整修成均匀缓和的坡度，需要有精确度高的土工机械。但起伏地和坡地，平整时土方量大，不宜选用。这种方式不需要压力水，因此不需花动力费。但灌溉期从水渠引水及水渠的水位管理等需要投入劳动。在设计沟及各畦之间要设水渠。因此，有一定坡度的地方规划易成立，而在起伏地块开挖水渠就比较困难。

(5) 在综合利用中，如果需要喷洒液体，那么喷灌法是最好的。以上所讲各个方式的特征及缺点要很好掌握。在选定方式时，以气象调查、土壤调查、地形调查、农业经营调查及农户的意向调查为基础、考虑设施成本、维修管理费等的经济性、水源状况等，再进行综合判断。

5) 用水计划的确定

用水计划，在决定水源及各设施的容量时，是基本的内容，在详查结果的基础上，确定用水量基础参数、综合利用方法及用水量等。

[说明]

有关用水计划的详细情况，参照 3.2 用水计划。

(1) 用水量基础参数的确定

进行土壤水分特性调查及早田需水调查、确定速效土壤水分 (TRAM)、计划日消费水量、计划中断日数及 1 次计划灌溉水量。

(2) 综合利用方法的确定

为谋求灌溉设施综合利用水利用的高效化, 研究有关利用方法, 在综合利用有效的情况下, 切实确定利用诸要素。

作为利用方法可考虑有以下几种, 但技术上尚未开发的部分较多, 必须充分严谨地分析。

①栽培管理的合理化

播种、移植期灌水、犁前灌水

②管理作业的省力化

施用液肥、病虫害防治、粪尿灌溉、淀粉废液灌溉

③防止气象灾害

防御风蚀、防霜冻、防御风暴、降尘防御

④其他

除草剂、土壤改良剂及摘果剂的喷洒、轻度气象地温调节

(3) 用水量的确定

用水量 (毛用水量) 要以用水量基础参数、日降雨量、综合利用诸要素为基础, 通过分析灌溉面积、水源可能利用水量等来确定。

(4) 水源依存量分析

将用水量分配给大体确定的各水源, 对各水源进行水源依存量的分析。

6) 水源规划的确定

在用水计划及普查结果的基础上, 确定水源种类, 设施位置及规模等, 再决定水源规划。

〔说明〕

把用水计划中算定的用水量 (水源依存量) 与水源可能利用水量相对比, 在确定水源种类和位置后, 用降雨量、河川流量等资料来计算水源水收支, 在确定规划典型年时, 同时确定水源设施的规模。

有关水源规划的详细情况参照 3.2.4 水源规划。

3.2 用水计划

3.2.1 决定用水量的基本要点

用水量要在充分掌握受益地区的气象、土壤及作物特性等基础上, 考虑农业经营及培植体系的开展方向, 来确切地选定。

〔说明〕

我国因为地处湿润地带, 因此, 在旱田灌溉用水量方面, 也必须从补充灌溉的角度来规划。为此, 在制定用水计划时, 充分分析降雨及土壤的特性, 切实利用土壤的持水能力, 在水利用中尽可能提高有效雨量的比例, 从而决定计划诸要素的构想是很重要的。

除此之外，为了提高作物的产量和质量，理解作物的水分生理特征是很重要的，为此就必须按不同作物分析灌溉开始期及土壤水分状态等。

另外，除水分补充外，还要考虑设施的综合利用，因此，有必要在旱田用水方面分析考虑农业经营的综合体系。综合用水如果包括在补充灌溉的容量内，就没有什么特殊问题。但如果超过了这个容量，就有必要充分分析经济效益，制定用水计划，另外还必须充分考虑水源水量、水利设施的构成及水管理组织等诸要素。

3.2.2 用水计划诸要素的确定

1 补充灌溉水量

1) 灌溉水量计算顺序

补充水分的灌溉水量，是以受益地区的气象特征及土壤水分特征、和作为灌溉对象的旱田作物的耗水特征为基础来决定的。

〔说明〕

计算补充灌溉用水量的顺序可以用图-3.2. (1) 来表示。在计算用水量时，决定计划日需水量、计划间断日数及1次的计划灌溉水量是很重要的，是用水计划中重要的设计值。而这些，都是由受益地区的气象特征及土壤水分特征和作为灌溉对象的旱田作物的水分消费特征来决定的。

然后，从1次的计划灌溉水量出发考虑效率，决定田间灌溉定额及毛灌溉定额。

此外，计划日需水量则是在通过旱田需水调查而得到的需水量的基础上，充分考虑气象特征后来决定。

有关详细情况，参照以下各项。

3.2.2-1 2)③水分常数等的确定 (24 小时含水量、生长抑制水分点、有效水分量、土壤需水型)。

3.2.2-1 2)④需水量及计划需水量的确定 (需水量及计划日需水量)

3.2.2-1 3) 计划间断日数及1次计划灌溉水量的确定 (总速效水分 (TRAM)、计划间断日数、1次计划灌溉水量)

3.2.3 计划用水量的计算 (灌溉水量、适用效率、输水损失率)

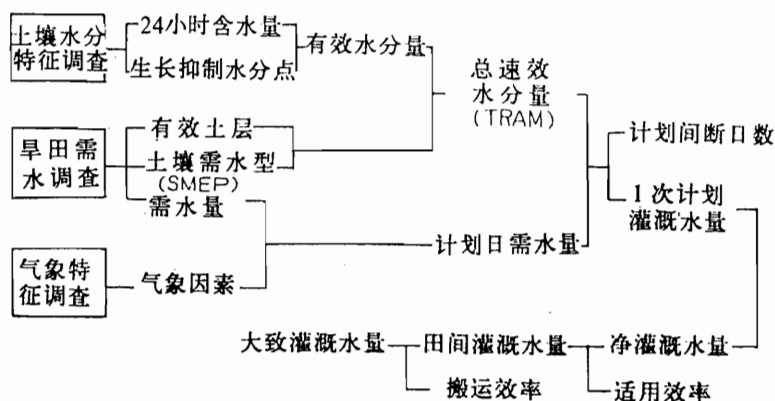


图-3.2. (1) 补充水分的用水量计算程序

2) 土壤水分调查

①调查地点的选定

调查土壤水分的地点，从原则上讲，应在土壤调查基础上，按主要土壤分区逐个选定。此时，有必要选定正常管理的田间和作物。

〔说明〕

土壤的物理特性，在其形成过程中，多受土壤的基岩支配，此外，在斜坡上，堆积方式是灌溉计划中的重要因素。因此，就这些问题，必须在充分研究土壤调查结果的基础上决定调查地点。

从另外就作物来说，有必要选定管理均衡、良好的田地，若在离大防风林、公路近的地方，应选择距此 15 米以上的地方。

②土壤水分的测定和表示

测定和表示土壤水分有许多方式，由测定目的及各种方式的特征决定。

〔说明〕

1) 现在常用的测定方式有

(1) 取土法

从田间直接取土，在保证水分不变的情况下带回实验室，用 100-110℃ 的温度使其干燥到一定重量，其损耗量就是土壤水分量。使用定量取土器 (100CC) 取土非常方便。另外，还必须注意如果取土试样容积太小的话，测定值的偏离度就可能增大。试样中如含有砾石，并且要按砾石大小来确定试样容积大小。此法能直接测知土壤水分的绝对量，因此，是用土壤水分减少法求取正确需水量时最基本的测定法，并用此方法验证张力计法、电阻法所测的土壤水分，因此是十分重要的。

(2) 张力计法

是以土壤中的毛管张力，多孔物质为媒介，用负压计来测定的方法。一般情况下，多孔体用多孔测头，压力用水银液压计，土壤含水量用预先准备好的水分张力相对曲线来求得。

张力计，在结构上测定的范围是最高到 1 个大气压 (pF3.0)，接近 1 个大气压时，测定器中进入大气，功能下降，因此，实际使用范围大概到 0.85 个大气压。因此，它适和于比较湿润状态 (pF0~2.8) 的土壤水分测定。

(3) 电阻法

是把内装有电极的吸湿体埋入土中，用电阻表测定电阻值，根据预先准备好的土壤水分-电阻曲线 (核准曲线) 测定土壤水分的方式。吸湿体最好使用石膏块，尼龙组件或玻璃过滤体，特别是玻璃过滤体，测定范围很广 (pF1.4~4.6)。石膏块受土壤盐类影响小但耐水性能低，使用交流电。

(4) 其他方式

其他还有电导式水分计、中子水分仪、热线水分计等多种方式，要征求试验研究机关的合作，来选定适合现场实际情况的方式。

2) 土壤水分表示法有各种方式，在表示旱田灌溉中的水分量时，进行土壤容积中水容积所占比重、即利用容积含水率进行水分的水深换算是很容易的。

如果用水势 (pF 值) 来表示被测定的土壤水分，那么即使土性、土壤结构等不同，

也能统一掌握土壤的水分状态，十分方便。另外，对于解析土层中水分移动状况很有用。用张力计法的话，能用 pF 值表示被测负压，但其他方法，都要预先作好土壤水分和 pF 值的校准曲线，以此进行换算。

③水分常数等的确定

就从调查地点取来的土样，进行 24 小时含水量及生长抑制水分点的实测，确定有效水分。根据在调查点土壤水分变动的实测，确定有效土层、关键土层及土壤需水型等。

〔说明〕

(1) 土壤水分特征调查

作为土壤水分特征，在旱田灌溉计划中重要的是：24 小时含水量和生长抑制水分点的土壤水分。这两者都根据直接测定从调查点取来的原土来求得。

①24 小时含水量 从外国干燥地区的例子来说，作为有效水分的上限，通常采用田间持水量的概念。也即，根据贝马亚和亨特利克逊定义，在大量降雨后，作为水的下降运动比例变小时的土壤含水量来定义的。另外，穆尔赫和理查德等人提出以当土壤中不饱和透水系数变成零时的水分量来定义。罗杰定义，又是指土壤所能保持的悬垂水的最大量。

但以我国的岩田和竹中等的测定例子来看，以重力水下降过程结束时的田间含水量为标准的意义上的田间持水量，而在大量降雨后往往需经过数日的时间才能达到田间持水量的时刻，该时刻即为水分消耗的起点，这种处理方法存在着问题。

因此，现在有效水分的上限，并不受田间持水量这个概念的约束。一般都是以时间规定来定义，充分降雨、灌溉后大约 24 小时左右土壤中所保留的水分作为 24 小时含水量。也就是说，立足于经过 24 小时后，在标准条件下的土壤中，大部分重力水被排出，剩下的重力水也能被毛根充分吸收，有效利用这种想法上的。

如果用 pF 值来比较 24 小时含水量，研究结果是，火山灰土壤 pF 值 2.0 左右，矿质粘性土壤 pF 值 1.5 左右，根据土壤不同有若干变动。

在测定时，要向选定的调查点供水 100mm 以上，用塑料布等遮盖 24 小时后，再采用各层的试样。但当土层紧密，容易发生排水不良现象的时候，灌溉水量就不易太多，必须视实际情况而定。

②生长抑制水分点 从有效水分下限的研究背景来看，最先的是布里克斯和尚蒂伊的永久凋萎点，其后，许多研究人员确定永久凋萎点可以用 pF 值 4.2 接近的值来表示。贝马亚和亨特利克逊曾主张作物水利用，在永久凋萎点前能正常生长，不受抑制，但后来的研究又显示了与这个看法不同的结果。

特别是我国这样的湿润地带，作物很少会被曝晒到这种极限状态，一般认为，旱田灌溉的意义与单一维持作物相比，则更多地体现在积极提高作物质量和增加产量上。

在这种立场上，我国的有效水分的下限，不是指永久凋萎点，而是只要在生长中多少出现阻碍现象的话，该时刻的水分就应该是下限的看法已成定论。象这样出现生成抑制、无法正常生长时的水分量就叫生长抑制点。

这时的水分一般多在 pF 值 3.0 左右。当然，根据土壤的不同多少会出现变动，砂土时 pF 值比 3.0 低，而亚粘土则反过来比这个值高。因此，严谨地说，必须根据土壤水分减少时的土壤水分。但作为设计值，只要用离心法或压膜法实测原土的 pF 值 3.0 水分量就足够了。

另外，因为作物不同，灌溉时的水分状态会给作物的质量带来很大影响，因此，在制定计划时要慎重考虑。

③有效水分量 旱田灌溉计划中的有效水分，指的是处于 24 小时含水量和生长抑制水分点之间，有益于正常生长范围的土壤水分。

有效水分不用重量比(%)而用容积比(%)来表示的话，进行有效水分量的计算就很方便。土层厚度为 10cm 的时候，容积比(%)所示值就是表示了有效水分量(mm)

我国的火山灰土持水性较好，有效水分多表现为 20% (容积比)。砂丘土等，它的值就小，只有百分之几。一般的矿质土大多表现为中间值。

(2) 旱田耗水调查

在调查点，实测土壤水分的变动，确定有效土层、关键土层及土壤需水型等。

①有效土层和关键土层 旱田灌溉计划中所说的有效土层，与土壤生产力的立场稍有不同，并不一定受有无根系的约束，而是指在达到 24 小时含水量后，根据土壤表面的蒸发和作物根的水分吸收，毛管补充等所进行的耗水深度。此外，根据作物耗水土壤水变动的深度，干燥期长的话，自然就加深，因此，作为统一规定，采用与间断日数大致相同程度的连续无雨期。

关键土层是指在有效土层中，对水分消耗起支配作用，其水分状态，能直接影响作物生长、产量和质量的土层。因此，从土层横断面的观察，根系的分布状况等判断，在一定的程度上也能推定。但在计算上，关键土层要从有效水分量和土壤水分消耗类型计算的各层的总速效水分量最小的土层来确定。另外，土壤水分减少能够在田间实测时，并且连续无雨期与间断日数接近，某一层的水分减少量与其他土层相比明显变小，该土层就可以被定为关键土层，也就是说，在该土层内，土壤水分下降到生长抑制水分点为止。该土层(主要多指从表层到 20cm 之间)的水分停止减少，表示其下面的土层水分消耗还在发展。

②土壤水分消耗类型 有效土层的水分减少量一般都是不同的，通常是从表层到下层逐渐减少。土壤水分消耗类型(SMEP)表示各层水分减少量占有效土层整体水分减少量的比例，以此作为确定灌溉水量的要素有着重要的意义。

土壤水分消耗类型，自然是随作物、土壤、生长期等的不同而不同，因此需要进行实测。另外，即使作物一样，水分状态不同的话，还会有差别，因此必须加以注意。

特别是在我国，细根大都集中在表层附近，并且有效土层浅，因此，土壤耗水，呈现由作物根直接吸水和土层内毛管移动现象等相互交错的复杂形态。支配土壤水分消耗类型的因子中最为重要的是作物根的发达状况和持水性。根据肖克利等的分析，土壤水分消耗类型大致是一定的，把根系区分成四等分时，从上至下进行 40%、30%、20%、10% 的水分消耗，但在我国必须进行实测，特别是要注意这里明确了土壤水分的影响。计划上的土壤水分消耗类型，必须是关键土层的水分没有下降到生长抑制水分点以下的范围。

④耗水量及计划日耗水量的确定

耗水量是作物正常生长、实现高质量、多产量状况下所要消耗的有效土层中的水分量，从原则上讲，要通过实测，用土壤水分减少法来确定。

计划日耗水量，是在耗水量基础上加上气象因素等来恰当地确定。

〔说明〕

为求得有效土层内的耗水量，可以认为土壤水分减少法是最恰当的方法之一。这些实测，通过灌溉期可望实施，但需要大量劳力和时间，因此，耗水量最大的时期可重点进行，而其他期间则可根据近处可靠的实测资料和蒸发蒸腾比法等的数据来推定。

此外，耗水量受测定期的气象条件支配，在测定时，与降雨量和蒸发蒸腾量有关的气象因素（蒸发皿蒸发量、太阳辐射量、日照时间、湿度、温度、风速等）也要一起实测。

日耗水量（1天所耗水量）随气象要素变动，所以在决定设计值时，必须再按照以下分析进行调整。

①计划中的日耗水量，仅用短期的实测值来确定，就会有问题，因此，要作为通过实测及算法，可以把某栽培管理阶段的日耗水量的平均值看成是同期计划中日耗水量。

如果把计划中的日耗水量，作为某一时期的平均值来考虑的话，在阴天和小雨（计划中称之为无效降雨的雨）日，耗水量切实减少，这种值也考虑，更能确定与实情较接近的计划值。

②通过土壤水分减少法能够得到耗水量的实测值，但并不是可以把①中所求得值直接当成设计值。而要与实测期间的气象因素和设计年的设计值相比较，进行修正。

在①及②的分析中，可以使用蒸发计蒸发量。蒸发计蒸发量，是与蒸散有关的许多气象要素的综合表现，要是测得实测值的话，就可以简单进行测定值的修正。如果能得到蒸发计蒸发量长年测定值，就要预先统计性地解析太阳辐射量，日照时间，温度，湿度，风速等的相互关系。

象这样，分析结果最终作为设计值确定为日耗水量，就叫计划日耗水量。不同时期的最大值称之为计划最大日耗水量。

〔参考〕

耗水量的实测方法有土壤水分减少法、土壤渗透仪、电离法等。此外，作为计算方法，有根据气象数据求耗水量的布莱尼—克里德尔法，蒸发蒸腾比法等。下面就具体分析这些事项。

（1）土壤水分减少法

①土壤水分减少法是测定24小时含水量中土壤水分减少量的方法。

②整个土层达到24小时含水量后开始实测，实测的集团要选择吸水根分布平均的地方。如下面各处：

土壤水分测定位置

a) 培垄地（图-3.2. (2) (a)），两棵间约相距10cm的地方；

b) 不培垄的地方

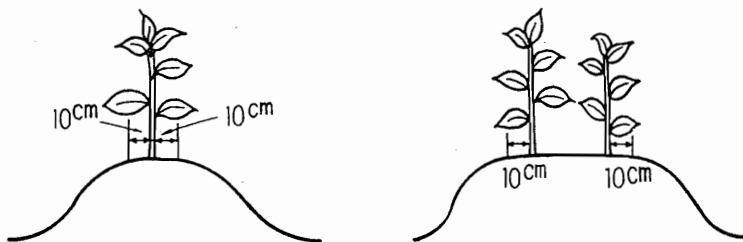
条播：作物与作物之间，从中间稍偏向作物侧

散播：距作物10cm的地方

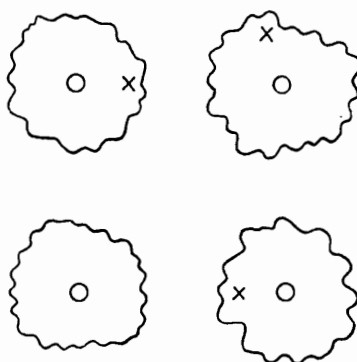
c) 果树的场合，从树冠的外沿部稍偏树干侧的位置（图-3.2. (2) (b)）

此外，平面上的实测位置，要按东西南北等条件的不同选择2个以上点。

③从原则上讲，要测定的是5、15、25、35、50、70cm各位置的土壤水分，图-3.2 (3) 所示①~⑥处的土壤水分表示了各土层 $D_1 \sim D_6$ 部分的平均值，此外，通过土层横断面的观测等认为有效土层浅的场合，也可以省略深层测定。



(a) 条播作物



× 记号是土壤水分的测定位置

(b) 果树

图-3.2. (2) 土壤水分测定位置

④灌溉要在田间整个领域均衡进行。在不能灌溉时，要等到降雨后土壤水分达到 24 小时含水量后再进行实测。在测定土壤水分时，要同时观测降水量、最高气温、最低气温（平均气温）及蒸发皿蒸发量。测定时间应在每天上午 9 点。

⑤从有效土层（深度）每天的土壤水分实测效果，按以下算式求得日需水量 Σen 。

$$\Sigma en = e_1 + e_2 + \dots + e_n$$

$$e_1 = \frac{1}{10} (M_1 - M'_1) \cdot D_1 \quad (3.2.1)$$

$$e_2 = \frac{1}{10} (M_2 - M'_2) \cdot D_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$e_n = \frac{1}{10} (M_n - M'_n) \cdot D_n$$

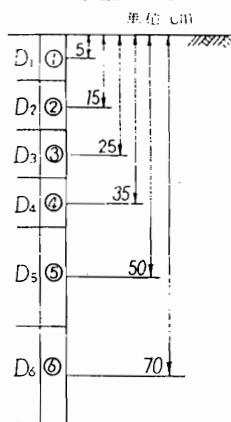


图-3.2. (3) 土壤水分测定深度

在此, $D_1, D_2, \dots, D_n$ 表示图-3.2. (3) 所示各层厚度 (cm)

$M_1, M_2, \dots, M_n$, 各层当日土壤水分测定值 (容积%);

$M'_1, M'_2, \dots, M'_n$, 各层第二天土壤水分测定值 (容积%);

$e_1, e_2, \dots, e_n$, 各层的土壤需水量 (mm)

其中, 雨天及降雨停止后 24 小时内的实测值除外。1 天内没有土壤水分差时, 就以 2~3 日为单位计算。原则上, 各旬日耗水量就是该旬测得的平均日耗水量。

(2) 土壤渗透仪法

土壤渗透仪法一般有排水收支型、浮游型、秤量式等。排水收支型是通过带土壤层和渗出水容纳槽的土渗透仪, 收入降水量 (R) 和灌溉水量 (I), 支出渗水量 (S), 考虑土壤水分变化量 (M), 通过进行平衡计算来取得耗水量 (e) 的方法。其中, M 符号在土壤水分减少量时用+ (正) 号, 在土壤水分增加量中用- (负) 号。

$$e = R + I - S \pm M$$

(3) 密封罩法

密封罩法, 是预先把田间土壤水分调到 24 小时含水量状态后, 把实验作物拿到蒸腾室隔离, 再输入空气, 用高精度算出其出入口的温度差, 以及送入的空气量来测定蒸发蒸腾总量的方法。根据此法, 能按接近实际栽培管理状况的形态来确定, 还具有掌握月间变化的优点, 但算出的值一般比 (1) 的土壤水分减少法大, 特别是在计算土壤中的水消耗时, 更要进行补充修正。

(4) 布莱尼-克里德尔法

这是从气温、日照时间、作物系数来计算耗水量的方法。

$$e_m = 0.254K \cdot p \cdot t \quad (3.2.2)$$

$$e_d = e_m / m$$

其中 t 表示月平均气温 (F), P 表示与全年日照相对的月日照时间的比例 (%), K 是作物系数通过实测决定的常数, e 表示日耗水量 (mm), e_d 表示平均日耗水量 (mm/day), m 表示各月的日数 (day)。

也就是说, 通过实测求得了 e_m 的值, 确定各作物的 K 值后, 就可以根据气象资料求得任意一处的耗水量。

(5) 蒸发皿法

这是通过蒸发皿蒸发量求需水量的方法。即相应于作物及其生长阶段, 根据蒸发皿蒸发量与需水量有一定关连的想法来测定。

$$e = a \cdot E \quad (3.2.3)$$

其中 e 为需水量, E 为蒸发皿蒸发量, a 为蒸发皿系数。

表-3.2. (1) 各地主要作物最高月平均蒸发皿系数 (农地局调查、1968 年)

作物 地区	大豆	玉米	花生	土豆	芋头	南瓜菜	萝卜	芹菜	桔子	葡萄	柿子	桃
北海道	1.60	0.87		1.16								
东北			0.97		1.43	0.93	1.06				1.37	1.09
关东			0.80		1.17	0.83						
北陆	0.92				1.56	0.98	1.22		2.36			
东海	1.03	1.31	0.80		1.27	1.09	1.47			1.03	1.15	1.00
近畿	0.94			1.56	0.85	1.71	1.20					
中国、四国	1.13							0.83		1.05	1.13	
九州			1.03		0.88		1.03					

3) 计划间断日数及一次的计划灌溉水量的确定

关键土层内的平均土壤水分, 从 24 小时含水量下降至生长抑制水分点时刻, 有效土层消耗掉的全部水分量就称之为总速效水分量 (TRAM)。

计划间断日数, 用计划日耗水量除总速效水分量来算出。

一次灌溉水量是由计划间断日数乘以计划日耗水量得出。

〔说明〕

(1) 总速效水分量 (TRAM)

总速效水分量从计算上来说, 可以用关键土层的土壤耗水型的值除关键土层的有效水分量来计算。这就是理论上的 1 次最大灌溉水量。

$$\text{总速效水分量} = (f_e - M_L) \cdot D \times \frac{1}{C_p} \text{ (mm)} \quad (3.2.4)$$

f_e : 24 小时含水量 (容积比%)

M_L : 生长抑制水分点 (容积比%)

D : 关键土层的厚度 (mm)

C_p : 关键土层土壤耗水型值 (%)

当关键土层不明确时, 要对各层进行总速效水分量的计算, 把其中最小的值当作计划总速效水分值就可以了。另外, 总速效水分量也能根据土壤水分减少法等来求得。

(2) 计划间断日数

计划间断日数用计划最大日耗水量除总速效水分量, 舍去小数点以下部分就可求得。在计划日耗水量在最高点以外的场合, 不变更间断日数, 而是运用灌溉时间来调整。

(3) 1 次计划灌溉水量

1 次计划灌溉水量等于计划间断日数乘以各时期的计划日耗水量。乘以计划最大日耗水量时, 称之为 1 次计划最大灌溉水量。

〔参考〕

从计划区的降雨特征来看, 如果在灌溉高峰期降雨较多, 并且土壤和作物的总速效水分量也能达到一定程度的话, 在确定 1 次灌溉水量时, 可以稍稍偏低, 由此可以增加灌溉期间有效雨量的比例, 其结果是与用水量的减少相衔接的。在这种情况下, 缩短间断日数, 在根据日降雨量和气象因素修正的日耗

水量的基础上,以灌溉计划典型年及干旱年为中心的20年为对象,进行模拟试验,检查水分在不低于生长抑制水分点的状态下能否确保。

其结果,如果在一定程度接受了调整后的1次灌溉水量和间断日数状态下,土壤水分还是能够保持保证正常生长状态的话,那么就可以考虑对计划做点改动。

根据以上分析,有时候可以减少用水量,但反过来,也会招致灌溉频率增加等问题。因此,要考虑到水源水量、水利设施的结构、管理组织内容及工程的经济性等,从综合的角度进行分析。

4) 滴灌的用水量

滴灌的用水量,要在考虑其灌溉方式的特异性后来决定。

〔说明〕

滴灌,是只向作物根部供水的方式,因此只有以滴水点为中心的一部分土壤变湿润,吸水根倾向于湿润部分,所以其用水量的计算方法与其他方式不同,相对复杂并尚未充分确定。

滴灌多用于干燥地区,因此,在我国,其适用历史是很短的,主要用于设施园艺等。但在今后,将被考虑应用在水资源贫乏地区的灌溉,发挥其特征之一的节水功能。

在采用滴灌来灌溉的时候,因其只向土壤的一部分重点供水。因此,田间整体的用水量如按以前的表示方法均衡一下、用水深来表示的话,其值将变小。

在滴灌方式中,用1日1棵或一棵树要多少升水来算必要水量是较适当的方法,但在湿润地带用这些方面的资料很少,因此,在此就以以前的计算方法为基础按下列方法计算。

作为用水量计算基础的总速效水分量、计划日耗水量、计划间断日数及1次的计划灌溉水量等计划诸要素的决定按3.2.2用水计划诸要素的决定进行。计算灌溉系统最低限度供水量时,按3.2.2得出的计划诸要素值要乘以下提出的与田块面积相对应的湿润面积的比例(P),乘当地全部田块面积等,即考虑到滴灌不以全区为对象来喷洒的实情。

①滴水点分布间隔较密的场合

滴水点分布较密的场合,沿着滴水毛管一定幅度变湿。

$$P = \frac{\text{湿润幅度}(m) \times \text{滴水线数}}{\text{作物行距}(m) \times \text{行数}} \quad (3.2.5)$$

以滴水点为中心的湿润部分的土壤,其分布根据土壤的物理性(特别是PF和水分的关系及不饱和透水系数)、滴下水量、滴下时间等而不同,另外,也受土壤表面蒸发和从作物根的吸水等消耗条件的影响,其变化不稳定。所以分析起来很复杂。由此要通过现场土壤的实测来决定湿润幅度。

〔参考〕湿润幅度的大致标准

砂土及砂质壤土	0.30m
壤土	0.40m
粘质土壤及粘土	0.50m

在现场土壤实测湿润幅度时,要在有植被的条件下进行,耗水高峰期有植被情况下的湿润幅度相当于没有时的50%。

滴水线的间隔,与条播间隔有关,一般都是一条一线,但当条幅小、湿润幅度大的情

况下，可以把滴水线分布在条播之间，向两边的作物供水。如果每隔一条条播，配置一条滴水线，不但可以降低田间设施成本，而且可以节约用水，应该在分析与生长、产量的关系的基础上，加以考虑。

②滴水点分布较疏的场合

例如，在栽培桑树、果树、或以大间隔栽培西瓜等藤本作物时，光在作物根部配置滴水点，效率就好，滴水点配置间隔较疏，因此湿润面积明显变小。这时，如果湿润圈没有重合的话，湿润面积作为以湿润幅度为直径的圆圈，可以用下式来计算P值。

$$P = \frac{\text{湿润圈面积} \times \text{滴下点数}}{\text{田块面积}} \quad (3.2.6)$$

另外，在果树的场合，有时要在一棵成木周围设置几个滴水点。

5) 多目标用水量

在制定综合利用计划时，必须明确受益地区不同利用目标的必要水量及必要时期。

根据利用目的，为补充水分，有时会增加用水量，因此，在确定用水量时，必须一起研究设施规模及效果。

〔说明〕

以下所示的是在旱作地带，除补充作物生理上所需的水分以外的用水目的及必要用水量。

在调查实例等基础上加以推理，制定出计划的依据。在做具体计划时，要根据调查、试验等，再进行周密分析。

(1) 栽培管理用水

栽培管理用水包括播种、移植期的用水量、耕前用水量等。但单位用水量很少超过水分补充量。

①播种、移植期的用水量 缺水往往是土层靠上边的部分，因此要避免一次性大量洒水，连续无雨时以频繁灌溉为好。

如果旱天有继续的迹象，就有必要在作业后三天左右进行全面灌溉。灌溉土层以10cm左右为宜，1次灌溉水量约为10~15mm左右。因此，单位用水量多为3~5mm/d。

在连续多雨的条件下，灌溉效果是很明显的。举个例子，图-3.2. (2) 显示了以白菜为对象而进行的灌溉效果。

表-3.2. (2) 播种期的灌溉效果

项目 处理	开始发芽	全部发芽	缺株率 (%)
喷洒	7月31日	8月3日	3
不喷洒	8月3日	8月8日	22

注：1973年7月25日播种、喷水量为10mm，北海道农业试验场测试例子。

象这样，在无雨时灌溉效果极大，播种期可以不受气候限制，稳定选择。这样不但能保证收获期及其质量和产量，也能给培植体系的选择幅度以更大的余地。例如，夏季播种的胡萝卜等在连续无雨日很难发芽。因此，在没有灌溉设施的旱田里很难列入农业经营项目中。但随着灌溉设施的引进，其收获也成为可能，有助于农业经营的根本性改善。而且，移植后存活率的差异，不仅在质量、产量的稳定方面很重要，以培植后的均衡栽培管理方面来看，也极具意义。

②耕前用水量 对于粘质土，因为干燥、土壤板结、耕耘、碎土等都很困难。这时，如果适当给点水分，就能确保易耕性。该给多少水分，这是由当时的干燥状况决定的。但作为目标，从至今为止农业机械的运行试验结构来看土壤水分值大约在 PF 值 3 左右。

犁耕土壤深度为 20cm 左右，1 次灌溉水量约为 20mm。因此，如果以 5 天左右为计划作业日数，那么单位用水量就是 4mm/d 左右。

另外，砂丘地等地方，如果太干燥的话，拖拉机作业很困难，因此需要进行灌溉。此时，要把砂丘土湿润至毛管水连续状态，从 PF~土壤水分曲线的特征看，补充不到 20mm（对象土层为 20cm）的水量就可以了。

此外，根、茎类蔬菜为了便于收获，在收获前也要灌水湿润土层。

(2) 防止气象灾害的用水

防止气象灾害的用水，有防止风蚀的用水量，防止霜冻的用水量，防止暴风灾害的用水量等。

气象灾害，往往带来急速、大范围的灾害，因此，就会对灌溉设施综合利用的结果寄予很大的希望。反过来，其需水比较多，单位用水量大多超过水分补充量。因此，在确定用水量时，要对设施费用及综合利用效果进行综合分析。

①防止风蚀的用水量 关东部分地区和北海道东部，从冬季到初春的大风期、遭受风蚀。这不但导致支配旱田生产力的宝贵的耕土被刮跑，而且直接造成种子、幼苗的散落、消失，使产量急剧减少。因此，其防止具有很重要的意义。

为此，在洒水时，要临时大面积地洒水，另外还要注意因在大风中喷洒，灌溉效率会因此而变得极其低下。

1 次灌溉水量 10mm 左右就可以了。但全面积灌溉必须持续 1~2 日。因此，单位用水量就是 5~10mm/d，预计超过普通灌溉的设施容量。从而，在灾害特别严重的地区重点灌水，或实际预计会有风蚀时，在风蚀发生以前预先喷水等，也是方法之一。

②防止霜冻的用水量 本法不管从原理上讲，还是对相当大的霜，都具有防御效果，如果旱田灌溉设施完整的话，即使劳动力少也能实施。但因为需要大量的水，为了实现水的有效利用，就有必要提高喷水技术。

霜冻，是在移动性高压东进，进入其圈内，处于夜晴无风状态的条件发生的。晚上，作物体温下降到什么程度就会受霜害，这是根据作物的生长时期、种类的不同而有差异的。但按一般标准来讲，认为在晚霜期持续 2 小时 -2℃ 的低温就会有危险。但是，在现实上，对于作物体温的长期直接测定还存在着问题，测定值也因测定部位不同而有偏差，因此，作为第二个对策，要好好分析掌握近地面气象，从近地面气温或百叶箱内的气温来抓住喷水开始期就可以了。

例如，安藤提出夜间桑叶的温度和气温之间可确立如下算式。

$$t - t' = \frac{13.10}{(p + 1.12) \cdot (1 + 1.42\sqrt{v})}$$

其中 t 表示气温 ($^{\circ}\text{C}$)， t' 表示桑叶的温度 ($^{\circ}\text{C}$)， p 表示水蒸汽的张力 ($\text{mm} \cdot \text{Hg}$)， v 表示风速 (m/s)。

在菜园测定的情况也大致相同，比周围的气温大约低 $1-2^{\circ}\text{C}$ 。此外，外部气温与百叶箱内的温度也相差 $1-2^{\circ}\text{C}$ ，因此，通过这些判断，就可以感知霜冻的危害。在实践中是否开始喷洒，要在综合判断风速、湿度、气候变化的推移等以后再决定。

一般霜冻发生的气象条件是：风速在 1m/s 以下，相对湿度在 70% 以上，气温多在 -3°C 左右，损失热量大约为 $70-140\text{Cal}/\text{m}^2/\text{h}$ 左右。因此，为使作物体温保持在 0°C ，也可以把必要结冰量考虑在 $1-2\text{mm/h}$ 左右。

另外，在实际喷洒过程中，还必须综合判断喷灌的喷水效率和田间水有效利用率，及叶面截流率等。因此，喷洒强度必须定为 $3-4\text{mm/h}$ 。为此，要把一般的补充灌溉的强度大大减少，从而就有必要关闭喷灌喷嘴的一侧而只运转另一侧，或者进行间断性的喷灌。一般的总体标准为，茶树间断 3 分钟，蔬菜间断 2 分钟。

灌溉的时间，要在作物体温下降到临界温度（表-3.2 (3)）后开始喷水，至少要持续到日出，或者作物附近气温上升到 0°C 以上为止。大约需要 $4-8$ 个小时，为此，单位用水量要有 $12-13\text{mm/d}$ ，属于综合利用中最大的部分。

要全面防止霜冻的话，就必须增大水源水量，增大导水能力，增设田间蓄水池等。因此，要在结合防止效果的基础上来决定设施投资的内容。

表-3.2. (3) 各作物霜冻临界温度

作物	生育期	临界温度 ($^{\circ}\text{C}$)
桑	发芽期	-2
苹果	花蕾期	-4
杏李桃	开花期	-2
	结果期	-1
茶	发芽期	-3
	开花期	-2
草莓类	开花、结果期	-2
葡萄	发芽期	-1
	开花期	0
西红柿	发芽、开花期	-2
黄瓜	发芽、开花期	-1~-2
玉米	发芽期	-3
	开花期	-2
小麦	开花期	-1~-2

③防止海风危害的用水量 海风危害是由不带有降雨的台风引起的，带有海水的大风吹到陆地，风中所带盐份附着在作物上，通过作物体表面或茎叶的小渍伤进入作物体内，引起生理上的脱水现象而引起的。灾害不仅是由台风，而且是由季节性的大风引起的。灾害发生的因素很复杂，桔子、茶叶等，每10公亩的作物附盐量为3kg左右的话，就会遭受伴有生理上的落叶的灾害。

受害面积和位置，并不一定整个地区都是均衡的，因此，要综合判断风向、地形、作物生育状况等，决定重点防御面积。

盐的附着量达到了临界点，在什么时间范围内清洗，这是随当时的风向、附盐状况、有无日照、作物本身条件等的不同而不同的。看一下茶、桔子的实测例子，一般4小时以内清洗的话，其效果很显著。8小时以内也有些效果。但是，如果超过这以上时间的话，附上的盐份就有相当一部分移进作物体内，不要期望达到直接清洗的效果。

另外，有关喷洒多少水为宜的问题，参照茶、桔子等的调查事例，认为大约需4mm左右。如果量太少的话，洗掉附着的盐份，其收效甚微，不如说会使已结晶的盐份再溶解，再次被作物吸收，从而助长灾害程度。因此必须注意单位用水量为12~24mm/d，是个相当大的数字，因此，通过一般补充灌溉设施进行全面防御是不可能的，在实施面积上需要想办法。

(3) 节省管理作业劳动量的用水

为节省管理作业劳动力量的用水，有喷洒液肥用水量，防除病虫害用水量，粪便灌溉用水量等，单位用水量很少超过补充水分。

①喷洒液肥的用水量 在适当时期喷洒液肥，具有增大肥料效果等优点。不仅是液肥，水溶性的肥料，只要有适当的搅拌方法，也能通过灌溉系统喷洒。液肥效果的例子可用表-3.2. (4) 来表示。

表-3.2. (4) 液肥的施用效果

区分	追肥	产量比重%	
		萝卜	白菜
不喷洒	标准施肥	100	100
	增30%	113	136
	增50%	114	159
喷洒	标准施肥	127	146
	增30%	130	157
	增50%	127	185

注) 基肥 N: 12kg/10a, P₂O₅: 20kg/10a

Mg: 0.6kg/10a,

追肥为复合液肥、增30%及50%的氮量。

一般在施肥灌溉中，肥料成分的吸收率很高，因此，年间施用量可以减少10~30%，施肥次数最好是比一般施肥多。

必要用水量一般包括在平常的补充灌溉里，但在喷洒液肥后，结合清洗灌溉设施，也可进行作物清洗。在这种场合，清洗的必要水量约为 2-4mm 左右。

此外，在向土壤施加固体肥料后，再进行灌溉的话，大多能促进肥料效率。也就是说，在 pH2.7 以上干燥的土壤水分状态下，毛管水不能顺畅移动，肥料效果显示得慢。因此，在吸水根密布的土层处灌水使其湿润到 24 小时含水量左右就行。所以，20cm 的对象土层，1 次灌溉水量为 20mm 左右，如果 5 天左右结束整个面积的灌溉的话，其单位用水量为 4mm/d。

②防止病虫害的用水量 出现病虫害的时候，利用灌溉设施和喷洒药液，来代替惯用的动力喷雾机和快速喷雾机等防除法，是一个有效的方法。从省力化和保健卫生的观点来看，具有极好的效果。只是与惯用的药液喷洒相比压力较低，液滴的第二次飘移，对于实际的作物附着具有重要意义。为此，喷灌机械种类，配置条件的适当选择，地形及田间整修内容、农业经营条件的考虑等都是很重要的。

农药喷洒量，因作物大小而不同，一般要比旧方法多。大概喷洒量随作物临界附着量、作物密闭度、从防除效果看的附着量的不同而不同。一般旱田为 400~600l/10a 左右，林园为 400~800l/10a 左右，因此用一天完成防除作业，单位用水量大约为 1mm/d 左右就行了。

另外，在制定喷洒计划时，要遵守与农药管理法有关的法令等，要充分注意人体毒性、鱼毒性、作物及土壤中的残存性等。

③粪便灌溉的用水量 清洗禽畜的水，一般可以和粪便一起保存在粪便池内。再加上水进行喷洒。在喷洒时，在沤粪池进行氧化，固体成分就消失，恶臭也没有了。

1 头牛 1 天的粪便据说有 40kg，稀释 7 倍的话，必要用水量为 240l/d/头。粪便年施用量极限为 5,000kg/10a，因此，每 1 头牛约要 30a 的牧草地面积。假设 1 次稀喷洒为 10mm (1 年 3 次)，用 5~10 天来结束喷洒面积，那么单位用水量就是 1~2mm/d。

粪便灌溉的用水量要比水分补充用水量少，从资源循环和省力等角度看，其效果也很大。如果光用粪便灌溉来制定计划，那么其必要用水量能大大减少。

④淀粉废液灌溉的用水量 淀粉废液灌溉是指通过从淀粉加工厂排出的洗淀粉废液的肥料成分 ($N=400$, $P_2O_3=200$, $K_2O=500\sim600$, 单位 ppm) 的利用和稀释水来进行补充灌溉的方式。

其经营效果，与粪便灌溉的目标相同，如补充有机质肥料，补充土壤水分、防止公害和废液处理的省力化。用水量从原则上说，以水分补充值为基准。

(4) 其他用水量

①小气候调节的用水量 这里所说的小气候调节，是指改善控制作物生长的农田环境，使其更加适于作物生长，从而增加作物生产能力。

为此要进行少量的连日喷水，利用水蒸发时的汽化热。例如 7~8 月晴天时，1 天 2 次，上午、下午喷水 (1 次 2~3mm)，就有降低叶温的效果。为此需要 4~6mm/d 的单位用水量。

另一方面，对于常年生常绿树，进行冬季灌溉，也是广义上的小气候调节。即，冬季与夏季相比，连续无雨天多，相对湿度低，从干燥条件来看，是很严重的。并且，随着气温的下降，根毛的吸水作用也下降，常绿树在生理上常受旱灾。看一看桔子等的研究例子

即可发现，冬天旱天时，即使有充分的土壤水分，叶子还是呈枯萎状。这种时候，如果进行比较频繁的少量灌溉，水就能被叶子表面吸收进入体内，从而产生好的生理影响，防止落叶。

茶树的冬季灌溉效果也同样被确认。另外，1~3月的降水量和降水频率与茶的产量、质量密切相关。由此也可看出，冬季灌溉的技术是何等重要了。

冬季灌溉每隔3~5天进行即可，单位用水量为 1mm/d 就可以了。

在发生干热风时，为防止异常干燥，小气候调节要有所转变，需要大面积的一时性的大量水。在这点上，不管从水源角度，还是从喷洒技术上考虑都需要相应的对策。单位用水量大约要超过 10mm/d 。

②地面温度调节用水量 地面温度调节是一种耕地环境的调节。耕地环境是由气层内环境、水层内环境、土层内环境构成的。地面温度调节，就是通过调节土层内环境的地面温度来提高作物生产力。

地面温度调节的目的，一方面是为了提高冬季地面温度，另一方面是为了降低夏天较高的地面温度。这种地温调节的实施方法，从提高冬季地温方面来说，其原理是在白天高温时喷水使其渗到地中，增大土壤比热，防止夜间温度下降。根据此法，与不喷水相比，地温升高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，此法是作为防止霜冻的事前措施被使用的。

另一方面，如果夏季想降低地温，就在白天高温时喷水使其下降，也是作为上述小气候调节的一环来进行的方法。

在这种地温调节喷水，对作物不造成湿害的喷水量（单位用水量），不要超过1天的蒸发蒸腾量。

③温室栽培用水量近年来在各地推广普及设施园艺的结果，在水利用形态上也发生了变化。设施园艺，因为没有有效雨量，对水需求很强烈，根据作物及其栽培条件，一天都不可没有水。

露地的轮灌很难坚持，而且，即使在以一天为单位的时候，其使用时间带也有避开高温的白天，而集中在早上、晚上的强烈倾向。单位用水量也有需要 10mm/d 以上的时候，特别是在设施园艺统一规划经营区等地，也有需要增设田间蓄水池的情况，要与断水时的对策相结合进行考虑。

此外，在作物改种期为改良土壤，有时候要进行大量的漫灌（ $200\sim 300\text{mm}$ ）这种场合，必须预计到计划用水量中。

④其他用水量 有时要利用除草剂、土壤改良剂、摘果剂的喷洒、加速融雪等用水设施。在这些用水计划中，有必要充分分析当时的实际情况，用水量从原则上讲以水分补充值为基准。

3.2.3 计划用水量的确定

计划用水量，要在用水计划诸要素中正确估计从水源输水到田间及在田间喷洒等各种损失水量后，再决定。

〔说明〕

(1) 损失水量

损失水量是通过预计田间水的有效利用率和输水的损失率后的灌溉效率来求得。这些是以表-3.2.(5)的数据为参考来决定的。

表-2.3. (5) 灌溉效率等

区分	田间水的有效利用率	输水损失率	灌溉效率
喷灌	80~90%	5~10%	70~85%
地面灌溉	70%	5~10%	60~65%

注) 灌溉效率是田间水的有效利用率减去输水损失率的值

喷灌的田间水的有效利用率, 要在分析地形、气象条件 (特别是风) 及作物郁闭度后再决定。

(2) 灌溉水量

灌溉水量有净灌溉水量及考虑损失的毛灌溉水量等。这都是决定设施容量的依据, 用下式来计算。

① 净灌溉水量 = (最大计划日耗水量) × (间断日数)

② 田间灌溉水量 = (净灌溉水量) / 田间水的有效利用

③ 毛灌溉水量 = (净灌溉水量) / (灌溉效率)

田间灌溉水量, 是通过喷洒皿喷洒的水量, 用在田间喷洒设施计划中。

毛灌溉水量, 预计了在田间灌溉水量中的输水损失水量, 用在确定灌溉渠的容量等。

(3) 用水量

整个地区的必要用水量如下求得。

① 净用水量 = (计划日耗水量) × (灌溉面积)

作为水源, 设计蓄水池时, 或想知道季节变化时, 要考虑有效雨量 (参照 3.2.4.

(2) 有效雨量一项) 进行日计算, 这种场合, 即使有效雨量会一直持续到下一个灌溉预定日, 也不要变更日子, 要确定间断日数修正灌溉水量。

② 毛用水量 = 净用水量 / 灌溉效率

另外, 在需要进行综合利用的场合, 采用包括计划耗水量的值。

3.2.4 水源规划

1) 设计典型年

设计典型年, 采用 10 年 1 遇的旱年为原则。此时, 要以长期的气象、水文记录为基础来判断。

〔说明〕

在制定用水计划时, 要设定计划基准年, 进行当年用水可行性的分析, 制定与水源相称的计划 (包括水源增强)。设计典型年, 采用 10 年 1 遇的旱年为原则。

(1) 河流自流取水的场合

以概率为 1 / 10 左右的枯水年为设计典型年。

(2) 蓄水池的场合

从原则上讲, 蓄水池容量采用概率 1 / 10 左右的年份, 要与灌溉期间的连续无雨日数有效雨量相结合进行分析。

(3) 其他水源的场合

统计处理灌溉期间的连续无雨日数及有效雨量，以概率为 $1/10$ 的年份为计划基准年。

决定设计典型年的依据是气象、水文记录等，原则上要在 20 年以上。

2) 有效雨量

旱田降雨中，对作物生长有效的，叫做有效雨量。有效雨量，要在分析降雨量、降雨强度、降雨分布、地形、土壤渗水性、栽培作物的种类以后求得。

〔说明〕

旱田降雨中未达 5mm 的少量雨量不算有效雨量。降雨的有效率考虑地形、土壤渗水性、栽培作物种类、降雨强度、降雨分布等，约为 80% 左右。有效雨量的极限为总速效水分减去降雨前土壤有效水分量的值，最大值为总速效水分量，但在刚灌溉完后就下雨的时候，有效雨量几乎为零。

旱田灌溉是在轮灌区间断进行的。因此，有效雨量、灌溉水量的计算，原则上采取日计算。

有效雨量的计算方法如下：

① 降雨量 (R) 乘 0.80

$0.80 \times R$ ($R < 5\text{mm}$ 时, $R = 0$)

② 有效雨量的极限值 (R_0) 由总速效水分量 (TRAM) 减去降雨前旱田所持水分量 (有效水分量) 来计算。

$R_0 = (\text{TRAM} - \text{降雨前有效水分量})$

③ 有效雨量的确定

a) $R_0 > 0.80 \cdot R$ 的时

有效雨量 = $0.80 \cdot R$

b) $R_0 < 0.80 \cdot R$ 的时

有效雨量 = R_0

3) 水源规划

水源规划，在分析有关河流水、地下水、蓄水池等的技术可行性的基础上，与灌溉方式及用水量的多少相适应，决定能最经济地取水的水源方式。

〔说明〕

目前，使用方便的水源几乎都用水田上了。从水利权的关系看，要想利用新的河流水是很困难的。但是，通过分析水田用水量或综合水源利用规划等，应该积极谋求河流水的有效利用。但在地形、地质上需要旱田灌溉的高地、丘陵地等河流水量少地方，一般利用河流水很困难，或者用水量少的时候，为喷灌需要加压的时候等，直接抽取地下水有时也很经济。

深层地下水，根据不同地方，其水量具有稳定性，作为小规模旱田灌溉用水还是可以的。但其水源水量有限，因此要充分进行钻探、物探、放射能勘探、提水试验等调查，必须事先了解蕴藏量的实际情况。蓄水池在必要时能提供必要的量，因此，在进行旱田灌溉这样的间断性灌溉时，是一种理想的水源。

不管采用哪种水源设施，就旱田灌溉水源的可能利用水量，要考虑到必要水量的季节变化，在了解总量的同时，还要把握季节变化。

有关可能利用水量，在长期实测资料的基础上，经过统计处理，掌握水源的可靠程度，以此为计划基础。这时，如果技术上可行，对各种水源进行比较分析也是很重要的。另外，在枯水期从小河流最大限度地取水时，特别要在水源和灌溉地区中间设置田间蓄水池，还要就水泵运转时间的延长、装机容量的下降等水源设施进行分析。这种场合，可以把水泵运转时间设定为 24 小时运转。

另外，在制定水源计划时，对引起的作物体系和增殖率进行分析，尽力做到有效用水也是很重要的。

另一方面，根据水利设施的结构和水管理组织的内容，还必须预计用水系统中进行水管理的管理损失，因此要与水源水量的富裕情况相结合，慎重考虑。

3.3 配套工程的总体规划

旱地灌溉自田间至水源的配套工程包括田间灌溉系统、配水系统和输水系统。

以上三个组成部分相互之间密切相关，因此在制定规划时必须从经济性、功能性、安全性等几个方面考虑，取得工程总体上的协调。

〔说明〕

(1) 系统的构成

①田间灌溉系统 田间灌溉系统系指控制若干个喷洒单元的阀门（分水阀门等）及其下游设施的总称。

在后述 3.4 田间灌溉系统规划一节中，以喷灌为主，同时也记述了固定管道灌溉和地面灌溉等规划时的基本事项。

②配水系统 配水系统系指自田间调节池至田间的一系列设施的总称（参见 3.5 配水系统规划一项）。

③输水系统 输水系统系指自水源至配水系统的一系列设施的总称（参见 3.6 输水系统规划）。

④田间调节池下游一侧水管理系统的分类，根据面积和规模可分为以下三种。

a) 喷洒单元：喷洒单元主要是指喷灌系统最末级的一个供水控制阀门（给水栓）所控制的田间范围。喷洒单元是进行灌水作业的最小单位，其面积大小应适应农业经营状况、种植结构以及水管理作业状况的要求。

b) 输灌区：规划的全部旱田被划分为几个固定的小区，并且预先规定每个小区内的灌水顺序，灌水时按照顺序在各小区内依次进行。这样的小区被称为输灌区。

c) 灌溉田块：系指配水系统的一个对象所对应的田间范围，由 1 至数个输灌区组成。即如果将几个输灌区编成一个配水单元，那么调整这个单元内用水的变化是适宜的。灌溉单元的系统流量原则上可按耗水量的平均值给出。灌溉单元居于水管理的第二个层次上，其面积越大，越有利于降低骨干工程设施费用，但从水管理考虑以不涉及一个以上的村落为好。

图-3.3. (1) 所示为上述一系列系统组成的示例。

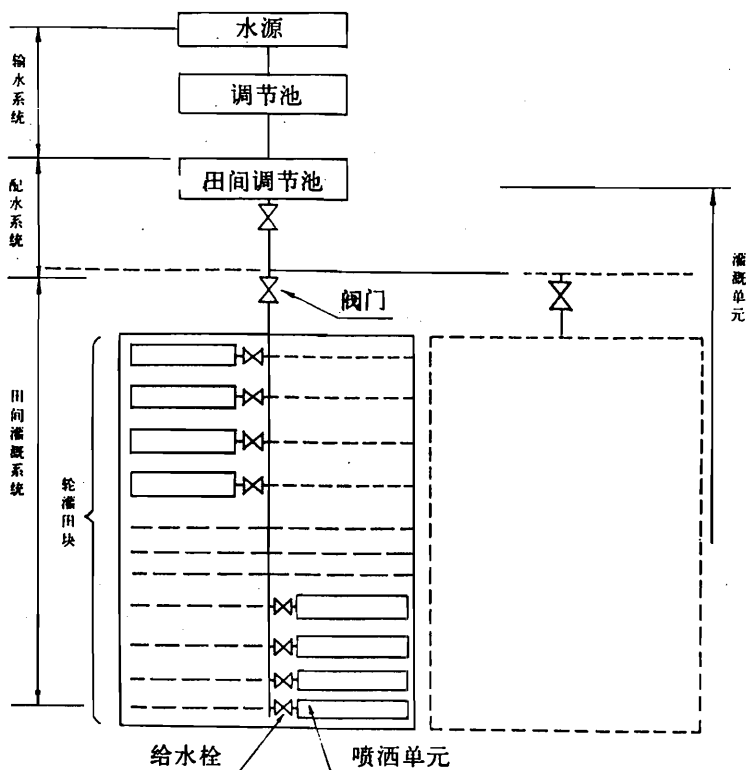


图-3.3. (1) 系统组成的示例

(2) 一般事项

构成旱地灌溉整个系统的各组成部分相互关联，某一部分的变更均将影响整个系统。

例如，水源的位置因高程决定了可否利用自然落差或是否需要加压。再如，田间设施中的喷头，因其工作压力特性将改变是否需要加压水泵以及选择管材和规格的条件。管径系列如何也会影响水泵配套动力的大小。如此，各组成部分之间是相互关联的。

此外，为适应田间用水在时间上的变动，除可从水源及时输送所需水量的地区外，其他地区均有必要增设田间调节池或调蓄水池作为配套工程的组成部分。

如上所述，各组成部分应具备的功能因地区的实际条件和规划设计条件而异。每个组成部分又由若干更小的部分构成。从而，配套工程的构成必须保证其多种多样的组成部分之间的相互关联和协调。

3.4 田间灌溉系统规划

3.4.1 喷灌

1) 基本原则

喷灌工程规划应充分适应农业经营条件，特别是在进行综合利用的场合，应可以满足农业经营方面多种形式的用水要求，这是基本原则。

〔说明〕

喷灌工程规划必须充分适应农业经营条件。旱地灌溉多种多样而且复杂的供水要求，与农民的农业活动直接相关，如果忘记适应现实的农业经营条件，按单一的形式规划，有时完成后的工程的使用会受到显著的制约。特别是综合利用带来了水利利用的多样性和设施利用的频繁，由此往往造成使用水量的大幅度变动，因此有必要使规划能适用这种情况。为此，特别应注意考虑综合利用和补充土壤水分所确定的系统流量之间的关系。

此外，规划时还应考虑地形、气象、土壤等自然条件和田间配套工程状况、工程费、维护管理等经济因素。

2) 喷洒单元的规模

喷洒单元的规模根据农业经营条件、工程设施费、维护管理费等综合考虑确定。

〔说明〕

喷洒单元的大小最重要的是应适应地形、作物种类及规模化程度、田间工程配备程度、土地所属情况等实际的农业经营条件。如不能满足这些条件，工程设施的利用将显著地受到限制。例如，利用喷灌防治病虫害时，如未加入集体防治病虫害作业的农户的耕地也分布在喷洒单元内，就不能希望得到充分的防治效果；另外，如防治方法不同的树种、品种、作物种类等混种在一起，其防治方法将不得不变得异常复杂。在我国这样农业经营规模很小的条件下，增大喷洒单元面积，上述情况发生的可能性也相应增加，故有必要调查规划区的集体作业和协作组织的情况以及耕地和作物的分散程序，并在此基础上确定喷洒单元的大小。

喷洒单元的面积增大时，每个阀门的控制面积也增加，单位面积的工程费随之下降。另一方面，对于综合利用的情况，因年使用次数增加，故不仅是考虑工程费，还有必要从便于操作管理和减少维护管理费方面综合考虑。

〔参考〕

我国农户经营规模小，相反耕地的分散度大。此外，引种作物的种类多，因此实际可采用的喷洒单元面积往往不得不缩小。

另一方面，利用喷灌防治病虫害，存在因药液到达管道末端时间差异所引起的喷洒不均和损失药液的问题。

根据以上因素推算出的喷洒单元适宜面积为 30~70 亩。即使是综合利用，特别是以防治病虫害为目的时，从土地所有关系、药液到达时间差异方面考虑，这样的规模应作为一个设计目标。

喷洒单元自动转换水流方向时，应以作物、树种的统一为前提，进一步希望灌溉单元内相当比重的面积是由有关农户集体经营或协作经营。如没有形成规模种植，或没有确立完全的集体经营组织，而希望任意选择喷洒单元时最好用电磁阀遥控。

3) 田间器材的选择

喷灌设备、阀门等田间器材直接承担田间的散水工作、应根据作物种类、农业种植条件、田间基本建设状况、地形、气象条件等综合考虑确定，以充分发挥旱地灌溉的效益。

〔说明〕

第 1 章总论中已论述了水的利用有多种形式，因此重要的是首先正确掌握规划区水利利用的主要目的，然后选择田间器材。

但是，田间器材倾向于多样化，而且其内容也日新月异。因此，根据使用目的和使用条件选择适宜的形式和结构是非常重要的事情，选型上的错误势必造成系统的功能无法发

挥。此外，还应注意设备的精度，应选择能保证符合当前农业种植要求精度的设备，避免选择精度偏低或过高的设备。

作为设备可以说是工作在非常恶劣的条件下，故选择便于管理且经久耐用的设备是极重要的。

1) 喷头的分类和选择

(1) 喷头的分类

①根据回转机构分类 喷头大体上分为回转式和非回转式。回转式喷头一般射程远，且喷洒均匀度高，按回转机构可分为以下四种。

a.摇臂式：喷嘴喷射出的水流驱动摇臂运动，利用弹簧或平衡重块反作用力产生的冲击使喷头回转。该型式的喷头应用最普遍。

b.水车式：利用喷头内部的水流驱动水车，再通过齿轮传动到喷头支轴上，使喷头回转。

c.叶轮式：利用喷嘴喷射出的水流旋转叶轮，再通过叶轮轴上的齿轮与喷头支架上的齿轮之间的啮合作用使喷头回转。

d.喷水反射式：利用自喷嘴喷射出的水流的反作用力直接驱动喷头回转。因其回转速度快，与上述三种型式相比射程短，仅在树下喷灌、小面积喷灌偶有应用。

非回转式喷头一般都是小型的，因在低压下工作射程短。按喷嘴结构的不同喷洒图形有圆形、方形、蝶形等。可通过改变压力控制水滴大小，有时也用于通过喷雾调节空气湿度。这种喷头主要用于种植经济作物的大棚、苗圃等，与回转式相比，一般喷灌强度大，喷洒均匀度差。

②根据射程分类 回转式喷头按回转角度分为全圆和扇形两种。全圆方式以固定速度单向旋转全圆喷洒，扇形方式的回转角度可自由调节，呈扇状喷洒。

扇形方式可有效地防止水舌喷洒到地块以外，故被用于沿道路的地块、相邻地块的水肥管理不同时，以及旱作梯田上。

但是，扇形喷洒一般喷灌强度大，如地块狭小且形状复杂时，应注意水土流失的问题。

(2) 喷头的设计参数

目前我国广泛应用的回转式喷头其主要的设计参数如下所述。

①喷头仰角 可根据水利用的目的、作物种类、地形条件等大致确定。同一种作物当其高度变化时，采用改变竖管高度的方法比改变仰角效果更好，而且可正确调节水量分布。

可变仰角喷头在喷射口附近断面变化不连续，易产生旋涡，与固定仰角喷头相比，水量分布存在不均匀现象，对此应予以注意。

但是，对于大幅度改变种植作物的轮作地块，或作物在生长期有时采用树上喷灌、有时采用树下喷灌的地块等，有时使用可变仰角喷头也可收到好的效果。

对用于补充田间水分的喷灌，单喷头的喷洒面积应尽可能大，故希望采用较大仰角的喷头，但在树下喷灌时则应采用低仰角。综合利用时按利用目的采用不同的仰角，但通常采用较低的仰角。如利用喷灌防治病虫害时，为使更多的水滴能喷洒到作物的叶上，使用20度以下仰角较好，利用喷灌防止干热风、海潮风危害、喷洒粪尿或淀粉厂污水等时，

为减少风的影响多采用中等仰角的喷头。

喷灌综合利用时,如采用很小仰角的喷头,则必须加大喷头的密度,在工程费用方面带来不利,故应根据现场的各种条件慎重考虑。

根据上述观点,喷头仰角如表-3.4.(1)所示分类。

表-3.4.(1) 喷头仰角和使用目的

仰角分类	适用例子
低仰角 10° 以下 中间仰角 (I) 11~16° (II) 17~22° 普通仰角 23° 以上	树下灌溉 茶、葡萄等喷洒农药 柑橘、桃等喷洒农药、防止干热风, 喷洒粪尿 树上灌溉、补充灌溉

注) 仰角均指主喷嘴而言

②喷嘴口径 喷嘴的每一口径都对应一个适宜的压力, 它们决定着喷头流量、射程、喷灌强度等, 因此事先将喷嘴口径按用途分类是有益的。

表-3.4.(2) 按上述观点将喷头分为小、中、大三种, 中型又细分为两种, 例举了与其对应的用途。

表-3.4.(2) 按使用目的对主喷嘴口径分类

分类	主喷嘴口径 (mm)	压力 (kg/cm ²)	喷嘴流量 (l/min)	射程 (m)	主要使用目的
S	~2.9 3.0~3.9	1.0~2.0 1.0~2.5	1.5~7.0 6.5~18.0	~26.0 26.0~32.0	防霜冻专用或娇嫩作物的补充灌溉
M	M I 4.0~5.9 5.0~5.9	2.0~2.8 3.0~3.5	18.0~35.0 40.0~63.0	32.0~34.0 34.0~35.0	补充灌溉和一般的综合利用
	M II 6.0~7.4 7.5~9.9	3.0~4.0 3.9~5.0	70.0~100.0 90.0~190.0	35.0~38.0	同上(特别适用于已进行田间基本建设, 地形、气象、集约化生产较好的场合)
L	10.0~19.9 20.0~	4.0~6.0 5.0~10.0	120~650 780~2, 500	40.0~	种植粗放作物的补充灌溉和喷洒粪尿

注) 射程为无风、地形平坦条件下的粗略数值(压力 3.0kg/cm², 仰角 30°)

③喷头回转时间 对于一般的补充灌溉, 因喷洒水量多, 不会因回转时间的差异而发生喷洒不均的问题, 故不必对回转时间规定基本要求。用于补充灌溉的喷头其回转时间大致在 1~5 分钟的范围内, 越大型的喷头回转时间越长。

但是, 综合利用, 特别是喷洒农药时, 因喷洒时间极短, 回转时间上的差异有可能造成喷洒不均, 故取 20~60 秒比较短的时间较为适宜。

〔参考〕使用目的和喷头选择

(1) 补充土壤水分 通常的旱地灌溉要求射程大且喷洒均匀的喷头。从这一要求考虑多以回转式喷头为主体, 而且多采用摇臂式喷头。对于平坦地形条件种植粗放的作物, 希望更多提高射程时使用水车

式喷头或叶轮式喷头。

另一方面，对于温室大棚等比较狭小的场合且为了降低工作压力，往往采用非回转式喷头。

(2) 种植管理的合理化 播种、定植期的灌溉以及为了便于整地作业的灌溉等可按补充土壤水分时的原则选择喷头。

(3) 防止气象灾害

(防止干热风) 因为必须在强风下进行喷洒，即使使用回转式喷头，如系远射程大型喷头也存在受风影响的缺点。故采用仰角比通常值小的中等仰角或低仰角的中型喷头可以得到好的结果。但是，如果仰角取得太低，单位面积上喷头位置必然增多，故应考虑防止干热风的频繁程度选择合适的喷头。

(防止霜冻) 为防霜冻应以尽可能细小的水滴连续均匀地喷洒。这种场合的喷洒强度以小于补充水分时的喷洒强度为好，同时因喷洒条件近似于无风，无需考虑风的影响。

因此，如果希望充分利用补充灌溉设施，首先应选用可以降低喷洒强度的喷头并进行调整。回转式喷头如有两个喷嘴，封堵其中一个喷嘴是有效的解决方法。此外，为细化水滴，在不破坏喷洒均匀度的范围内提高压力也是方法之一。

以防霜冻为主要目的时也采用以小型回转式喷头（多数情况是单喷嘴）提高雾化的方法。有时也采用回转式喷头进行雾喷的方法。

(防止海潮风危害) 需在强风下、当作物接受了已构成危害的盐分后进行喷洒并持续一定时间。从这一点看，其条件类似于防止干热风，喷头的选择也可参照进行。

(4) 节省管理操作的劳力

(喷液肥) 对喷头的选择没有特殊的限制。如能保证顺利进行补充灌溉所具有的喷洒性能即可满足喷施液肥的要求。

(喷洒农药、摘果剂) 在回转式喷头中以摇臂式为主。喷洒农药除要求喷洒均匀外，还要求使药液直接喷洒并附着到作物上。因此，喷头仰角应根据作物种类选定。喷洒农药以中等仰角的喷头为主。

一般而言，树叶部分高度变化不大且比较密的情况下，应使用中等仰角中的低仰角喷头；对于高大的果树，因被喷洒药液的树叶部分具有一定的空间，稍稍提高喷头仰角往往可以得到好的效果。

此外，选择喷头仰角应考虑的因素还有风的影响。对于喷洒农药，如在强风地区风吹散水舌时，选用低仰角喷头比较合适。

喷嘴的口径如表-3.4. (2) 所示分为 8 个等级，但用于喷洒农药为主的综合利用的喷头主要选用 M 等级。这里喷嘴口径必须考虑地形、气象、田间配套状况、作物集约化生产的条件等正确选择。一般在地形平坦、风少、集约化程度高的条件下可以采用 M II 等级的喷嘴；在坡度大、风大的地区，如作物种类杂、田间工程不配套时应以 M I 等级喷嘴为主选择。

对于 M I 等级最广泛使用的标准型喷嘴口径范围是 4.0~4.9mm。其中用于喷洒农药为主时，希望喷洒强度尽可能小，因此多选择 4.0~4.4mm 范围内的喷嘴。相对于这样的主喷嘴合理搭配的副喷嘴在 2.4~3.2mm 的范围内选择。

M II 等级的喷嘴最广泛使用的标准型口径为 6.0~7.4mm，其中 6.0mm 左右的喷嘴因射程短，以选择 6.4mm 左右的喷嘴为好。这时配套的副喷嘴应在 4.4~4.8mm 的范围内选择。

(喷洒粪尿、淀粉液) 因对象多是种植比较粗放的作物（如牧草），往往采用大型的回转式喷头。

喷洒粪尿时，为防止异物堵塞，喷嘴有时不用金属，而是采用特殊加工的橡胶制喷嘴。

2) 其他设备的分类和选择

为了根据灌溉计划给定的条件控制流量，正确进行配水操作，应设置适合使用条件的

调节装置。

用于田间灌溉系统的调节装置有阀门、给水栓、混合器、量水装置等。

(1) 阀门类 阀门种类繁多多样,以适应各种使用目的,如按使用目的大致分类,有用于输水系统流量自动控制的自动阀门,有为保护管道安全而设置的管道安全阀,也有用于喷洒农药、肥料的药液均匀喷洒阀等。

〔参考〕阀门有如下种类

(1) 自动化用控制阀门

① 电动阀 由电动机操作启闭,属于比较大型的自动阀门。这种阀门可用于 ON-OFF 调节或比例调节。

② 电磁阀 用于田间喷洒的控制阀门,利用电磁铁操作启闭

驱动功率小,用于农业时往往要考虑水质和水击的问题。调节为 ON-OFF 方式。

③ 顺序阀 系指具有一个入口和数个(4~10)出口的阀门。

通过电脉冲信号实现各出口的顺序开启。调节为 ON-OFF 方式。

④ 气动阀门 以压缩空气为动力操作阀门的启闭。

因使用压缩空气可能得到很大的驱动力,同时结构也简单。可实现 ON-OFF 调节和比例调节。

⑤ 混合电磁阀 系指以施肥和喷洒农药为目的的管道上,按一定比例自动混合药液或液肥的电磁阀。

⑥ 残留液体回收阀 指施肥或喷洒农药时,用于回收管内残留药液的阀门,它通过检测喷洒控制电磁阀后的压力向回收管排放药液。

⑦ 防冻结阀门 为防止竖管内发生冻结,当其管内压力低下时自动将管内残液排出管外。

⑧ 定量控制阀 将量水表和节制阀连在一起,到达给定水量时自动关闭阀门。流量给定可通过拨盘任意设置。

(2) 管道安全保护装置

① 二次压力调节阀 即减压阀,如使用位置的压力过高或压力大幅度变化时,自动调节阀门的二次压力使其保持在希望的范围內。

用于保护管道和设备免受过高压力的危害,或与节流孔板配套使用调节流量等。用于竖管的产品常称为定压阀。

② 一次压力调节阀 由于阀门快速关闭造成压力急剧上升,或因使用流量变动管内压力波动时,自动将压力升高所对应的流量排出管外,保持调节阀后的压力不超过给定值。此外,安装在管路中时,也用于保持一次压力不低于给定值之用。

一般而言,这种阀门较安全阀更适用于连续动作。

③ 空气阀 自动排出管内空气或吸入空气,用于防止空气混入造成危害或产生负压。

(3) 药液均匀喷洒用阀

① 定压启闭阀 超过给定压力时开启,降至给定压力以下时关闭的阀门。安装于各竖管上,用于定时喷洒,防止因喷头喷洒开始时间上的差异或受各喷头安装高程影响出现的停喷时间上的差异所造成的喷洒不均匀。

这种阀门也被称为同时启闭阀、压感阀门自动关闭阀等。

② 定流量阀 系指不受压力变动的影响,能始终自动将流量调节为给定值的阀门,用于管道时,可防止管道流量失去控制,保证分水点正确分配流量,安装于竖管上时,可使各喷头的流量均等。

③定流量定压启闭阀 是同时兼有定流量阀和定压启闭阀功能的阀门。

④液启气闭阀 为将喷洒单元的管内残留药液完全喷洒出去,防止因管内残留药液造成损失,通过竖管向管内通入压缩空气,使管内药液由喷头喷出。这时采用液启气闭阀以防止压缩空气的损失。

(4) 其他

①水位调节阀 为维持蓄水池、调压池、沉淀池等的水位一定,自动进行给水或排水的阀门。

具有水位调节功能的阀门有直动式的浮球圆盘阀和引渠式水栓调节阀(也称为定水位阀)。

②压力检测阀 为测定喷头的工作压力,将特制的压力表插入压力检测阀内进行测定。

(2) 给水栓

给水栓是为将管内水流引至地面的装置,其型式因给水场所、灌水方式、管内水压、使用水量等而异。对于内压较大的管道广泛使用的主要是角阀和截止阀。

(3) 混合器

混合器是将药剂和液肥等注入管道以进行喷灌设备的综合利用,节省用于种植管理的劳力的装置,有流量比例方式、差压方式和定流量阀方式等,应根据作业面积和流量选择适当的方式。

田间灌溉系统中,广泛使用利用文丘里管的原理制造的小型便携式混合器。

为使用喷灌设备喷洒农药和肥料,应进行必要的准备并制定对策,以防止对农作物产生药液危害并达到喷洒的目的。如不能正确稀释药液并均匀地喷洒到整个田间,不仅效果有差异,而且有时会造成药液危害致使作物落叶甚至枯死,或影响产量和品质。选择混合器时还应注意考虑其性能和另部件的材质。

(4) 量水装置

量水装置有差压式、面积式、电磁式、超声波式、旋翼式等,从精度、价格和维护等方面考虑,田间系统中多使用旋翼式。旋翼式量水装置由水流的冲力驱动旋转翼轮,进而指示并记录流量,适用管径为13~900mm,精度高于 $\pm 4\%$ 。

4) 田间设备的配置

田间设备的配置应按水利利用的目的合理确定,使其效果能充分发挥。

喷头的配置间距和喷嘴口径等的确定应保证能以适当的喷灌强度均匀喷洒。量水设施、阀门类的配置应考虑喷洒单元的大小以及操作管理的要求确定。

[说明]

喷灌设备即使选型正确,如配置不好仍不能充分发挥其效果。成套的旱地灌溉系统配置上的缺陷总是在固定的位置上出现,并随时间的推移累计,故这种性质的问题是严重的。设备配置方案必须考虑安全慎重确定。

阀门类的配置密度应考虑喷洒单元的面积、操作性以及维护管理而确定。此外,为了不妨碍农机作业和招至损坏,阀门应尽可能避免在田间设置,对于给水栓则最好有阀门井保护。

(1) 喷头的喷洒特性

①喷洒特性的调查 伴随着喷灌的综合利用技术的发展,各种形式的喷头得到应用,为了解其特性并根据使用目的正确选择,应调查喷头流量、水量分布等喷洒特性。

②喷头的喷洒图形 以一个喷头为中心,按2~4m的间距呈方格状布置雨量筒,进行喷洒并测量筒内的水深作为该位置的喷洒水深,通过绘制等水深线就可以得到喷洒图形

(参照图-3.4. (1))。利用单喷头的喷洒图形，在图上改变纵横配置的间距并进行组合，就可以得到不同喷头和支管间距下的喷洒效率。

喷洒图形受压力的影响很大，故对于喷头的配置必须明确适宜的工作压力。对于某一种喷头，依据喷嘴的大小存在一个适宜的压力范围，在这个压力范围内给出了标准喷洒图形，但如超出这个压力范围，一般就不能得到满意的水量分布。即如果压力过小，水滴变大且稍远离喷头呈圆周形落到地面；压力过大，则细小的水滴会集中在喷头周围，且宜受风的影响。

喷洒图形受风影响大是必然的，在大面积上进行喷灌时，为减少风的影响，支管方向最好布置成与风向垂直。

(2) 田间灌溉效率

喷灌的水量损失有两方面，一是喷洒水滴的飘移、蒸发以及叶面截留，二是因喷洒不均匀而产生的。因喷洒不均匀而造成的水量损失用喷洒效率表示，田间的全部水量损失用田间水的有效利用率来表示。

①喷洒效率 既使喷头和散水支管的配置很理想，希望得到完全均匀的水量分布也几乎是不可能的，水量分布的不均总要发生。因此，如水量少的地方达到要求的水深，水量多的地方就会产生过剩，形成向有效土层下方的无效入渗。即因水量分布的不均匀造成水量的损失，这些关系用喷洒效率如下表示。

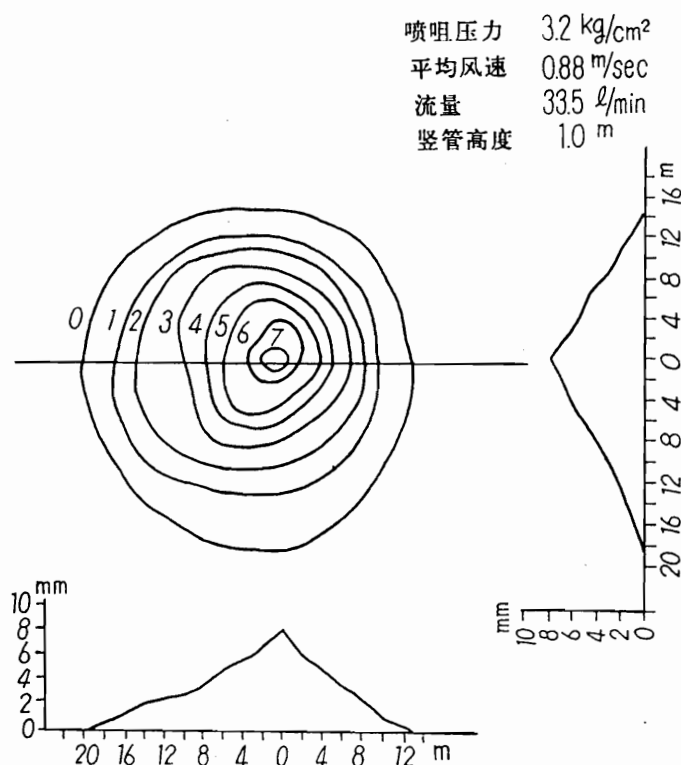


图-3.4. (1) 喷洒图形示例

$$E_p = \frac{h_m}{h_a} \times 100 (\%)$$

式中: h_a ——平均水深 (到达地表面的水量的平均值)

h_m ——最小水深 (从最小的水深测定值开始取相当于总数 25% 的数据并求其平均值)

喷洒效率除作为确定田间水的有效利用系数的基础数据外, 也是选择喷头种类和布置的依据。喷洒效率实际上还受风速、风向、喷头布置、坡地的竖管安装形式、地形等的影响, 但作为设备选型和确定布置方式的要求, 喷洒效率必须达到 60% 以上。

另一方面, 下层土壤一般比较湿润, 喷洒水量由于入渗后受土壤水分扩散作用的影响趋向均匀。此外研究表明, 水量的不均匀性既使在一定程度内存在, 对作物生长也不会造成很大的影响, 而且这种不均匀性如遇大于总速效土壤水分的降雨就会消失。因而, 确定田间水的有效利用系数时喷洒效率最好取 85%。

如大致估计喷洒效率, 也可根据射程推测。即对于补充灌溉喷头间距和支管间距取射程的 0.55~0.6, 喷洒农药时最大取 0.5。但是, 喷灌期内有一定方向的季风或地面存在坡度时应充分考虑这些因素。喷洒农药时最好调查药液直接附着于作物的状况并参考调查情况确定。

评价水量分布均匀程度的方法还有其他建议, 其中被广泛应用的有喷洒均匀度 (C_u), 它和喷洒效率的换算公式也已求出。

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum |h_a - h_d|}{h_a \cdot n}\right) \cdot 100 \quad (3.4.2)$$

式中: h_d ——各点水深的测定值

n ——测定值的个数

$$E_p = 1.59C_u - 59 \quad (3.4.3)$$

[参考]

表-3.4. (3) 风对间距的影响

平均风速 (m / sec)	间距 (相对射程的比例) (%)
0	65
~2.5	60
2.5~5.0	50
5.0~	30

②喷洒水的有效利用率 从喷嘴喷射出的水滴在到达地面前, 因蒸发、飘移、叶面截留等会损失部分水量, 因此必须将这部分水量作为损失水量扣除。除喷洒效率外再考虑这部分损失水量被称为灌洒水的有效利用率 E_a , E_a 如下所示。

$$E_a = E_p - E_r \quad (3.4.4)$$

$$E_r = \frac{hr}{hn} \times 100$$

式中: hr ——因叶面截留、蒸发飘移所产生的损失

hn ——喷头流量

E_r ——表示叶面截留和蒸发飘移的损失率

E_r 的值一般为 5%，如喷洒效率取 85%，则喷洒水的有效利用率为 80%。对于平原且无风日较多的地区，建议取 90% 以上。

(3) 喷灌强度

① 确定了所用喷头的喷咀口径、压力以及布置间距后，可按下式计算喷灌强度。

$$h = \frac{60 \cdot Q}{D_n \cdot D_l} \quad (3.4.5)$$

式中: h ——喷灌强度 (mm / hr)

Q ——喷头流量 (l / min)

D_n ——喷头间距 (m)

D_l ——支管间距 (m)

② 用于补充灌溉的喷头布置间距必须在允许的喷灌强度以内。

允许喷灌强度，坡地按测定的基本入渗速度的 1 / 5 确定，平地可取到 1 / 3。

表-3.4. (4) 给出了普通土壤允许喷灌强度的参考数值。

表-3.4. (4)

土壤	允许喷灌强度	
	平地	坡地
砂性土	30	20
壤土	15	10
粘性土	10	7

确定喷灌强度时重要的是适应土壤类型、坡度、植被状况等土地条件，以防止地面有坡度时因水土流失造成喷洒不均匀。此外，在农业计划上，喷灌强度的确定还应考虑高效地进行喷灌作业，规定的喷洒的结束时间应最合适。

③ 对于喷灌的综合利用，建议按照使用目的如下确定喷灌强度。

喷洒农药：喷灌强度过大，喷药时间就短，这将成为喷洒不均的原因，故最好不超过 10mm / h。

防霜冻：最好采用小的喷灌强度。一般可取 3mm / h 左右，为此采用单喷咀喷洒的喷头，或尝试间歇喷洒。

防海潮风、干热风危害：宜选大的喷灌强度。

施液肥：对喷灌强度没有特殊要求。

④竖管安装要求 分析茶和柑桔的应用实例,可以看出,竖管超过树冠过高,药液不易附着到叶的背面,且易受风的影响。对柑桔等建议竖管稍低于树冠,对于茶则要适当加高。

植物幼小时还要继续生长,建议应设法能调节竖管高度以适应其生长。对特别高大的苹果树等也应研究对其适宜的竖管高度。

此外,对于坡度大于10度的耕地,有必要调节竖管在垂直方向上的角度。这时竖管的安装角度应与垂直方向呈1/2坡度的夹角,且向坡下方倾斜。

5) 田间管道布置规划

田间喷灌设备工作质量的好坏在很大程度上取决于管道布置是否适当,因此在制定管道布置方案时,应根据使用目的充分满足要求的条件。对于管道的方案则应减少喷洒单元内的压力差异,正确选择管材和管径系列。

〔说明〕

田间喷灌设备中的喷头的选型,从设备性能看,因使用目的和使用条件往往受到限制。

对此,如设计人员在制定管道布置方案时,很好地研究①田间管道的移动性,②布置形式,③管材,④管径系列和组合等,改善功能,降低工程费和维护管理费的余地是很大的。

特别是管道布置形式和管径系列及组合直接影响管内压力的变动、各喷头喷洒时间差以及残留药液的多少,关系着田间喷灌设备功能特性,同时也决定了包括工程费和维护管理费在内的成本,因此必须慎重研究。

1) 管道布置方式的确定

(1) 田间管道的铺设方式 按移动性可如下分类。

①人工移动式 在具有可自由联接的管道上设置喷头,喷洒完成后脱开管道,并按轮灌计划人工移动到下一个喷洒位置。大型喷头设置在喷灌车上,自给水栓用软管供水。喷洒完成后人工将喷灌车和软管移到下一个喷洒点。

②地埋固定式 喷灌管道全部埋于地下。

③地面固定式 在某一作物的灌溉期开始时将耐压软管、聚乙烯管、聚氯乙烯管等组成的廉价喷灌成套设备沿地表铺设,灌溉期结束后再撤去。

④自走式 喷灌机以动力驱动自走或将其牵引至下一个喷洒位置。

喷灌的田间系统应根据喷灌设备的种类和移动方式的组合进行确定,但在考虑节省喷灌作业的劳力和与田间地块规划关系的同时,选择适应所种植作物和种植条件等的系统是非常重要的。表-3.4. (5)给出了选择原则。

过去的喷灌采用移动式喷灌系统顺序灌溉一定面积的作法,虽是最经济的系统,但系统要花费劳力。

从节省劳力的角度考虑,最好固定喷洒管路,但这需要相当的费用,除高效益作物和坡地上的果园外存在经济方面的问题。此外,田间设置固定设施往往妨碍农机作业。

表-3.4. (5) 田间管道设置方式

管道设置方式	低压喷头	中压喷头	高压喷头	特点
人工移动式	○部分蔬菜类(多孔管)	○大田、露地菜地 ○应至少形成 10~20a 的作物集中种植地块	○大田、人工草场、果园 ○应至少形成 50a 以上的集中种植地块	○每 10a 的设备费低, 但需人工移动
地埋固定式	○高档蔬菜的集约化生产	○果园 ○喷洒农药、施肥	○施肥	○最节省劳力 ○工程费高, 但对田间作业无妨碍。可避免因冻胀引起管道破裂等故障。
地面固定式	○采取轮作的高档蔬菜 ○坡度大的果园(多孔管)	○采取轮作、灌水次数多且已形成 10~20a 以上集中种植的作物 ○引进大型农机作业的地块 ○用于喷洒农药和施肥	○灌水次数多且集中种植规模超过 1ha 的情况 ○施肥	○工程费中节省劳力效果所占比例大 ○易因冻胀引起管道破坏
自走式		○地形平坦且已进行田间基本建设的场合 ○人工草场	○人工草场 ○大规模集中种植业已进行田间基本建设	○节省劳力且经济

使用高压喷头灌溉同样面积所需移动设备的次数和喷头数可以减少, 从而可节省劳力。但是, 使用效率高在一定程度上是以作物的规模种植为条件的, 故应用中必须特别注意与规模种植计划的关系。

以综合利用为目的的田间设备其使用频度比仅以补充灌溉为目的的设备的使用频度高。此外, 以防止霜冻等气象性自然灾害为目的时, 需要同时喷洒, 特别是用于喷洒农药时, 每一个作业单元仅喷洒数分钟, 从作业效率的角度看移动式是不适应的。因上述理由, 综合利用的场合田间管道一般采用固定式。

(2) 管道布置形式 管道布置的基本形式有梳齿形、鱼骨形以及叉形三种。

无论采用哪种形式, 都必须考虑田间喷洒单元的大小、形状后确定。

图-3.4. (2) 给出了管道的各种布置形式

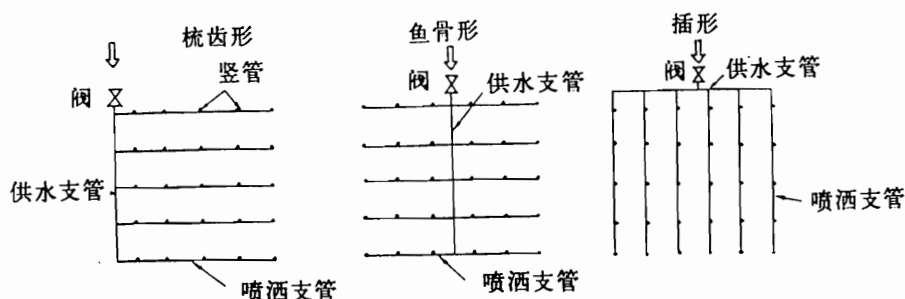


图 3.4. (2) 布管形式

对于鱼骨形和叉形的管道布置, 田间喷洒单元的面积可扩大到 70a, 并可适用于正方

形或长方形的地块。这些管道布置形式用于长方形地块时，如能合理确定喷洒支管的位置和方向，有可能减小喷洒支管的口径，从而降低每 10a 的工程费。

同时，因可以在管内维持较大的流速，各喷头喷洒时间上的差异减小。因此，喷洒农药时可减少药液的损失。

相对以上情况，梳齿形的田间喷洒单元面积以 30a 为限，且仅适用于地块形状大体接近正方形的地块。

对于同样面积的喷洒单元，上述 3 种管道布置形式的工程费比较情况如下。

鱼骨形 $\approx$ 叉形 $<$ 梳齿形

根据上述理由，只要从田间条件和种植条件方面对主管的设置位置没有限制，就应避免使用梳齿形而采用鱼骨形或叉形。

〔参考〕自走式喷灌机的特点和适用性

国外在平原地区应用高劳动生产力的自走式喷灌机喷灌大面积农田的实例不断增加。这类机型的技术开发历史较短，今后还会进一步改进，目前代表性的机型有以下两种。

1) 绞盘式喷灌机

(1) 构造

主机：卷绕软管的大型绞盘安装在具有两个轮子的台架上，将软管全部卷回后，喷头包括喷头车被吊起，可以和绞盘车一起用拖拉机牵引。卷管利用水流的部分能量或马达作为动力，其速度可以调节。

喷头：喷头固定在喷头车上并和软管相联。

软管：一般采用直径 25~110mm，长度 100~300m 的柔性软管。

(2) 操作 首先用拖拉机将机组牵引至地块的一端，再将喷头车托至地块的另一端，软管随之引出。用软管将机组和给水栓或水泵连接起来即可开始喷洒。灌水定额和喷灌强度由喷嘴口径和卷管速度调节。软管全部卷起后喷洒自动停止。

(3) 特点 绞盘式喷灌机的移位和喷洒操作只需 1 人，灌溉作业极省人力。为了按照灌溉计划补充土壤水分并减少运行费用，应力求喷头流量、软管口径、加压设施的能力之间的均衡。喷头车的行走按地块形状可以在某种程度上形成曲线。喷洒均匀性在行走方向较好，而在垂直方向上略有降低，但与普通回转式喷头相比仍高得多，因此行走的间隔最好略小于喷洒宽度。如增加一些附属设备也可用于喷洒粪尿。

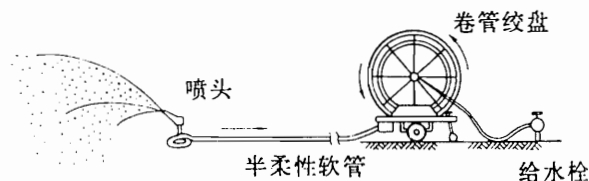


图-3.4. (3) 绞盘式喷灌机

(4) 适用性 给水栓密度很小，田间不必设置任何设施。适用于起伏小，面积大于 30~50a 的地块。

2) 中心支轴式喷灌机

(1) 构造 一条管道上安装很多摇臂式喷头, 并由安装了车轮的塔架支撑。各塔架靠电力、柴油机或水流的能量围绕中心的支轴(中心支轴)慢速旋转。水源为河水或打在地块中部的深井。

机组性能参数如下例所示。

控制面积	5~100ha
流 量	200~5, 000l/min
旋转速度	2~250h/转
喷头压力	2.5~6.5kg/cm ²

(2) 操作及特点 支撑管道的移动塔架由自动控制机构控制, 始终呈一条直线状回转, 喷洒水量、喷洒结束等操作也几乎都是自动控制, 因此仅处理故障和监视运行需要人工。

喷洒水量可由改变回转速度进行调节, 此外还可以精确地喷洒肥料和农药。喷洒范围呈圆形, 有时利用地块的四角建设农场设施、仓库等。为能喷灌四角有时也安装角喷装置, 目前的机组因地面起伏而发生故障的情况已减少。

(3) 适用性 这种机型是美国在 30 年前开发的, 当时因条件所限, 仅在考虑灌溉效率和用工时难以采用地面灌溉和移管式喷灌的地区应用。此后经不断地改进, 其应用扩大到欧洲和中东等地区。我国也在考虑将这种比前述绞盘式喷灌机更大型且节省人工的喷灌系统应用于牧草等种植地区。

2) 喷灌及管道的设计和管材

(1) 喷灌设计 喷灌设计根据农业经营条件、作物种类、地形、土壤等条件按以下顺序进行。

①根据作物种类、使用目的、地形等确定喷头类型。

②确定支管间距和喷头间距, 保证喷洒效率达到 60% 以上。

③确定灌水定额, 灌水定额 = 净灌水定额 / 喷洒水的有效利用率

④根据选定的喷头和支管布置计算喷灌强度。如喷灌强度超出允许值应重新确定喷头配置和类型。

⑤计算喷洒时间 T_0

$$T_0 = \text{灌水定额} / \text{喷灌强度}$$

⑥1 次喷洒的作业时间包括净喷时间 (T_0) 和估计的移管时间。移管时间因灌溉方式的不同相差甚大, 因此应根据实际情况确定。一套支管每日的移动次数按

$$\text{日作业时间} / (\text{净喷时间} + \text{移管时间})$$

计算。日作业时间普通情况下在高峰用水期取 16~20 小时 (非高峰期将小于此值), 对于自动化的固定式喷灌系统也可取 24 小时为设计值。

⑦喷头流量的确定 喷头流量按下式计算:

$$q = \frac{E_1 \cdot D_m \cdot D_1}{60 \cdot T_0} \quad (3.4.6)$$

其中: q ——喷头流量 (l/min)

E_1 ——灌水定额 (mm)

D_m ——支管间距 (m)

D_1 ——支管间距 (m)

T_0 ——净喷时间 (h)

⑧确定灌溉系统总流量 系统的喷洒流量之和被称为系统流量, 由下式计算:

$$Q = 166.7 \cdot \frac{A \cdot E_1}{F \cdot T}$$

式中: Q ——系统流量 (l/min)

A ——喷灌面积 (ha)

E_1 ——灌水定额 (mm)

F ——灌水周期 (d)

T ——日净喷时间 (h)

⑨确定同时工作的喷头数 (N)

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

式中: q ——喷头流量 (l/min)

N ——同时工作的喷头数

此外, N 也可如下确定。

单喷头每次喷洒面积 $a = (D_1 \cdot D_m)$ 。如假定支管每日移动次数为 Ne , 则 1 个喷头每日的控制面积为 $a \cdot Ne$ (m^2)。

因此, 如假定该支管的控制面积为 A (ha), 每日应灌地块的面积为 A/F (F —灌水周期), 则同时工作的喷头数 N 为:

$$N = \frac{A \cdot 10^4}{F \cdot a \cdot Ne} \quad (3.4.9)$$

旱地灌溉是将灌溉面积分割成小块进行的, 如各块面积相当且每日喷洒次数也相等时, 上述计算是正确的。但是, 实际条件往往不能按等面积分割, 故有必要按每一地块的情况累计喷头数量。

⑩依据已确定同时工作喷头总数和喷洒单元划分情况确定标准喷洒组的管长和安装的喷头数。

(2) 喷洒支管的设计 用于喷灌的喷洒支管的设计应满足支管最大压力点的喷头流量与最小压力点的喷头流量之比小于 1.1 的要求。

①管中水流总要发生水头损失: 沿程水头损失主要取决于管道内壁的糙率、管径以及流速。喷洒管道上等间隔设置有喷头, 其水流属于多孔出流状态, 可按管段逐一计算。喷洒管道的沿程水头损失因流量而异, 管道流量正比于喷头流量, 喷头流量又与水压的平方根呈正比关系。即:

$$q = K \cdot \sqrt{P} \quad (3.4.10)$$

式中: q ——喷头流量 (l/min)

P ——喷头工作压力

K ——与喷头喷嘴形状有关的系数

②喷洒支管内的水压因摩擦损失而变化, 因此各喷头的流量不同, 但所有喷头的流量都与其安装位置的水压的平方根成正比。

$$\frac{q}{q_0} = \sqrt{\frac{P}{P_0}} \quad (3.4.11)$$

式中: q ——水压为 P 的任意喷头的流量

q_0 ——水压等于 P_0 的管道末端喷头的流量

③水压相差不大时有以下近似关系:

$$\frac{q - q_0}{q_0} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P - P_0}{P_0} \right) \quad (3.4.12)$$

根据上式, 如各喷头流量相差 10%, 其压力差为 20%。

④管道平均压力近似等于末端喷头工作压力加摩擦损失水头的 1/4。

$$P_n = P_0 + \frac{1}{4} \cdot P_f$$

$$P_n \approx P_0 + \frac{1}{4} \cdot (P_a - P_0) \quad (3.4.13)$$

式中: P_n ——喷洒支管平均水压

P_f ——管道中的摩擦损失水头

P_a ——喷洒支管首部喷头

⑤喷头平均流量 q_n :

$$q_n = q_0 \cdot \left[1 + 0.125 \cdot \left(\frac{P_a}{P_0} - 1 \right) \right] \quad (3.4.14)$$

⑥支管总流量为喷头平均流量与喷头数量的乘积。

$$Q = N \cdot q_n = N \cdot q_0 \cdot \left[1 + 0.125 \cdot \left(\frac{P_a}{P_0} - 1 \right) \right] \quad (3.4.15)$$

式中: Q ——支管总流量 (l/min)

N ——喷头数

(3) 管材 用于田间喷洒单元内的管材必须根据使用目的、使用条件、田间状况以及

T_0 ——净喷时间 (h)

⑧确定灌溉系统总流量 系统的喷洒流量之和被称为系统流量, 由下式计算:

$$Q = 166.7 \cdot \frac{A \cdot E_1}{F \cdot T}$$

式中: Q ——系统流量 (l/min)

A ——喷灌面积 (ha)

E_1 ——灌水定额 (mm)

F ——灌水周期 (d)

T ——日净喷时间 (h)

⑨确定同时工作的喷头数 (N)

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

式中: q ——喷头流量 (l/min)

N ——同时工作的喷头数

此外, N 也可如下确定。

单喷头每次喷洒面积 $a = (D_1 \cdot D_m)$ 。如假定支管每日移动次数为 N_e , 则 1 个喷头每日的控制面积为 $a \cdot N_e$ (m^2)。

因此, 如假定该支管的控制面积为 A (ha), 每日应灌地块的面积为 A/F (F —灌水周期), 则同时工作的喷头数 N 为:

$$N = \frac{A \cdot 10^4}{F \cdot a \cdot N_e} \quad (3.4.9)$$

旱地灌溉是将灌溉面积分割成小块进行的, 如各块面积相当且每日喷洒次数也相等时, 上述计算是正确的。但是, 实际条件往往不能按等面积分割, 故有必要按每一地块的情况累计喷头数量。

⑩依据已确定同时工作喷头总数和喷洒单元划分情况确定标准喷洒组的管长和安装的喷头数。

(2) 喷洒支管的设计 用于喷灌的喷洒支管的设计应满足支管最大压力点的喷头流量与最小压力点的喷头流量之比小于 1.1 的要求。

①管中水流总要发生水头损失: 沿程水头损失主要取决于管道内壁的糙率、管径以及流速。喷洒管道上等间隔设置有喷头, 其水流属于多孔出流状态, 可按管段逐一计算。喷洒管道的沿程水头损失因流量而异, 管道流量正比于喷头流量, 喷头流量又与水压的平方根呈正比关系。即:

$$q = K \cdot \sqrt{P} \quad (3.4.10)$$

式中: q ——喷头流量 (l/min)

P ——喷头工作压力

K ——与喷头喷嘴形状有关的系数

②喷洒支管内的水压因摩擦损失而变化, 因此各喷头的流量不同, 但所有喷头的流量都与其安装位置的水压的平方根成正比。

$$\frac{q}{q_0} = \sqrt{\frac{P}{P_0}} \quad (3.4.11)$$

式中: q ——水压为 P 的任意喷头的流量

q_0 ——水压等于 P_0 的管道末端喷头的流量

③水压相差不大时有以下近似关系:

$$\frac{q - q_0}{q_0} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P - P_0}{P_0} \right) \quad (3.4.12)$$

根据上式, 如各喷头流量相差 10%, 其压力差为 20%。

④管道平均压力近似等于末端喷头工作压力加摩擦损失水头的 1/4。

$$P_n = P_0 + \frac{1}{4} \cdot P_f$$

$$P_n \approx P_0 + \frac{1}{4} \cdot (P_a - P_0) \quad (3.4.13)$$

式中: P_n ——喷洒支管平均水压

P_f ——管道中的摩擦损失水头

P_a ——喷洒支管首部喷头

⑤喷头平均流量 q_n :

$$q_n = q_0 \cdot \left[1 + 0.125 \cdot \left(\frac{P_a}{P_0} - 1 \right) \right] \quad (3.4.14)$$

⑥支管总流量为喷头平均流量与喷头数量的乘积。

$$Q = N \cdot q_n = N \cdot q_0 \cdot \left[1 + 0.125 \cdot \left(\frac{P_a}{P_0} - 1 \right) \right] \quad (3.4.15)$$

式中: Q ——支管总流量 (l/min)

N ——喷头数

(3) 管材 用于田间喷洒单元内的管材必须根据使用目的、使用条件、田间状况以及

土质状况合理选择。选择时应注意下述事项。

①建议田间管道选用柔性管作为管材。特别是采用地埋固定管道形式的，必须考虑不均匀沉降和车辆的轮压影响，应避免选用刚性管。

②使用目的包括喷洒农药和肥料时，应考虑对耐腐蚀性的要求，故采用聚氯乙烯管或聚乙烯管等耐腐蚀性优良的管材是适宜的。

③地面铺设管道或架空布设管道时，必须注意聚氯乙烯管因紫外线照射发生老化，聚乙烯管不易平直等问题。对于这样裸露在地面上的管道，如仅用于喷水就不必考虑对药液的耐腐蚀性，因此也可考虑使用铝管。

(4)管径 管径在很大程度上影响工程费和各喷头喷洒时间上的差异，如与进行综合利用的设备一起考虑时，需要细致地选择管径并确定其组合。

喷洒支管因铺设时的坡降不同管径也不同，而且影响管材费用和管内残留药液的多少，故在确定铺设支管时应慎重考虑坡降。

原则上应使用成品管，即只要可能就应避免使用现浇管。

聚氯乙烯管、聚乙烯管以及铝管的糙率很小，内壁光滑。允许各喷头流量的差异幅度为10%，即压力差为20%时可使用相当小的管径。

选择管径及其组合方式时，供水管大体在内径200~500mm的成品管中选择，喷洒支管大体在内径为50~25mm的成品管中选择，并进行适当组合。

(5)坡降管道的布设 喷洒支管上行布置、水平布置、下行布置，显著影响选择的管径。如上行布置管道，势能的变化与压送水流的方向相反，其管径比水平布置和下行布置大得多。另一方面，下行布置管道时，因为可以充分利用输水位置的势能，管径可大大缩小。喷洒支管（管径不超过50mm）因末端开放，允许在管内流速不超过10m/sec的条件下确定管径（实际条件下流速多控制在5m/s以内）。从而，在陡坡上考虑喷洒农药的方案时，采用上行布置管并设法回收利用药液（在陡坡上上行布管有时因边界回落现象无法完全回收药液）与采用下行布管并尽量减少管内残留药液，喷药后再喷水清洗的方案相比，后者的工程费和运行费有时更便宜。

某地区的设计实例表明，相当水平布置管道的方案，上行布管（1/16）时聚氯乙烯管的重量增加30%，管内残留药液增加40%；与此相反，下行布管（5/16）时管材重量减少约22%，管内残留药减少约40%。此外，上行布管的方案比下行布管调压阀的使用数量有增多的趋向。

如上所述，喷洒支管的布设坡降是影响管径，即管材费用和管内残留药液量的重要因素，因此要考虑地形、田间状况、与喷洒农药的关系等再确定。

(6)综合利用时设备的有效利用和管道设计

利用喷灌喷洒农药时，其管道设计应能有效利用管内的农药，为此有必要如下所述用心考虑。

①时间差异和喷洒药液的损失 喷头喷洒药液时间上的差异，不但造成喷药不均，而且引起药液的损失，因此设计上不应使其过大。

药液喷洒时间差因末端喷洒单元的安排方案以及管道布设的不同而发生微妙的变化。因此，应特别细致地进行田间管道的设计。

a) 通常用喷灌设备喷洒农药一次为5分钟，如按20%的喷洒损失要求，时间差的设

计允许值为 1 分钟。

b) 在陡的坡地, 喷洒是从地势低的喷头开始, 结束也是地势低的喷头最迟, 特别在其周边地带往往可能喷药过量。

c) 假定管道总容积为 V , 喷药时通过配水系统供给的药液量为 Q^* , 则喷洒时间差大致可如下估算:

$$T = f \cdot (V / Q^*) \quad (\text{min}) \quad (3.4.16)$$

式中: f ——表示喷药时从喷头喷洒出的无效药液比例的系数。最初管道是空的状态时:

$$f \approx 1.25$$

充满水时:

$$f \approx 1.5$$

管道总容积 V 可由 (3.4.17) 式估算。即由喷头间距、喷洒单元面积、管道分枝状况确定。由此可见, 喷药时间差受以上因素以及配水系统的供给药液能力和管道初始条件(空或充满水)的显著影响。

②管道内的药液损失 设计田间管道时始终必须注意尽可能减少管内残留的药液量。

建议应尽可能回收残留药液并加以利用, 但在引进回收设备时应充分考虑设备费、使用年限、运行成本以及实际上喷洒回收药液的难易程度比目前设备所具有的更好功能等。

存在地形坡降时, 下行布置管比上行布置管道可以相当程度减少管内残留药液量。

a) 以往的喷灌通常以药液总量的 20% 作为田间管内损失药液的最大值来估算, 但如管道布置的设计合理, 有可能对于 50 公亩的喷洒单元损失量取为不超过 $80 \text{ l} / 10\text{a}$ 。以灌溉为目的设计的系统药液损失通常是很大的。

b) 可以根据田间布设管道的总容积估算残留药液损失量, 田间管道的总容积 V 可用下式估算:

$$V = \frac{5000 \cdot A_u^2}{D_n \cdot F} \quad (\text{l}) \quad (3.4.17)$$

式中: D_n ——喷头间距 (m)

A_u ——喷洒单元的面积 (ha)

F ——管道分枝系数

管道分枝系数 F 系用给水栓以下顺序表示的最大喷头号数 M 除喷洒单元内的喷头数 N 所得数值, 其定义如下:

$$F = \frac{N}{M}$$

系数 F 对叉形布管是由 F 条喷洒支管组成, F 和 M 表示了喷洒单元的形状。

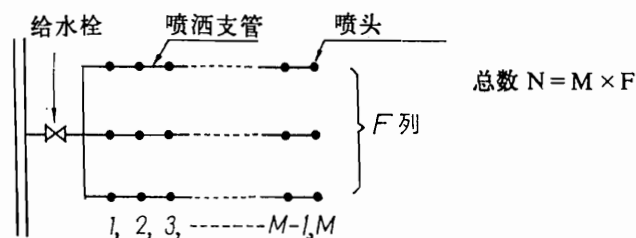


图-3.4. (4) 管道分支系数的说明图 (插形的等效布管的示例)

注) 这里各列喷头数不同时, M 系指其中最多的一例中的最后的喷头序号。

c) 关于残液回收和再次利用已提出了各种方案, 但无论哪一个方案都需要追加相当的投资, 而且使喷洒作业复杂化, 或者需要更多的人力和资金用于保管设备。因此, 决定是否采用或采用哪一个方案时应注意总体的平衡。

d) 喷洒中的药液损失和残留的药液损失合计可如下估算:

$$(f-1) \cdot Q^* \cdot T + V = [f \cdot (f-1) + 1] \cdot V \quad (3.4.18)$$

对于置换空气时可取管道总容积 V 的 1.3 倍, 对于置换水体时约可取 1.8 倍。

e) 从上述情况可以看出, 如减小管道的总容积喷洒损失和残留损失均可减少, 因此在给定的条件下尽可能减小管的容积即减小管径。

此外, 管道总容积和单元面积、喷头类型、喷头间距、喷灌强度、单元形状等规划田间系统时应确定的各因素也具有密切的关系。

〔参考〕

以图-3.4. (5) 所示 $500\text{m} \times 400\text{m}$ (20ha) 的地块说明补充灌溉设计的进行方法。

① 净灌水定额为 30mm, 灌水周期 F 为 6 天。

② 喷洒水的有效利用率取 85%, 毛灌水定额则为 $30 / 0.85 = 35\text{mm}$ 。

③ 日净喷洒时间 T 确定为 18 小时, 支管移动 5 次, 则每次净喷洒时间 T_0 为 3.6 小时。

④ 取喷头间距 D_n 和支管间距 D_l 均为 14m, 则喷头流量 q 为:

$$q = \frac{E_1 \cdot D_n \cdot D_l}{60 \cdot T} = \frac{35 \times 14 \times 14}{60 \times 3.6} = 31.8 \text{ l/min}$$

查阅产品样本查找具有这样流量且压力适当的喷头, 结果选择喷咀为 $4.8 \times 3.2\text{mm}$, 使用压力为 2.5kg/cm^2 , 流量为 32.0 l/min 喷灌强度为 9.8mm/h 的规格。

⑤ 轮灌区的划分有各种考虑, 这里采用了目前广泛使用的以支管控制范围作为 1 个轮灌区的方法, 即如图-3.4. (5) 所示以干管为中心划分为 6 个单元。

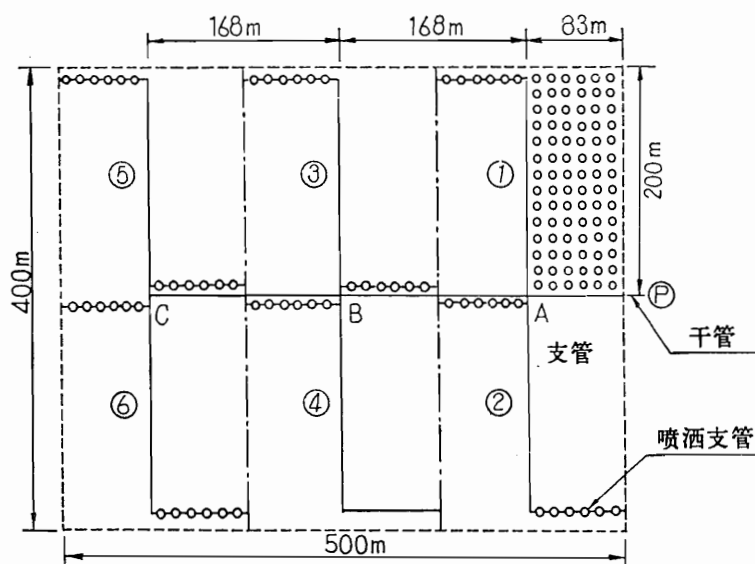


图-3.4. (5) 管道设计示例

⑥干支管的布置应根据地形和农业经营条件确定，首先确定干管位置，它应位于位置较高，相对于控制范围居中的地方。支管同样应位于每一轮灌区的中间位置。该例中干管和支管1~6的布置如图-3.4. (5) 所示。

⑦从图-3.4. (5) 可以看出，如各单元的支管均安装6个喷头，全地块大体可以均衡控制。

每一个单元均有28个喷洒支管工作位置，如每日移动5次，灌水周期为6天，则各单元配置1套安装6个喷头的喷洒支管装置就可满足需要。因此，一次灌水使用的喷头数为6单元×6个/每个单元=36个。

⑧灌溉系统的流量Q为：

$$Q = 166.7 \cdot \frac{A \cdot E_1}{F \cdot T} = 166.7 \times \frac{20 \times 35}{6 \times 18} = 1081 \text{ l/min}$$

式中：A——灌溉面积 (ha)

这个流量不论对于怎样的设计都是该地块所必需的喷洒流量，实际上是根据一次灌水所使用的喷头数确定的，即设计流量为 $32.0 \text{ l/min/个} \times 36 \text{ 个} = 1152 \text{ l/min}$ 。但是，两者计算值相差非常大时，应重新修改造成过大流量的设计。这时主要的修正对象是喷头种类、作业时间、喷洒支管的布置等三项内容。

⑨为确定1~6号支管的管径，首先取各支管的长度为189m，最大流量为202 l/min ($32.0 \text{ l/min/个} \times 6 \text{ 个} / (1-0.05)$)，并预先计算摩擦损失水头 (0.05为输配水损失)。

这里针对三种管径进行了计算。

管径 65mm 时 $0.36\text{kg}/\text{cm}^2$

管径 75mm 时 $0.17\text{kg}/\text{cm}^2$

管径 100mm 时 $0.04\text{kg}/\text{cm}^2$

⑩ 喷洒支管选择口径 50mm 的管时, 其摩擦损失水头为 $0.26\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

⑪ 距水泵最近的喷头和最远的喷头之间的压力差应控制在 20% 以内, 故这区间的水头损失不能超过 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ (工作压力 $2.5\text{kg}/\text{cm}^2 \times 0.2$)。

因此, 支管不能采用 65mm 的管。干管 A~C 之间的最大水头损失在使用 75mm 管时为 $0.07\text{kg}/\text{cm}^2$, 使用 100mm 的管时为 $0.20\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

水泵~A 点 流量 1152 l/min 距离 83m

A~B 点 流量 768 l/min 距离 168m

B~C 点 流量 384 l/min 距离 168m

据上述条件计算各种管径的水头损失。

损失水头 (kg/cm^2)

管径 (mm)	100	125	150	200	250
A~B 点	0.49	0.16	0.07	0.02	0.005
B~C 点	0.13	0.05	0.02	0.004	

由以上计算结果可以看出, 支管采用 75mm 管时干管为 200mm (AB 段) 和 125mm (BC 段), 支管采用 100mm 管时干管为 150mm (AB 段) 和 100mm (BC 段)。

两种方案中以应根据工程费的预算选择费用低的。

⑫ 确定 A 点至水泵的距离和管径后, 至水泵位置的全部水头损失即可得知, 可选择水泵以满足要求的流量和总扬程。

3.4.2 固定管道灌溉

在田间铺设管道进行多孔管灌溉和滴灌应充分考虑管的水力学特性和布置方式, 合理进行设计, 使灌水后的湿润区域充分包含作物的根系。

〔说明〕

1. 多孔管灌溉

(1) 多孔管灌溉的特点 多孔管灌溉一般是在铝管、聚氯管、聚乙烯管等硬质管或聚氯、聚乙软管上开一系列小孔进行喷洒的方法, 具有以下特点。

① 可在低压下工作, 但一般灌溉强度较大, 对于坡地和重粘土可能产生地表径流和水土流失, 应予以注意。

② 喷洒呈矩形, 易按地块的划分进行灌溉, 且对邻近地块和道路造成的影响极小。

③ 水滴对叶面和土壤表面的打击力较小, 用于发芽前后的灌溉也没有问题。水滴飞行高度较低且粒径大, 由风引起的飘移损失所占比例小。

(2) 多孔管灌溉的种类

① 多孔硬管: 多孔硬管一般是在连接容易且重量轻, 可移动的管上部打若干列小孔, 管的两侧呈矩形喷洒。灌溉强度虽因孔距而异, 但较一般喷灌为大, 达 $10 \sim 50\text{mm}/\text{h}$ 。

喷洒宽度因压力而异,当水压在 $0.25 \sim 2\text{kg}/\text{cm}^2$ 的范围时多为 $6 \sim 15\text{m}$ 。水压对灌溉强度的影响极小。

②具有摆动装置的多孔管:这种多孔管是在 $20 \sim 40\text{mm}$ 的小口径镀锌钢管上打一系列间隔 $0.6 \sim 1.5\text{m}$ 直径 1mm 的小孔。多孔管每隔 $5 \sim 10\text{m}$ 有一支架,为节省人工,附设有水驱动的自动控制回转装置。适宜工作压力为 $1.7 \sim 2.7\text{kg}/\text{cm}^2$,每孔的流量为 $8 \sim 20\text{cm}^3/\text{s}$,灌溉强度不超过 $3 \sim 15\text{mm}/\text{h}$ 。

③多孔软管 多孔软管的应用性能与前述多孔硬管是相同的,因使用高分子材料代替金属材料,力学上具有可柔性、高弹性和耐冲击性等优点,在使用方面更具有重量轻且耐腐蚀的优良性能。在复合材料中编入尼龙丝的软管伸长率极小,在适宜工作压力范围内耐压性能也没有问题。我国从 10 多年前也参照多孔硬管开发出了多孔软管的产品,因孔径和间距可任意给定,故灌溉强度的范围很广,通过改变软管断面内的穿孔位置可以改变水滴的飞行方向和距离。

(3) 多孔管的设计 多孔管的管道设计一般可按喷灌支管考虑进行。因水压的变化影响喷洒的宽度,故因地形局部起伏、倾斜以及摩擦损失而引起的一条管上压力差应控制在 20% 以下,建议尽可能控制在 $10 \sim 15\%$ 以下。

多孔管的铺设方向与地块规划、道路配置有关,对于风向应与喷灌一样与主风向呈 $45^\circ \sim 90^\circ$ 方向布置。

多孔管设计参数的管径、管长、灌溉强度等可参考前述多孔管的一般水力学特性。没有近似性能的产品时也可指定规格。一般先根据土壤、地形条件、作物种类确定适宜的灌溉强度,再根据地块规划和因摩擦损失造成的压力下降确定所需管长对应的管径,并计算管入口所要求的压力。

2) 滴灌

(1) 滴灌的特点 滴灌是利用特殊构造减低水压,以很小的、一滴滴的流量持续很长时间对作物根部集中供水的灌溉方式。

滴灌的特点列举如下:①仅对作物根部进行局部灌溉,故节水效果显著且田间水的有效利用率高,②没有因风造成的飘移损失,可进行膜下灌溉,③因灌水时间长不致造成盐分聚积,④可以均匀且省力地进行施肥等等。

这种灌溉方式因孔口流量很小,田间供水毛管的流量也小,摩擦损失水头也随之减小,因此不仅是温室大棚,对大的地块也能均匀灌水。

操作方面,如明确水压和孔口流量的关系,只要人工根据压力计启闭微调压阀即可进行工作,故很容易实现自动化。

减压方式有若干种,如使水流通过螺旋状细小流道的方式,具有内层带有小孔的供水部分的双腔管的方式,对滴头的小孔进行特殊精细加工的方式等等。灌溉系统采用小口径的塑料管,其上按一定间隔开孔或安装滴头。

(2) 田间供水系统 图-3.4.(6) 给出滴灌系统的一个例子。首部的各种设备可根据需要进行适当组合。

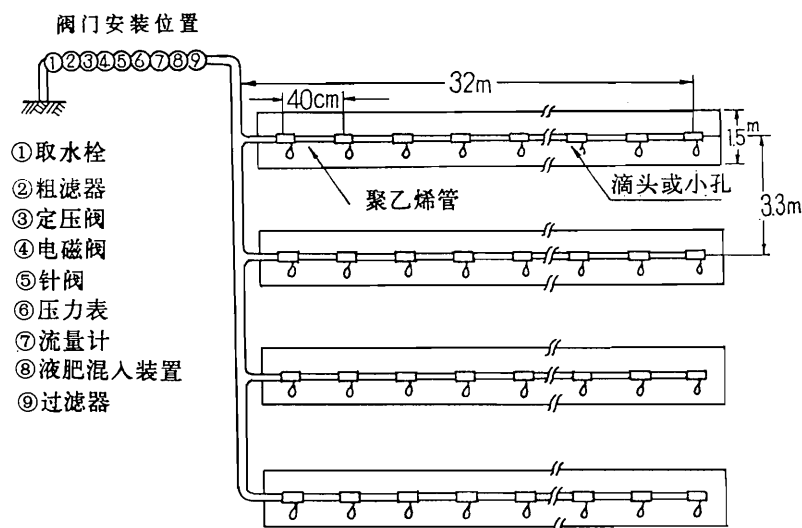


图-3.4. (6) 滴灌田间供水系统的示例

〔参考〕

表-3.4. (6) 所示为塑料管的损失水头。滴灌等多孔管道的水头损失约相当于上述值的 1/3。滴灌的田间供水流量一般较小，沿管道滴水量的差异不会造成大的问题，但应注意它易受田面不平整和坡度的影响。毛管在设计上的允许水头差可按喷灌中喷洒支管的允许值（20%）取值，但在温室大棚等集约化种植条件下水头差应限制更小些，建议取 10% 以下。

表-3.4. (7) 所示为不同入渗速度下从滴头或孔口滴出的水流在土壤表层的湿润范围，可供根据根系范围和上述湿润范围的比值确定必要的滴头数目时参考。

表-3.4. (6) 毛管的摩擦损失水头 (m / 100m)

管内流量 (l / h)	管内径 (mm)						
	9.2	11.7	12.7	13.9	15.8	18.0	19.0
200	10.0	5.2	2.5	1.7	0.8	0.4	0.3
400	39.0	18.0	8.6	5.7	2.7	1.6	1.1
600		19.0	18.0	13.0	5.9	3.2	2.5
800			30.0	21.0	10.0	5.5	4.1
1, 000			45.0	30.0	16.0	8.3	6.2
1, 200				42.0	21.0	11.0	8.8
1, 400				56.0	28.0	16.0	11.0
1, 600					36.0	20.0	15.0
1, 800					45.0	25.0	19.0
2, 000					54.0	30.0	23.0

表-3.4. (7) 滴头水滴的土壤表面湿润面积 (m²)

滴头流量 (l/h)	(cm/h)					
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1	0.4	0.2	0.13	0.1	0.08	0.07
2	0.8	0.4	0.27	0.2	0.16	0.13
3	1.2	0.6	0.40	0.3	0.24	0.20
4	1.6	0.8	0.53	0.4	0.32	0.27
5	2.0	1.0	0.67	0.5	0.40	0.33
6	2.4	1.2	0.80	0.6	0.48	0.40
7	2.8	1.4	0.93	0.7	0.56	0.47
8	3.2	1.6	1.07	0.8	0.64	0.53

3.4.3 地面灌溉

1 沟灌

沟灌应使灌溉后的湿润区域内充分包含有作物的根系, 为此应根据入渗速度确定适宜的入沟流量、沟长、沟宽以及灌水时间, 制定合理灌溉计划。

〔说明〕

1) 灌溉计划

(1) 确定适宜的入沟流量 为减小沿垄沟方向灌水深度的差异, 应缩短田间头尾两端灌水时间上的差异。所谓适宜的入沟流量是在不引起土壤流失的范围内的最大流量。以最大入沟流量使水流推进到沟尾, 此后应根据入渗速度的降低程度减小入沟流量, 以防止沟尾发生退水损失。但是, 入渗速度在很长时间内是连续降低的, 为此连续减小入沟流量是不可能的, 一般多分 1~2 次减小入沟流量。

决定沟内流速的主要因素是沟的坡降和单沟流量, 制定计划时在给定坡降的沟内通水, 观察沟首部的冲刷情况, 确定最大流量。

〔参考〕最大沟内流量的示例

表-3.4. (8) 沟底坡为 1% 时的最大沟内流量 (据原爱知用水公团资料)

土质	沟内流量
火山灰土	0.8 l/s
砂性土	0.9 l/s
壤土	0.8 l/s
腐植土	0.6 l/s

沟底坡度不同时应将 1% 乘以下修正系数

表-3.4. (9) 沟底坡度对流量的修正系数 (据原爱知用水公团资料)

沟底坡	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
流量修正系数	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8

(2) 确定沟内水流的推进速度和入渗速度 作为沟灌设计的基本参数, 必须通过实测确定沟内水流的推进速度和沟中的入渗速度。测定应在田间土壤水分接近需要灌水时进

行。

①沟中水流的推进速度 水在沟内流动时,其最前端的流动速度称为水流的推进速度。它受沟的坡降、形状、入沟流量以及沟中水入渗速度的影响,还受垄沟的管理状况的影响。

a) 水流前端的测定

I) 选择坡降为该地区平均坡降的沟作为试验沟,清除沟中阻水的土块,每隔 5m 设立标记。在沟的首部设置测定入沟流量的巴歇尔水槽或三角堰。

II) 在最大沟内流量以下确定 4 种处理,按每种处理的流量分别向若干条沟中供水,测定水流推进速度。

III) 如沟长以及沟的坡降可以任意给定时,试验沟长取 25~50m,坡降原则上分为 0.5%、1.0、2.0% 三个处理,分别进行测定。

b) 整理测定结果 将水流推进距离 L 和时间 t 画到双对数方格纸上大致呈一直线。假定:

$$t = \alpha \cdot L^{\beta}$$

即可确定 α 和 β 。

式中: α 、 β ——水流推进常数。

②沟中入渗速度的测定 根据 2.2.3 土壤调查确定。

(3) 灌水时间的确定

灌水所需时间可以按以下的步骤利用沟长、灌水定额、入渗速度、沟中水流推进速度等的实测值确定。

长度为 L (m) 的沟中灌水深度要求达到 D (mm) 而进行沟灌时 T_f 可表示如下:

$$T_f = T + t = \left[\frac{60 \cdot D \cdot (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}} + \alpha \cdot L^{\beta} \quad (3.4.9)$$

式中: T_f ——在长度为 L (m) 的沟中供给考虑了深层渗漏的灌水深度所需时间

T ——沟中某一点达到给定灌水深度所要时间

t ——水流推进到沟中某点的时间

到达距离为 L 的点(沟尾)的时累计的入渗量 D 和入渗时间 T 的关系可通过对前述沟中入渗速度 $I = K \cdot T^n$ 进行积分求得,即:

$$D = \frac{1}{60} \int I \cdot dT = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} T^{n+1} \quad (\text{mm}) \quad (3.4.20)$$

因此达到给定灌水量 D (mm) 需要的时间为:

$$T = \left[\frac{60 \cdot D \cdot (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{min}) \quad (3.4.21)$$

上述入渗时间是指水流推进到沟尾所需的时间，加上水流推进时间 $t = \alpha \cdot L^\beta$ 后，即为所需全部时间 T_p 。

(4) 沟长和沟宽的确定

① 沟长的确定

沟灌因沟长影响田间水的有效利用率和耕土的保护而受到制约。

最大允许沟长是不致引起表土流失和深层渗漏且水流能够到达的长度。

为提高每次配水的劳动生产率，沟越长越好，但因与田间水的有效利用率有关，存在一定的限度。图-3.4. (7) 给出了具有某种土性和坡度的垄沟，以不同的流量进行灌水时历时与水流推进距离的关系。假定流量超过 $6l/min$ 时将发生冲刷，此外根据后述的与田间水的利用率的关系如得到 $m = 4$ (即 $t = T/4$)，则最大允许的沟长如图所示。

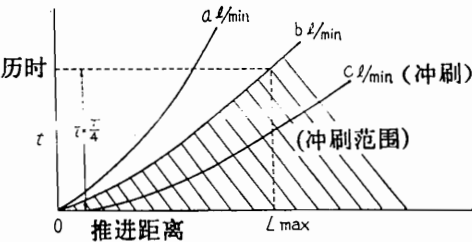


图-3.4. (7) 允许的最大沟长

表-3.4. (10) 所示为各类土壤的最大允许沟长的一个示例。保水能力差、入渗速度高的砂土的最大允许沟长仅为 $10m$ ，因此从灌水劳力方面看沟灌难以适用。

表-3.4. (1) 各类土壤允许的最大沟长

土壤	根系层深度 (cm)	灌水量 (mm)	最大沟长 (m)
砂土	40	16	4
火山灰土	40	44	29
砂壤土	40	34	36
壤土	40	38	99
腐植土	40	44	121

注) 沟底坡度均为 10%

② 沟宽的确定 沟灌必须考虑灌水后入渗水量在沟的横断面内的分布情况。即灌溉水也向侧向入渗，故沟宽的取值应尽可能使根系被包含在湿润区域内。

均质土壤上的垄沟灌水后的状况大体如图-3.4. (8) 所示，壤土有相当部分的侧向入渗，但砂质土时入渗以下方为主。为此，砂性土采用沟灌时，一方面沟宽不能太大，另一方面为防止深层渗漏一次供给的水量也有限制，故不能说是适合的。设计时，可截取沟的一段 (约 $50cm$) 并注入计划灌水量，调查水的侧渗状况，据此确定灌水量，以控制深层

渗漏。当沟很宽，以致作物生长时的根系不包含在湿润区域内时，应使通水位置靠近作物。

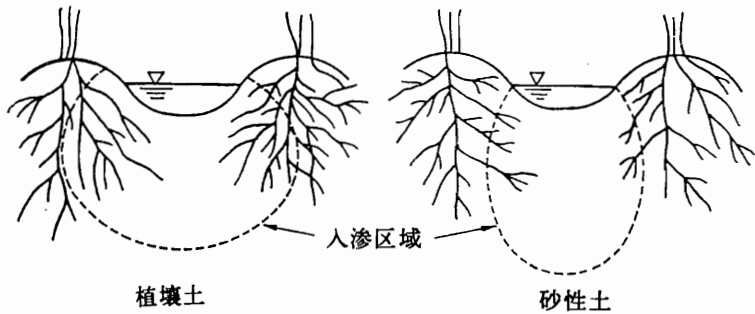


图-3.4. (8) 沟内的横向入渗

图-3.4. (9) 给出了由试验得到最大沟宽的例子。

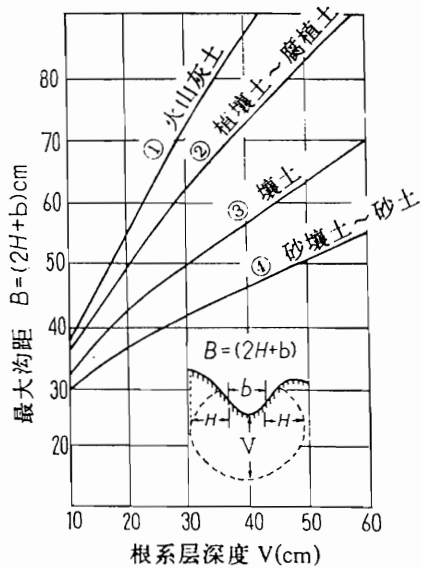


图-3.4. (9) 根系层深度和最大沟距的关系 (据原爱知用水公团资料)

(5) 灌溉效率 评价田间灌溉效率的指标中有田间水的有效利用率，它表示了灌溉水量中贮存在根系周围并能被作物利用的部分所占的比例。计划中沟灌的田间水的有效利用率取 70%以上。

假定将水引入沟中，经 t 分钟后到达沟尾。那么沟尾部水向土中开始入渗时，沟首部水已持续入渗了 t 分钟。图-3.4. (10) 中，假定入渗深度达到 D (mm) 时需 T 分钟，则首部的入渗历时即为 T+t 分钟，其入渗量 D' 由下式表示：

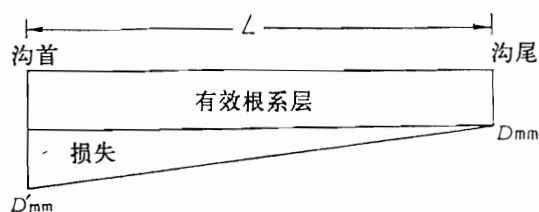


图-3.4. (10)

$$D' = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot (T+t)^{n+1} \quad (\text{mm})$$

对于田面水平的水旱并用农田，通过下游堵口防止溢流弃水时，田间水的有效利用率 E_a 如下所示：

$$E_a = \frac{D}{\frac{1}{2} \cdot (D' + D)} \times 100\% = \frac{200 \cdot D}{\frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot (T + \alpha L^\beta) + D} \quad (\%) \quad (3.4.22)$$

自有效根系层向下方入渗的水量比例在沟灌中称为深层渗漏损失，其值为：

$$W_L = (1 - E_a) / 100$$

实际考虑沟灌作业时，一般采用使灌溉水在 T/m 时间内到达沟尾的方法（即这时 $t = T/m$ ）。 m 的数值根据土壤的入渗常数 K 和 n 确定。

$$\text{现在} \quad D = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} T^{n+1}$$

$$\text{设} \quad \frac{K}{60 \cdot (n+1)} = C$$

$$\text{则} \quad D = C \cdot T^{n+1}$$

图-3.4.11 中， t 分钟后的入渗水深 A 点为 D_1 ，B 点为 O， $2t$ 分钟后 A 点为 O_1 ，B 点为 D_1 。因此， mt 分钟后的入渗水量分布，A 点为 D_m ，B 点为 D_{m-1} ， $(m+1) \cdot t$ 分钟后 A 点为 D_{m+1} ，B 点为 D_m 。然而

$$D_{m+1} = C \cdot [(m+1) \cdot t]^{n+1} = C \cdot t^{n+1} \cdot (m+1)^{n+1}$$

$$D_m = C \cdot (m \cdot t)^{n+1} = C \cdot t^{n+1} \cdot m^{n+1}$$

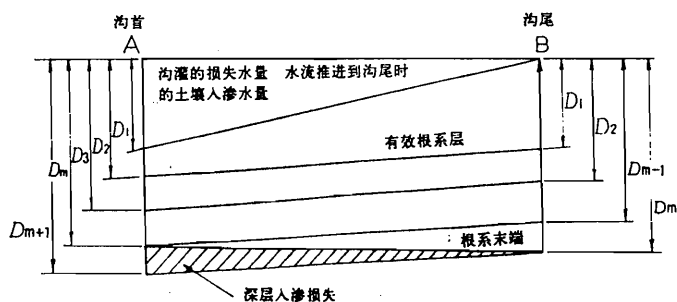


图-3.4. (11) 沟灌的田间水有效利用率

因此，田间水的有效利用率 E_a 如下：

$$E_a = \frac{D_m}{\frac{1}{2} \cdot (D_{m+1} + D_m)} \times 100$$

$$= \frac{2 \cdot m^{n+1}}{(m+1)^{n+1} + m^{n+1}} \times 100$$

图-3.4. (12) 所绘图线表示了上述关系。

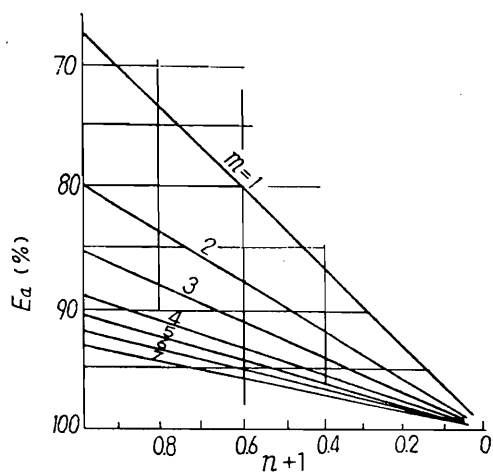


图-3.4. (12) 田间水的有效利用率计算图表

随着 m 的增大，流量变大且易引起冲刷，因为 m 最好不取过大数值，经验上取 3~4 为宜。

即使在有坡度的一般地块上如随着入渗速度的递减而减小供水流量,即可防止从沟尾的弃水损失,但实际上难以进行这样的操作。

因此,不得不事先通过试验了解相应于给定的土地条件的弃水损失,并考虑深层渗漏损失来确定田间水的有效利用率。

2) 田间渠道的规划

(1) 供水系统 沟灌的田间渠道的断面大小是根据进行高效率灌溉所要求的田间流量确定的。田间流量根据在某一田间水有效利用率的范围内能满足灌水要求的流量和满足节省劳力所要求的垄沟数量来确定。由以上的分析可见田间流量最低取 $5 \sim 10 \text{ l/s}$ 时有利于水管理操作,这个流量再乘以轮灌区内同时供水的垄沟数即可得到田间渠道的系统流量。给水栓的间隔因土地条件则有所不同,但通常 1 个灌水单元最少有一处。如灌水单元为 $30 \times 100\text{m}$,供水管道沿短边布置,则给水栓的间隔为 30m。既使在果园等不规则地块中,给水栓的间距也不应大于 100m。

坡地上沿等高线进行沟灌时,供水管道顺坡布置,管道下游的压力较高。为此,应在中途设置调压设施,避免给水栓压力过大。图-3.4.(13)所示为给水栓结构的一例,图-3.4.(14)所示为调压设施的一例。

(2) 沟灌设施

① 配水设施 田间的配水设施应满足配水操作方便、渠道占地少、管理上的故障少的要求。因此一般采用地埋管道比明渠要好,但从作物要求和土地条件上看可以高效率地进行地面灌溉的场合也不应忽视采用明渠的方案。

a) 明渠方式 沟灌的田间供水系统采用土渠或混凝土预制件时,如与田面有 $15 \sim 20\text{cm}$ 以上的高差,采用引水槽或虹吸管即可方便地取水。因此要事先充分研究田间规划,减少占地和作业上的障碍物。

b) 管道方式 工程费高于明渠,但维护管理容易,不受地形上的限制、配水精度高且操作省力。结构上分为封闭式和开敞式,但对于沟灌采用工程费低的低压开敞式管道系统即可充分满足要求。开敞式管道系统应使用溢流式调压池或浮子阀等调压设施控制压力,使其平时不超过 5m,坡地时也不应超过 10m。

② 向沟内引水装置 从明渠取水的虹吸管除聚氯乙烯外也采用橡胶、铝等材料制造。改变口径可调节流量,但柔性管的流量实际值和理论值有时相差很大。也有先用引水槽或虹吸管将水引入毛沟,再用瓦管或竹管将水同时引入数个垄沟的方法。无论哪一种方法都应封堵供水明渠的下游部分以形成一定的堰上水位。

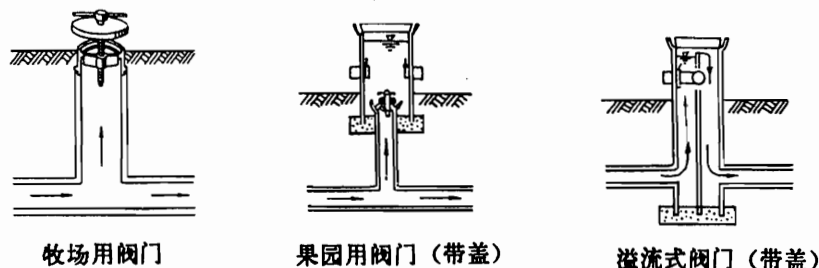


图-3.4. (13) 给水栓结构示例(低压用)

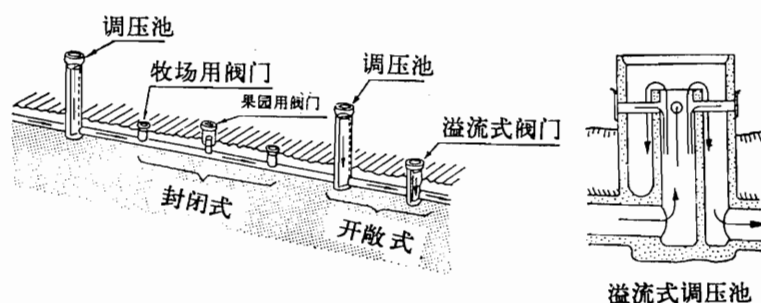


图-3.4. (14) 调压的示例

③量水设施 明渠具有充分落差时，可按流量大小选用各种量水堰，落差不大的明渠一般可采用巴歇尔水槽或临界流量水槽。无论哪种情况都应维持设计的行进流速。管道系统中广泛使用旋浆式水表。

2) 畦灌

畦灌应确定适宜的田间流量、畦宽、畦长、灌水时间，制定合理的灌水计划，以使灌水后的湿润区域充分包含作物的根系。

〔说明〕

畦灌采用低的畦埂将耕地分隔为细长形地块，按一定的坡度使水以薄层的形式沿宽沟或畦面全面流过湿润土壤，与沟灌相比用于灌水的劳力较少，但需大的流量 [参见图-3.4. (15)]。

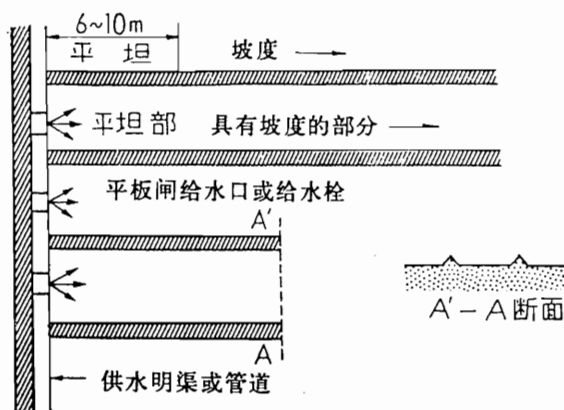


图-3.4. (15) 畦灌的一个例子

对于条播的杂粮类和旱稻畦灌适用于4%以下坡度的耕地，对于牧草地畦灌适用于6%以下坡度的地形。周围的畦埂需要有一定的高度以使水层不致溢流，但也不应过高，以致对农机具的作业造成影响。田间流量为20~50 l/s时，畦埂高可取15cm，宽40~

60cm。

(1) 灌水计划

①入畦流量的确定 设计畦灌时,如未慎重考虑入畦流量,就不可能对整个畦块均匀灌水。入畦流量在入渗试验和灌水试验的基础上由下式确定:

$$Q = \frac{100 \cdot A \cdot I}{\left(\frac{I - 10 \cdot s \cdot h}{\mu \cdot C} \right)^{1/n}} \quad (3.4.23)$$

式中: Q ——入畦流量 (l/min)

A ——畦块面积 (公亩)

I ——灌水定额 (mm)

μ ——水流推进的均等指数,砂性土取0.5~0.6,壤土取0.6~0.7,粘性土取0.7~0.8

h ——畦口水深 (cm),普通可取5~10cm

S ——因灌水条件而异的试验常数,坡度1/1000,流量70~90 l/min (每米畦面宽)取0.6,坡度0,流量60~130 l/min (每米畦面宽)取0.7~0.8

累计入渗特性和水流推进特性与沟灌相同分别由下式给出:

$$D = C \cdot T^n$$

$$t = \alpha \cdot L^\beta$$

式中: D ——累计入渗量 (mm)

T ——入渗时间 (min)

L ——水流推进距离 (m)

t ——水流推进的时间 (min)

C, n, α, β ——试验常数

此外, μ 值作为水流推进的一般形式由下式表示:

$$\mu = 1 - \frac{n}{p+1}$$

美国根据土壤结构和基础入渗速度采用图 3.4. (16) 所示的田间单宽流量。

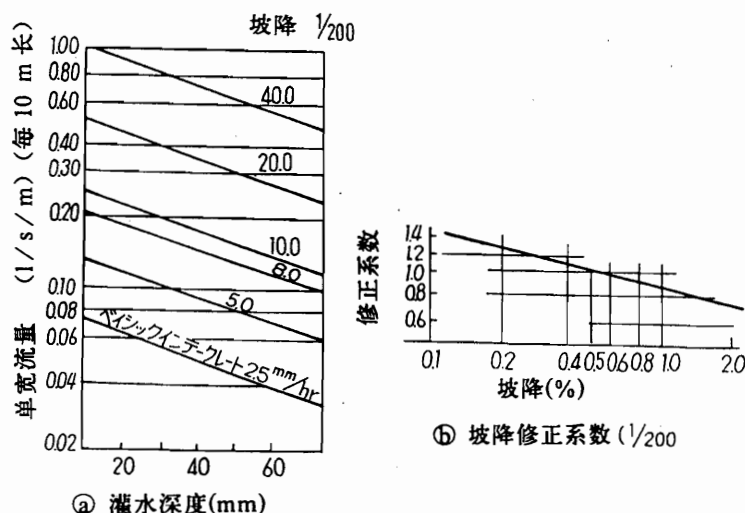


图-3.4. (16) 单宽流量推算图表

②畦块的宽度和长度 畦块的宽度根据流量的大小、地面坡度、平整情况、作业农具的种类等确定，表-3.4. (11) 所示为畦宽与主要影响因素灌水坡降的关系。

表-3.4. (11) 灌水坡降与畦宽的关系

灌水坡降	畦宽
0~0.1	36
0.1~0.5	18
0.5~1.0	15
1.0~2.0	12
2.0~4.0	9
4.0~6.0	6

畦块的长度主要取决于灌水坡降和流量，为尽可能使畦块从头至尾均匀灌水，应针对具体地块根据入渗情况确定。一般要求畦块任何范围内的作物根系都有 80% 以上被湿润。

(2) 田间渠道的规划

①田间配水设施 田间供水渠（管）的间隔一般与畦长相等，建议在畦块的尾部设排水沟。从毛渠取水时为保持一定的水位，应在毛渠内设小闸门或移动式止水板。

②取水装置 各畦块的供水流量大，因此一般采用 $\alpha\alpha$ 型给水栓或大口径金属虹吸管，有时也采用在混凝土毛渠上设置口门的方式。用管道供水时使用带角阀的给水栓，但应考虑压力水流对土壤冲刷。

畦宽因受田面横向坡度的制约，如每一畦块按 1~2 处的比例设置给水栓，则给水栓的间隔也如前项所述因田面的横向坡度而异。但是，对于水旱兼用农田，尽管接近于水平

但地块大, 为保证灌水均匀且不冲刷供水口附近的土壤, 推荐给水栓的间距不大于 30~40m, 以免造成流量过大。

3.4.4 粪尿灌溉

粪尿灌溉系利用旱地灌溉的设施将家畜的粪回归耕地的作业, 它由前处理设施、输送设施和田间喷洒设施等一系列设施有机组合而成。必须注意防止在贮存、喷洒时粪尿对自然环境的污染。

〔说明〕

经营畜产业每年不断排出大量的家畜粪尿, 其处理不但在劳力上和经济上存在问题, 也招致对地下水和附近村落被污染。另一方面, 家畜粪尿回归耕地, 因其含有有机肥成分, 可以成为很好的农业生产资料。

旱地灌溉设施是输送和选用家畜粪稀以及将固体分离出去后的尿液的一个有效手段, 为最大限度地发挥图-3.4. (17) 所示各设施作为一个整体的功能, 应考虑以下几点:

- ①根据粪稀的性质设计输送和施用设施
- ②应使各设施的规模与单位面积耕地的施用量保持平衡
- ③粪尿的施用量以及施用方法应符合环境保护的要求。

家畜粪尿灌溉的基本设施可整理如图-3.4. (17) 所示。此外, 尿的物理性质及流动与清水几乎相同, 故设施设计和器材选型可按清水的要求进行。因而, 以下的要求原则上是针对粪稀提出的。

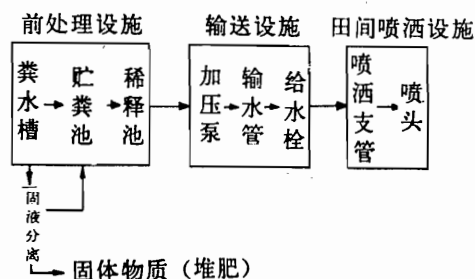


图-3.4. (17) 粪尿灌溉的基本设施系统

1) 前处理设施

(1) 粪尿槽 粪尿槽的结构有水冲式、自流式、活塞式等, 规划上应事先考虑饲养规模、转送至贮粪池所需劳力以及设施规模等与粪尿槽的关系。

(2) 贮粪池 贮粪池的有效容积 V_1 (m^3) 由下式确定:

$$V_1 = (a \cdot s + b) \cdot n \cdot d \quad (3.4.24)$$

式中: a ——每头牲畜每日的排粪尿量 (m^3)

s ——舍内排泄率, $s = 24 - (\text{舍外时间}) / 24$

b ——水冲式的每头牲畜日冲洗用水量 (m)

n——家畜头数

d——最长贮粪日数

上式适用排泄时粪尿密度约等于 1.0 (0.97) 的情况。

(3) 稀释池 采用管道输送时应将粪稀进行稀释, 使其浓度不致对输送设施的功能以及作物生理上造成不良影响。

稀释方式有稀释池法和水泵混入法(混入阀)。稀释池法在稀释精度和维护管理方面较为有利, 但工程费用高。水泵混入法在水泵的吸水管或出水管上用阀门调节水管和粪稀管的流量进行混合, 因此工程费用低, 但稀释精度较低。无论采用哪种方式都应考虑规模大小、运行体系、作物等, 在进行方案对比的基础上确定。

稀释槽的容量根据日最大喷洒量确定。从作物的需要量看一般应使喷洒量随季节变化, 故有效容积 V_2 (m^3) 由下式确定:

$$V_2 = \frac{M \cdot d \cdot a \cdot A}{D} \quad (3.4.25)$$

式中: M——每公顷年粪尿处理量 (m^3/ha), $M = 365 \cdot a \cdot s \cdot n / A$

d——期间粪尿处理率, $d = \text{期间粪尿处理量} (m^3/ha) / M$

a——稀释率(粪稀浓度的确定应使其对作物生长、搅拌、喷洒以及管道输送等均不致造成不良影响)。

A——灌溉面积 (ha)

D——期间内可能喷洒的天数(考虑气象条件、劳力分配等确定)

式中的期间系指各期间粪尿处理量除以相应的可能喷洒天数所求得日喷洒量最大的期间。

为降低工程费而采用日定量喷洒方式时, 如年度可能喷洒的天数为 N, 则应用 $1/N$ 代替上式中的 d/D 。

2) 输送设施

(1) 管道设计 水力学计算按如下顺序进行。

①确定设计流速。

②确定粪水浓度。

③根据设计流速和设计流量确定最经济的管径。

④考虑规划区域的地形高差, 计算设计上的摩擦水头损失和各种局部水头损失, 据此确定所需的水泵扬程。

上述设计顺序具体如下。

①输送粪水的设计流速应考虑水击防护、悬浮物沉淀分离等, 通常以 $0.5 \sim 1.5 m/sec$ 为标准速度。

②粪水的稀释倍数应考虑肥效和补充灌溉的需要, 其范围一般为 3~7 倍。7 倍以上稀释时可看成是清水处理。

③输送粪水时, 一般希望处于紊流状态, 以减小水头损失, 哈威公式中的 C 值可取清水的 1.0 倍(密度 1.006, 相当于稀释 7 倍)至 1.5 倍(密度 1.016, 相当于稀释 3 倍)

(参照图-3.4. (18) ~ (20))。

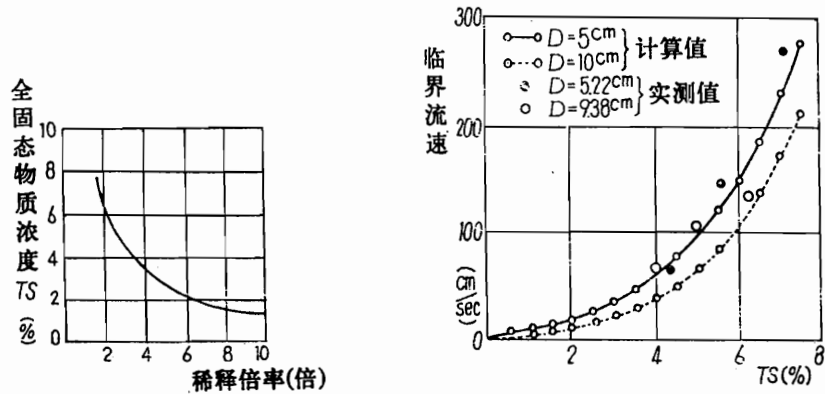


图-3.4. (18) TS和稀释倍率的关系

图-3.4. (19) 临界流速和 TS 的关系

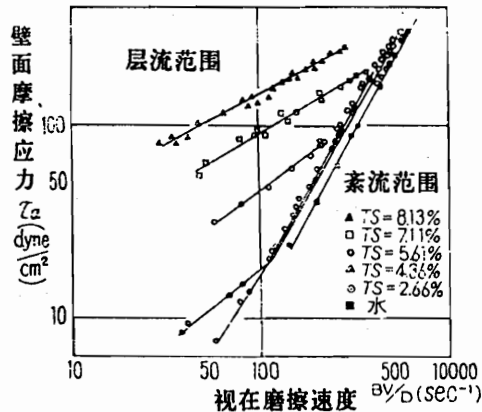


图-3.4. (20) 牛粪稀的流动曲线

(2) 粪尿灌溉的系统流量

①田间系统流量 自稀释池（水泵混入时为混合阀）至田间的粪尿灌溉的系统流量由下式给出：

$$Q_1 = \frac{M \cdot d \cdot a \cdot A}{3600 \cdot T_1 \cdot D} \tag{3.4.26}$$

式中： Q_1 ——田间系统流量 (m^3/s)

T_1 ——日喷洒时间 (h) (应考虑喷洒以外的作业系统确定)

采用日定量喷洒方时上式中的 d/D 应以 $1/N$ 代替计算。

粪尿灌溉应综合考虑以氮为主的物质循环系统、田间喷洒作业系统、输送粪水方面的

技术等因素进行规划。因而必要的灌水量也受这些条件的各种各样的制约。不同时期的必要灌水量一般以初春的生长旺季和最需要补充水分的夏季为最大。

②配水系统流量 田间调节池下游一侧的系统流量由下式给出：

$$Q_2 = \frac{M \cdot d \cdot (a-1) \cdot A}{3600 \cdot T_2 \cdot D} \cdot \frac{1}{E_m} \quad (3.4.27)$$

式中：\$Q_2\$——配水系统流量 (\$m^3/s\$)

\$T_2\$——日通水时间 (h)，根据冲洗、稀释等作业系统确定

\$E_m\$——输送效率 (0.90~0.95)

采用日定时喷洒方式时应以 \$1/N\$ 代替上式 \$d/D\$。此外，田间调节池上游一侧的系统原则上 24 小时通水，故上式中应按 \$T_2=24\$ 计算。

(3) 管道方案 粪水在化学性质、物理性质、流动性上均与一般农业用水有本质上的差别，因此应特别注意管道的选材和安装工艺，防止输送方面发生故障。

①向田间输送粪水的方式大致如表-3.4. (12) 所示。规划时必须根据地形、工程费以及维护管理等方面进行综合比较确定。

②管材除非设计条件特殊，一般使用货源充足且经济的市场销售的标准管。选择管材种类时应特别注意以下事项。

a) 内壁糙率小，无结垢。

b) 耐腐蚀性好

表-3.4. (12) 粪尿稀释液的输送方式

方式	条件	优点	设计上的注意事项
水泵加压输送	对于平坦或缓坡地，如无特殊情况可采用	易维护管理和运行操作	水头和流量的合理分配、流量调节方式、分析水击压力
水泵二次加压	向陡坡上输送，地形高差大，扬程很大场合采用	与一般的水泵加压方式相比，水泵扬程低且不必用高压管。	水头和流量的合理分配、流量调节方式、分析水击压力
自压方式	位置处于高处，可提供必要水头的地形条件下采用	容易进行维护管理	需考虑田间压力调节、通气设施、水击压力

(草地开发工程规划设计规范)

(4) 水泵设备 水泵的选型应充分考虑欲输送流体的性质，采用高效率的泵型。

目前广泛应用的水泵从其特性上分析对粪尿性状的适用性如表-3.4. (13) 所示。水泵因其各自结构和机能上的差异，对流体的适应性也不同，因此预先掌握其特点是非常重要的。

表-3.4. (13) 粪尿用泵的种类和应用

种类	内容	粪尿的适用范围		特点
		含水比 (%)	干物质率 (%)	
加压 输送 泵	尿泵 (真空式、蜗壳式)	2500 以上	4 以下	主要以尿或粪尿用水稀释 3 倍以上的混合物为对象。
	浆液泵: 离心式(转子式) (螺旋式) 活塞式	2000 以上 1000~2000	5 以上 5~10	以浓度比较高的粪尿混合物为对象
	切削泵(蜗壳式、带 刃式、带刀片式)	最大 2000	最大 5	可切断稻草、干草等长物体,使其和流动物体一起被加压输送的附有切断装置的泵
搅拌 泵	搅拌泵 (蜗壳式)	1000~2000	5~10	将池内产生的浮渣和沉淀物搅拌并混合成物理上均质的混合物,以提高输送效率。

(草地开发工程规划设计规范)

(5) 给水栓 给水栓应采用悬浮液用阀。旱地灌溉一般采用的角阀、闸阀有可能发生故障,故应注意。此外,为增加竖管的强度采用铸铁管和钢管(内壁有防护涂层)。寒冷地区为防止冻结,设置有排除给水栓内粪水的装置。

3) 喷洒方式

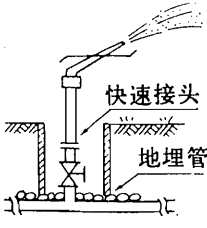
田间喷洒方式原则上采用喷灌。喷灌方式有移动式、自走式和地埋固定式(表-3.4.(14))。无论采用哪种方式都应从地形、所用劳力、经济性等方面进行比较后确定。

用于喷洒粪水的喷头应采用专门为此制造的产品。

4) 环境保护方面的对策

(1) 喷洒所引起的污水水滴的飘移 环境保护上适宜的喷洒方式应采用低压、低仰角喷洒,强风发生地区应限制在强风下喷洒,同时设置隔离林带是有效的。建议防风林带高度应超过 3~4m,宽 7~10m 以上。采取以上措施后除村落附近以外,在大片旱地或牧草地上进行喷洒粪水,因飘移而发生公害的事情可以避免。

表-3.4. (14) 粪尿的喷洒方式

型式	喷洒方法	适用条件· 用 I 等	工程费	其他
移动式	 使用移动管道或耐压软管将给水栓和台车连接起来, 进行大型喷头供水作业。大型喷头后连同台车一起移动, 到下一个喷洒位置。从移动软管所需劳力考虑, 软管以 100m 长为。	是最一般的形式, 适用于所有地形和规模。花移费劳力。移动管道较软, 移动容易, 且接触污物的感觉轻。	总体工程费, 但管道总程少, 移动较贵。	喷洒粪尿时在村庄附近作业应采取保护措施 (低压、低角度喷洒) 保持环境。
固定式	 竖管按大型喷头的布置间距设置, 按每天作业所要求的个数固定。当喷洒时, 只需操作控制阀门, 次日只需将大型喷头移动到下一个喷洒位置的竖管上, 继续进行喷洒。通常同时运行的大型喷头数不超过 1~3 个。	适用于规模比较大的牧草地和饲料地进行粪尿灌溉。最节省劳力, 且对尿移接问题, 竖管一设, 每公顷处, 如沿道路设置, 则对农作影响。	与其他方式比较	① 与其他方式比较偏大。② 如系统流量不大于某种程度, 节省劳力所占的比例较小。
自走式	 利用水动力 (粪水) 时, 利用辅助马达将半柔性软管卷到绞盘上, 同时牵引大型喷头进行喷洒。大型喷头的移动距离 (软管长度) 一般为 200~300m。大型喷头的行走速度 (喷洒强度) 可无级变速。	适用于平坦的或缓坡的牧场和种植地。粪尿灌溉省劳力。	机型而异, 因和而单积程通过方法到小。	① 1 次的喷洒面积很大, 因此在大规模地块上喷洒时极节省劳力, 但因工作压力高, 单位面积所需动力和运行费将在一定程度上增大。② 喷洒粪尿时使用低仰角喷洒的粪尿专用喷头。

[参考]

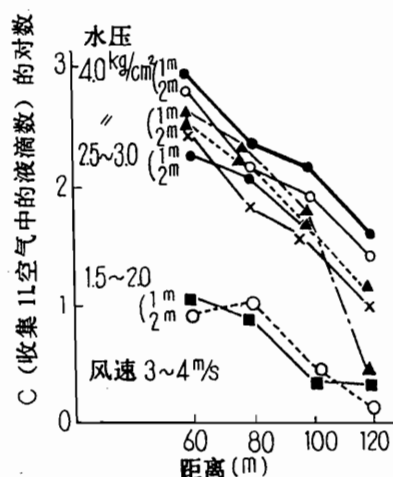


图-3.4. (21) 飘移液滴数的递减 (根据农业土木试验场资料)

表-3.4. (15) 防风林阻挡液滴飘移的效果

树种	距离	液滴高度	防风林		照度计测量的透过率	防风林状况
			前	后		
板栗	25	1	C = 51.2	C = 0	6%	高 3.0m
		2	47.0	0.5	67%	宽 6.0m
灌木	45	1	108.2	0	0%	高 3.5m
		2	131.3	0.3	0%	宽 7.5m

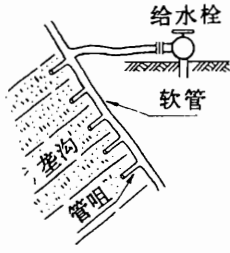
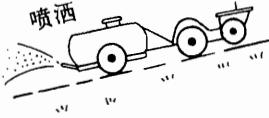
注) C: 收集 1l 空气中的液滴数

(根据农业土木试验场资料)

(2) 粪尿的流失 与化肥相比粪尿并不特别容易流失。此外牧草地保水性能和入渗速度均较大, 且具有吸收养分的作用, 故如在坡地的下侧设 10m 宽不进行喷洒的缓冲带, 就可极有效地防止粪尿流失。

〔参考〕

表-3.4. (16) 粪尿的输送方法

形式	施肥方法	适用条件 · 用工等	工程费	其他
软管灌溉	 利用柔性软管由给水栓引水通过沟灌、盘灌等地面灌水方式施用液状粪尿。在图所示为被开发用于沟灌的器材。	地形单纯，起伏少的地区。田间工作压力可减小，但有必要提供较大的流量。但作业用工较其他方式大。	最小	不会发生飘移，故在适用于村庄附近施用液状粪尿。
喷洒车	 自贮粪池或田间给水栓将粪稀主满粪罐车，并运到田间作业地点，起动粪罐车上装置的浆液泵，利用喷液器或拖车喷液器一边自走一边喷洒粪稀。喷液器的喷洒距离一般为 30~50m，罐的容量一般为 2~4m³。	平地或缓坡地。粪稀的运送距离较短时效率较高（可集体利用）。	比较小	主要用于喷洒粪稀，以外也可用于喷洒农药、农施液肥以及补充灌溉等。
粪稀注射器	 运送方式与喷洒车相同。施用粪稀是利用粪罐车后部安装的刀在耕层内开出裂缝，一边行走一边向土中注入粪稀（犁式），或一边耕地一边向土中施用粪稀（旋耕式）。旋耕式主要用于施用元肥。	没有砾石等的平坦地区。适用于从贮粪池至近的时候（可以集体利用）。	同上	专用于施用粪稀，因系直接向土中注入粪稀，故恶臭、污物感等对生活环境影响的事件不会发生。

注：这个表给出了除喷灌以外，利用田间给水栓施用液状粪尿的示例(据农业土木试验场的资料)

3.5 配水系统规划

3.5.1 配水系统规划要点

配水系统的控制规模及组成要考虑其经济性、功能性和安全性等，并且能够正常管理与运行。

〔说明〕

灌溉设施既是农业经营设施也是输水的水利设施。从其输水功能看，虽然上级干渠与末端配水设施的联系是必要的，但还需要设置田间蓄水池以保证上级干渠至末端输水管理的独立性。末端的水利用目标对田间蓄水池以下的配水设施规划有很大影响，所以把蓄水池到末端配水系统所控制的地块称为灌溉单元，此单元作为配水系统规划设计的基本单位。

灌溉单元的配水系统规划要保证输配水功能，特别是要保证末端田间的正常作业，同时必须研究分析其建设费和管理费是否经济。此外，进行多用途灌溉设施规划时，运行管理方面的研究分析是必不可缺的。

依据上述基本条件，规划时应遵循以下事项：

(1) 末端作业与工程设施投资的均衡

一般情况下，工作状态好的设施其建设费和维修管理费要高，但如果末端达到较高的作业率，则多用途灌溉的顺利进行是不可能的。所以要想合理兼顾两方面，设施的规划是很重要的。

(2) 保证各种用途灌溉的需水量条件下的系统容量

多用途灌溉设施要预计出各用途的必要水量的变化以及系统最大容量。对于水量变化，从田间蓄水池到管路作为以一个系统的水量平衡是必要的。

(3) 各种设施的合理设置及各功能的协调

配水系统的系统规划要合理确定水源部分和田间蓄水池以及末端灌溉设施之间的相互关系，从系统整体功能进行协调尤为重要。然后确定必须适合末端作业的管线和各种设施的配置。

(4) 保证充分的可靠性和安全性

为了充分发挥配水设施的作用，则必须保证其高度的可靠性与安全性。特别是多用途设施的配水系统故障，能中断末端复杂的工作制度造成巨大经济损失，严重降低其经济效益。例如阀门频繁起闭易发生管道爆裂事故，导致管道内大量农药液溢出；防霜冻喷灌时发生故障反而加重灾害程度等，可能产生新的灾害。为此，系统各部分的安全性和可靠性是必需的，从而保证整个系统的可靠性和安全性。

3.5.2 配水系统的控制规模

配水系统的控制规模（灌溉单元）是灌溉作业及设施规划的一个基本单位，或由数个轮作田块所组成。其种植计划、农业经营计划、地形条件和田间建设条件等都必须细致研究分析在加以确定。

〔说明〕

确定灌溉田块时以②和④为主要因素，轮作条件下以①～⑥为因素予以充分研究分析：

- ①作物种类、种植计划、灌溉目的。
- ②地形条件、受益地（国营或集体经营）组成、与水源位置的相对关系。
- ③末端作业体系、作业可能时间。
- ④以道路为中心的基础建设条件、田间的所属关系。
- ⑤设备材料运输、农药液的混入与残留液的处理。
- ⑥灌溉设施的经济控制规模。

特别是确定轮作田块时应注意以下几点：

(1) 补给土壤水分灌溉时连续多量供水是必要的。这种情况下的工程设施规划是根据作物的轮作制度采用均一流量，设施无停水时间，故应减少系统容量。这种因为轮作所采用一个灌溉作业体系是合理的。

另一方面在多作用灌溉情况下，可根据各自的灌溉目的制定满足轮作条件与限制条件

的轮作制度。

(2) 多用途灌溉的配水系统规划, 为保证末端作业状态采取从末端向首端的规划程序。

(3) 防治病虫害灌溉时, 要求在一日内完成 1 个灌溉单元作业, 所以必须研讨病虫害的发生与分布、年度防治计划、可能作业时间、设备器材调入、残留药液处理方法等, 然后再确定轮作区。

(4) 自动化程度、田间平整状况以及防治病虫害作业的组织对喷灌作业的效率有很大影响。

(5) 山丘区应预先考虑使用管材的耐压强度、水泵设备、配水槽、减压设施等配置, 禁止不必要的能耗和消能措施, 最后确定轮作区。

〔参考〕

(1) 对于防霜冻喷灌, 1 个喷头 1 日内喷洒的田块根据实际调查 40~60 个, 面积为 0.3~0.7 公顷, 故采用 12~40 公顷为 1 个防霜冻喷灌单元比较多。

(2) 对于防治病虫害, 可利用地形高差回收残留药液。但因地形影响控制面积受到限制, 作业效率和残留药液的再利用明显受到制约。

(3) 种植蔬菜的平坦地区的配水设施, 以压力水槽式和水泵直接供水式为主。所以设施的控制面积与设施建设费、技术问题及维修管理有关, 一般为 15~50 公顷。

3.5.3 系统容量的确定

系统容量是配水系统规划的依据, 是制定灌水计划中配水设施通过的最大流量。此外, 因灌溉目的不同其系统流量也有所不同, 确定时应根据灌溉目的进行充分研讨。

〔说明〕

(1) 一般以补给土壤水分为目的灌溉系统容量, 规划时全部实行轮灌条件下用 (3.5.1) 式计算:

$$Q = 2.78 \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T} \quad (3.5.1)$$

式中: Q ——系统容量 (l/s)

A ——灌溉单元面积 (ha)

E_2 ——毛灌水量 (mm)

F ——设计轮灌期 (day)

T ——1 日实际灌水时间 (h)

此外, 为防治病虫害的末端灌水器的选择及配置、灌水田块面积可根据已知限制条件, 系统容量用 (3.5.2) 式计算:

$$Q = 2.78 \frac{h \cdot A_u \cdot N_a}{1 - E_m} \quad (3.5.2)$$

式中: h ——灌水强度 (mm/h)

A_u ——灌水田块面积 (ha)

N_a ——一个灌溉单元中的轮灌组数目或同时灌水的田块数目 (整数)

E_m ——输水损失率

另外, 对系统容量附加自由度 (f) 时, 公式 (3.5.1) 或 (3.5.2) 两边需乘以 f 计算 (关于自由度参照 3.5.4 章节)。

(2) 多用途灌溉情况下所相应系统流量中, 把其中的最大值配水系统的最大流量, 但是各用途之间的系统流量不能相差太大。如相差过大时, 具体采用那种用途的系统流量作为设计流量, 需要进行调整。

[参考]

作物为蜜桔, 灌溉设施为多用途灌溉: 水分补给、防治病虫害、液肥施入及防止潮风灾害, 求其配水系统流量。配水系统的已知数据如下:

○灌溉面积 A : 考虑管理因素定为 30ha。

○灌水强度 h : 根据末端系统设计, 喷头选定为 10mm/hr。喷头间距 14×14 m, 单喷头控制面积 0.0196ha。

○灌水定额: 根据用水计划、灌水时间的限制及灌水制度, 见表-3.5 (1)。

表-3.5. (1) 容量确定条件

灌溉目的	设计条件						决定条件	
	面积	田间灌水量 E_1 (mm)	1日实际 灌水 时间 T (h)	轮灌期 F (day)	实际灌 水时间 T (h)	灌水 强度 h (mm/h)	1日可 能喷洒 田块数	喷洒作 业田块 数
水分补给	30	35	18	6	108	10	(5.1)	30
液肥施入	30	20	14	5	70	10	7	35
防治病虫害	30	1	4	1	4	10	40	40
防止潮风害	8	5	5	1	5	10	10	10

○防止潮风灾害面积 8ha。

①土壤水分补给及液肥施入情况下 1日可能喷洒田块数目用 $T(E_1/h)$ 计算, 计算结果保留整数。

②土壤水分补给及液肥施入情况下用①计算出的可能喷洒田块数乘以轮灌期, 即可得到可能作业数。防治病虫害及防止潮风灾害情况下用 $T(E_1/h)$ 计算可能作业数。

③计算出的可能作业数中取最小值; 此例中选取水分补给的 30 作为配水系统规划设计的依据。

④喷灌面积为 30ha, 1日喷洒田块数为 30, 故同时喷洒面积为:

$$N_a \cdot A_u = A / 30 = 1.0\text{ha}$$

考虑 $0.3\text{ha} < A_u < 0.7\text{ha}$ 条件, 调整同时喷洒田块数 N_a 、田块面积 A_u :

$$N_a = 2 \quad A_u = 0.5\text{ha}$$

此外,单喷头控制面积为 0.0196ha,喷头数为 26 个,故同时喷洒面积为 0.5096ha。

⑤防止潮风灾害情况下在可能面积 ($1.0\text{ha} \times 10 = 10\text{ha}$) 以内,满足设计条件,故此配水系统规划设计以土壤水分补给为依据。

⑥根据公式 (3.5.2) 计算系统容量:

$$Q = 2.78 \frac{h \cdot Au \cdot Na}{1 - Em} = 2.78 \frac{10 \times 0.5096 \times 2}{1 - 0.05} = 29.8 \text{ (l/s)}$$

3.5.4 配水系统的自由度

以集约化栽培作物为灌溉对象时,需要集中时间供水,所以应给配水系统一定的自由度,但充分研究分析其经济性。

〔说明〕

(1) 自由度的必要性

对于大面积栽培园艺和菜地,即使 1 日内也应指定时间集中供水(参考图-3.5. (1))。3.5.3 所述的配水设施容量是以采用轮灌为前提,用 3.5.1 式或 3.5.2 式计算。用这种方法计算的配水系统流量用水时间比较紧张。

为此要缓和用水时间,解决办法即把系统流量需要适当加大,加大的范围叫自由度。

(2) 自由度定义

①轮灌:配水设施的系统容量 Q 参考公式 (3.5.1):

$$Q = 2.78 \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T}$$

对此,根据集中时间供水所通过的轮灌流量为设计流量的 f 倍时(即轮灌时限定同时灌水田块数 Na 的 f 倍)的系统容量 Q_f 为:

$$Q_f = 2.78 \cdot f \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T} \quad (3.5.3)$$

②限定喷洒田块数目:配水设施的系统容量 Q 参考公式 (3.5.2):

$$Q = 2.78 \frac{h \cdot Au \cdot Na}{1 - Em}$$

对此,根据集中时间供水灌水田块 Na 的 f 倍的系统容量为:

$$Q_f = 2.78 \frac{h \cdot Au \cdot (f \cdot Na)}{1 - Em} \quad (3.5.4)$$

③根据上述两式, f 为:

$$f = \frac{Qr}{Q}$$

综上所述，自由度定义为：在限定灌水田块 Na 的倍数情况下表示集中用水时间可能的尺度。

(3) 自由度的大小：一般在栽培园艺地区，上午和下午有两次用水高峰，1日内灌水移动次数为4次。如考虑自由度 f ，约以2为标准。此外为保证自由度 f 的所需水量，用(3.5.6.1)章节所述的田间蓄水池集中灌水时间所需缓释和容量 VF_2 来计算。

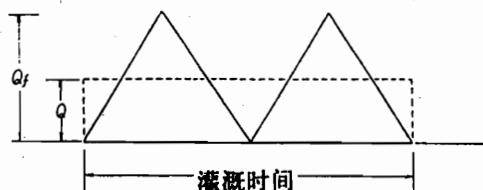


图-3.5. (1) 集中灌水时间模式图

3.5.5 配水系统的组成以及各种设施的配置

配水系统除田间蓄水池、水泵（包括附属设备）、管路、分配水设施等以外，还包括多用途灌溉所必需的设施。这些设施的合理内在关系，整个系统的功能作用等都要进行协调与规划。

各种设施的配置要充分考虑末端所需压力、控制方式、田间建设条件、灌水作业体系、多用途灌溉等因素来确定。

〔说明〕

(1) 配水系统的平面设计以及各种设施的配置必须从其水力学性质、末端作业性质、工程建设与维修管理的经济性、设施的可靠性和安全性等进行充分研讨加以确定。

(2) 喷灌系统的末端应保持较高的工作压力。工作压力可以自压为基本压力。但在水泵加压情况下应把加压区间控制在最小范围内。确定泵站和田间蓄水池位置时要注意减少能耗。

(3) 水泵、田间蓄水池及管路是组成配水系统的基本要素。特别要注意设施建设费和维修管理费与系统之间的相互协调、调整。

(4) 山丘地的配水系统以配水槽式为主。配水槽的配置根据水泵到配水槽的扬水高度、从配水槽到末端分水阀的压力调节、使用管材的耐压强度等而决定。特别是配水槽的位置和控制面积对工程投资和维修管理费有很大影响。

(5) 在平坦地区一般水泵直接送水方式或压力罐方式。采用压力罐方式时，水泵的控制根据压力开关 ON~OFF 来控制，水泵运转控制和末端作业应分开。ON~OFF 控制时间间隔必须在研究分析水泵工作方式基础上正确确定。采用水泵直接送水方式时，对因压力和流量变化而使用的控制设备和其他附属设备要认真加以研讨。

(6) 管路配置与分水、配水的操作和残留药液排出操作有密切关系。所以把自动化程度、田间整备条件、残留药液处理方式等综合研究分析后再进行管路配置。

(7) 管路配置以连接分水点的距离最短为原则。但作业开始前的放水操作、管内空气的处理、管材管型的耐压强度以及维修管理等需充分研究分析加以确定。

(8) 器材调入设施要考虑器材的运输,尤其是道路情况,然后确定设施位置。另外,回收残留药液情况下,药液的处理和再利用问题必须认真研究。

(9) 多用途灌溉情况下,特别是要求较高的压力调节是经常性的。调整压力时其目的不仅是调整水力坡降,还包括水击的消除,管内空气的处理也要一同研究,以提高水力坡降的稳定性和安全性。还要特别注意减压过大易产生气穴现象,形成水流紊动。

气穴现象的安全减压量 ΔH 可根据下式表示的气穴系数 σ 进行估算:

$$\sigma = \frac{H_d - H_v}{\Delta H}$$

式中: H_d 是减压阀出口的压力水头, H_v 是想对于大气压力的水蒸气压力(水头换算值), ΔH 为减压量。根据减压阀的结构、开启度及管径,安全系数 $\sigma < 1.25 \sim 1.50$ 。

(10) 灌溉用水中经常混入沙、砾和木屑等,所以过滤器必不可少。①从田间蓄水池至配水管路的入口处设过滤网。另外还可做成使沙砾不能翻卷起的套管形状。②在管道内主要调压阀、流量调节阀的进口处设置过滤器等必设的过滤设施。

3.5.6 配水设施规划

1. 田间蓄水池规划

配水系统中设置田间蓄水池的目的是调整上级干渠系统流量和末端设施系统流量,增加末端水利用的自由度,使水泵类的水量控制设备操作灵活,特别是可减少水量损失。田间蓄水池在1个灌溉单元设置1个,原则上以灌溉用水量的日调节进行规划。田间蓄水池的规模及设置要考虑充分发挥起作用为前提,在地形条件,经济性等方面进行论证并加以确定。

〔说明〕

1) 田间蓄水池的功能与作用

一般情况下上级干渠的过水时间和末端的灌水时间不同。末端灌水停止时上级干渠通水还将滞留一段时间,并流量逐渐减小。为减少这种水量管理损失,应做好上级干渠的输水管理。所以设置的调节设施称为田间蓄水池。

田间蓄水池可缓和末端水量的变动及消除短时间水量变化,方便上级干渠的输水管理和消除因末端用水所造成的干渠输水管理上的一些限制。所以消除用水量的变化,使输配水控制顺利进行(特别是水泵启动与停机控制)是非常重要的。

综上所述,可分解为下述各项独立功能,但各有必须的流量条件。

- ①末端灌输时间与干渠通水时间时间差的调节容量
- ②用水时机间集中的加大流量
- ③多用途灌溉所需流量
- ④扬水设施及分水设施正常运转情况下的控制流量

⑤正常输水管理的流量

田间蓄水池具有多项功能。此外还具有连接干渠和末端配水系统的缓冲部作用。尤其是多用途灌溉情况下可实现自动化,具有重要意义。所以在田间蓄水池规划时根据其用途要充分研究其型式、流量及位置,最后慎重确定。

2) 田间蓄水池容量

(1) 末端灌水时间与干渠通水时间时间差的调节容量

末端灌水时间一般为 16~20 小时,其中不包括移动时间,为实际灌水时间。此外干渠的通水时间因水量控制和流量等问题,一般通水时间为 24 小时。两者的时间差用田间蓄水池调节。所以田间蓄水池必需的水量 V_n (m^3) 用下式计算:

$$V_n = \frac{D}{E_r} \cdot \frac{10}{24} \cdot (24 - T) \cdot A \quad (3.5.5)$$

式中: D ——设计日耗水量 (mm/day)

E_r ——灌溉效率

T ——对应于设计日耗水量 D 日的实际灌水时间 (h)

A ——田间蓄水池控制灌溉面积 (ha)

现在把对应于设计最大日耗水量 D_m (mm/day) 的实际灌水时间定为 T_m (h),并只限于使用同一末端设施,则设计日耗水量 D 和实际灌水时间 T 有下列关系:

$$D = \frac{D_m}{T_m} \cdot T \quad (3.5.6)$$

从公式 (3.5.5) 和 (3.5.6) 中消去 D , V_n 变为 T 的 2 次方程:

$$V_n = \frac{D_m}{E_r \cdot T_m} \cdot \frac{10}{24} (24T - T^2) \cdot A$$

上式中 $T = 12h$ 时, V_{F1} 为最大值,则:

$$V_{F1} = \frac{60}{E_r} \cdot \left(\frac{D_m}{T_m} \right) \cdot A \quad (3.5.7)$$

但是如规划地区设计日最大耗水量时的灌水时间超过 12 小时,则使用公式 (3.5.5) 此时的 D 和 T 使用设计日最大耗水量时的值。此外,用水泵向田间蓄水池供水等情况,应考虑其他方式供水。

(2) 集中时间供水的加大容量

对配水系统附加自由度时,田间蓄水池应具有相应的容量。一般栽培园艺地区上午和下午有 2 次用水高峰,如把这种时间集中情况用图-3.5.2 (b) 表示为 2 个三角形(设自由度 $f > 2$),则加大流量 V_{F2} (m^3) 计算如下:

①任意时间的蓄水量 用水模式图-3.5.2 (a) 表示田间蓄水池贮水量的变化, 任意时间 t 的蓄水量 V (m^3) 用下式计算:

$$0 < t < t_1 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t$$

$$T_1 < t < t_2 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \int_{t_1}^t \frac{2f^2 \cdot Q_0}{T} (t - t_1) dt$$

$$t_2 < t < t_3 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{T}{4} \cdot Q_0 + \int_{t_2}^t \frac{2f^2 Q_0}{T} (t - t_3) dt$$

$$t_3 < t < t_4 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{T}{2} Q_0$$

$$t_4 < t < t_5 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{T}{2} Q_0 - \int_{t_4}^t \frac{2f^2 Q_0}{T} (t - t_4) dt$$

$$t_5 < t < t_6 \text{ 时}$$

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{3}{4} T Q_0 + \int_{t_5}^t \frac{2f^2 Q_0}{T} (t - t_5) dt$$

式中: Q_0 为自由度 $f=1$ 时单位时间的耗水量 (m^3/h), 用下式计算:

$$Q_0 = \frac{10D_m A}{T_m E_f}$$

Q_{in} 为进入田间蓄水池的流量 (m^3/h), 如 24 小时连续供水, 则:

$$Q_{\text{in}} = \frac{T}{24} Q_0$$

②附加自由度时的田间蓄水池容量 ($V_{f1}+f_2$)

在贮水量变化曲线中找出极大值和极小值, 即 t_A 、 t_B 、 t_C 及 t_D 时田间蓄水池的相对容量, 见下式:

$$V_A = \frac{T}{48} (48 - T) Q_0 - \frac{T^2 Q_0}{24f} + \frac{T^3}{48^2 f^2} Q_0$$

$$V_B = \frac{T}{48} (24 - T) Q_0 - \frac{T^3}{48^2 f^2} Q_0$$

$$V_C = \frac{1}{2} Q_0 - \frac{T^2}{24f} Q_0 + \frac{T^3}{48^2 f^2} Q_0$$

$$V_D = -\frac{T^3}{48^2 f^2} Q_0$$

从上式中可看出 $V_A > V_C$ 、 $V_B > V_D$ 的关系, 所以附加自由度时的田间蓄水池容量 V_{F1+F2} (m^3) 用下式表示:

$$V_{F1} + F_2 = V_A - V_D = \frac{T}{48} Q_0 - \frac{T^2}{24f} Q_0 + \frac{2T^3}{48^2 f^2} Q_0 \quad (3.5.8)$$

式中的田间蓄水池容量是根据实际灌输时间而变化的。设计的田间蓄水池容量为最大值时, T (h.) 用下式计算:

$$T = 8f^2 + 16f - \sqrt{64f^4 + 256f^3 - 128f^2}$$

但是, 规划地区设计最小日耗水量时的实际灌水时间大于用上式求出的 T 值时, 则使用设计最小灌水时间。另外用水泵向田间蓄水池供水时, 供水流量的下限受到一定限制时需考虑采用其他措施。

(3) 田间蓄水池位置及其省略

①田间蓄水池的位置应根据下述原则分析确定:

- a、原则上设置在灌溉田块附近, 并尽量利用地形产生的自然压力以满足供水压力。
- b、维修管理方便且造价经济。
- c、采用配水槽方式时从维修管理和经济性两方面研究分析其控制面积及位置。但高地形设置并不一定有利。
- d、有效利用已建水池。
- e、预先分析施工条件与地基条件。
- f、考虑洪水退流与紧急出流, 选择尾水渠有保证的地段。

②田间蓄水池省略问题

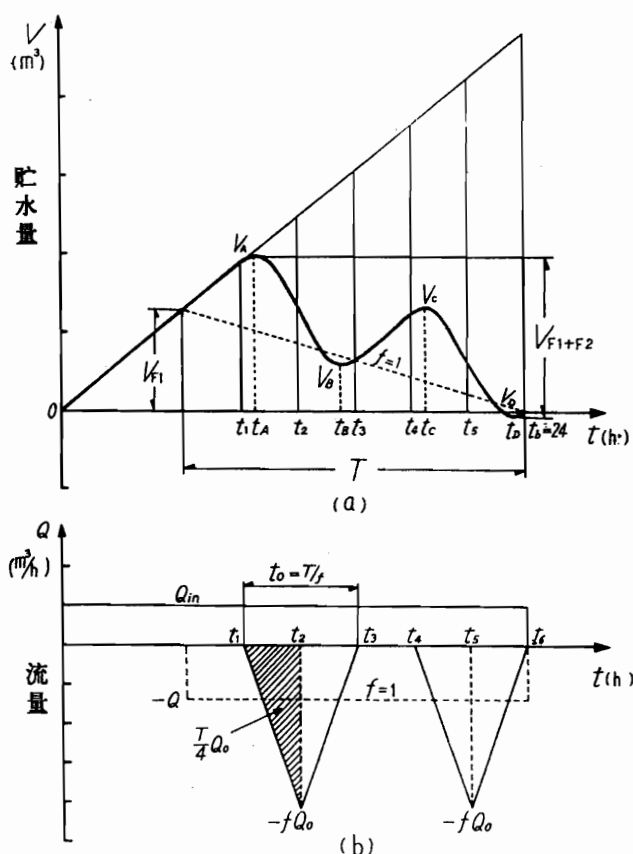


图-3.5. (2) 用水高峰和贮水量变化

③根据附加自由度田间蓄水池容量的增量 (V_{F2})

田间蓄水池容量的增量是为缓和用水时间的集中所必需的容量，用下式计算：

$$V_{F2} = V_{F1+F2} - V_{F1} \quad (3.5.9)$$

式中： V_{F1} 用公式 (3.5.5) 或 (3.5.7) 求出。此外根据集中用水时间的用水高峰一般用三角形表示。田间蓄水池控制面积比较小情况下，可根据农业经营状态、自动化程度而集中灌输水时间，用梯形或四边形表示。但是使用这种用水高峰时必须充分考虑其与设施规模和效益的关系。

(3) 多用途情况下的容量

防霜冻灾害和防潮风灾害等特定时间集中用水时的必要容量 V_{F3} (m^3) 根据各用途的设计值进行计算。

(4) 扬水设施及分水设施正常运行的控制容量

根据田间蓄水池水位水泵从干渠扬水和分水设施进行水量控制时,为使取水控制正常进行必需一定的容量。此外还要考虑控制的稳定性,所以田间蓄水池水位差下限受到一定制约。

$$V_{F4} = Q_P \cdot t_0 \quad (3.5.10)$$

$$V_{F4} \geq 0.2^* \times A_0 \quad (3.5.11)$$

V_{F4} 满足上述两式。

式中: Q_P ——水泵扬水量 (m^3/min)

t_0 ——水泵停机时间 (20 分钟以上) (min)

A_0 ——田间蓄水池横断面积 (m^2)

*——因水泵启动停止的液面传递、浮动开关等“不灵敏区”的要求,应在 20cm 以上。

(5) 正常输水管理所需要的容量

大型干渠渠系 (明渠) 的取水点和分水点之间水量控制比较迟缓,在减少流量控制操作时产生无效输水损失和管理用水损失。在增大流量控制操作时不能及时满足水量需求。为了减少这种管理水量损失和方便用水管理操作,田间蓄水池必需具有如下容量 V_{F5} (m^3):

$$V_{F5} = \Delta Q \cdot \tau \quad (3.5.12)$$

式中: ΔQ ——流量变化 (m^3) (设计日耗水量随时间变化的差值为最大流量差)

τ ——水量控制操作的迟缓时间 (s)

矩形断面的明渠 τ 可用下式计算:

① 根据初始稳定流态时的资料及水面到达情况的分类:

根据波速确定时间 T_h (sec)

$$T_h = l / (u_b + \sqrt{gh_0})$$

根据渠道的贮水量变化确定时间:

$$T_c = \Delta V / \Delta Q$$

式中: l ——渠道长度 (m)

g ——重力加速度 ($9.80m/s^2$)

u_b ——初始平均水深 (m)

ΔV ——渠道内贮留水量的变化量 (m^3)

② $T_h > T_c$: 受堰上雍水影响比较大,且 ΔV 较小,根据用水到达状况 $\tau = T_h$ (s)

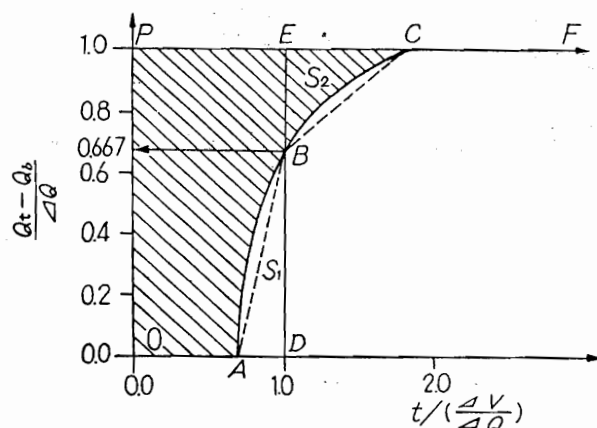


图-3.5. (3) 用无量元表示的曲线

③ $T_h < T_c$: 图解表示为无量纲曲线, 见图-3.5. (3)。图中 A 点坐标为 $(T_h / T_c, 0)$ 。B 点的横坐标 $t / (\Delta V / \Delta Q) = 1.0$ 时, 其纵坐标为 0.667 (试验得出)。所以 B 点坐标为 $(1.0, 0.667)$ 。

图-3.5. (3) 中斜线部分表示贮水量变化, C 点的横坐标值 $(t / (\Delta V / \Delta Q))$ 为 $\triangle ABD$ 和 $\triangle BEC$ 的面积, 即等于 S_1 与 S_2 之和:

$$\left[t / (\Delta V / \Delta Q) \right]_c = 3.0 - 2.0 \frac{T_h}{T_c} = 3.0 - 2.0 \frac{\left(\frac{1}{\bar{v}_b + \sqrt{g \cdot h_b}} \right)}{(\Delta V / \Delta Q)}$$

$$\text{所以 C 点的坐标为: } \left(3.0 - 2.0 \frac{\left(\frac{1}{\bar{v}_b + \sqrt{g \cdot h_b}} \right)}{(\Delta V / \Delta Q)}, 1.0 \right)$$

图-3.5. (3) 所表明的 V_{F5} 的无量纲即为图中斜线部分的面积。即此因 $S_1 = S_2$, V_{F5} 的无量纲量为四边形 ODEP 的面积。所以把 V_{F5} 代入 3.5.12 式, 即得出 $\tau (s)$ 值:

$$\tau = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (3.5.13)$$

④ ΔV 的计算方法

渠道比降在 $1 / 3000$ 以上时, 用非均匀流计算的矩形断面渠道初始稳定流态的水面 $h_b(x)$ 和控制后稳定流态的水面 $h_e(x)$ 计算 ΔV :

$$\Delta V = b \int_0^e [h_e(x) - h_b(x)] dx \quad (3.5.14)$$

式中: X ——渠道纵断方向距离 (m)

b ——渠道宽度 (m)

这种方法不仅适用于矩形断面渠道, 也适用于抛物线形断面渠道。图-3.5. (4) 中所
示的抛物线形断面渠道的过水断面为 $A(h) = 4h^{3/2} / 3\sqrt{a}$,

$$\text{故: } \Delta v = \frac{4}{3\sqrt{a}} \int_0^l \{ [h_e(x)]^{3/2} - [h_b(x)]^{3/2} \} dx$$

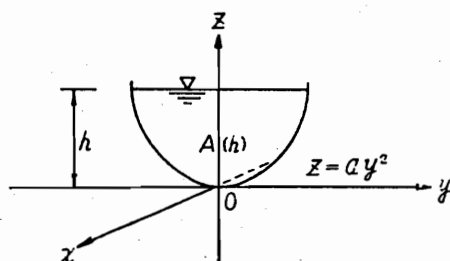


图-3.5. (4)

式中的 $h_a(x)$ 和 $h_e(x)$ 分别为抛物线形断面渠道初始稳定流与操作后稳定流态的水深。

(3) 田间蓄水池位置及其省略问题

① 田间蓄水池位置: 根据下列原则分析确定

- 原则上设置在灌溉田块附近, 并尽量利用地形产生自然压力以满足供水压力要求。
- 维修管理方便且造价经济。
- 采用配水槽方式时从维修管理和经济性两方面研究分析其控制面积及位置。但注意高地形设置并不一定有利。
- 有效利用已建水池。
- 预先分析施工条件和地基条件。
- 考虑洪水退流和紧急出流, 应选择尾水渠有保证的地段。

② 田间蓄水池的省略问题

因地形和经济条件制约, 不能设置田间蓄水池的情况也存在。这时可考虑严格控制干、支渠流量以起到田间蓄水池的作用。一般的灌溉设施, 其规划设计的水利用状况不一定能够实施, 并且年际变化的情况也很多。因为田间蓄水池作为安全设施而发挥其作用, 除不得已情况下不应省略。在省略情况下要充分考虑系统的安全性。

2. 管道设计

从田间蓄水池到各田块的渠道形式原则上使用封闭式管路。但因地形条件需进行管路中途压力调整或设置分水槽的半封闭式管路也有时采用。管路设计时包括末端设施的正常工作、设施利用的调整配置以及选定管径和管材。

(1) 一般事项

旱地灌溉设施的配水管路是给末端设施处提供压力水，一般用埋设管路。设计配水管路时，在灌溉作物的各个地段末端处保持适当工作压力的同时，必须选择能够通过设计流量的管径。

① 配水管路的一般设计程序

合理的规划和设计程序见下例：

a. 首先决定适合末端设施所需压力和容量范围，再确定以此响应的配水管路纵向各分水口处的压力水头。

b. 确定末端设施管路的设置。

② 管径选择

a. 水泵扬水：水泵向末端提供工作压力时不仅要考虑末端的初期投资，还要考虑维修管理费用，然后设计合理的管径。要注意动力费（电力、燃料等所需能源费用）的上涨调价。

b. 充分利用位置水头：根据位置水头能够获得必要的压力水头时，可最大限度利用其压力水头选择管径。此时要考虑与管路费用直接有关的水头分配，选择更加经济、合理的管径。

(2) 管径的确定 配水管路确定后用下式计算流量

① 轮灌田块的流量

$$q = \frac{E_2}{8.64} \cdot \frac{24}{T_0} Au = N \frac{q_n}{1 - Em} \quad (3.5.15)$$

式中：q——轮灌田块的供水量 (l/s)

E_2 ——毛灌水量 (mm)

T_0 ——1次灌水时间 (h) (灌水高峰时1个末端设施的灌水时间)

Au——轮灌田块同时喷洒面积 (ha)

N——轮灌田块同时喷洒喷头数 (个)

q_n ——单喷头喷水量 (l/s)

Em——输水损失率

如考虑自由度 f 时，可用下式计算：

$$q_f = \frac{E_2}{8.64} \cdot \frac{24}{T_0} \cdot f \cdot Au = N \cdot \frac{q_n \cdot f}{1 - Em} \quad (3.5.16)$$

式中的 f 为系统容量的自由度，其定义参照 3.5.4 章节。

② 至轮灌田块的流量

$$Q = \sum_i^n q = q_1 + q_2 + \dots + q_n \quad (3.5.17)$$

式中: Q ——至轮灌田块的供水量 (l/s)

$\sum_1^n q$ ——确定的过水断面区间以后各轮灌田块的供水量之和 (l/s)

若考虑自由度 f 时, 可用下式计算:

$$Q = \sum_1^n qf = (q_1 + q_2 + \dots + q_n) \cdot f \quad (3.5.18)$$

③水力公式 确定管径摩阻水头损失可用哈森·威廉公式计算:

$$H = \frac{6.819 \cdot L \cdot V^{1.853}}{C^{1.852} \cdot D^{1.167}} \quad (3.5.19)$$

式中: H ——摩阻水头损失 (m)

D ——管径 (m)

L ——管长 (m)

V ——管内流速 (m/s)

C ——系数

C : 聚乙烯管 150 (如管径小于 150mm 取 140)

石棉水泥管 140

球磨铸铁管 (砂浆衬里) 130

钢管 (环氧树脂涂层) 130 (但管径小于 800mm 的钢管焊接部位一般不进行涂层, 故 C 值考虑其它计算方法)

此外, 具体水力计算与设计参照“土地改良工程规划设计标准设计渠道工程”

(2) 管路部分。

④管径的确定

a. 水面比降是最严格的控制条件。例如作为基准的最大输水距离和最大扬程等都与其密切相关。

b. 配水支管是从各支管的末端开始计算, 顺序往首端推算。配水支管任意一分叉处需根据已知条件设计最大水头损失比降线。

c. 田间蓄水池或配水槽以下的管路采用自压时, 水面比降线的最高位置根据田间蓄水池 (或配水槽) 的最低取水水位确定。另外, 支管可根据分水点的水面比降线确定。所以管径选择以不能超过上述水面比降线的最高点来进行设计。

d. 确定自压式管路的管径时, 考虑管路投资的水头损失之比确定后即可选择管径。即把与管路投资成比例的有效水头进行分配。

e. 定流量情况下, 管径愈小, 水面比降愈大。如确定各分水点处所要求的水面比降线高度时, 须先求出适宜管径。

f. 输水方式采用配水槽或压力槽时, 管径选择直接受提水机械的影响, 所以必须把提

水机械费用和管路投资相配合进行设计方案比较,找出费用最低方案。

g. 无论何种情况,水面比降线都必须在管路纵断线之上。

h. 确定分水点水位时,选择分水管管径要尽量利用已知的分水点水位至田间最远点的落差。此时用下式计算管路(参照图-3.5.(5))。

$$x = \frac{H_0 - h_1 \cdot L}{h_2 - h_1} \quad (3.5.20)$$

式中: x ——小口径管道 (D_2) 的管长 (m)

H_0 ——可能利用的有效水头差 (m)

L ——管路总长 (m)

h_1 ——大口径管道单位长度摩阻水头损失 (mm)

h_2 ——小口径管道单位长度摩阻水头损失 (mm)

$L-x$ ——大口径管道 (D_1) 的管长 (m)

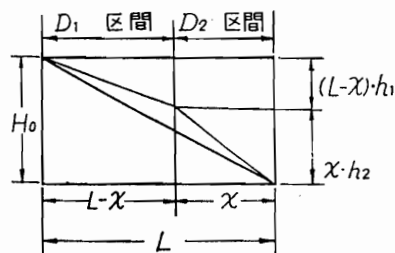


图-3.5.(5)

j. 管路中的弯管、分支管 (三通、四通) 及异径管等各种管件以及闸阀的局部水头损失与摩阻水头损失相比很小,可忽略不计。但需计算时,可以按沿程摩阻水头损失的 10% 计。特殊型式的闸阀,如自动控制用的电磁阀、喷头竖管用的节止阀、水泵进水管的底阀等局部水头损失一般为 2-5m,所以必须计入其损失。

h. 管道流速与水头损失有关,并影响管路投资。所以要根据管线的地形条件、使用管形及管径、管路形式等统一考虑。一般情况下的流速范围见表-3.5.(2)。管内平均流速的允许最大值要根据管道内壁的材质而定,见表-3.5.(3)。

为了避免水中浮游物在管内沉积,在流量设计时管内最小流速应在 0.3m/s 以上。

l. 配水系统管路一般为树枝状分布。但呈管网分布时,各管路的流量分布受到全系统的水力条件制约,所以必须依据管网流量计算方法进行规划设计。

表-3.5.(2) 设计流速标准值

表-3.5.(3) 允许最大平均流速

管径 (mm)	设计流速 (m/sec)	管内壁	允许最大平均流速 (m/sec)
75~150	0.7~1.0	砂浆衬里或混凝土	3.0
200~400	0.9~1.6	钢或铸铁	5.0
450~800	1.2~1.8	硬聚氯乙烯或硬聚乙烯管、	
900~1500	1.3~2.0	强化塑料管	5.0
1600~3000	1.4~2.5		

(3) 管型管材选择

管型管材必须具有足够的强度,然后考虑其经济性加以选定。

3.5.7 农药液及化肥施入处理系统的规划设计

1) 灌溉区及设施组成

灌溉区是由灌水田块、轮灌田块和灌溉单元所组成。基本设施是由配水设施和末端灌水设施所组成。当防治病虫害及施肥时,还应包括附带设施及残留药液处理设备。多用途灌溉情况下这些设施必须作为统一的综合系统并有效地发挥其作用为前提条件进行规划。

〔说明〕

(1) 灌水田块指末端由闸阀控制的各毛管同时灌水的旱田面积。轮灌田块指在轮灌条件下 1 个轮灌组控制的灌水面积。灌溉单元指 1 个田间蓄水池控制的数个轮灌组的灌溉面积。

(2) 配水设施指从田间蓄水池至末端灌水设施阀门之间的管路及附属设备。末端灌水设施包括阀门以下的灌水田块管路系统。见图-3.5. (6)。

(3) 多用途灌溉系统的控制面积较大时是顺序自下而上由灌水田块、轮灌组面积、灌溉单元所组成。但控制面积较小时，无需采用轮灌，故只由 2 部分组成。

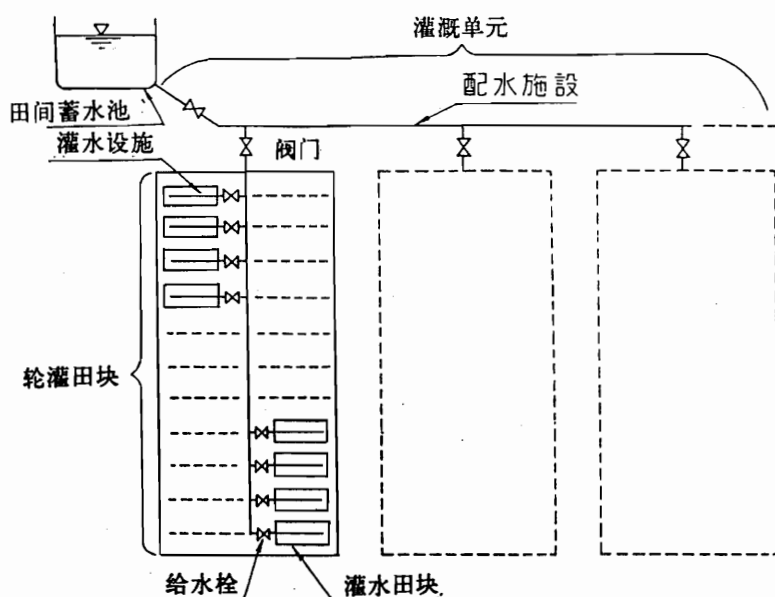


图-3.5. (6) 旱田灌溉系统的构成

2) 农药液和肥料施入方式

当确定防治病虫害的药液及液肥施入方式时要考虑农田的分布和大小、作物、种类、种植方式、作业体系等因素是否合适。

〔说明〕

施入方式根据系统内各种设施的设置可分为首部施入、轮灌组施入、灌水田块施入三种方式。如以施入设备功能分类可分为稀释施入、定流量闸阀控制施入、流量比方式施入、利用压差施入 4 种方式。

1) 各种施入方式的示意图如下

(1) 首部施入方式 (方式 A)

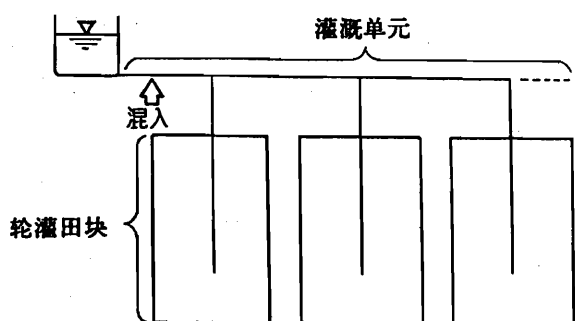


图-3.5. (7)

(2) 轮灌组施入 (方式 B)

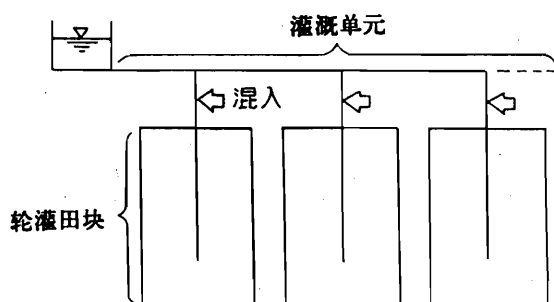


图-3.5. (8)

(3) 灌水田块施入 (方式 C)

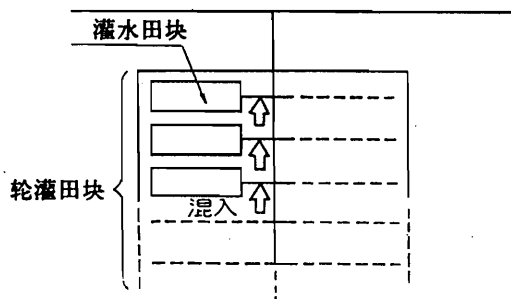


图-3.5. (9)

A 和 B 两种方式的施入装置设在配水设施内, 属配水设施; C 方式的施入装置设在灌水设施内, 属灌水设施。

2) 各种施入方式的特点

①首部施入方式: 这种方式的控制面积可达数十公顷的单一作物种植区(国有或集体所有), 而且地形条件、农业经营状况以及耕作方式都采用集约化经营是极为有利的。

②轮灌组施入方式: 这种方式适用于大型国营灌区, 且农田是由数公顷为一个集中田块所组成。对多种作物情况下的农业经营形态及作业体系为数公顷至 10 公顷的集约经营较为适用。

③灌水田块施入方式: 这种方式用于高级蔬菜的集约栽培, 并适用于以个体经营为主体的农业经营和作业体系, 其面积为数亩至数公顷。

表-3.5. (4) 各种灌溉面积的适用方式

方式 \ 面积	大	中	小
A 方式	○	×	×
B 方式	○	○	×
C 方式	○	○	○

3) 农药液施入方法

①全量稀释施入方式: 此方式不使用机械, 在调节槽或贮水槽把一定稀释浓度的药液压入管道中。如控制面积大, 则需要大容量的调节槽或贮水槽, 这样药液送到田间需要较长时间, 药效受到一定影响, 故要慎重考虑。

②定流量阀施入方式: 把液肥和药液的稀释液用单独设置的药液专用管送至定流量阀前并与流量比调整为常数, 然后按此常数进行稀释并施入。

③流量比例方式: 按灌水配管与药液施入配管的断面积之比率变成药液稀释倍率的比率。先对灌水配管装设文丘里装置, 第 1 次让其水压和药液压力保持一致, 第 2 次让其产生压差, 并利用压差把药液注入灌水配管, 即可得到常定倍率的稀释药液。

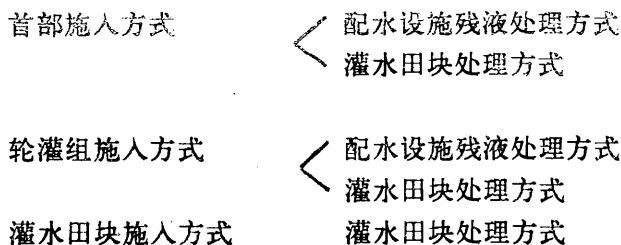
④利用压差方式: 做 2 个孔口, 根据灌溉水和药液两种流量测出其压力差, 再利用调节阀调节两者的压差并保持常数, 让两者的配管管径比率与所定的药液稀释倍率一致。

3) 残液处理方式:

残液处理分为在配水设施和末端灌水设施两个部位进行。确定各类设施的残液处理方式时, 要考虑与药液、液肥的施入方式、农业经营形态、作业体系等相适应。

〔说明〕

旱地灌溉中多用途设施的配管一般与移动喷洒的固定管道相比, 多使用大口径管道, 造成喷洒药液以后管道内残留较多药液, 导致药液费用增加。所以必须回收残留药液进行再利用。残留药液的回收通常在配水设施或喷洒设施分别进行。药液施入方式与残液处理方式的组合如下:



(1) 配水设施内的残液处理方式

输配水管道的管径与灌水用管道相比要大得多，且管线很长，易产生药液损失。干、支管道内的残液处理一般采用放水排出和逆流回收两种方式。

(2) 灌水设施内的残液处理方式

灌水设施内的残液处理方式可分为回收处理和向田间排出两种方式。

- | | |
|-------|------------------------|
| ①回收处理 | 顺序回收
同时回收
双向配管回收 |
| ②田间排出 | 放水排出
空气加压排出 |

3.6 输水系统规划

3.6.1 输水系统的规划

确定输水方式要考虑水源状况、地形、灌水方式和用水管理方法等，然后确定此地区的最优输水方式。此方式须安全、经济，再依此选定渠道形式。

〔说明〕

从水源向规划地区引水，要统筹考虑充分满足田间配水需求的输水系统与其设施操作、管理方式，这是决定系统优劣的关键。

(1) 输水系统的选定

输水系统一般如图-3.6.1 表示的复杂系统。选定输水系统时从水源到田间的水管理方法为一个系统，然后进行多个系统的方案比较，选其最优方案。系统比较的评价标准如下：

- ①水资源的有效利用，尤其是扬水灌区和水库灌区应尽量避免无效扬水和放水。
- ②水管理方法简单，水量分配效率高。
- ③工程设施投资经济、低廉。
- ④操作方式简单，故障少。
- ⑤维修管理费用低。

选择满足上述条件的输水系统时，田间蓄水池及其附属设施也必须进行分析和研究。

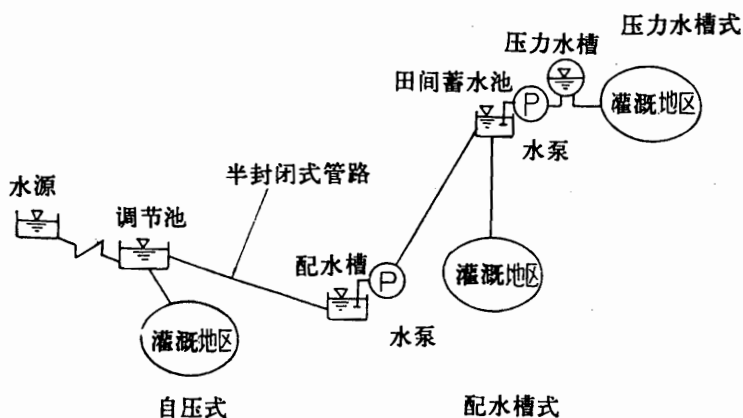
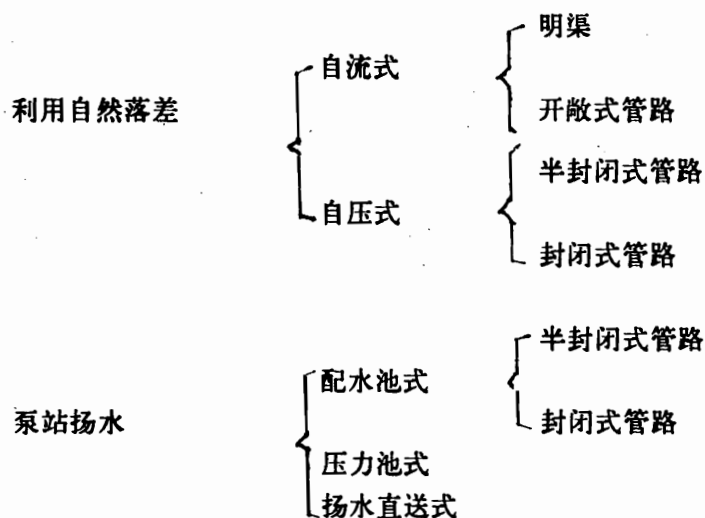


图-3.6. (1) 多种输水方式组合的输水系统示意图

(2) 输水方式的分类及选定

输水方式有以下 5 种：



上述 5 种形式中，自流式用于大型灌区的水源至调节池的干渠扬水，直送式属小型旱田灌溉设施，但应注意解决好水击问题。一般旱田灌溉中自流式、配水池式和压力池式用的较多。常用输水方式示意图见图-3.6. (2)。

首先应考虑利用最优的自压式输水。如只有部分地区能够利用自然落差，也应尽量采用自压式。不能利用自然落差的地区可考虑配水池式，不能采用配水池式的地区只能采用压力池式。但 1 个压力池的控制面积要考虑其维修管理和设备费问题，故以控制 30~60ha 为好。

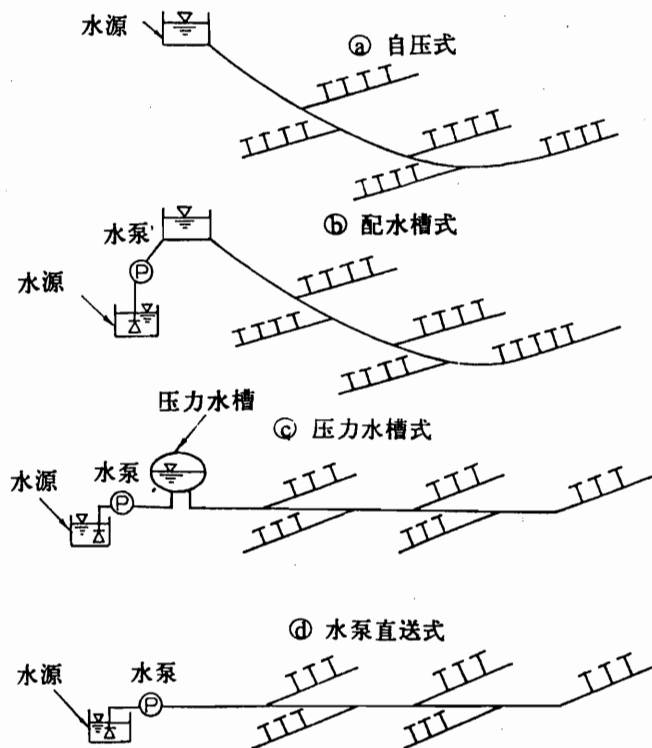


图-3.6. (2) 输水方式类型

对于灌溉区域比较分散的大型灌区可由上述几种输水方式组合而成。如何组成要综合考虑输水渠（管）的形式并进行多方案充分比较评价，最终选其最优方案。例如扬水灌区水源距田间较远时，是在水源处扬水或是在干渠处扬水和干渠末端扬水；此外还应考虑输水形式是采用配水池或是压力池；输水是采用明渠或是封闭、半封闭管路；调节池和田间蓄水池是否必要、位置及各种形式的组合等。然后对水源及其位置、灌区状况等进行充分勘察，并依据前述评价标准对已定方案进行分析评价。

对于特大型灌区，输水方式的优劣关系到水管理及设施维护管理的重要问题。

山丘型灌区地面高差较大。考虑管道的耐压强度故在管道的允许压力强度内把灌区依等高线分区，采取 2 级或 3 级扬水。

(3) 渠道形式及其特点

明渠与管道有很大区别。管路可分为 3 种形式，其特点见表-3.6. (1)。

输水方式确定后，规划时根据有关资料渠道形式即可确定。管路的规划设计参照土地改良工程规划设计标准渠道设计 (2) 管路部分。

表-3.6. (1) 各种管路形式特点

	开敞式管路	封闭式管路	半封闭式管路
分水调节	管道调压点处可设置分水口, 结构合理的分水口具有水量调节准确、简单等优点。	一条管路中的部分给水栓开启影响其它给水栓的分水, 可设置定量分水的分水装置, 但增加工程投资。	在浮球阀处设分水设施可在一定程度上进行分水量调节, 比封闭式管路有一定优点。
管体	根据管道调压点处的压差限制规定可使用低压管, 但接点处一旦减压, 管径需加大。	可有效利用水头, 但需使用高压管, 与开敞式管路相比管径较小, 在坡度大的地区管道投资比开敞式管路低。	适当使用浮球阀可利用低压管, 一般情况下管道与开敞式管路相比多使用高压管
调压台	在坡地管线纵向必须加大调压台的密度, 增加其投资。	无需设调压台, 减少投资。	在管道耐压强度内设浮球阀为好, 即使是坡地浮球阀数量也比开敞式管路少。
放水设施	分水口处须设放水口。	分水口处无需设放水口。	尽量把放水口设在浮球阀处, 故无需在管路末端修建排水设施排入河流, 投资比开敞式管路低。
水管理损失	水管理损失和明渠相同, 特别是旱地 24 小时不连续灌溉情况下水管理损失超过计算值。	水管理损失小。	水管理损失小。

3.6.2 水量调节设施

为了提高所有设施的经济性和使用可靠性、水利用的合理性以及高效率的水管理, 在输水系统的适当位置修建水量调节设施。调节设施的设置、贮水容量以及结构, 应有效的发挥调节作用。

〔说明〕

1) 调节目的与作用

调节设施用于动态用水和高效灵活的水量分配。此外防止无效退水和渠道维修养护时的连续供水以及各种渠系建筑物水量联合调度运行图的制定。

2) 调节设施的类型

调节设施设置在渠系的内部或末端, 进行 1 天至数天长期水量调节的为调节池; 1 日以内水量调节的为田间蓄水池; 水泵抽水几十分钟, 或与其它设施工作有关、保证水量合理分配的为配水槽 (包括调压水箱和水箱)。

(1) 调节池

①调节池的容积

a) 为保证科学与合理的配水管理, 调节池应保证下泄 12 小时至 24 小时的设计最大流量的贮水能力。此时调节池的容积用下式计算:

$$V = \frac{10Dm}{E_f} \cdot \frac{Nt}{24} A \quad (3.6.1)$$

式中: V ——调节池容积 (m^3)

Dm ——设计日最大耗水量 (mm/day)

E_f ——灌溉效率

Nt ——蓄水时间 (ha) = 蓄水天数 $\times 24$

A ——调节池控制灌溉面积 (ha)

b) 渠道及渠系建筑物的检修、养护等所需时间也是决定调节池容积的条件和因素。一般 $0.5m^3/sec$ 以下的管路修损 1 日可完成, 但大于 $0.5m^3/sec$ 的管路修损需 3~7 日左右。

c) 除水量分配和设施管理外, 如需辅助水源情况下应确定调节池的必需贮水量和连接调节池的渠道过水能力及其结构尺寸。

②调节池的设置

调节池的设置应在规划设计区域内分散布设。从河流 (包括水库) 取水的地区即使是高水位时也要考虑辅助水源的作用。确定调节池的位置要充分研究分析其所处位置的自然条件、经济性以及上下级管道的设计水位和管路的系统水头分配。

(2) 田间蓄水池

田间蓄水池容积的确定: 参照(3.5.6.1) 田间蓄水池的规划。

(3) 配水槽

①使用条件: 采用水槽作为输水方式是泵站输水和喷灌系统的最优方式。配水槽主要用于水泵工作间歇时间的输、配水调节, 调节范围较小。但也有为防台风潮风害而断电时预先在配水槽内存储必要水量的特例, 这时配水槽应有较大的容量。

②配水槽的容量: 在限制投资范围内配水槽结构尺寸愈大, 对泵站设备的维修管理和合理用水分配有利。一般情况下配水槽的最小容积, 在水泵根据设定水位自动运转时可在水泵启闭允许频率内确定。此时最大流量时的水泵最小停泵时间为 20 分钟以上。这时配水槽容积:

$$V = Q_p \cdot t \quad (3.6.2)$$

式中: V ——配水槽有效容积 (m^3)

Q_p ——设计最大扬水量 (m^3/min)

t ——水泵最小停机时间 (min)、一般在 20 分钟以上。

③配水槽位置

a. 配水槽控制的灌溉区域内灌溉方式所要求的水头位置 (高程)。

b. 水泵运行费。

c. 规划用地具有一定规模。

d. 管理方便的位置。

(4) 压力水槽式

① 注意事项

a 这种方式是固定式泵站扬水灌溉设施的一种形式。规划地区平坦且附近无需采用配水槽式灌溉的高地和山丘区使用此形式。同时设置数个压力水槽，利用压力水槽内的压力差使水泵自动运行。一般使用电动机为主。

b 考虑运行费、水泵及电气设备和管道维修管理等因素，一般 1 个泵站的控制面积原则上在 30~60ha 以下（此面积可使用低压电）的小型灌溉区域。

c 由空气压缩机给压力水槽内补给空气。

② 压力水槽的设置位置

a 压力水槽与泵站邻接。

b 压力水槽的结构参照“压力容器构造规格”及“锅炉和压力容器安全规则”。

c 压力水槽的位置应根据泵站位置的具体情况而定。因运行费与管道费用相差很大，所以必须选择管道投资最小的位置。如果其它条件允许，设在灌区的中部比较经济。

③ 压力水槽的作用

a 简化水泵的启闭。

b 灌水器压力基本保持不变。

c 减小管路内的水击压力。

d 少量用水时可减少水泵开启次数。

④ 压力水槽容积计算公式

$$\left. \begin{aligned} X(\alpha - \beta) &= V = Q \cdot T_0 \\ X &= \frac{V}{(\alpha - \beta)} = \frac{Q_0 \cdot T_0}{(\alpha - \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (3.6.3)$$

$$\alpha = 1 - \frac{p + 1.003}{P' + 1.003} \quad \beta = 1 - \frac{p + 1.003}{P'' + 1.003} \quad \alpha \leq 70\%$$

式中：V——有效贮水量 (L)

X——压力水槽总容积 (L)

p——水槽初始表压 (kg/cm²)

P'——最高给水压力 (kg/cm²)

P''——最低给水压力 (kg/cm²)

α——最高给水压力时的水槽内水量 (%)

β——最低给水压力时的水槽内水量 (%)

T₀——间断运转时的水泵停机时间 (min)

Q——间断运转时的给水量 (L/min)

在 α < 70% 条件下根据上式计算水槽容积。如 α < 70% 不能满足，必须预先给压力水槽用空气压缩机加压。工作中水槽内的空气易和水混合排出，所以必须配备空气压缩机自动补气。

3.6.3 水泵

水泵应安全、经济地保证提供设计最大流量，并对其流量变化、与其它设备的连接、运转控制方式和维修管理等予以充分研究再进行设计。

〔说明〕

水泵设计时，包括下列项目：

- ①水泵设备台数
- ②水泵型式
- ③水泵直径
- ④出水量 ($\text{m}^3/\text{台}$)
- ⑤扬程
- ⑥动力及功率
- ⑦运转控制方式

确定上述项目时请参照土地改良工程规划设计标准渠系建筑物(2)管路部分。

3.6.4 附属设施

输水设施为安全、有效的输水和水量控制，必须设置必要的附属设施。

〔说明〕

输水设施包括输水方式、渠道形式、控制方式等所必设的附属建筑物，此类设施设置在适当位置才能发挥其作用。作为附属设施除 3.6.2~3 所说明的调节设施、水泵外，还包括以下几项设施：

- ①取水设施
- ②分水设施
- ③调压设施
- ④排(充)气设施
- ⑤保护设施
- ⑥管理设施

具体内容参照土壤改良工程规划设计标准设计渠系建筑物(2)管路部分。

3.6.5 综合水力解析

在规划输、配水设施和水管理设施时需相互结合进行综合水力解析，在输、配水设施的运行、控制方面研究分析其是否满足规划设计要求。

〔说明〕

(1) 综合水力解析的必要性

在水量控制的水管理设施规划设计中不单指用水高峰流量，对于计划用水的总体使用状况所涉及到的输、配水设施的水量及控制是很重要的问题。所以只考虑用水高峰流量是不全面的。尤其是考虑输配水设施与水管理情报系统为一整体功能时，水量和控制两部分相互结合是非常重要的。所以规划时充分掌握调节控制条件下的水流状况，实现水流流态稳定且有较高精度，这是非常重要的研究课题。

此外流量高峰时规划设计的输配水设施通过其流量时易发生水流紊动，故通过小流量时并不一定安全。对于过水流量变化范围，设施配置和设施容量之间的水利平衡异常重要。所以应尽量把水流流态表现为实际流态，在规划设计前研究分析。特别是为了有效控

制水流, 水流流态数据的采集分析装置及设置的研究对整个系统的规划设计、综合分析研究是非常重要的。

综合水利分析主要有以下几个方面:

- ①设施综合功能的研讨。
- ②水管理操作与设施相关功能的研讨。
- ③水管理操作过程滞后现象的研讨。

对此, 计算机仿真是最有效的解决途径。对上述各项的研究分析计算机仿真主要有 3 种方法: 恒定仿真、拟恒定仿真与非恒定仿真。

(2) 设施综合功能的研讨

特殊情况下, 所设计的各类设施作为一个独立系统时, 在设计流量范围内设计条件要满足设施安全和水流稳定条件。首先对于最大设计流量, 各种设施作为一个水量系统必须研究其容量是否长期处于平衡状态; 其次是所通过的流量变化范围内, 对最小灌水区域内的输配水是否安全稳定等, 都必须确认。

〔参考〕

单独设计取水设施、分水设施和输配水设施等, 然后将其综合作为一个系统进行调节控制。这样虽然每个设施都具有各自的功能, 但在整个系统中存在不能满足整体工作特性和参数的情况。例如 1 个输水设施, 从几个提水点用水泵向输水设施注水的所谓多点式注入系统, 因各个水泵工作状态不同, 结果造成全系统工作特性与设计要求的工作参数不符。

图-3.6. (3) 表示从 5 个分散的水源用水泵向输水设施注水的多点注入系统。各水源的设计分担扬水流量根据水源可能取水量确定。为了计算各水泵的工作扬程, 先把设计分担流量分配到各取水点, 再进行输水系统的水力计算。根据计算结果把分担到 P_1 点的水泵提水量进行整理, 例如 P_2 点的工作扬程如图-3.6. (4) (b) 的虚线, 以此为基础选定各水源处的扬程和水泵。那么规划的输水系统考虑各水泵的 $Q \sim H$ 性能曲线进行水力综合解析, 见图-3.6. (4) 中的实线, 表示与设计时所设定的工作特性完全不同。 P_1 流量减小, 其他水泵分担的流量增加; 如不考虑水泵特性增加 P_1 的负担流量, 就必须增加各提水点的提水扬程。但如果考虑水泵 $Q \sim H$ 特性, 水泵流量增加, 扬程则减小, 两者相反。

此例说明即使把独立规划设计的各设施进行综合考虑分析, 其结果与设定的特性有相似的, 也有不相似的。所以规划设计完成时应使系统综合特性尽量符合实际。

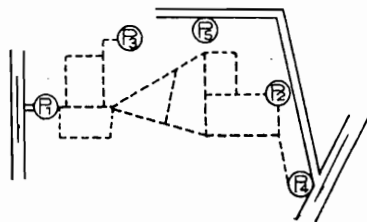
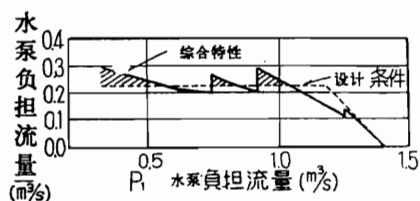
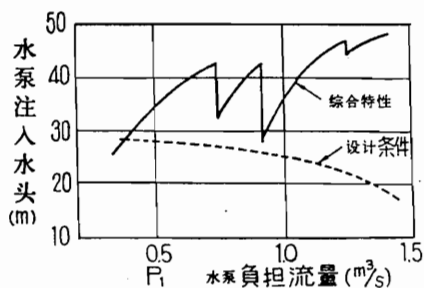


图-3.6. (3) 多点注入输水管路示意图



(a) 注入量的变化状况



(b) 注入水头的变化状况

图-3.6. (4) 多点注入系统水泵工作状况解析

(3) 水管理操作与有关设施功能的研讨

预先确定的水管理操作等经常遇到非正常情况，需采取紧急操作。对此要求设计系统在整体条件下安全、稳定工作是非常必要的。

把规划设计的数学模型作为模拟对象，进行水管理的数值实验，预先研究分析水管理操作的难易和无效放水状况等是很重要的。如必要还需进行调节池容量与过水流量的修正及修改管理方式。对这种合理的输配水设施管理要进行充分理解和确认。尤其是明渠渠段中的各类设施对渠道水流运动产生滞后现象并造成输水管理困难，无效放水即为明显特征。所以有必要对此类设施的管理操作进行细致分析研究。

〔参考〕

为使数个水泵正常联合运转，必须使调节槽保持合理的操作容量。水泵性能、渠道过水能力与贮水量之间应保持适当的水力联系，这种联系可用仿真技术举例说明。

图-3.6. (5) 表示用 6 台水泵根据各水槽的水位进行供水。把各水槽用仿真技术进行追踪，图-3.6. (6) 清楚的说明了异常复杂的水位变化。根据这种仿真技术在末端设施的各种运转状态下与输水设施进行综合机能的研究。图中 1 号水槽贮水容量不足，输水设施整体综合功能受到明显影响。

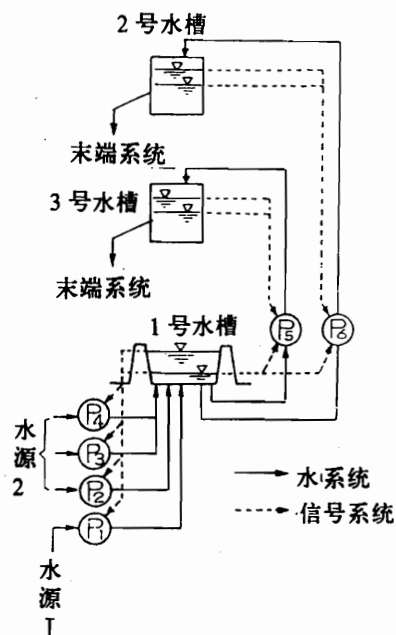


图-3.6. (5) 水泵联合调度系统图例

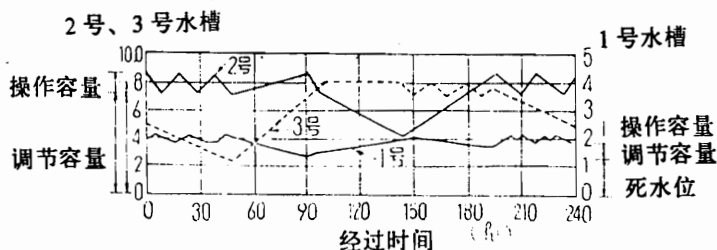


图-3.6. (6) 水槽水位追踪示意图例

(4) 水管理操作滞后现象的研讨

对设定的水管理操作进行输水设施水流滞后现象解析，即可研究分析控制状态下的动态稳定性及水击安全问题。测定输配水设施的工作状态（水位和流量），把其反馈并依此进行输配水设施的自动控制，此时易产生不稳定的振动现象。所以以水流的数量模型为基础，考虑数据系统的反馈（或者前馈）装置进行模拟，以确定控制的稳定性。此外，确定水流的控制参数必然要附带滞后现象。尤其是开敞式管路易产生振动，导致从排水竖管处溢水，或因吸入空气产生各种不正常现象。

〔参考〕

图-3.6. (7) 表示山顶处的主水槽至各灌水田块的水槽用自压式输水，管路为 6.5km 的半封闭式管路，管径为 300~150mm 球墨铸铁管。管路末端处水槽的定水位阀关闭后经常发生故障。为了调查故障原因，把阀门关闭的水流滞后现象进行模拟仿真，见图-3.6. (8)。因水击作用压力上升达到 130m 水头，设想阀门关闭约 10 秒后水击水头减小。所以作为对策把直径为 100mm 的管路连接在阀门一侧，并保持自由水面，用模拟仿真分析其功能。其结果如图中所表示的水击压力减小，并未产生负压。根据现场测定，模拟方针结果与实测结果相同，此方法实施后未发生故障。

电子计算机模拟仿真可再现滞后现象的实际状态，还可预先评价各种安全措施的效果和作用。综合水力解析在这方面能够发挥很大作用。

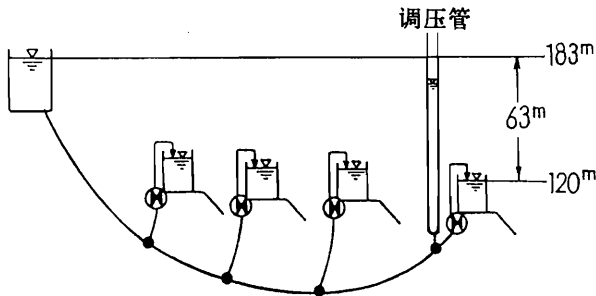


图-3.6. (7) 半封闭式管路水击对策

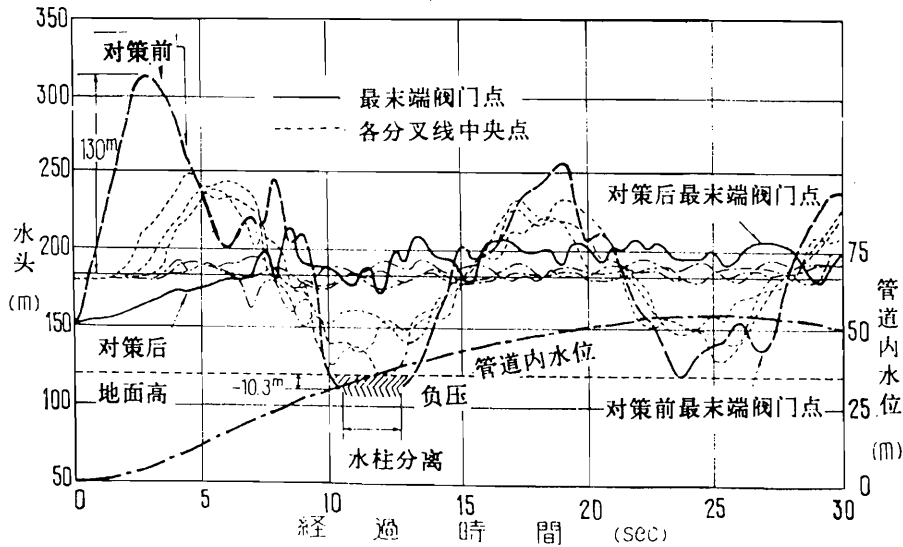


图-3.6. (8) 半封闭式管路的滞后现象解析

(5) 其它

灌溉设施除骨干输水设施外,根据规划地区特有条件所设计的工程设施与按统一标准设计有很大差别,所以都采用统一标准是不可能的。

本规划设计标准所说明的是一般情况,还应对规划地区固有的特殊条件进行勘察,最后制定此地区的具体工程设施规划设计标准。

3.7 管理控制设施

管理 控制设施必须进行如下规划和设计,即务必适合旱地灌溉的目的,并且经济、耐久、安全、可靠,同时易于运用和管理。

〔说明〕

1) 规划的基本事项

(1) 管理 控制设施的规划目标

目标在于将旱地灌溉设施按其使用目的、使用条件,安全可靠地操作运用,发挥最高效率。要达到这一目标,只有将灌溉系统的骨干设施和末端设施,以及管理、控制设施的操作运用体制等作为统一整体考虑,才能达到目的。

既然规划,就应着眼于同作物栽培及管理体制相应的灌溉系统的细小末端的水的供给和利用,为此需要通过各干线、支线和末端各水系的不同层次,对水利设施的整治进行系统研究。管理控制设施,在于使各水利设施顺利有效地运行管理,发挥较高效率,并且为实现合理用水而成为辅助手段,并不是为弥补水利设施的不足而加以控制。绝不可轻视以高水平的控制设施为前提的水利设施的构成。

(2) 管理控制设施的使用条件

随着工业技术的发展,管理、控制设施的逐渐向高标准迈进,但作为适用于旱地灌溉设施有其特殊条件,一般是:

- ①野外非常严酷的使用环境
- ②使用时间不规则,偏重一时
- ③使用次数(动作回数)低,要求寿命长(使用年限长)
- ④控制内容单纯,控制对象分散
- ⑤受操作、管理人员技术水平的制约

不同程度的因素很多,不一定标准愈高愈适用,选用控制设施时宁可牺牲一些精度,也以选用结实耐用的设备为上策。舍弃那些不太必要的功能,考虑尽可能结构简单(安全性可靠性)是最重要的。

(3) 水利利用方式和设施组成

在旱地灌溉设施的规划、设计方面,是以灌水田块为基本单位的轮灌为原则,这种方式可达到减少设施数量同时操作容易而有效。这种布置应成为管理控制设施规划时的前提条件,例如使用田间蓄水池灌溉时,这种方式一方面可使干线流量趋向均匀,使配水量操作简化,同时也使末端用水由中央控制中解脱出来。当然,轮灌原则在一个灌溉单元内,用水自由度要受到限制,可是由少量管理员操纵末端供水阀,即可满足需要,实为简单可行方式。在这种操作管理的基础上实行自动化也比较简单。

因此管理、控制设施应当与其他水利设施规划一并综合考虑,以期提高水的利用率,这一点是很重要的。当然对末端喷灌阀在远处实行中央控制为主的自动化普及,对更精确

的水量管理和节省人力是有利的。但是即使是人工操作例如将配水系统的一部分复线化,或将末端阀规划集中在一处,阀门操作也可省力。若结合减少设备投资和简化操作一起考虑,有必要探讨手动或自动是否合适。

(4) 水量管理、控制分层负责

旱地灌溉设施,一般由以下几部分组成,即水源设施、干线供水设施、田间蓄水池、地区内供水配水设施,末端喷水设施及注药、回收设施等组成。但根据工程规模及其所属机构(国营、县营或团体经营)、地形、田间型态、作物种类及耕作区构成、用水目的和方法等,决定设施规模及构成、配置和其运营方式各不相同,所以不能用单一尺度规定管理、控制设施的整体规划。

在小规模规划方面,可做成从取水至末端喷水组成的单一系统。控制设施也容易定型化,但在大规模用水规划方面:

①水源的监视,以及干线、支线供水、配水,量水和分水的控制

②从主要分水口向下游区域内供水,配水,量水、分水和水泵等的监视及控制

③末端喷水阀门的控制以及药液的注入和回收操作

分层管理方式一般为:每一层次都将所管辖下的部门规定几项有限数量的情报项目互相传递,如图-3.7.(1)那样进行功能分担。

按照这种标准,同时考虑到旱地灌溉末端管理的重要性及特殊性,通常以灌溉单元为单位的末端系统是以田间蓄水池为起点的末端用水设施为对象,定出管理、控制的规划方针。

另外,多个灌溉单元或者包括水田在内的复杂的灌溉系统的管理控制设施,因其本身包涵着众多的设计条件,需要另作研究。

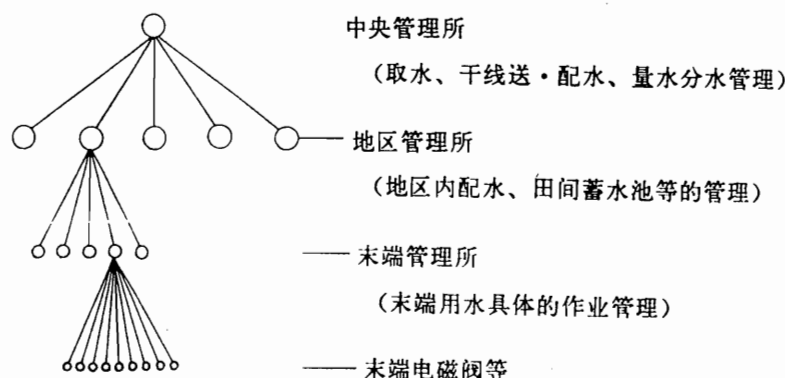


图-3.7. (1) 分属管理系统

2) 规划程序

水管理控制设施是将各个设施组合起来,担负重要的作用,它涉及到土木、机械、电气等各种技术领域,有时还需通过批准手续,所以在制定规划时,必须按恰当的程序进行,以使设施之间能够协调,同时规划内容充实,可避免重复、遗漏、循环反复等,必须

努力使工程规划合理。

一般做某项工程规划时，要先决定骨干事项再向细部推进。特别象水管理控制设施，需要丰富的经验和综合的判断。先定下大纲，这一步骤可以说是成败的关键所在，所以不论是在规划阶段还是实施设计阶段、施工阶段，以及竣工后的管理阶段，都需要在专门技术人员的一贯指导下按一定顺序正确进行。

规划程序的一例示于图-3.7. (2)

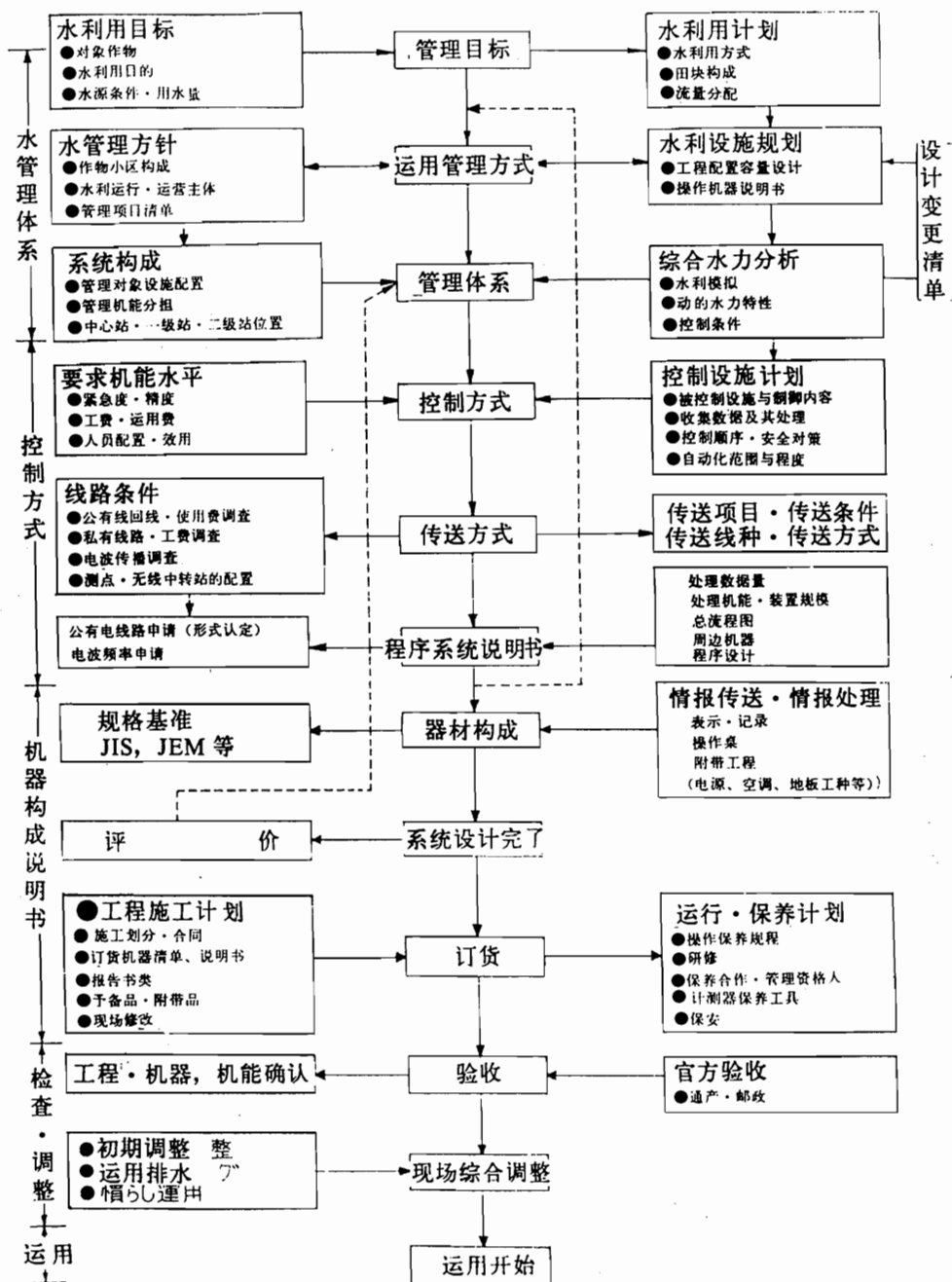


图-3.7. (2) 规划程序实例

3) 管理控制设施

(1) 干、支线管理控制设施

因用水设施的规模和结构不同而异。干线、支线用水设施的主要作用是向用水对象,即末端田间田块供水,同时要求可靠、安全和高效。因此干线、支线的水管理设施,一般要具有以下目的和内容:

①配水合理化

保持按规划规定的配水额,按照时间不同、地区变化,按各自需要改善供水、配水功能,按整个水利系统特性及时做出反应。

②水量的有效利用

限制过量取水,减少无效弃水和无效管理用水,有效地利用降雨,对多个水源的协调使用

③维护管理设施的功能

保证设施的正当操作,对渠道系统及机器等异常现象的早期发现和处理(减轻设施的损坏和二次灾害的防止或减轻)。

④节省管理经费

节省水利设施的动力费用和管理用的劳务费(从监视操作劳务和完成各种数据劳务等方面省)

⑤其他

设施和器材的保护,联络和通报及相应处置的及时性,消除人们心理的不满和担心(确保计划和公平中立性)

旱地灌溉管理的基本要求是实现供水配水设施的配合,以满足最末端的供水,即向田间给水口供水。另一方面也要受到水源容量的限制,受水道断面等经济性要求的限制,换句话说,在供应的一方也有一定的制约。一般有两种运用方式,即“需要优先型”和“供应优先型”,这要看将重点放在哪一方所定。实用上一般多从经济性和运用操作技术等条件考虑取二者的折衷规划方案。

从水道形式看时,在具有自由水面的明渠,因水流流动是由水面坡降形成的,因此用上游闸门可以任意调节供给下游的水量,下游只能在上游供水范围内取水,即使有多余供水,但用不完时只好泄流成弃水。另外,调整流量时,流态的变动缺乏及时性,这是由于流态的传播需要一定时间所致。传播较慢,往往不能满足下游的需要。这样明渠多半具有“供应优先型”性质,上游偏优,下游偏少,成为自古以来水利纠纷发生较多的原因。

所以明渠的水利管理在于减少无效弃水和当末端需要发生变化时及时反应。这是一个矛盾的问题。解决这个问题成为管理的中心课题。

与此相反,在管道方面,特别是那些封闭性半封闭性管道系统,只要不开启末端阀门水就不流动,所以原则上没有无效弃水产生。另外管道内不能让空气进入引起严重危害,所以需要经常保持满流状态,不能单纯依靠上游阀门的启闭限制水量的供给。这说明管道系统侧重于“需要优先型”的管理,因为即使末端阀门胡乱启闭也必须保证完全满足供水。

据此,管道系统的管理功能在于,制定末端阀门的启闭规程,使上游供水具有计划性。当流量急剧变化时保证其安全。

在用水的需要与供给两者关系方面,本质上存在互不相容的许多问题,田间这一层次

的用水,追求时期性、时间性的自由度倾向很强,难免有流量的大幅度变化。即使流量变化不超过设计流量,可是跟踪这种情况下的流量、压力控制,也需要相当高级的装置,维护管理需要很高的技术水平,一般恐怕难以采用。在这种情况下,若采用田间蓄水池可在供水、配水流态变动时起缓冲作用,使控制工作的负担减轻。同时在田间蓄水池容量范围内,对保持上下游各自独立性起作用。即由于蓄水池的滞留效果,水流的连续性被中断,供水一方可实现按规划供水,而蓄水池下游又可按需要取水,获得用水的自由度。

(2) 末端管理控制设施

为了将旱地灌溉的水利设施按用水目的和使用条件恰当地运用,必须依田间和作物需要,进行细致地监视和调整,因此末端灌溉单元的面积要受到限制,而末端管理控制设施也应应以用水末端单位——灌水田块为对象范围订立规划。控制设施更应在此范围内作成完整的控制系统。

如果每一灌溉单元附带一个田间蓄水池,那么根据蓄水池水位信息,可与干线的供水、配水联合动作。实际上根据蓄水池流入口阀门而进行供水控制,这种方式采用的最多。另外,没有必要将各个灌水田块的位置、喷水目的、喷水状态等单个用水信息一一传达汇总于中央管理所。宁可把握各个分散设施的动态要点,保持可以进行调整的联系是至关重要的。

这样,做成一个适应现场条件的随机应变的管理控制系统,该系统的重点是末端管理设施的独立性,和旱地灌溉单元内用水的可操作性。田间蓄水池切断了对上一层水系的联系,并使末端用水获得更大的自由度,这符合设施的设计目标,同时使信息网大加简化。

(3) 自动化的意义

所谓自动化,其方式可以是多种多样的——从包含手工操作的组成到高度复杂的控制机制都包括在内。做规划时应对照当地的自然条件和农业经营条件,充分研讨投资和效益的关系,必须注意不可使投资过大。

自动化的优点可列举以下几点:

①多目的使用时,使用频率很高。当防治、施肥等作业采用喷洒方式时,由于喷洒量少在短时间内即要启闭喷洒管,使用自动化可节省操作劳力并提高作业精度。

另外,能做到适时作业。

②可缓解在严酷条件下对身体有害的部分农业劳动(例如防治作业时可免去对人体的污染,保证节假日等)。

③能延长一日的灌水时间,从而可能将设施容量设计得小些。

④能保证安全有效,早期发现故障。

但自动化费用很高,可考虑用在收益高的地区或可能集中利用的地方。自动化程度应从简单到复杂来选择,在组合上要充分考虑。例如由于巧妙地利用地形,那么即使手工操作有时亦可有效地进行管理。

(4) 自动化的范围和程度

在旱地灌溉规划方面,组成系统的水利设施、各种装置、器材的选择配备是否合适,影响设施的初期费用、运行费用和维修费用以及设施的使用效果和维护管理的难易。

近来要求省力化的呼声很高,尤其在多目的服务的设施方面;因作业内容复杂多样,更有应用重型装备的自动化系统的倾向,但是自动化规划目标如不明确地预先整理好,自

自动化设施的功能就不能在现场使用水规划充分生效。作为应用对象的旱地栽培，自然环境，对作物的生理反应非常微妙，有许多是需要人们基于经验才能做出判断和处理。所以自动化设施规划必须以人的存在为前题，在充分认识到人的作用情况下，制定自动化设施的功能和范围。即将那些手动可解决问题的部分，技术上自动化非常困难的部分和自动化费用很高的部分考虑采用人工手动。对以下部分应采取自动化：①简单的反复定时操作，②复杂的连续操作，③要求高度判断和操作的作业，④突发性的并要求迅速做出处理的作业，⑤不允许遗忘和处理不可靠的作业，⑥具有显著危险和痛苦的作业等，以上作业应列为自动化重点。

表-3.7. (1) 是按用水的不同类型汇总的自动化必要项目和可能项目。由表可知，末端的重要操作还要依赖人工手动。有些专门依靠反馈机能的所谓真正的完全自动化，只能当作将来的课题。另外，表中项目的重要性，还因现场条件而异，例如在交通网发达的平坦地区，与坡度很陡交通手段落后的地区，自动化地位当然有所差异。同时，多种作物混种，或以单项用水为前提时，自动化会妨碍用水的自由度，这点应予注意。

表-3.7. (1) 自动化的必要性与可能性

作业项目	水利用目的									
	水分补给	小气象调节	防风蚀	防冻霜害	防潮风害	防治病虫害	施用液肥	喷洒摘果剂	喷洒除草剂	喷洒土壤改良剂
决定喷洒量	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
测定喷洒量 (时间)	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○
阀门开启指令 (喷洒开始)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上项反馈指令	△	○	△	○	○	×	×	×	×	×
阀门关闭指令 (喷洒停止)	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○
上项反馈指令	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×
灌水田块选择控制	△	△	×	△	△	×	×	×	×	×
同上，按给定程序控制	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
监视喷水异常	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
管路异常的析出与控制	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
药液种类与浓度选定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
同上，一次稀释	×	×	×	×	×	△	△	△	△	△
同上，二次稀释 (注入)	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
喷洒效果判定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
反馈功能 (流量)	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○
反馈功能 (压力)	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○
反馈功能 (风)	×	×	△	○	×	△	△	△	△	△
反馈功能 (雨)	△	×	×	×	×	△	△	△	△	△
反馈功能 (气温)	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×
反馈功能 (湿度)	×	△	×	○	×	×	×	×	×	×
反馈功能 (土壤水分)	△	×	△	×	×	×	×	×	×	×
反馈功能 (盐分)	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×
反馈功能 (药液浓度)	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
装置抗干扰对策	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
操作经过记录	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

注) ○：需要自动化 △：不太重要 ×：不需自动化 (或不可能)

但对于水道异常等的安全监视功能和系统障碍功能，应考虑作为自动化规划方面的必须项目。

(5) 自动化形式

①在旱地灌溉方面,设施自动化规划有:

- 包括水泵的供水、配水自动化
- 向轮灌田块分水的控制
- 末端喷水自动化
- 农药、液肥等注入以及余液的回收操作
- 水道异常现象的监视及对策等

作为研讨的中心一般都将上述各项赋予小循环功能,再把这些小循环组织成系统。例如水泵,将启动、停机等作为机器一方的控制而自成一独立循环。在控制设备一方只具备发出启动、停机(ON、OFF)的指令功能,并不参与各个动作。药液的注入、回收工作也是如此。在末端管路上的压力调整 and 分水量控制是靠稳定阀、定流量阀等自制控制器材较多。这种方式适合旱地灌溉的运用条件,即控制对象分散,运用时以轮换制为前提等。

②水泵运行控制可按控制对象目的不同分为下列三种类型:

a) 压力控制

- 阀门控制方式
- 使用压力罐方式
- 台数控制方式
- 台数控制与阀门控制方式
- 台数控制与转数控制组合方式

b) 流量控制

- 阀门控制方式
- 台数控制方式
- 台数控制与阀门控制方式
- 台数控制与转数控制组合方式

c) 水位控制

- 阀门控制方式
- 台数控制方式
- 台数控制与阀门控制方式
- 台数控制与转数控制组合方式
- 转数控制方式
- 台数控制与转数控制组合方式

③末端喷水自动化,即以灌水田块的依次切换、药液的注入和停止等阀门操作为中心的自动化。末端自动化分类如下

a) 远距离(集中)操作方法——电磁阀、电动阀、流体压力阀等

b) 自动阀方式

定流量自动阀

自动机械阀(自动转换阀、顺序动作阀、自动切换给水阀)

c) 前二者组合方式

远距离(集中)操作方式,是在中央控制室进行的包括末端阀门启闭在内的各种控制

指令的发布,信息收集、计算以及调整等工作,适合于控制对象分散且人员缺乏的处所。对控制内容,控制范围的选择,自由度较大。末端阀门多使用电磁阀。电源的启闭(ON~OFF)作用于电磁线圈,靠电磁线圈的动作,将旁通电流接通或切断,用流体压力平衡力开启或关闭阀门。用极少电力可操纵大容量的水流为特征。

自动阀门是利用管内水流运动达到控制目的。应用量水仪(回转仪)原理的定流量自动阀和因压力变化而工作的自动转换阀组合成自动阀是其中的一种方式;另一种方式是按供水管内水压力变化而产生动作的自动机构阀(自动转换阀,顺序动作阀,自动切换供水阀等)。利用流动于管内的流体本身作为控制媒介,不需电源其配线等,这当然是经济的,但因为是单个自行控制,不能随意选择喷水顺序,且不能配备工作情况的监视功能,这不能不说是控制系统的欠缺之处。同时部分自动阀在性能上尚有不足,这些皆影响普及。然而若系统的构成是按严格的配水规划和运行规划的一贯方针指导下编制的,自动阀方式因价廉、容易维护,适合农业用水设备的自动化,这些优点值得作为一项课题而进行深入研究开发。

(6) 自动控制装置

① 自动控制装置的作用

这里所规定的自动控制装置,其作用在于使各种旱地灌溉设施管理运用能够正常进行(旱地灌溉是田间作物栽培管理的一个环节),当然必须与用水设施(取水、供水、配水、喷水设施等)内容和功能协调配合方能奏效。

② 装置的可靠性和安全对策

旱地灌溉设施采用的自动控制装置,与其他领域的这种装置比较,在使用条件、使用环境上有许多相异之处。因此,在设备的设计和制造时,必须对所有材料和现成商品做仔细的研讨,需要确保装置的可靠性。

另外,在装置的组成中,对另部件以及电气回路、电源等,必须考虑到一旦出现异常,或遇到外部干扰时,能够保持最起码的状态和运作,要充分考虑安全对策。

③ 设计的基本项目

a) 遵循法规和规格标准

有关标准的基本法规和标准规定如下,原则上必须符合这些规定。

○ 电气事业法

○ 关于电气设备的技术标准

○ 有线通讯设备法令

○ 有线通讯设备法令的实施规定

○ 日本工业标准(JIS)

○ 电气学会电气标准调查会标准(JES)

○ 各种工业学(协)会标准等等。

b) 使用状况

下列各种状况通称为正常状况,不满足其中任何一项的被看作特殊使用状况,并另做规定。

④ 用于标高 1000 米以下场所

⑤ 湿度、温度在表-3.7.(2) 范围内。

表-3.7. (2)

	周围温度	相对湿度
室内设施	0~+40℃	40~85%
室外地上设施	-10~+50℃	30~95%
室外闸阀间	-10~+40℃	30~100%

③ 环境

在做设施的整体规划时,原则上应考虑置于不受过量尘埃、振动、冲撞以及水害、药害、和日光直射等影响的环境里。

c) 装置电源

a 电压、周波数 交流 100V 或 200V (50Hz 或 60Hz), 直流 24V 或 110V

b 电压变化范围 $\pm 10\%$ 以内 (直流 110V 时, 90~140V)

3.8 设施的管理运营规划

3.8.1 管理运营规划

在制定设施规划时,为达到旱地灌溉设施的有效管理运营的目的,必须对运营组织和维修管理方法进行整体研讨。

〔说明〕

(1) 灌溉设施的管理体系

在现行体制下,设施的归属和与维护管理的关系,按事业体系不同分类如图-3.8.

(1)。

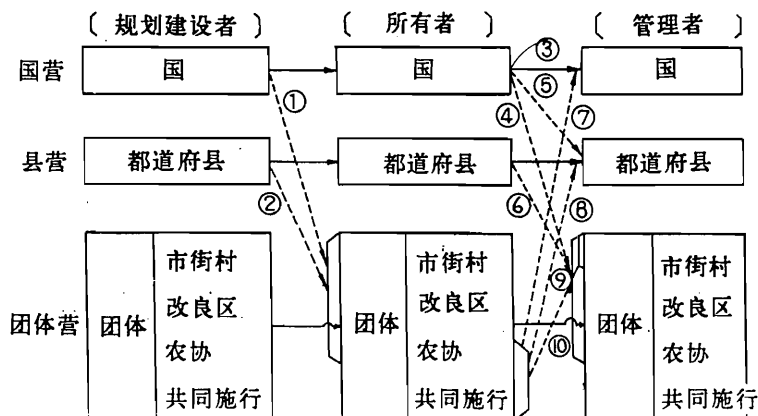


图-3.8. (1) 设施的管理体系

注)①按土地改良法第94条3款转让(有条件转让)

②按条例转让(按地方自治法,适化法的规定)

③按土地改良法第85条直接管辖

④、⑤按土地改良法第94条6款第1项委托管理

⑥按土地改良法第94条10款或其条例委托管理

⑦、⑧、⑨按土地改良法第 93 条或 96 条 4 款请求管理

⑩按土地改良法第 57 条、96 条或 96 条 4 款，进行管理

(开发主体的管理义务)

(2) 设施的管理机构

根据灌溉实体规模的大小，设施种类、数量以及管理控制设施的功能水平等不同，管理业务的内容是多种多样的，但一般采用分层管理方式，即从水源开始到末端为止，按水系区分层负担相应的管理责任。如图 3.8. (2) 所示。这种方式实际上具有按一贯方针进行综合管理的综合性，同时具有适应各田块不同要求的灵活性，二者兼备。

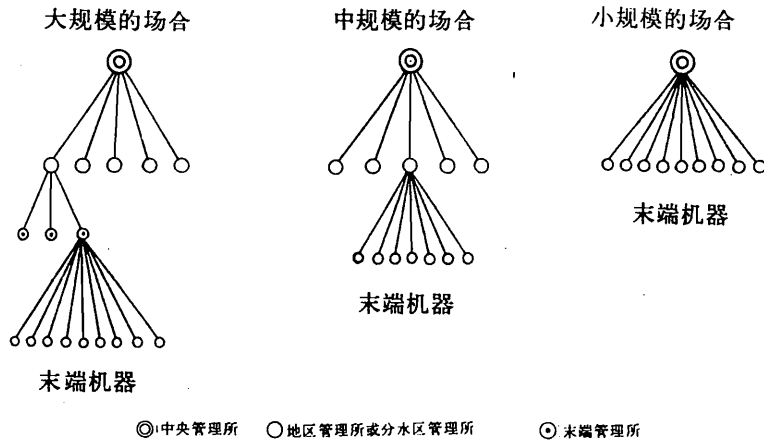


图 3.8. (2) 管理机构图

① 中央管理所

由统管全地区的核心组织分担从取水口到各干线、支线的分水工程的管理工作。

- 与其他水利工程（系统）的水利调整。
- 来自地区管理所的情报收集以及同他们的联络调整。
- 决定适当的用水分配方针。
- 管理取水设施和供水设施。

② 地区管理所或分水区管理所

负担分水建筑物下游到田间蓄水池配水系统的管理，在中等规模地区兼有中央管理所的业务。

- 收集来自末端管理所的情报以及同其联络和调整。
- 调整地区内或分水区内的用水。
- 管理配水枢纽及其设备

③ 末端管理所

每一灌溉单元设一个，负担末端田间及时和具体的用水管理。在小规模地区要兼管中央或地区管理所的业务。

- 轮灌日程的确定

○靠操纵末端阀门对喷水进行控制

○操纵药液的注入及回收装置

○末端器材的管理

(3) 末端设施管理运用的原则

为了按规划有目标地管理旱地灌溉的末端设施，需要向受益农户讲明设施的特性及运营方针，提高对共同设施、共同财产的意识。

其原则如下：

①对水源设施、水泵、供水配水管道、分水设施以及管理控制设施等主要设施，希望设专人负责或指定操作人员，明确职责。

②用水时日基本上应按所定的轮灌日程规定的执行。若有变更应征得有关农户同意和管理负责人的认可。

③原则上实行轮灌，在轮灌田块内末端系统容量为田块内农户共有。因此，除非设计时设施容量特大，一般应禁止随时用水。

④为有效地发挥设施的作用，最好进行田间整平和作物联片集体耕作。但当区划地段狭小和作物混同栽培时，应特别注意不要让邻户受到农药危害。

⑤运营经费最好按用水量比例分担，但因量水设备不太准确和分析计算不完善等原因，现在大多按受益面积计算。因此在决定用水先后顺序时，应照顾到大家机会均等，尤其是防治用水以不失时机为要。

3.8.2 管理项目

为避免管理运营出现障碍，对水利设施的构造、配置和管理控制设施功能充分考虑之后，对旱地灌溉设施应研讨下列管理项目：

(1) 水源监视和用水规划方案的建立

(2) 取水、供水和配水操作

(3) 紧急情况的对策

(4) 设施的检查和整治

(5) 水管理数据的收集、整理和分析

(6) 对外关系

〔说明〕

按上列管理项目应研讨的主要事项说明如下：

(1) 水源监视和用水规划方案的建立

○不同时期的规划用水量、有效雨量、必须供水量

○水源状况的变化，可能供水量

(2) 取水及供水、配水的操作

○出现需水情况，用水申请（末端→中央），请求时间，请求联络系统

○取水及供水、配水操作，规定时间、规定条件、顺序

(3) 紧急情况的对策

○紧急情况下的操作（操作地点、操作方法）

○向有关方面联络（联络，指令系统）

(4) 设施的检查和整治

- 水利设施的巡视、操作、整治
- 控制设施、装置、机器操作、维修检查
- 电器设备、机械设备的检查、调整
- 各种附属设施的修补、改进、财产管理
- (5) 水利管理数据的收集、管理和分析
 - 数据的收录范围
 - 数据的整理目的、整理方法
 - 数据的计算方法、使用目标
 - 记录的保管
- (6) 对外关系
 - 应付有关的机关
 - 调整与其他工程的关系

3.9 系统的规划和综合评价

应将旱地灌溉设施的整体作为一个系统考虑，形成合理的系统应进行综合的研究和评价

〔说明〕

为更好地组成旱地灌溉系统，在规划、设计过程中引进“反馈”概念是有效的。

也就是说，将已构成系统的特性分析和对系统的评价引进系统的规划、设计过程中，将评价结果作为反馈，再送回系统的构成阶段中进行修改，经过这样的程序可使系统更趋完善，对开发更好的系统是很有利的。系统的规划、设计，与评价之间存在着不可分割的关系。

旱地灌溉设施的规划、设计和评价的顺序如图 3.9. (1) 所示。

图中系统的构成、系统的计算分析和评价形成个“反馈循环”。所谓系统的评价，是将评价指标（评价函数）在最大化（或最小化）过程中完成的。另外，其功能、制约条件的确定和评价指标的选择，与这些项目满足度的比较，这一过程本身也形成个“反馈系统”。

系统的满足度如有余裕，说明给系统增加功能或使制约条件更加严峻的可能性是存在的。

另一方面，如果不能保证满足度，例如在不能同时确保系统的功能高级和造价低廉的情况下，有必要将系统功能或制约条件进行调整或放宽。

1) 掌握现状及问题

设计系统时，首先不只对本系统，而且要对已有的类似系统进行广泛而周密的调查研

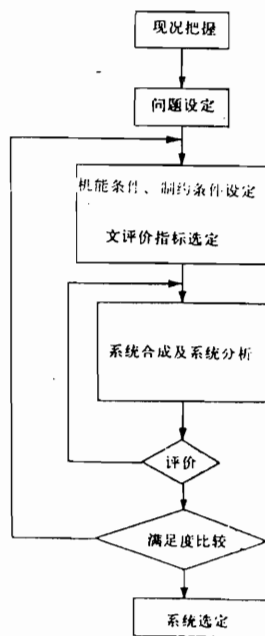


图 3.9. (1) 选定流程图

究。如：“系统的功能目标”、“系统的运行模型”以及“水管理的重点项目”等。另外，有必要对系统所处环境要素发生变化时，一并试行预测。经过这些调查和预测，就能够明确系统应担当的功能和制约条件。

其次，在满足系统功能和制约条件这一前提下，必须选定系统所要求的评价指标。这里所谓评价指标是指，譬如在满足系统功能及制约条件下如何使费用最少？或达到灌溉用水的最大效率，即系统在设想的目标上希望达到的状态。一般评价指标，是以评价函数最大化或最小化形式给出。

2) 制约条件的给定及评价指标的选择

要求系统所具备的功能，如果换一种观点来看，也可看作是给予系统的一种制约。所以在本节内将系统所必备的功能，作为制约条件内涵的一部分加以讨论。

这样，给予系统的制约可有以下几项：①功能上的制约，②经济上的制约，③社会上的制约。同时，为了计算方面的需要，需将这些制约数字化或函数化。

系统的评价指标也是由①功能上的，②经济上的，③社会上的三部分组成。

这些指标也要尽可能数字化甚至函数化，这样才可进行评价和调整那些相互矛盾的目的。

系统的制约条件以及系统的评价指标，如具体分类可列举如下：

(1) 制约条件

①功能上的制约

为保证用水在时间和空间上的适当分配，其各种功能（如保证必须的压力、流量等）在系统运用中，应有安全性、可靠性、保护性等。

已有灌溉设施增添新系统时，要保证新设施与已有设施，两者的整体配合。

②经济上的制约

主要指投资限度。

③社会上的制约

水利权限、水利惯例，或其他用水（如工业用水、生活用水）之间所产生的制约等属此。

(2) 系统的评价指标

①功能上的评价指标

设施容量恰当，提高精度及安全性，改善动态特性等属此。

②经济上的评价指标

投资效益最大，即提高土地生产能力和劳动生产率，增加农业经营的自由度和栽培体系的合理化等属此。

另外，造价低廉（包含原始投资和运转投资在内的总投资），也是经济评价指标。

还包括使管理用水、无效益泄水最少，即提高用水效率等。

③社会上的评价指标

涉及到各个方面，如改善劳动条件、资源、水量分配，配水操作简易化等。近来有时也考虑保护和改善环境等问题。

然而这些社会评价指标，很难变成数学式，处理时多愿采用适当的关系或乘上安全系数的办法。

3) 系统组合及系统计算

所谓系统组合,是指在满足既定的制约条件下,用各种方式组成的系统。

上面所说的各种方式,每种方式的好坏评价,要看是否符合评价标准而定,即按评价函数最大化(最小化)而定。经过一系列组合和计算,可以达到系统的合理规划和设计。

在一般情况下往往有多个系统满足已给的制约条件,所以必须充分计算、研讨系统的特性,才能尽力选择合理的系统。

在进行系统的组合和计算时,有必要先将系统的各种特性(如功能特性,费用特性等),用一种容易处理的表现形式使其一般化。在多数情况下都首先试图用数学式表示。并将完成这一数学模型的过程叫做模型化。模型化过程也包含系统特性的测定和推测的内容。但是,只有在简单系统上可求出数学模型的解,系统复杂时不可能用解析法求解。此时可用计算机以模拟方法解决。

将系统的特性用数学式或模拟表示以后,即可求出系统特性最佳化的办法。也就是求出系统评价函数(或评价价值)为最大(或是最小)的解,即求出最佳解。

当系统复杂时,一般不能用明确的数学式表示,从而不能采用解析法求解。这时就要用试算求接近系统的最佳状态,最终可得准最佳解。以前在规划、设计时使用的比较设计法,虽然粗略一些也是准最佳法之一。

〔参考〕

现在进行系统分析和系统最佳化时,常用的方法有变分法、最大原理最大倾斜法、DP法(动态流程法)、LP法(线性流程法)等。

下面举一系统设计实例

图 3.9. (2) 是一单线管路,有 17 个分水口,一台抽水机和一个高水槽,下面就以这个简单系统为例作探讨。

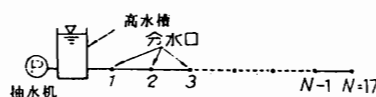


图-3.9. (2) 管路系统

给予系统的制约条件(功能条件)作如下规定:

管路长度 $L = 1000\text{m}$

由管路引出分水口 $N = 17$ 个

每个分水口的出水量 $q = 6\text{l/sec}$

抽水机的附加水头 $H > H_1 + 4.0\text{m}$

此处 H_1 为管路损失水头

系统的评价函数为造价最少

就是说,由题意要满足上述制约条件(功能条件)而且设计出造价最低的设施。

系统分析结果,如图 3.9 (3) 所示。

由图 3.9 (3) 总水头损失增加,管路价格递减。这是因为,在水头损失的允许限度内,水头损失的增加意味着可以用小直径管道组合布置供水。这时管路各种口径组合选择本身,也是使评价函数最小,采用 D.P 法进行。

另一方面,高水槽造价如图中实线所示为阶梯形函数,随水头损失增加,造价有增大的趋势,抽水机价格如图中点划线表示的那样变化,而机房价格按虚线那样变化。

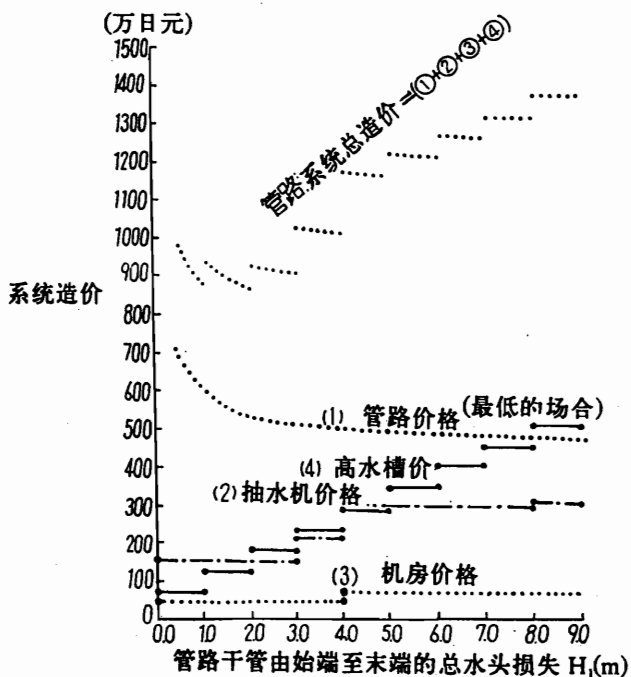


图-3.9. (3) 管路系统造价与管路干管总水头损失的关系

由图可知，即使这样简单的系统，总造价也如图中虚线那样呈复杂的变化。

该例中系统的最佳值，是相应设计流量的水头损失 H_1 为 2.0m，相应的管路配置总造价最低为 870 万日元。

4) 系统的置信水平与安全性

旱地灌溉系统是由供水系统，情报系统和控制系统构成的复杂体系，所以要对置信水平和安全性，保证给予充分的重视。

(1) 系统的置信水平

所谓置信水平，是指按规定的制约条件，规定的时间，系统无故障地发挥规定的功能的概率。

如图 3.9. (4) 所示，在各个组成要素串联的系统上，若假定各部分的故障概率为 $f_i(t)$ ，则系统置信水平 R 可用下式表示。

$$R = 1 - \{f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t)\}$$

系统内的某个组成要素，例如 A 要素的故障率很高，从而影响到整个系统的置信水平大幅度下降，这时可采用并联冗长方式，如图 3.9 (5) 这样可提高系统的置信水平。

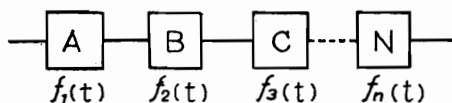


图-3.9. (4) 串联系统

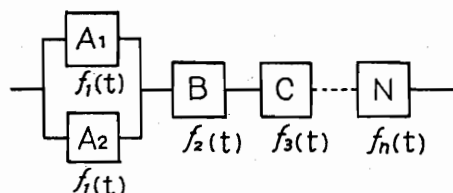


图-3.9. (5) 含并联冗长方式的串联系统

这时，采用并联冗长方式的要素 A 的故障率用 $\{f_1(t) \cdot f_1(t)\}$ 给出。由于 $f_1(t) < 1$ ，要素 A 的故障率降低，结果系统的置信水平 R 为

$$R = 1 - [\{f_1(t)\}^2 + f_2(t) + \dots + f_n(t)]$$

这样系统的置信水平得到提高。

(2) 系统故障率

如图 3.9. (6) 所示，系统的故障率随时间而变化。此曲线称为槽形曲线。

在初始故障期，应做试运行，使各要素充分吻合、适应。

在偶发故障期，故障的发生毫无规律，所以应及时进行事后保护，以求缩短故障期。

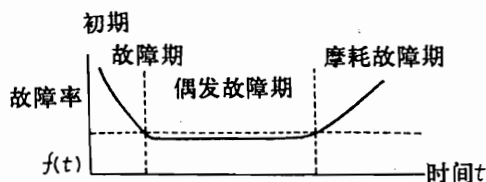


图-3.9. (6) 故障率的时间变化

在磨损故障期，根据预测的需要，把即将出现故障的部件及时更换以尽可能降低系统的故障率，这时各部分的故障记录，每日维护管理报表都要备齐，这是预测安全性的前提。

5) 选择系统组成要素的标准

要确保系统的置信水平和安全性，就要充分考虑组成要素的选择。

(1) 设施组成要素的选择

注意以下几点是最重要的。

- ①要恰当地选择与用途相适当的器材和部件。
- ②在允许条件的范围内使用。
- ③回路或结构应尽量单纯且采用标准化器材。
- ④采用可交换、互换的。

(2) 对设施的重要部分, 应考虑以下几点

① 结构侧重安全。

② 结构侧重安全的部件, 若价格过高宜采用冗长方式。

③ 万一出现故障运行方式仍偏于安全 (保险装置方式)。

④ 为避免人工操作事故, 采用误操作无效方式 (安全装置)。

⑤ 为防备万一出现事故, 应备有手工操作装置。

⑥ 如有可能, 最好附设故障通报系统。

3.10 工程效果

按下列项目计量工程效果, 评价工程的经济性和适当性:

(1) 作物生产效果

(2) 节减农业经营劳力效果

(3) 节减维护管理费用效果

(4) 其他

〔说明〕

日本土地改良法实施令第2条第3项, 在关于实行土地改良的基本要求中写着: “该项土地改良工程, 全部效益应当补偿其全部费用”, 但要想将土地改良的效益全部一律数字化, 变成可计算的加以评价, 是很困难的。所以只能用经济效益的近似计算, 即作物所增加的纯利数额, 农业经营劳力的节减额, 维护管理费用的节减额等作为农业内部的直接效益, 计算和评价投资效益等。

(1) 作物生产效果

以作物增产的纯收益表示。具体说, 由于土地改良的结果, 防止了农作物减产, 改善了现场条件, 增加了播种面积和提高了农产品质量等原因, 使产品增加。农产品增加的销售额 (毛收益额) 减去生产成本 (经营费用) 后的纯收益, 作为计算效益的标准。

作物增加量 × 单价 × 纯利比率

= 作物毛收益额 × 纯利比率

= 作物增加所得纯收益额

在旱地灌溉方面, 获得效益的主要原因, 仅以增产效果来说就有: ① 播种面积增加与否, ② 旱地灌溉效果, ③ 荒闲地防治效果, ④ 耕种方式转换的效果等。除此以外, 质量的提高也是旱地灌溉效果。

(2) 节省农业经营劳力效果

随着农业生产作业机械化, 自然导致劳力节省。单纯根据农作物增产还不能判定生产费用的增减。这里仅对构成生产费用的劳力费用进行计算, 即工程实施前后劳力投入量的变化, 以及农业技术体系的变化为根据进行计算。

(工程实施前劳力量 - 工程实施后劳力量) × 标准工资单价 - 机械化经费增额 = 农业经营劳力节减额

在旱地灌溉工程中, 由于灌溉设施完善和自动化而减轻劳动, 同时在多种目的使用中, 如防治草害、施肥等, 也可带来节省劳力的效果。

(3) 节省维护管理费效果

因工程实施而新建、改建或废弃的设施引起维护管理费用的增减效果，数值上由原有设施的维护管理费减去新建、改建设施的预计维护管理费的差值表示。若新建设施数量很多，其效果为负值。

(4) 其他

如更新效果等。