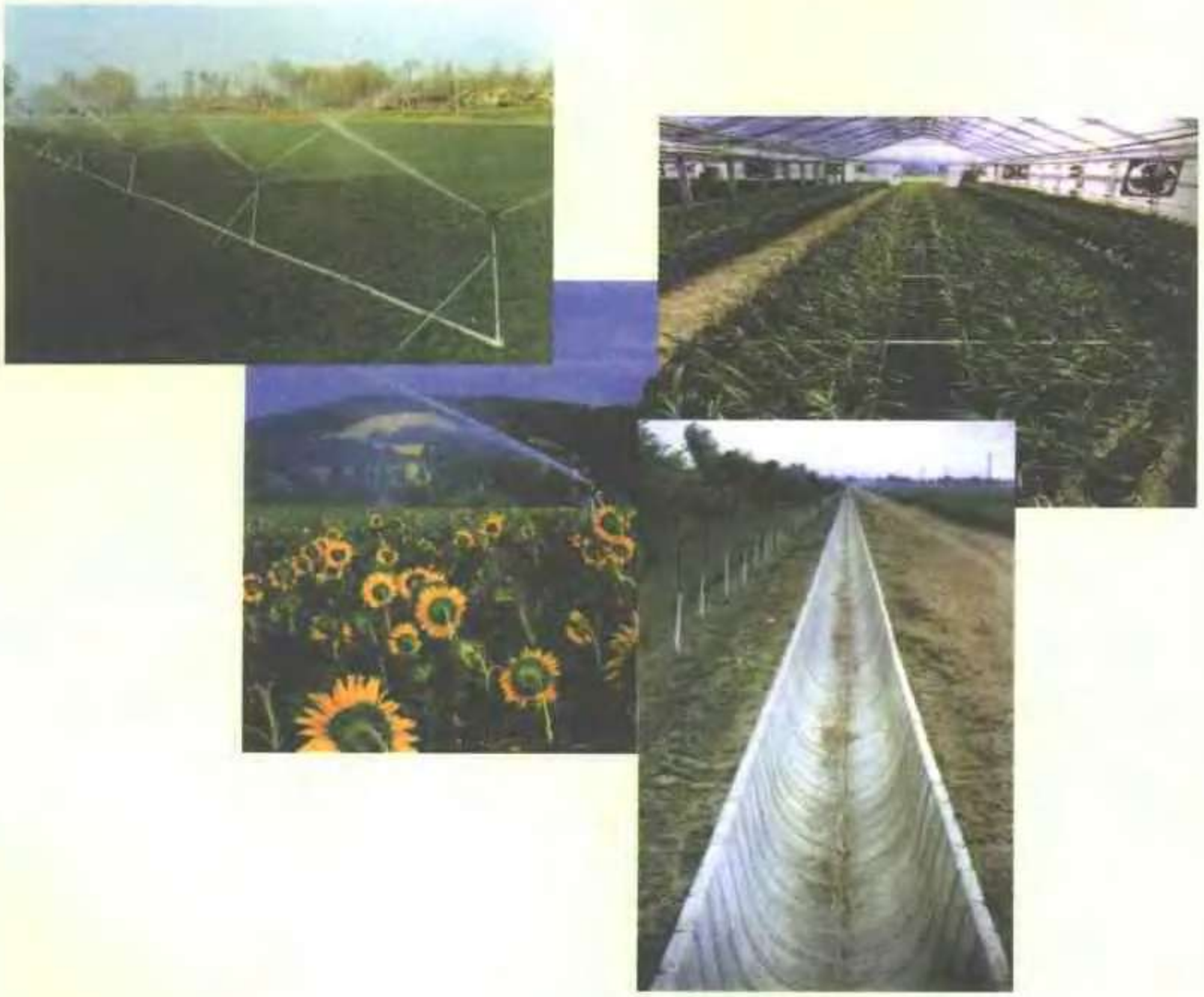
节水灌溉技术培训教材

旱作物地面灌溉节水技术

水利部农村水利司
中国灌溉排水技术开发培训中心



中国水利水电出版社

节水灌溉技术培训教材

旱作物地面灌溉节水技术

林性粹 赵乐诗 等 编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系《节水灌溉技术培训教材》的一个分册。它是作者在广泛搜集国内外，特别是我国北方地区有关地面灌溉的科研成果和实践经验的基础上编写的。其内容尽量反映近10多年来地面灌溉节水的新技术、新经验，着重介绍了旱作物的灌溉制度和沟灌、畦灌、地膜覆盖灌水等地面灌溉的节水技术；另外还介绍了相应的田间工程和田间灌溉管理等。

本书主要供培训基层水利技术人员和从事推广农田节水灌溉工作者使用，亦可供有关专业院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

旱作物地面灌溉节水技术/水利部农村水利司，中国灌溉排水技术开发培训中心编．—北京：中国水利水电出版社，1999

节水灌溉技术培训教材

ISBN 7-80124-644-6

Ⅰ．旱… Ⅱ．①水… ②中… Ⅲ．旱地-地面灌溉 Ⅳ．S275.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 16068 号

书　　名	节水灌溉技术培训教材　旱作物地面灌溉节水技术
作　　者	水利部农村水利司　中国灌溉排水技术开发培训中心
出版、发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号　100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sale@waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机）、68331835（发行部）
经　　售	全国各地新华书店
排　　版	中国水利水电出版社微机排版中心
印　　刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规　　格	787×1092 毫米　16 开本　8.25 印张　181 千字
版　　次	1999 年 6 月第一版　1999 年 6 月北京第一次印刷
印　　数	0001—4600 册
定　　价	16.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《节水灌溉技术培训教材》

编　委　会

主任委员：　陈　雷

副主任委员：　冯广志　　乔玉成　　许红波

高而坤　　周卫平　　赵竞成

委　　员：　（按姓氏笔画为序）

王晓玲　　史　群　　祁建华　　曲　强

任晓力　　沈秀英　　李龙昌　　李安国

李英能　　张汉松　　张祖新　　郑耀泉

林性粹　　顾宇平　　彭世彰　　彭建明

序

我国是一个水资源严重短缺的国家，人均水资源占有量排在世界第109位，仅为世界平均水平的1/4。随着经济的发展、人口的增加、社会的进步、工业和城市用水量的激增，农业用水量占全国总用水量的比重已从80年代初的80%降到目前的70%左右。农业用水供需矛盾日益突出，干旱缺水成为制约我国农业发展的主要因素之一。一方面农业缺水，另一方面用水浪费现象又普遍存在，灌溉水的利用率只有30%～40%，而先进国家达到70%～80%以上。我国单方水粮食生产能力只有1kg左右，而先进国家为2kg，以色列达2.32kg。我国目前采用喷灌、微灌等先进节水措施的灌溉面积仅占总灌溉面积的2%，而有些发达国家占灌溉面积的80%以上，美国的喷灌、滴灌面积为1.65亿亩，占灌溉面积的一半。我国目前已建的防渗渠道工程为55万多km，仅占渠道总长的18%。从国外和我国各地的实践经验看，凡采用先进的节水灌溉技术，都可获得干分显著的节水增产效果。农业灌溉节水潜力巨大，通过普及节水灌溉技术，提高灌溉水的利用率和水分生产率，无疑是解决农业用水危机，缓解我国水资源供需矛盾的有效途径。

党的十五大报告中指出要“大力推进科教兴农，发展高产、优质、高效农业和节水农业”，国务院决定在“九五”期间建设300个节水增产重点县和一批节水型井灌区，以推动我国节水灌溉工作的全面发展。在党中央的领导下，一个亿万农民群众参加的大搞农业节水灌溉的热潮已在全国各地蓬勃兴起。

为了配合节水灌溉技术的推广和普及，近年来，我们陆续举办了一系列培训班，请高等院校、科研单位、生产管理部门的有关专家讲课，并编写教材。在此基础上，充实修改，编写出节水灌溉系列培训教材，包括《水土资源评价与节水灌溉规划》、《喷灌与微灌设备》、《渠道防渗工程技术》、《管道输水工程技术》、《喷灌工程技术》、《微灌工程技术》、《地面灌溉节水技术》、《雨水集蓄工程技术》、《水稻节水灌溉技术》九个分册。该教材主要面向县、乡两级基层水利技术人员，普及与回答节水灌溉工作中的基本技术知识和常见问题，强调适用性，使读者在学到节水灌溉工程技术的同时也了解到水资源开发利用、节水管理技术及节水农艺措施等方面的知识，并能够结合当地情况选择适宜本地区节水灌溉的技术路线，掌握节水灌溉技术的实施步骤、设备选择、工程设计、施工、质量控制和运行管理等技术方法。

这套教材可用以对基层水利人员实施“继续工程教育”和“蓝色证书”的

培训，也可作为基层水利技术人员实施节水灌溉工程的参考资料。相信这套教材的出版发行，会对推动基层水利职工培训，节水灌溉的普及和技术水平的提高，灌溉管理水平的提高起到有益的作用。

由于节水灌溉技术内容丰富、发展迅速，有待进一步研究的内容很多，加之编写时间仓促，本书的不足和错误之处，诚恳希望读者提出补充、修改意见。我们向所有对这项工作给予支持的各位领导、有关单位和参与编写、审稿工作的同志表示衷心的感谢。

水利部农村水利司

冯广志

1997 年 12 月 22 日

前　言

农田节水灌溉的实质是，合理灌溉、科学用水与高效用水。在农田灌溉的灌水方法类型中，地面灌溉是其中推广应用最为普遍的一类，世界各国地面灌溉的总面积要占到全世界总灌溉面积的90%以上，我国的地面灌溉面积占到全国总灌溉面积的98%以上。尤其是在当前，我国及世界各国都面临着水资源与能源日趋严重短缺的形势。因此，继续发展地面灌溉，推广应用地面灌溉节水新技术，对节约用水，缓解发展农田灌溉与水资源和能源紧缺的尖锐矛盾、提高田间灌水质量，以及继续扩大灌溉面积，是非常必要的，对于我国干旱、半干旱与半湿润地区的农业持续发展更具有特殊的重要意义。

我国地域宽广，幅员辽阔，各地区条件不同，其地面灌溉方法也千差万别。同时，我国又是世界上农田灌溉事业历史最悠久、最发达的国家之一，数千年来，我国劳动人民群众一直采用着的农田灌溉方法主要是地面灌溉，积累有相当丰富的地面灌溉经验。近年来，随着我国工农业生产规模的扩大和农业现代化建设的深入开展，我国的水、土资源不足更趋严重，从而促使我国的农田水利事业，特别是在地面灌溉节水领域的发展更加迅猛，内容更加丰富，并创造了许多新颖的方法和技术。因此，本书力求尽量全面系统地反映这些内容。但是，全书既要面向全国，又要受到篇幅的限制，故只能精益求精，重点介绍有关地面灌溉的合理灌溉、科学用水与高效用水等方面的基础知识，介绍地面灌溉节水的新方法和新技术，以及相应的田间工程和田间灌溉管理方面的内容。

本书主要由林性粹执笔编写（第一、二、三、四、五、六、七章）。参与编写的有汪志荣（第四章），费良军、门旗（第五章），李援农（第六章），赵乐诗、吴文庆（第七章）。全书由河海大学房宽厚教授审阅，水利部农村水利司冯广志副司长提出了许多具体修改的指导意见，在编写过程中还得到乔玉成、赵竟成、沈秀英、曲强等同志的支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。另外，沈弥英老师在世时，曾对本书的编写付出了辛勤的劳动，借本书出版之际谨向她致以诚挚的敬意和深深的怀念。

本书在编写过程中，收集了全国各地区，尤其是我国北方先进灌区的地面灌溉资料，收集了国内外有关地面灌溉节水新方法，以及新的研究成果，从而丰富了本书的内容。在本书的编写过程中，还力求体现科学性、系统性、先进性和实用性；尽量反映近些年来地面灌溉的新技术、新经验，及其应用的新进展、新动态。全书力求浅显，并具有适当的深度，尽量介绍一些行之有效的实用技术；全书图、文、表并茂，文字力求简洁通畅，以供广大农村干部和技术人员作为进行继续再教育的培训教材，同时也可供广大农田水利工作者学习参考。

由于收集资料范围有限，编写时间短促，也限于编者水平，书中难免存在疏漏和不足，恳请广大读者批评指正。

编　者

1998.12.1

目　　录

序

前　言

第一章　绪论……（1）

第一节　概述……（1）

第二节　旱作物对地面灌溉节水技术的基本要求……（2）

第三节　评估地面灌溉节水技术的主要指标……（5）

第二章　旱作物灌溉制度……（9）

第一节　旱作物消耗农田水分的途径与需水规律……（9）

第二节　旱作物灌溉制度的确定……（11）

第三节　我国主要旱作物的需水特性与灌溉制度……（15）

第四节　节水型灌溉制度问题……（23）

第三章　畦灌……（28）

第一节　畦灌的灌水技术……（28）

第二节　水平畦灌……（34）

第三节　节水型畦灌技术……（37）

第四章　沟灌……（41）

第一节　沟灌的灌水技术……（41）

第二节　涌流灌溉……（47）

第三节　节水型沟灌技术……（49）

第四节　果园地面灌溉……（53）

第五章　地膜覆盖灌水技术……（57）

第一节　地膜覆盖灌水的类型及其特征……（57）

第二节　膜上灌技术的效果……（61）

第三节　膜孔沟（畦）灌溉技术……（63）

第六章　田间工程……（65）

第一节　田间工程的配套……（65）

第二节　田间灌溉排水网……（66）

第三节　平整土地……（75）

第七章　田间灌溉管理……（84）
第一节　田间灌溉管理组织 ……（84）
第二节　田间灌溉水量调配 ……（86）
第三节　田间灌水装置 ……（92）
第四节　田间量水方法 ……（96）
第五节　田间灌溉管理技术经济分析 ……（112）
主要参考文献……（118）

第一章　绪　　论

第一节　概　　述

地面灌溉是最古老的，也是现今世界上采用最普遍的农田灌溉技术措施。根据统计，全世界用地面灌水方法灌溉的面积占总灌溉面积的90%左右。我国现有灌溉面积的97%也是采用这类方法。我国劳动人民数千年来积累了极为丰富的地面灌溉经验，对促进和发展我国农牧业生产起了很重要的作用。

我国是一个干旱、半干旱及半湿润易旱地区（简称旱区）面积较大的国家，旱区面积约占总国土面积的74%，其中东北、华北、西北三大行政区的旱区面积约占全国土地面积的47%，且都超过了各区土地面积的80%。这个地区地域如此辽阔，资源又十分丰富，因此已成为我国林业、牧业、煤炭、石油、天然气和化工产业的重要基地。同时，这三个地区的土地资源宽广，光照资源充足，农业生产发展潜力巨大。

但是，旱区天然降水量稀少，水资源一般都很欠缺，因此，旱区经常发生干旱，旱灾频率达50%～80%，甚至十年九旱，连年干旱。干旱是旱区农业产量长期低而不稳的最根本原因。近年来，随着工农业生产规模的扩大和人口的不断增长，工农业用水量和人、畜用水量急剧增加，水源不足更趋严重，缺水已成为我国旱区经济可持续发展的最大制约因素。

尽管我国水资源非常紧缺，但用水中的浪费却十分惊人，尤其是地面灌溉用水，损失和浪费更为突出。在农田灌溉用水中，田间灌溉水量的浪费非常可观。例如，我国北方灌区有些地面灌溉灌水量均在100m³/（亩·次）以上，高出作物实际需要的1～2倍，最低也在75m³/（亩·次）左右；单位面积灌溉总水量达500m³/亩左右。农田灌溉水量的损失和浪费，不仅直接减少可供灌溉利用的水量，减少可灌溉的面积，而且还会抬高地下水位，引起灌区土壤次生盐碱化和沼泽化。

地面灌溉的主体是各种地面灌水方法，但从地面灌溉体系和节水技术看，地面灌溉还应包括相应的田间工程和田间灌溉管理两个组成部分。

地面灌水方法是使灌溉水通过田间渠沟或管道输入田间，水流在田面上呈连续薄水层或细小水流沿田面流动，主要借重力作用兼有毛细管作用下渗湿润土壤的灌水方法，又称重力灌水方法和全面灌水方法。

传统的地面灌水方法能充分满足作物的需水要求；对灌水技术要求不高，很容易为人们掌握运用；不需要特殊的专门设备，投资省；由于水流是借重力和毛管作用下渗，故可以节省能源，运行费用低。但是，地面灌水方法也存在有许多问题，主要是：田间灌水有效利用率比喷灌、滴灌等灌水方法低，只适用于较密实的土壤质地，否则在砂性土壤上会产生大量深层渗漏损失；地面灌水方法很容易发生超量灌溉，导致地下水位上升、土壤渍害和盐碱化，或沿田面发生跑水泄流浪费；对土地平整要求较高，地形复杂的地区平整土地的投资大。因此，地面灌水方法比喷灌和滴灌更要注意改善和提高其灌水技术，以达到

节水、省劳、稳产、高产和低成本的目的。

根据灌溉水向田间输送的形式和湿润土壤的方式不同，地面灌水方法可分为畦灌、沟灌和淹灌三类。

1. 畦灌

畦灌是将田块用低矮土埂分割成许多矩形条状地块，灌溉水以薄水层水流的形式输入田间，并以重力作用为主，兼有毛细管作用湿润土壤的灌水方法。

畦灌有顺坡畦灌和横坡畦灌两种。地面坡度较小（小于 1/100），畦田长边方向沿最陡地面坡度方向，即垂直于等高线布置的，称顺坡畦灌。地面坡度较大，畦长方向与等高线斜交或平行布置的，称横坡畦灌。依畦田长度划分，畦灌又有长畦灌和短畦灌两种。通常，畦长大于 100m 的称为长畦灌；畦长小于 70m 的称为短畦灌或小畦灌。试验证明，短畦灌较长畦灌可省水 30%以上，作物产量也较高。国外近年来由于一些新的灌水方法的出现，以及平整土地机械化程度的提高，畦田规格趋向于加大，畦长可达 300～500m，畦宽增至 10～30m。一般，长畦灌的田间灌水有效利用率小于 70%，短畦灌的田间灌水有效利用率可达 80%以上。土地平整程度较好的，田间灌水有效利用率可以更高。畦灌是目前世界上运用最广泛的灌水方法之一。

2. 沟灌

沟灌是将灌溉水引入田间垄沟，水借重力作用和毛细管作用向灌水沟沟底和沟两侧人渗，以湿润周围土壤的地面灌水方法。

沟灌依地形坡度也有顺坡沟灌和横坡沟灌两种方法。依灌水垄沟断面尺寸大小又可分为深沟灌和浅沟灌两种。深沟灌常用于灌溉多年生、深根行播作物；浅沟灌或细流沟灌一般适用于土壤渗水较缓慢的土质及密植作物。由于沟灌主要是借毛细管力湿润土壤，土壤入渗时间较长，故对于地面坡度较大或透水性较弱的地块，为了增加土壤入渗时间，常有意识增加灌水垄沟长度，使垄沟内水流延长，形成多种多样的灌溉垄沟形式，如回曲沟、锁链沟、直形沟、八字形沟、方形沟等。由于沟灌方法沟状水流仅覆盖了 1/5 的地表面，因此与畦灌方法相比，可减弱土壤蒸发，土壤团粒结构的破坏较小，灌水量较省，灌水效果比较理想，田间灌水有效利用率可达 80%以上。

3. 淹灌

淹灌是在田间用较高的土埂筑成方格格田，一般引入较大流量迅速在格田内建立起一定厚度的水层，水主要借重力作用下渗入土壤内的地面灌水方法。

淹灌方法主要适用于水稻、水生植物及盐碱地冲洗灌溉。旱作物严禁使用淹灌方法，以避免产生深层渗漏，损失浪费大量灌溉水。

第二节　旱作物对地面灌溉节水技术的基本要求

一、旱作物对农田水分的基本要求

（一）对土壤水含量的要求

旱作物对土壤水含量的要求，都有一定的界限范围，通常均以适宜土壤含水量表征。适宜土壤含水量是指在作物的任一时段内都能保证作物正常生长发育所需要的土壤含水量，

一般以重量百分数或田间持水量的百分数表示。适宜土壤含水量随作物种类和品种，及其生育阶段的需水特点、土壤质地与结构、施肥等农业技术措施和气象条件等不同而有差异。

对于任何一种旱作物，相应于它的不同生育阶段，都有一个最适宜的土壤含水量范围。这不仅是为了充分满足作物各生育阶段的需水要求，而且更重要的是，还能为作物提供一个有利于生长发育的良好的土壤水分环境。就地面灌溉而言，为达到作物高产稳收，应尽量通过合理的灌溉技术，把土壤水含量控制在最适宜的土壤含水量下限与上限的范围之内。适宜土壤含水量下限与上限的范围一般相当于田间持水量的55%～85%。

（二）对田面淹水层的要求

由于强降雨或超量灌溉，往往会使旱作物田面土产生淹水层。但是，一般旱作物是不太耐淹涝的。若旱作物长时间被积水淹泡就会导致生长发育不良，进而造成减产。

衡量旱作物忍受淹涝程度的指标，称为作物耐淹能力，或称作物耐涝能力。即在产量不受明显影响的前提下，作物能忍受田面淹水的深度及其淹水的时间。作物耐淹能力与作物的类别、品种、生育阶段和植株素质等因素有关。一般，高秆作物耐淹能力强于矮秆作物，植株健壮的作物耐淹能力比瘦弱的作物强。田面的淹水越深，淹水历时越长，温度越高，旱作物越不耐淹。另外，作物在浑水中比在清水更不耐淹。

作物生长发育阶段不同，它的耐淹能力也有显著不同。例如小麦前期比后期耐淹，而玉米和豆类则后期比旱期耐淹，高粱比其他旱作物都耐淹。几种旱作物的耐淹能力见表1-1。

表1-1　几种旱作物的耐淹能力

作物种类	生育期	允许淹水深度(cm)	允许淹水历时(d)
棉　花	开花结龄期	5～10	1～2
玉　米	抽雄期	8～12	1～1.5
	孕穗灌浆	8～12	1.5～2
	成熟期	10～15	2～3
春　谷	孕穗期	10～15	1～2
	成熟期	10～15	2～3
高　粱	孕穗期	10～15	6～7
	灌浆期	15～20	8～10
	乳熟期	15～20	15～20
大　豆	开花期	7～10	2～3
小　麦	拔节成熟	10	<1

（三）对农田地下水位的要求

旱作物对农田地下水位的要求主要包括防渍害和防盐碱危害两个方面。

1. 适宜于旱作物生长发育的地下水位与防渍害的要求

在作物生育期内，若土壤水分过多，超过了田间持水量，甚至达到饱和含水量，而使地下水位上升几乎与地面齐平。此时，虽然地面上并没有产生积水，但因土壤中所有大小孔隙都被水分所充满，致使土壤内空气减少，从而造成根系缺氧和呼吸困难，生长不良，影响到根系对水分和养分的吸收，甚至烂根死亡。因此，为保证作物正常生长发育，必须对地下水的埋深有适当的要求。一般对于旱作物，要求平时地下水埋藏深度不小于适宜埋深，而在降雨或灌水后，就要求地下水位在允许的时间内回降到适宜的地下水埋深以下。作物所要求的适宜地下水埋藏深度因作物种类、品种及其生育阶段，以及土壤质地等条件不同而异。几种主要旱作物所要求的地下水埋深参见表1-2。

作物对地下水埋深的要求也与作物的耐渍能力有关系。作物耐渍能力是指作物忍受过

表 1-2　　几种旱作物要求的地下水埋深

作物	生育期要求保持的地下水埋深（m）	雨后短期允许的地下水埋深（m）	雨后降低至允许埋深的相应时间（d）	备注
小麦	1.0～1.2	0.8 1.0	15 8	生育初期 生育后期
玉米	1.2～1.5	0.4～0.5	3～4	孕穗至灌浆
棉花	1.0～1.5	0.4～0.5 0.7	3～4 7	开花结铃期
高粱	0.8～1.0	0.3～0.4	12～15	开花期
甘薯	0.9～1.1	0.5～0.6	7～8	
大豆		0.3～0.4	10～12	开花期

多土壤水分的能力。它也取决于作物的种类、品种与其生育阶段，以及土壤质地和结构等因素。如小麦和棉花，不同生育期所要求的地下水埋深（即耐渍能力）见表1-3。

2. 防止土壤返盐的地下水埋深的要求

在地下水位较高而又有产生盐碱威胁地区的土壤上，种植旱作物时，为了防止土壤盐碱化，要求地下水埋深必须在地下水临界深度以下。地下水临界深度是指在一定的自然条件和农业技术措施条件下，为了保证土壤不产生盐碱化和作物不受盐害所要求保持的地下水最小埋藏深度。它的大小与土壤质地、地下水含盐量、气象条件以及灌溉排水条件和农业技术措施有关。轻质土，如砂壤、轻壤土的毛细管输水能力强，较粘质土蒸发量大，易在土壤内积盐，故应有较大的地下水临界深度。精耕细作，松土施肥，可减少土壤蒸发，防止返盐，故其地下水临界深度较小，地下水临界深度一般应根据实地调查和观测试验资料确定。北方地区采用的地下水临界深度参见表1-4。

表 1-3　　小麦、棉花的耐渍能力

作物	小麦				棉花	
生育阶段	播种出苗	分蘖越冬	返青	拔节～成熟	苗期蕾期	花铃吐絮
地下水埋深（m）	0.5	0.6～0.8	1.0～1.2	0.5～0.8	1.0～1.5	1.5

二、对地面灌溉节水技术的基本要求

（1）保证实现定额灌水。各种地面灌水方法应能保证按作物的需水要求，遵循正确的灌溉制度，按照计划的灌水定额，适时供给作物以适量的灌溉水。

（2）田间水的有效利用率高。优良的地面灌水方法，应能在田间灌水的全过程中控制各种水量损失；应能合理而有效地利用灌溉水，节约用水。严禁田面水流跑水、串灌、流失和废泄；避免产生深层渗漏，尽量减少灌水后地表面土壤强烈蒸发。

（3）田间灌水均匀度高，灌水质量高。这是评价各种地面灌水方法优劣的一项重要指标。优良的地面灌水方法，要求灌溉农田田面受水均匀，渗入田间各点的灌溉水量均匀或者基本相等，湿润计划土壤层的深度大致相同。实施田间灌水时，应避免土壤计划湿润层内水分过多或者不足；维持适宜的土壤溶液浓度，不使土壤养分流失，从而促进土壤肥力的提高；尽量不冲刷田面表层土壤，不破坏或者少破坏土壤结构，不会使表层土壤板结，保持土壤疏松。

表 1-4　　北方一些地区采用的地下水临界深度

地区	土壤质地	地下水的矿化度(g/L)	临界深度(m)	地区	土壤质地	地下水的矿化度(g/L)	临界深度(m)
河南省北部和东部平原地区	轻壤 砂壤	<2 2～5 5～10	1.9～2.1 2.1～2.3 2.3～2.5	陕西省洛惠渠灌区	砂壤土 轻壤土 中壤土 重壤土 轻粘土	1～3 2～7 10～30 7～5 7～15	1.4～1.6 1.5～1.8 2.1～2.4 1.8～2.1 1.1～1.4
	中壤	<2 2～5 5～10	1.5～1.7 1.7～1.9 1.9～2.1	山东省打鱼张灌区	全剖面以砂壤土为主和土砂下粘	<3～5 >3～5	2.0 2.2
	重壤，粘土和厚粘土层	<2 2～5 5～10	0.9～1.1 1.1～1.3 1.3～10.5		剖面中间有粘土层和土粘下砂剖面	<3～5 >3～5	1.3 1.5
河南省平原地区	轻壤土	1～3 3～5 5～8 8～10	1.8～2.1 2.1～2.3 2.3～2.6 2.6～2.8	内蒙古自治区黄河灌区	轻砂壤	3～5 5～7 7～9 10	1.8 2.0 2.2 2.3
	轻壤土夹胶泥	1～3 3～5 5～8 8～10	1.5～1.8 1.8～2.0 2.1～2.2 2.2～2.4		粘质或间粘	3～5 5～7 7～9 10	1.1 1.2 1.3 1.35
	胶泥	1～5 5～10	1.0～1.2 1.2～1.4	新疆生产建设兵团沙井子土壤改良综合试验站	有粘质夹层 砂壤一－轻壤 有薄粘质夹层 有厚粘质夹层 有粘质夹层	<10 10左右 10左右 10左右 >20	1.5～1.7 >2.0 1.8～2.2 1.6～1.8 2.4～2.65

(4) 高效低耗，灌水成本低。正确的地面灌水方法及其良好的灌水技术应在田间工程配套健全的条件下，不断完善和改进田间灌水劳动组织；改良灌水工具和田间配水及灌水装置，并能为以后的农业耕作管理创造便利条件，为田间灌水工作逐步实施机械化与自动化奠定基础，以使人工灌水、配水的劳动强度减弱至最低限度；促使田间灌溉效率提高，田间灌水劳动生产率提高，灌水用工少，田间灌水用材料、燃料等消耗降低；占地少、灌水成本低。

(5) 方便与农业技术措施密切配合。农田灌溉是保证农业可持续发展的重要措施之一。正确的地面灌水方法与良好的灌水技术必须方便与其他农业技术措施，如中耕、密植、间作套种、立体栽培种植、施肥、喷药等密切配合，充分发挥这些农业技术措施的作用，为共同促进作物优质、稳产、高产创造有利的条件。

(6) 简易经济，便于推广。各种地面灌水技术，应简单，容易操作，便于推广。

第三节　评估地面灌溉节水技术的主要指标

一、评估地面灌溉节水技术的主要经济指标

1. 节水增产率

节水增产率是指在同样气候等自然条件和农业技术条件下，旱作物采用地面灌水方法

某种节水灌水技术与传统地面灌水方法灌水技术间，其平均单位面积产量所增加的产量百分数，即

$$F_y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \times 100 \tag{1-1}$$

式中：F_y 为节水增产率，%；Y_1、Y_2 分别为两种灌水方法或两项灌水技术的平均单位面积产量，kg/亩。节水增产率是评估地面灌水方法或灌水技术的一项综合性经济指标，它标志着某种地面灌水方法或某项灌水技术的增产效果及其产量水平。

2. 田间灌溉效率

田间灌溉效率，是指某次由最末一级固定渠道或管道（一般指毛渠、毛管）引入田间灌水，平均一个流量（即 1.0m^3/s）一昼夜（自流灌区为 24h；提水灌区一般以 22h 计）实际灌溉的面积

$$F_i = 86400 \frac{A}{W} \tag{1-2}$$

式中：F_i 为田间灌溉效率，亩/（$m^3 \cdot s^{-1} \cdot d$）；A 为一昼夜实灌面积，亩/d；W 为最末一级固定渠道或管道实际引入田间的流量，m^3/s；86400 为一昼夜按 24h 计算的秒数，若一昼夜按 22h 计算，则 86400s 应改为 79200s。

田间灌溉效率综合反映田间灌水管理工作的质量，是田间灌水管理的一项重要指标。

3. 灌水劳动生产率

田间灌水劳动生产率是指实施地面灌溉，每个灌水员 1 班（通常 1 班为 8h 或 12h）可能灌溉的面积；或者每个灌水员灌溉 1 亩农田所需要的工日数。

$$F_w = \frac{A}{nN} \tag{1-3}$$

或

$$D_w = \frac{nN}{A} \tag{1-4}$$

式中：F_w、D_w 为灌水劳动生产率，单位分别为亩/（人·班）和工日/亩；A 为一昼夜实际灌溉的面积，亩；n 为灌水员每班人数，人；N 为一昼夜的灌水分班数，班。

田间灌水劳动生产率的高低与田间工程的合理布局和完善程度，灌水劳动组织，灌水工具及设备，田面平整状况及灌水员的技术熟练程度等有密切关系。

4. 田间灌水成本。

田间灌水成本是指旱作物采用地面节水技术灌溉农田单位面积所需要的费用

$$C = \frac{C_p + C_w + C_j + C_r}{A} \tag{1-5}$$

式中：C 为田间灌水成本，元/亩；C_p 为灌水员的工资，元；C_w 为水费或水资源费，元；C_j 为灌水工具，灌水设备、机具、机电装置，以及田间工程设施和土地平整等的折旧费用，元；C_r 为燃料，包括机电用油或用电及照明等的费用，元；A 为实灌面积，亩。

5. 节水率

节水率是标志灌水方法节水效益高低的重要指标。节水率指不同地面灌水方法单位面积灌溉用水量的比值，即

$$\eta_s = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \tag{1-6}$$

式中：η_s 为节水率，%；W_1，W_2 分别为两种灌水方法单位面积上的灌溉用水量，通常可用实际的灌水定额计算，m^3/亩。

二、评估地面灌水方法的质量指标

正确设计和实施地面灌水方法，必须制定一套完整的质量指标体系。多年来，国内外许多农田灌溉专家、学者曾提出了多个分析评估农田灌水方法的田间灌水质量指标。其中，目前最常用的有以下三个。

1. 田间灌溉水有效利用率

田间灌溉水有效利用率是指，应用某种地面灌水方法或某项灌水技术后，储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量与实际灌入田间的总水量的比值，即

$$E_a = \frac{V_s}{V} = (V_1 + V_4)/V = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \tag{1-7}$$

式中：E_a 为田间灌溉水有效利用率，%；V_s 为灌溉后储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量，m^3 或 mm；V_1 为作物有效利用的水量，即作物蒸腾量，m^3 或 mm；V_2 为深层渗漏损失水量，m^3 或 mm；V_3 为田间灌水径流流失水量，m^3 或 mm；V_4（对于地面灌水方法），主要指作物植株之间的土壤蒸发量，m^3 或 mm；V 为输入田间实施灌水的总水量，m^3 或 mm。见图 1-1。

田间灌溉水有效利用率表征应用某种地面灌水方法或某项灌水技术后农田灌溉水充分利用的程度，是标志农田灌水质量优劣的一个重要评估指标。对于旱作物地面灌溉，SL207—98《节水灌溉技术规范》要求田间灌溉水有效利用率 $E_a \geqslant 90\%$。

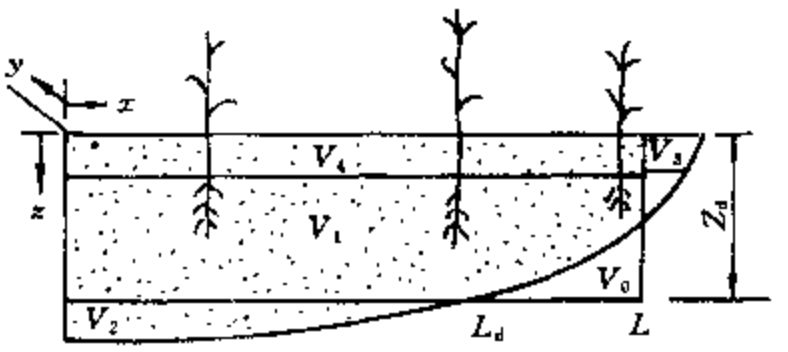


图 1-1　土壤入渗剖面湿润土层图

2. 田间灌溉水储存率

田间灌溉水储存率是指，应用某种地面灌水方法或某项灌水技术灌溉后，储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量与灌溉前计划湿润作物根系土壤区所需要的总水量的比值，即

$$E_s = \frac{V_s}{V_n} = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_4 + V_0) \tag{1-8}$$

式中：E_s 为田间灌溉水储存率，%；V_n 为灌水前计划湿润作物根系土壤区内所需要的总水量，m^3 或 mm；V_0 为灌水量不足区域所欠缺的水量，m^3 或 mm；其余符号意义同前。

田间灌溉水储存率表征某种地面灌水方法、某项灌水技术实施灌水后，能满足计划湿润作物根系土壤区所需要水量的程度。

3. 田间灌水均匀度

田间灌水均匀度是指，应用地面灌水方法实施灌水后，田间灌溉水湿润作物根系土壤区的均匀程度，或者田间灌溉水下渗湿润作物计划湿润土层深度的均匀程度，或者表征为田间灌溉水在田面上各点分布的均匀程度，通常用下述公式表示：

$$E_d = 1 - \frac{\Delta Z}{Z_d} \tag{1-9}$$

或
$$V_d = 1 - [\sum_{i=1}^{N} |X_i - M|]/(NM) \tag{1-10}$$

式中：E_d、V_d 为田间灌水均匀度，%；ΔZ 为灌水后各测点的实际入渗水量与平均入渗水量离差绝对值的平均值，m^3 或 mm；Z_d 为灌水后土壤内的平均入渗水量，m^3 或 mm；M 为 N 个测点的平均入渗水量，m^3 或 mm；X_i 为等面积测点的点入渗水量，m^3 或 mm；N 为测点数目。

田间灌水均匀度表征应用地面灌水方法、灌水技术实施灌水后，田面各点受水的均匀程度，以及湿润土壤计划层深度内的入渗水量的均匀程度。一般对地面灌水方法应要求，$E_d \geqslant 85\%$以上，最高 $E_d = 100\% = 1.0$。

由于上述三项评估灌水质量指标共同反映了作物产量和水资源利用程度的影响，所以它们必须同时使用才能较全面地分析和评估某种灌水方法或某田间灌水过程的灌水效果。目前，农田灌水方法都选用田间灌溉水有效利用率 E_a 和田间灌水均匀度 E_d 两个指标作为设计标准。而实施田间灌水则必须采用 E_a、E_s 和 E_d 三个指标共同评估其灌水质量的好坏，单独使用其中任一项指标都不能较全面和正确地判断田间灌水质量的优劣。

第二章　旱作物灌溉制度

实施科学合理的地面灌溉必须以确定作物灌溉制度为基础，而作物需水量与需水规律则是确定作物灌溉制度的主要依据。

第一节　旱作物消耗农田水分的途径与需水规律

一、旱作物消耗农田水分的基本途径

旱作物与一般作物一样，消耗农田水分主要通过叶面蒸腾、棵间蒸发和深层渗漏三条基本途径。

（一）作物的叶面蒸腾

作物一生中需要吸收和消耗大量的农田水分。作物主要依靠其根系由土壤中吸取水分，水分进入作物体内之后又有三个去向：①用于构造植物体组织本身。②消耗于光合作用生理过程。③通过作物叶面蒸腾向大气散发。作物根系吸入体内的水分有99%以上消耗于蒸腾，只有不足1%的水量真正消耗用于光合作用的生理过程，以及保留在作物体内成为组成部分。因此，作物蒸腾是作物体内水分消耗的主要途径。

作物蒸腾主要是指叶面蒸腾，即作物根系从土壤中吸入体内的水分通过叶面上的气孔散发到大气中的现象。作物的植株也有蒸腾作用，但很微弱，一般不予考虑。作物蒸腾既有物理作用，又有生理作用，它是物理作用与生理作用的复杂综合过程。物理作用是指蒸发面上的液体扩散及其上部的气体紊流过程；生理作用是指作物根系吸水、体内输水和叶面气孔开闭等过程。这两种作用既与气象条件有关，也与土壤、作物等非气象条件有关。

衡量作物蒸腾强弱的表示方法有以下三种常用方法：

(1) 蒸腾速率。是指作物在一定时间内单位叶面积蒸腾的水量，一般用每小时每平方分米叶面积蒸腾水量的克数表示。通常白天的叶面积蒸腾速率为0.5～2.5g/（h·dm^2）；晚上在0.1g/（h·dm^2）以下。

(2) 蒸腾系数。作物制造1克干物质所需要的水分克数。大部分作物的蒸腾系数为100～500g/g。例如：小麦为257～774g/g；玉米为174～406g/g；水稻为211～300g/g。作物蒸腾系数越大，其利用水分的效率越低。

(3) 蒸腾效率。作物每消耗1kg水所形成的干物质g数，大部分作物的蒸腾效率是2～10g/kg。蒸腾效率是蒸腾系数的倒数。

（二）棵间蒸发

对于旱作物农田，棵间蒸发是作物植株之间的土壤蒸发；对于水生作物和有淹水层的水稻，棵间蒸发主要是植株之间的水面蒸发。

棵间蒸发与叶面蒸腾都受气象因素的影响，两者互为消长。一般作物生育初期植株小，地面裸露大，以棵间蒸发为主。随着植株叶面覆盖率的增大，叶面蒸腾逐渐大于棵间蒸发。

到作物生育后期，作物生理活动减弱，蒸腾耗水减小，棵间蒸发相对增加。一般认为棵间蒸发的大部分是农田水分的无效消耗，应采取适当措施，以节约灌溉用水量，但它对土壤和近地表空气的湿度和温度具有一定的调节作用。

（三）深层渗漏

深层渗漏是指由于降雨或灌溉水量过多，使根系活动层中的土壤含水率超过了田间持水量，此时所形成的重力水就下渗至根系活动层以下的现象。对于旱作物农田，深层渗漏会造成水分和养分的流失，一般认为是无益的，应予防止。

二、旱作物需水量与需水规律

（一）旱作物需水量

作物需水包括生理需水和生态需水两部分。作物生理需水是指作物全生育期生命过程中，蒸腾、光合作用等生理活动所需要的水分。作物生态需水是指作物在生长发育的全过程中，为给作物创造良好的生活环境条件所需要的水分。因此，作物需水量是指作物在适宜的外界环境条件下，土壤水分和肥料养分供应适宜，其正常生长发育达到或接近达到该种作物品种的最高产量，为满足作物蒸腾、棵间蒸发和组成植株体所需要的水量之和。由于组成植株体的水量一般小于总蒸腾量的0.2%，而又不易测定，所以在生产实践中，对于旱作物的作物需水量就是旱作物在正常生长发育条件下全生长期的叶面蒸腾量与棵间的土壤蒸发量之和。作物需水量有时段概念。例如：作物生长期需水量，某生育阶段需水量，月、旬需水量和日、时需水量等。其单位以水层深度（mm、cm）或单位面积上的水量（m^3/亩）表示。

一般来说，土壤颗粒粗细均匀，团粒结构良好，有机质含量较高时，保水力强，作物需水量就小。砂性土持水力弱，蒸发较快，因此砂土和砂壤土上的作物需水量就大，土壤颜色有深有浅，颜色较深的土壤吸热较多，蒸发就多。土壤水分多少与作物需水量也有关系，土壤含水量高，蒸发就多，作物需水量就高等等。

作物种类不同以及同一种类作物的不同品种，由于它们的生育期长短和产量高低不同，它们的作物需水量差异显著。水稻、麻类、豆科等作物需水量较大，麦类、油菜、棉花、玉米等作物需水量次之，高粱、糜谷、薯类等作物需水量较小；早熟品种、耐旱品种比晚熟、喜水品种作物需水量小；高产品种一般喜肥喜水，作物需水量要多一些。

此外，地下水位高，耕作粗放，灌水量过大，大水漫灌等均会使作物需水量增大。影响作物需水量的因素非常多，而且这些因素又相互联系、错综复杂。所以，各种作物在不同水文年份、不同地区、不同栽培措施下的作物需水量是不相同的。即使是同一种作物，在同一地区，也往往由于水文年份、作物品种和栽培措施不同，其作物需水量也有相当大的差异。但尽管如此，作物需水量仍有一定的变化规律和大致的变化范围。如一般干旱年比湿润年多；我国北方比南方多；作物生育期长的比短的多；耕作粗放、管理水平低的比精耕细作、管理水平高的多等。

（二）作物需水规律

作物在全生育期的不同时段或不同生育阶段对水分的需要是不相同的。作物需水量中的植株蒸腾和棵间蒸发在作物生育期间又是相互消长的。一般作物的植株蒸腾量要占作物蒸腾蒸发量的60%～80%，棵间蒸发量只约占20%～40%。在作物生长初期，植株小，叶

面积小，蒸腾量也就小，所以作物需水量也较小。随着作物的生长发育，植株长大，叶面积逐渐增多，蒸腾量随之增加，田间逐渐为作物全部覆盖，棵间蒸发却渐次减小，但作物需水量将逐渐增高。最后，随着作物成熟及其枝叶枯老，蒸腾降低至最小，而棵间蒸发又渐渐回升，但作物需水量也逐渐减少。作物需水量的这种变化和分配规律，就是作物的需水规律，通常用作物各生育阶段的作物需水量占全生育期作物需水量的百比数（称为作物需水模系数）表示。需水模系数一般应由田间试验实测得出或使用类似地区的资料。

由作物需水规律可明确得知，作物各个时期对水分的需求程度。而作物任何生育时期（或阶段）缺水都会对作物生长发育产生不良影响，但不同生育时期对缺水的敏感程度却不同。通常把作物在全生育期中对缺水最敏感，需水最迫切，以致对产量影响最大的生育期，称为需水临界期或需水关键期。各种作物的需水临界期不完全相同，但大多数出现在从营养生长向生殖生长过渡的阶段。例如，小麦在拔节至抽穗期，棉花为开花结铃期，玉米为抽雄至乳熟期，谷子为拔节至抽穗期，大豆在花芽分化至开花期等。对于以生产块根为目的的甜菜，以生产蔗秆为目的的甘蔗，以生产烟叶为目的的烟草，它们的需水临界期均在营养生长期内。在需水临界期内缺水，必须进行灌溉，以及时而充分地满足作物对水分的需要。

第二节　旱作物灌溉制度的确定

灌溉制度是指在一定的气候、土壤等自然条件下和一定的农业技术措施下，按作物需水规律，为获得作物高产稳产和节约用水而制定的一整套向田间适时适量的灌水方案。它包括作物播种前以及全生育期内的灌水次数、每次的灌水日期和灌水定额与灌溉定额等四项内容。灌水定额指某一次灌水，单位面积上的灌水量。作物在全生育期内需要进行多次灌水，所以灌溉定额是作物播种前和全生育期内单位面积上所需要灌溉的总水量，也就是作物各次灌水定额之和。灌水定额和灌溉定额的单位常用 m^3/亩或 mm 表示。灌水次数指作物全生育期需要灌水的次数。灌水日期是作物各次灌水比较适宜的时间。

灌溉制度是制定水利规划和灌溉工程规划设计的基础；是灌区灌溉用水管理编制和执行用水计划、合理用水的依据。同时，合理而正确的灌溉制度还是指导农田灌水工作的重要依据，它关系着灌区内土壤肥力状况和作物的产量与品质的提高，以及灌区水土资源的充分利用与灌溉工程设施效益的发挥。

一、确定灌溉制度的方法

灌溉制度随作物种类、品种、产量水平、各生育阶段的生长情况及自然条件和农业技术措施的不同而各异。确定灌溉制度的关键是，确定作物各次合理的灌水时间和灌水定额，也就是说，为了使作物不致因水分不足而减产，在作物开始缺水受害之前，“看天、看地、看作物”，及时而适量地灌水，以满足作物高产所需要的水分。

“看天”就是看气象指标、气候条件。根据季节和降雨情况，气温高低和风的大小等来决定灌水时间。例如，在炎热夏季，天气干旱，气温高，空气湿度小，田间水分蒸腾、蒸发快，若 10 天左右不下透雨，作物就需要灌水；若遇阵雨或者暴雨，虽然雨量较大，但是产生的地表径流流失也大，土壤入渗水量少，则仍应及时补充灌水。有时，按作物生理要

求需要立即灌水，但是遇有四级以上的大风，灌水会引起作物倒伏，就应推迟灌水；有时，作物虽然生理上不缺水，但是为预防霜冻或者干热风等的危害，也要及时灌水等等。

“看地”主要是看土壤水分状况进行灌水。土壤水分状况是观察作物是否需要水分，鉴别农田受旱，指导合理灌水的重要依据，一般以作物的适宜土壤含水量下限作为是否需要灌水的衡量指标。当土壤含水量下降接近适宜土壤含水量下限时，就应及时灌水。大多数旱作物的适宜土壤含水量下限大致为田间持水量的55%～70%，但不同作物和同一种作物不同生育期的适宜土壤含水量下限是不相同的，可以通过灌溉试验得到。此外，适时灌水，还应考虑土壤的其他性状。例如，粘性土，土层深厚，土壤结构好，腐殖质多，而且是精耕细作的土壤，保水能力强，灌水次数可以少些，灌水期距可以长些，每次的灌水量也可以稍大些；反之，对保水耐旱力差的土壤，则每次灌水量要少些，勤浇浅灌。

“看作物”是看作物的生长状况。也就是说，要根据作物的形态、水分生理指标和群体动态等进行合理灌水。当作物出现幼嫩的茎叶凋萎，茎叶颜色变暗绿或变红，生长速度下降等作物形态变化时，就应当立即灌水；也可以根据作物水分生理指标测定的结果来判断是否需要灌水。例如细胞液浓度、叶水势或者叶面气孔开张度等水分生理指标，或者单位面积上分蘖的多少、叶面系数的大小、是否通风透光和有无倒伏危险等状况。

每次给作物灌水必须适量。灌水过少，不能满足作物一定时期对水分的需要，灌水过多，则会使土壤空气量减少，不利于作物生长，同时还会造成水分大量下渗，浪费水并使养分流失，甚至地下水位升高，导致土壤沼泽化或者盐碱化。作物生育期间的灌水定额，应根据作物各生育阶段的根系生长情况，以及土壤性质，灌水方法和天气变化等情况确定。

目前，在水源充足的条件下，确定旱作物灌溉制度通常采用下述三种方法。

(1) 分析总结当地群众的丰产灌溉经验。群众积累有多年与干旱作斗争的经验，能够根据作物生育特点，适时适量地进行灌水，夺取高产。灌溉制度调查的重点是对高产稳产和省水的典型农户，认真而细致地了解农户在某些特殊年份的作物灌水经验，并对调查了解到的不同作物在各个生育期内实际进行灌水的日期、次数和灌水期距、灌水定额等资料进行分析研究和总结，从而得到较为实用而可靠的作物灌溉制度。

(2) 根据灌溉试验资料制定。我国大多数灌区都设有灌溉试验站，有些省还设置有灌溉中心试验站。灌溉试验站常规试验项目主要是作物需水量试验、作物灌溉制度试验，以及灌水方法、灌水技术试验和灌溉效益试验等，都积累有多年的大量试验资料，可以作为分析制定作物灌溉制度的依据。但是，在选用试验资料确定灌溉制度时，必须注意原试验的条件，不可生搬硬套。

(3) 通过农田水量平衡分析计算确定。在缺乏充分的灌溉试验资料的地区常采用这种方法确定作物灌溉制度。根据农田水量平衡原理确定作物灌溉制度，有一定理论根据，比较完善，但也要根据当地具体条件，参考群众丰产的灌水经验或者灌溉试验成果，这样制定的作物灌溉制度才能更切合实际。

二、旱作物灌溉制度参数的确定

在水源有保证的灌区确定旱作物灌溉制度，目前多采用水量平衡法。用这种方法确定旱作物灌溉制度时，它的时间范围是从作物播种起始算起，到完全收获为止的全生育期。其空间界限为土壤计划湿润层以上，分析研究该土层内土壤储水量的盈亏变化，要求土壤储

水量的变化能适应各时期作物生长发育所需要的最适宜的土壤水分状况。

（一）土壤计划湿润层深度

土壤计划湿润层深度是指旱作物农田实施灌水时，计划调节控制土壤水分状况的土层深度。它主要决定于作物的根系生长状况及作物的根系活动层深度，同时也与土壤性质、土壤结构和肥力状况，以及地下水埋深和土壤微生物活动等因素有关。

土壤计划湿润层深度应通过灌溉试验资料分析确定。我国广大灌区流传有“前四、中六、后八”的说法，就是指作物在生长前期，土壤计划湿润层深度约为 40cm 左右，生长中期为 60cm 左右，生长后期为 80cm 左右。通常，对于旱作物播前灌水，为了在土壤内贮存更多的水分，一般土壤计划湿润层深度采用最大值（80～100cm）。而在作物生长初期，根系虽然较浅，作物消耗水分也较少，但为了维持土壤微生物活动，并为以后根系生长创造条件，就需要在一定土层深度内有适当的水量，一般计划湿润层深度要比根系活动层深度大一些，采用 30～40cm。随着作物的生长和根系的发育，需水量增多，计划湿润层深度也逐渐增加，至生长末期，作物根系停止发育，需水量减小，计划湿润层深度亦不宜继续加大，一般不超过 0.8～1.0m。在地下水位较高有盐碱化威胁的地区，计划湿润层深度不宜大于 0.6m。几种主要旱作物的计划湿润层深度如下，供参考：

冬小麦：幼苗期 0.3～0.4m；分蘖期 0.4～0.5m；拔节期 0.5～0.6m；抽穗期 0.6～0.8m；灌浆成熟期 0.8～1.0m。

棉花：幼苗期 0.3～0.4m；现蕾期 0.4～0.6m；开花结铃期 0.6～0.8m；吐絮期 0.6～0.8m。

玉米：幼苗期 0.3～0.4m；拔节期 0.4～0.5m；孕穗期 0.5～0.6m；抽穗期 0.6～0.8m；成熟期 0.8m。

（二）土壤储水量

土壤储水量 W，是指单位面积储存在一定深度土体内的水量。若已知土壤含水率，则可按下式计算土壤储水量：

$$W = 667\gamma H\beta \qquad (2\text{-}1)$$

式中：W 为土壤储水量，m^3/亩；γ 为土壤干容重，t/m^3；H 为土层深度，对于旱作物，H 是计划湿润层深度，m；β 为土壤含水率（占干土重的%）。

（三）土壤适宜含水量及其上、下限

土壤适宜含水量是确定旱作物灌溉制度的重要依据。它随作物种类、各生育阶段的需水特点、土壤肥力和土壤盐分状况等因素有关，一般应通过灌溉试验或调查总结群众灌溉经验确定。表2-1为我国北方三种主要旱作物的适宜土壤含水量，供参考。

为了保证作物正常生长，充分满足作物各时期的需水要求，土壤含水量应控制在允许最大土

表 2-1　几种旱作物适宜土壤含水量

作　物	生育阶段	适宜土壤含水量（占田间持水量的%）
冬小麦	出苗～三叶	60～80
	三叶～分蘖	60～80
	返青～拔节	60～70
	拔节～抽穗	60～80
	抽穗～灌浆	60～80
	灌浆～成熟	60～70
棉　花	幼苗期	55～65
	蕾　期	60～70
	开花期	70～80
	吐絮期	55～65
玉　米	苗　期	60～80
	拔节期	70～80
	抽雄～灌浆期	70～80
	成熟期	60～70

壤含水量和最小土壤含水量之间变化，也就是要在土壤含水量适宜上、下限范围内变化，一般适宜土壤含水量上限为田间持水量，下限应大于凋萎系数。

在土壤盐碱化较严重的地区，往往由于土壤溶液浓度过高，而妨碍作物吸取正常生长所需要的水分。因此，计划湿润层内的允许最小土壤含水量必须能使土壤溶液浓度不超过作物在各生育阶段所允许的最高值。土壤水分允许的含盐溶液浓度的最高值视盐类及作物种类而定。确定了适宜的土壤含水量及其上、下限，也就可以计算出适宜的土壤储水量及其上、下限。此时，只要把公式（2-2）中的土壤含水量改换为适宜的土壤含水量或其上限值、下限值就可以了。

通常把作物发生永久凋萎时的土壤最大含水率称为调萎系数，又称凋萎湿度。当土壤含水率低到凋萎系数时，作物将因缺水而永久枯萎，不能再恢复正常生长状态。土壤凋萎系数因作物种类和土壤质地等条件的不同而异，见表 2-2。实践中，凋萎系数是作物可利用土壤水的下限。

表 2-2　　不同质地土壤的凋萎系数、田间持水量等水分常数

土壤质地	重　量　（%）		体　积　（%）		土壤质地	重　量　（%）		体　积　（%）	
	凋萎系数	田间持水量	凋萎系数	田间持水量		凋萎系数	田间持水量	凋萎系数	田间持水量
紧砂土	—	16～22	—	26～32	重壤土	6～13	22～28	9～18	32～42
砂壤土	4～6	22～30	5～9	32～42	轻粘土	15.0	28～32	20.0	40～45
轻壤土	4～9	22～28	6～12	30～36	中粘土	12～17	25～35	17～24	35～45
中壤土	6～10	22～28	8～15	30～35	重粘土	—	30～35	—	40～50

在地下水埋藏很深的情况下，当降水或灌溉后，借毛细管力保持在土壤上部土层毛细管中的水达到最大含量时的土壤含水率，称田间持水量。它是农田灌溉中的一个重要指标，若降雨或灌水使土壤含水率超过了田间持水量，就会使该土层的多余水分向下层土壤渗漏流失。田间持水量的大小主要决定于土壤的质地和结构等因素，应根据当地实测资料确定。不同质地土壤的田间持水量见表 2-2。

三、灌水时间与灌水定额的计算

由于作物需水量是一种连续的水分消耗过程，而降雨则是间断性的补给；为了满足作物正常生长的需要，任一时段内的土壤储水量都必须经常保持在一定的适宜范围之内，也就是要求此时的土壤储水量应在适宜土壤储水量上、下限的范围之内。因此，若某时段内降雨很小或没有降雨，往往使土壤计划湿润层内的储水量很快降低到或接近于作物允许的最小储水量，此时应立即进行灌溉，以补充土壤中消耗掉的水量。

若经实际测定，此时的土壤含水率为 β_0，并按公式（2-1）计算得知此时的土壤储水量为 W_0，又已知适宜土壤含水量下限为 β_{min}，相应计算得到适宜土壤储水量下限为 W_{min}，则可按公式（2-2）得知再经过多长时间需要进行灌水，即

$$t = \frac{W_0 - W_{min}}{e} \tag{2-2}$$

式中：t 为两次灌水的时间间距，d；W_0 为时段初的土壤储水量，m^3/亩或 mm；W_{min}为允许的最小土壤储水量，m^3/亩或 mm；e 为作物日需水量，m^3/（亩·d）或 mm/d。

此时需要的灌水定额应为

$$m = W_{max} - W_0 = 667\gamma H(\beta_{田} - \beta_0) \tag{2-3}$$

或

$$m = W_{max} - W_{min} = 667\gamma H(\beta_{田} - \beta_{min}) \tag{2-4}$$

式中：m 为灌水定额，m^3/亩或 mm；W_{max}为允许的最大土壤储水量，m^3/亩；$\beta_{田}$ 为田间持水率，占干土重的%；β_0 为灌水前计划湿润层深度 H 内的平均土壤含水率，占干土重的%；其余符号意义同前。

举例：冬小麦拔节期间曾测定土壤含水率为 14.5%（占干土重的%），已知计划湿润层深度为 0.5m，田间持水量为 23.5%（占干土重的%），土壤干容重为 1.35t/m^3；此时日平均作物需水量约 3.0mm/d，该生育阶段的最小土壤含水率下限为 11.0%（占干土重的%）。于是，这次灌水应在 $t=(W_0-W_{min})/e=0.5\times1.35\times(14.5-11)\%\times1000/3.0=23.625/3.0=7.875d\approx7.5d$ 后进行。此次的灌水定额为：$m=(W_{max}-W_0)=667\times0.5\times1.35\times(23.5-14.5)\%\approx40m^3$/亩。

播前灌水定额的确定。播前灌水的目的在于保证作物种籽发芽和出苗所必须的土壤含水量或储水于土壤中以供作物生育期内利用。同时，它还有利于提高耕作播种质量，改善苗期的营养条件，促进苗全、苗匀、苗壮。因此，如播前土壤含水量过低，就应进行灌水补充，通常播前灌水只进行一次，其灌水定额仍可按公式（2-3）或公式（2-4）计算。播前灌水时间则应根据土壤质地、整地方法与播种时间等实际情况确定。

第三节　我国主要旱作物的需水特性与灌溉制度

我国各地区种植的主要旱作物有：冬小麦、春小麦、棉花、玉米、高粱、谷子、油菜和大豆、甜菜等。作物种类不同，灌溉制度差异很大，而且灌水方法不同，灌溉制度也不一样。以下主要介绍小麦、玉米和棉花的需水特性与灌溉制度，供参考。节水型灌溉制度应重点抓各种旱作物需水临界期的灌水。

一、小麦

小麦是我国的主要粮食作物之一，分布遍及全国各地，其中主要是冬小麦，占全国小麦种植面积的 80%以上，其余是春小麦。冬小麦一般以秦岭、淮河为界，以北称北方冬麦区，以南称南方冬麦区。

（一）小麦的需水特性

冬小麦全生育期总需水量约 400～600mm，其中叶面蒸腾量约占总需水量的 60%～70%，棵间蒸发量约占 30%～40%。

冬小麦全生育期中的日需水量变化很大。依据日需水量变化的大小，冬小麦全生育期的需水规律大致可以划分为以下三个阶段。

（1）播种至返青阶段。包括从播种出苗、冬前分蘖、越冬到来年返青期。这一阶段历时长，约占总生育天数的 70%。一般，冬小麦出苗后到冬前分蘖，日需水量有所增加，形成冬小麦的一个需水小高峰。进入越冬期后，气温低，麦苗小，日需水量达最低值。来年返青后日需水量又随气候变暖及植株生长逐渐增加。该阶段日需水量都小于 0.6mm/d（0.4～1.0m^3/亩）。

(2) 拔节至抽穗阶段。历时天数约占总生长天数的15%。这一阶段气温日益升高，是小麦进入营养生长与生殖生长并进，茎、叶、穗迅速成长壮大时期，生活力旺盛，叶面蒸腾强，是小麦的需水临界期。该阶段虽历程短，但日需水量最高，一般日需水量2.2mm/d(3.3m^3/亩)左右。

(3) 抽穗后至成熟阶段。历时天数也约占总生长天数的15%。这一阶段气温比前两阶段更高，营养物质主攻籽粒，植株已定型，所以阶段需水量比前两阶段小，日需水量主要用于供给叶面蒸腾，而且逐渐减小。一般日需水量小于1.7mm/d(小于2.6m^3/亩)。表2-3为河北省藁城水科所1981年的试验资料，其冬小麦的需水规律较为典型。

春小麦与冬小麦的区别主要是播种期，春小麦的播种期一般在春季地面解冻以后，因此其需水规律基本上与冬小麦返青后的需水规律相近似。春小麦全生育期内的需水规律参见表2-4。

表2-3　　冬小麦需水情况表

生育阶段	起止日期(月．日)	天　数(d)	阶段需水量(m^3/亩)	日平均需水量(m^3/亩)	模系数(%)
播种～越冬	10.4～11.2	52	32.99	0.66	9.9
越冬～返青	11.23～3.5	103	49.29	0.48	14.79
返青～拔节	3.6～4.6	32	61.41	1.92	18.43
抽穗～灌浆	4.7～4.24	18	65.64	3.65	19.69
灌浆～成熟	5.11～6.6	25	67.25	2.49	20.18
全生育期	10.4～6.6	246	333.23	1.35	100.00

表2-4　　春小麦全生育期的需水情况(1972年)

时　间(月．日)	生育阶段	天　数	阶段需水量(mm)	模系数(%)	日需水量(mm/d)
4.2～4.25	播种～出苗	24	19.7	7.0	0.82
4.26～5.10	出苗～三叶	15	14.3	5.1	0.95
5.11～5.20	三叶～分蘖	10	11.6	4.14	1.16
5.21～6.5	分蘖～拔节	10	29.5	10.57	1.85
6.6～6.20	拔节～抽穗	15	53.1	18.9	3.56
6.21～7.10	抽穗～乳熟	20	93.1	33.07	4.66
7.11～8.1	乳熟～收割	21	59.8	21.22	2.85
	全生育期	121	281.5	100.0	2.33

(二) 小麦的灌溉制度

小麦灌溉制度的确定，应根据它各个生育期的需水特性、同时也与当地的气候条件、土壤储水量状况有关系。小麦根系主要吸收利用0～100cm土层内的水分，其中吸收最多的是0～20cm土层内的水分，约占全生期作物需水量的50%～60%。在充分满足小麦需水要求的情况下，小麦田0～20cm土层内的适宜含水量约为田间持水量的75%左右，大致是返青

前和抽穗后稍低，拔节到抽穗期稍高。表 2-5 为在充分供水、供肥条件下，我国北方冬麦区的冬小麦灌溉制度。

若不能充分供水，从节水灌溉考虑，冬小麦应主要根据“争苗、争穗、争粒”的原则，确保播前底墒水、拔节水和灌浆水。底墒水是培育壮苗，促使小麦发芽早、出苗快、早分蘖、长壮苗的关键。因此，若此时无降雨，土壤水分过低。就需要灌水一次。但更重要的灌水应是冬灌和拔节期的灌水。冬灌具有储水、平抑地温，改良土壤结构，塌实表土和消灭病虫害的作用，时间应选在“昼消夜冻”期间，灌水定额可稍大一些，一般为40～60m³/亩。小麦后期一般北方降雨开始增多。但若灌浆期干旱，可浇一次麦黄水，灌水定额可不超过45m³/亩。据各地经验，冬小麦只要拔节不缺水，又有冬灌储水，一般都可以获得相当不错的产量。

表 2-5　　北方冬麦区冬小麦灌溉制度

地　区	水文年	灌水次序	生育期	灌水时间	灌水定额 (m³/亩)	灌溉定额 (m³/亩)
河　南	湿润年	1	越　冬	12月上旬	45～50	135～150
		2	拔　节	4月中旬	45～50	
		3	灌　浆	5月中旬	45～50	
	一般年	1	越　冬	12月上旬	45～50	185～205
		2	返　青	3月上旬～3月中旬	45～50	
		3	拔　节	4月中旬	50～55	
		4	抽　穗	5月中旬	45～50	
	干旱年	1	越　冬	12月上旬	45～50	240～265
		2	返　青	3月上旬～3月中旬	45～50	
		3	拔　节	4月中旬	50～55	
		4	抽　穗	5月上旬	45～50	
		5	灌　浆	5月中旬	55～60	
北　京（平原区）	湿润年	1	越冬前	11月上旬	40～45	120～135
		2	拔　节	4月中旬～4月下旬	40～45	
		3	灌　浆	5月中旬～5月下旬	40～45	
	一般年	1	越冬前	11月上旬	40～45	175～195
		2	返　青	3月下旬	45～50	
		3	拔　节	4月中旬～5月下旬	45～50	
		4	灌　浆	5月中旬～5月下旬	45～50	
	干旱年	1	越冬前	11月上旬	45～50	215～240
		2	返　青	3月下旬	45～50	
		3	拔　节	4月中旬～4月下旬	45～50	
		4	抽　穗	5月上旬～5月中旬	40～45	
		5	麦　黄	5月下旬～6月上旬	40～45	
		1	播　前	9月中旬～9月下旬	45～50	245～275
		2	越冬前	11月上旬	40～45	
		3	返　青	3月下旬	40～45	
		4	拔　节	4月中旬～4月下旬	45～50	
		5	抽　穗	5月上旬～5月中旬	40～45	
		6	麦　黄	5月下旬～6月上旬	40～45	

续表

地区		水文年	灌水次序	生育期	灌水时间	灌水定额（m^3/亩）	灌溉定额（m^3/亩）
山东	鲁中渠灌区	中等干旱年	1	越冬前	11月前	50～70	170～220
			2	返青	3月中、下旬	40～50	
			3	拔节孕穗	4月中、下旬	40～50	
			4	抽穗灌浆	5月中、下旬	40～50	
	井灌区或丰产年		1	越冬前	11月前	50～60	260～330
			2	返青	3月中、下旬	40～50	
			3	拔节	4月上、中旬	40～50	
			4	孕穗	4月中、下旬	40～50	
			5	抽穗扬花	4月下旬～5月上旬	30～40	
			6	灌浆	5月中、下旬	30～40	
			7	麦黄	5月下旬～6月上旬	30～40	
陕西（关中）		湿润年	1	越冬	11月下旬～12月上旬	40～45	95～105
			2	拔节	4月上旬～4月中旬	55～60	
		一般年	1	越冬	11月下旬～12月上旬	45～50	145～165
			2	拔节	4月上旬～4月中旬	55～65	
			3	抽穗	5月上旬～5月中旬	45～50	
		干旱年	1	越冬	11月下旬～12月上旬	40～45	165～185
			2	拔节	4月上旬～4月中旬	40～45	
			3	抽穗	5月上旬～5月中旬	40～45	
			4	麦黄	5月下旬	45～50	
新疆			1	越冬	10月下旬	40～45	205～235
			2	拔节	4月下旬～5月上旬	45～50	
			3	孕穗	5月中旬	40～45	
			4	抽穗	6月上旬	40～45	
			5	灌浆乳熟	6月中旬	40～45	

我国春小麦主要分布在东北、内蒙古东部、宁夏、青海、新疆、甘肃河西走廊以及西藏等地区。除新疆、甘肃河西走廊和西藏一些地区比较干旱，全生育期灌水次数较多，灌溉定额较大外，其余地区春小麦生长后期都有一定降雨，但前期、中期多干旱缺雨，所以更要抓拔节期和孕穗期灌水。表2-6是几个地区较为节水经济的春小麦灌溉制度，供参考。

二、玉米

玉米在我国分布很广，是我国仅次于水稻和小麦的主要粮食作物。

（一）玉米的需水特性

玉米植株高大，叶片茂盛，生长期多处于高温季节，所以植株蒸腾和棵间蒸发都很大，比高粱、谷子、黍类作物的需水量要多得多。在玉米的一生中，发芽出苗期和苗期日需水量少，拔节以后大大增加，抽穗开花期达最高峰，抽雄穗前10天和以后20天左右的时期是玉米的需水临界期，到灌浆期仍需较多的水分，蜡熟期以后才显著减少。玉米全生育期总需水量、各生育阶段需水量所占比例和日平均需水量等都随品种、栽培制度，以及地区气候、土壤条件等不同而异。表2-7为山东省水科所1973年测定的资料，供参考。

表 2-6　　春小麦灌溉制度

地　区	灌水次序	生育阶段	灌水日期	灌水定额（m^3/亩）	灌溉定额（m^3/亩）
河　北 张家口地区	1	播　前	3月下旬～4月上旬	60～70	215～225
	2	分蘖拔节	5月上旬～5月中旬	60	
	3	抽　穗	6月上旬～6月中旬	50	
	4	灌　浆	7月上旬～7月中旬	45	
甘肃中部地区 河西地区 宁夏南部山区	1	播前秋灌	9月中旬～10月上旬	150～200	190～220
		或冬灌	10月下旬～11月中旬	120～160	
	2	分　蘖	5月上旬～5月中旬	40～50	
	3	拔　节	5月下旬～6月上旬	50～60	
	4	抽　穗	6月中旬	50～60	
	5	扬花灌浆	6月下旬～7月上旬	50	
宁　夏 引黄灌区	1	分　蘖	5月1日～5月20日	75～80	285～305
	2	拔　节	5月20日～6月10日	70～75	
	3	抽　穗	5月20日～7月5日	65～70	
	4	灌　浆	7月1日～7月10日	75～80	

表 2-7　　春、夏玉米各生育阶段的需水量

项目 / 生育阶段	春　玉　米				夏　玉　米			
	需水量（m^3/亩）	占总需水量（%）	天　数	日需水量（m^3/亩）	需水量（m^3/亩）	占总需水量（%）	天　数	日需水量（m^3/亩）
播种～出苗	7.50	3.07	8	0.99	14.60	6.12	6	2.43
出苗～拔节	43.30	17.75	23	1.88	37.10	15.56	15	2.47
拔节～抽穗	72.20	29.60	26	2.89	55.80	23.41	16	3.49
抽穗～灌浆	33.60	13.78	10	3.36	66.29	27.81	20	3.32
灌浆～蜡熟	76.60	31.45	26	2.95	45.70	19.17	22	2.08
蜡熟～收获	10.60	4.35	11	0.96	18.90	7.93	12	1.58
合　计	243.9	100.00	103	2.37	238.39	100.00	91	2.62

（二）玉米灌溉制度

玉米如不灌水全生育期内至少要有 300mm 左右的雨量，特别是在抽雄穗前后一个月内，要有 150mm 的雨量。我国干旱、半干旱地区雨量不足，常出现干旱，需要进行多次灌溉，南方玉米有时也需抗旱灌溉。据各地玉米灌溉经验，在水源供水不足时，应特别注意抓住以下几次关键灌水。

(1)播前灌水。玉米种子发芽出苗的最适宜土壤含水量为田间持水量的 60%～70%。我国北方春玉米区播种时常遇干旱，需进行播前灌溉。春玉米播前灌溉最好在头年封冻前进行冬灌，灌水定额一般 50m^3/亩左右。若不能进行冬灌，就在早春解冻时及早进行春灌，灌水定额要小一些，以 30～45m^3/亩为宜，以免土壤水分过高，推迟播种出苗。

夏玉米播种时，气温高，麦收后常因土壤过干而不能及时播种，就需进行播前灌溉。通常，夏玉米播前灌水有三种方式：①在麦收前约 10 天左右灌一次“麦黄水”，既可增加小

麦粒重，又可在麦收后抢墒早播玉米。②麦收后灌茬水，灌水定额 30～40m³/亩，不可过大，以免积水或浇后遇雨，延迟播种。③在麦收后，先整地再开沟，进行沟灌或喷灌，灌水定额 15m/亩即可。

（2）拔节孕穗期灌水。春玉米出苗后 35 天左右，夏玉米出苗后 20 多天开始拔节。此时如干旱缺水，则植株生长不良，并影响幼穗的分化发育，甚至雌穗不能形成果穗，雄穗不能抽出而成"卡脖旱"，造成严重减产。一般土壤含水量应保持在田间持水量的 70%左右。灌水定额 40m³/亩左右，不宜过大，以免引起植株徒长和倒伏，并宜采用隔沟灌灌水方法。

（3）抽穗开花期灌水。此时期日需水量最高，是需水临界期，要求土壤含水量保持在田间持水量的 70%～80%，空气相对湿度 70%～90%。若该时期缺雨天气干旱，往往需每 5～6 天就要灌一次水，一般需连灌两三次，才能满足抽穗开花和受粉的需要。其灌水定额约 40～50m³/亩。

（4）灌浆成熟期灌水。玉米受粉后到蜡熟期是籽粒形成时期，茎叶中的可溶性养分大量向果穗输送，适宜的水分条件，能促进灌浆饱满。此时土壤水分应保持在田间持水量的 75%左右。若遇土壤水分不足应及时灌水，但灌水定额不宜过大，以免引起烂根、早枯或灌后遇雨而引起倒伏，一般灌水定额为 30～40m³/亩。

玉米苗期一般需水不多，不需灌水而要蹲苗，土壤含水量以保持在田间持水量的 60%～65%为宜，但若低于 55%左右时也可灌少量水，灌水定额约 20～30m³/亩，可采用隔沟灌或细流沟灌法灌溉。表 2-8 为夏玉米灌溉制度，供参考。

表 2-8　　夏玉米灌溉制度

地　　区		水文年	灌水次序	生育阶段	灌水日期	灌水定额（m³/亩）	灌溉定额（m³/亩）
陕西（关中）		湿润年	1	播　　前	6 月上旬	45～50	140～145
			2	拔节孕穗	7 月下旬	45～50	
			3	抽穗开花	8 月上旬	40～45	
		一般年	1	播　　前	6 月上旬	45～50	155～170
			2	拔节孕穗	7 月下旬	40～45	
			3	抽穗开花	8 月上旬	40～45	
			4	乳　　熟	8 月中旬～8 月下旬	30	
		干旱年	1	播　　前	6 月上旬	45～50	185～200
			2	幼　　苗	7 月上旬～7 月中旬	30	
			3	拔节孕穗	7 月下旬	40～45	
			4	抽穗开花	8 月上旬	40～45	
			5	乳　　熟	8 月中旬～8 月下旬	30	
山　东	渠灌区	中　等干旱年	1	播　　前	5 月下旬	50	140
			2	抽　　穗	7 月下旬～8 月中旬	50	
			3	灌　　浆	8 月中旬～9 月中旬	40	
	井灌区		1	播　　前	5 月下旬	50	190
			2	拔　　节	7 月中下旬	50	
			3	抽　　穗	7 月中旬～8 月中旬	50	
			4	灌　　浆	8 月中旬～9 月中旬	40	

续表

地　　区	水文年	灌水次序	生育阶段	灌水日期	灌水定额（m^3/亩）	灌溉定额（m^3/亩）
黑　龙　江	湿润年	1	苗　　期		30～35	30～35
	一般年	1 2	拔节初期 抽穗开花		30～40 40～45	70～90
	干旱年	1 2 3 4	苗　　期 拔　　节 抽穗开花 灌　、溉		30 30～40 40 20～30	120～140

三、棉花

棉花是我国的主要经济作物。其产品中的皮棉是重要的纺织工业原料，棉籽是很好的工业用油和食用油原料，短绒、棉籽壳、榨油后的棉饼以及棉秆皮、棉秆等，都有广泛的用途。

我国除西藏、青海、内蒙古和黑龙江四省（区）外，都有棉花栽培。全国大致以秦岭、伏牛山、淮河及苏北灌溉总渠为界，划分为南北两大棉区。南方棉区无霜期较长，温度较高，雨量较丰富，多在越冬作物收获后播种，实行一年两熟；其中长江流域棉区的棉田面积占全国棉田面积的45%。北方棉区无霜期短，温度较低，多为一年一熟；其中黄河流域棉区的棉田面积占全国的50%。

（一）棉花的需水特性

棉花株高叶大，生长期较长，且处于高温季节，是需水量较大的旱作物，棉花全生育期需水量因地区、年份和栽培水平等条件不同而差异很大，综合我国各地试验资料，其大致范围为250～450m^3/亩。棉花各生育阶段需水量的变化与气候和植株生长状况有密切关系。棉花日需水量、阶段需水量等的变化情况见表2-9。

从棉花的苗期、蕾期到花铃期，随气温逐渐升高，植株叶面积系数增大，日需水量也逐渐增多。开始吐絮以后，由于气温降低，植株蒸腾面积减小和蒸腾强度降低，日需水量又减少。植株蒸腾量占总需水量的比例，也是苗期最小，花铃期（开花吐絮结铃）最大，是棉花的需水临界期，现蕾期和吐絮后期居中。

表2-9　　棉田需水量情况

生育阶段	日需水量（m^3/亩）	阶段需水量占总需水量（%）	土壤蒸发量占总需水量（%）	棉株蒸腾量占总需水量（%）
出苗～现蕾	0.5～1.5	<15	80～90	10～20
现蕾～开花	1.5～2.5	12～20	45～55	45～55
开花～吐絮	2.5～3.0	45～65	25～30	70～75
吐絮以后	2.0以下	10～20	45～55	45～55

表2-10　　棉花各生育阶段的适宜土壤含水量

生育阶段	萌发期	苗　期	蕾　期	花铃期	吐絮期
土层深度（cm）	0～20	0～40	0～60	0～80	0～80
适宜土壤含水量（占田间持水量%）	70～80	55～70	60～70	70～80	55～70

综合各地试验资料，棉花各生育阶段的适宜土壤含水量如表 2-10 所示。当一定深度土层内的含水量低于适宜含水量下限时，就需要灌水。

（二）棉花灌溉制度

1. 储水灌溉

我国北方主要棉区冬春雨雪少，春季蒸发大，为保证棉花及时播种和苗期需水要求，需在冬季或早春进行储水灌溉。

冬季储水灌溉除提供播种发芽和苗期所需水分外，还有提高地温，改良土壤，以及减少病虫害等作用。棉田冬灌可在秋耕后开始，土壤封冻前结束，以夜冻昼消时间最为理想。灌水量以均匀、灌透、地表不积水为原则，灌水定额可稍大些，一般约 80m³/亩左右，并严禁采用大水漫灌方法。在地下水位较高的棉田地区，土壤湿润层深度比地下水埋深至少相差 15～20cm。冬灌最好结合深耕施基肥进行，灌后应适时耙地保墒。

在未进行冬灌而需春灌时，应抓紧在早春刚解冻时进行，至迟需在播种期前一个月左右。春灌灌水定额以 40m³/亩左右为宜。

既未冬灌又未春灌的北方棉田，如有需要可进行播前灌。其灌水时间一般在播种前 20 天到半个月；灌水定额不宜过大，应控制在 30m³/亩左右。主要是保证播种时的表土墒，并要求临播前 5cm 土层深度处的地温能恢复到 12℃以上，以有利于棉花的发芽出苗。

2. 生长期灌溉

棉花生长期灌溉，应根据各生育阶段的需水规律和气候、土壤墒情、棉株形态表现以及水分生理指标等适时适量实施。

（1）苗期灌溉。棉花苗期气温不高，棉苗小，需水少。南方棉区苗期水多，不需灌溉而应注意排水。北方已进行过储水灌溉的棉田，苗期一般也无需灌水，应适当蹲苗。若未进行储水灌溉，天气又特别干旱，棉苗生长迟缓，表现出缺水时，可及时灌水，但灌水定额要小，以 20～25m³/亩为宜，应采用隔沟小水轻灌。北方棉麦套种田，若缺水，可结合小麦灌浆水或麦黄水灌溉，同时灌溉棉苗。

（2）蕾期灌溉。北方棉区正值麦收季节，易干旱，常需灌溉，但蕾期灌水，必须注意“稳长、增蕾”。如土壤肥沃，叶色浓绿，棉花生长旺盛或正常，即使天旱，仍应继续蹲苗而不灌水，或推迟灌水。如土壤肥力低，水分低于适宜土壤含水量下限，植株生长缓慢，主茎顶端由绿转红，中午叶片有萎蔫现象时，应及时灌水。在灌头水后，若天气持续干旱，还应连灌二水或三水。蕾期灌水定额应小，一般 20～30m³/亩，宜采用隔沟灌，要注意避免灌后遇雨。南方棉区蕾期正值梅雨季节，但有时盛蕾以后遇伏旱，也需适当灌水。

（3）花铃期灌溉。棉花花铃期时间长，气温高，植株生育旺盛，是一生中需水最多，同时也是对缺水最敏感的时期，是棉花灌水的主要时期。花铃期灌水时间的掌握，各地经验一般认为，当棉株形态出现以下征状时，应立即灌水。①上部叶子变小，叶色变深（暗绿），叶片失去光泽和向阳性，中午萎蔫，叶脉不易折断。②生长缓慢，顶尖比果枝低。③主茎节间变短，颜色变红，上面绿色部分长度不到 10cm。④开花节位上升，最上一朵花离顶端不到六节。另外，也可依据叶水势、叶细胞液浓度等水分生理指标确定灌水适宜时间。花铃期灌水定额为 40～50m³/亩，一般采用逐沟灌法。

（4）吐絮期灌溉。棉花开始吐絮后，气温逐渐降低，棉株需水减少，一般无需灌溉。但

吐絮初期如遇干旱仍应适量灌溉，以防棉株早衰，保证棉铃和棉纤维正常成熟。灌水定额应控制在30m³/亩左右。灌水量不可过大，以防土壤水分过多，导致棉株贪青迟熟，增加烂铃，造成减产。

各地不同水文年份的棉花灌溉制度见表2-11，供参考。总之，棉花的灌溉制度要特别注意天气变化，主要抓开花结铃期的灌水，并以采用小定额轻浇浅灌为宜，应以增蕾、早开花、早结铃、多结铃为实施节水灌溉的依据。

表2-11　　棉花灌溉制度

地区	水文年	灌水次序	生育阶段	灌水日期	灌水定额（m³/亩）	灌溉定额（m³/亩）
山东	中等干旱年	1	播前	4月上旬前	50～70	130～150
		2	现蕾	6月上、下旬	40	
		3	花铃	7月中旬～8月下旬	40	
		1	播前	4月上旬前	50～70	170～190
		2	现蕾	6月上、下旬	40	
		3	花铃	7月中旬～8月中旬	40	
		4	吐絮	9月上旬	40	
黄河流域	湿润年	1	冬灌储水	11月初～11月下旬	70～100	100～140
		2	开花结铃	7月上旬～8月下旬	30～40	
	一般年	1	冬灌储水	11月中旬～11月下旬	70～100	130～180
		2	开花结铃	7月上旬～7月中旬	30～40	
		3	开花结铃	8月上旬	30～40	
	干旱年	1	冬灌储水	11月中旬～11月下旬	70～100	155～220
		2	现蕾	6月中旬～6月下旬	25～40	
		3	开花结铃	7月上旬～7月中旬	30～40	
		4	开花结铃	8月上旬	30～40	
西北内陆		1	冬灌储水	10月上旬～10月下旬	80～100	335～380
		2	现蕾	6月上旬～6月中旬	30～40	
		3	开花结铃	7月上旬	45～50	
		4	开花结铃	7月下旬	50	
		5	开花结铃	8月上旬	50	
		6	开花结铃	8月下旬	45～50	
		7	吐絮	9月上旬	35～40	

注　山东地区灌溉定额130～150m³/亩为地下水埋深2～3m的易碱地区情况，170～190m³/亩为地下水埋深大于3m的情况。

第四节　节水型灌溉制度问题

当水源供水量欠缺或遭遇少水年或少水季节时，就不能完全按上述充分供水条件下的灌溉制度实施灌溉，而需采取限额灌溉，依节水型的灌溉制度灌溉。

一、水分亏缺

节水型灌溉制度的关键是：①抓作物需水临界期，以减少灌水次数；②抓适宜土壤含

水量下限，以减小灌水定额，从而仍能获得相当理想的产量水平。作物生长与土壤和大气环境中的诸多因素有关，当这些因素的量值小于作物生长允许的下限值时，就称该因素处于亏缺状态。其中，水分因素的亏缺对作物的影响最明显。

一般水分因素亏缺可分为土壤水分亏缺和作物水分亏缺两种。

（一）土壤水分亏缺

土壤水分亏缺主要是由于大气干旱，降水稀少，土壤原有储水不足，供水能力很低，作物蒸腾和棵间土壤蒸发很强；致使土壤耗水过大的现象。一般情况下，一定程度的土壤水分亏缺，对作物的生长并无影响，只有当土壤水分亏缺超过一定限度时，才会对作物生长发育产生不利影响。对于不同种类作物和同一种类作物的不同生育阶段，土壤水分亏缺的影响是不相同的。判别土壤水分亏缺的主要指标是土壤含水率。含水率也是间接反映作物水分亏缺状况的主要指标。对于同一种类作物、某一类型土壤和气候区，当土壤含水率降低到一定范围时，作物生长将受到抑制。一般，当土壤含水率接近凋萎系数时，说明作物严重受旱。当土壤含水率界于凋萎系数与作物生长阻滞含水率之间时，作物将处于中度受旱或轻度受旱状态。当土壤含水率界于作物生长阻滞含水率与田间持水量之间时，作物生长正常。

（二）作物水分亏缺

作物水分亏缺主要是由于作物蒸腾失水超过了作物根系吸水，而使作物体内储水量减少的现象。与土壤水分亏缺相似，一定范围内的作物水分亏缺不会对作物的正常生长发育产生不良影响；只有当作物水分亏缺超过某一临界值时，才会对作物的生长发育造成影响。作物水分亏缺临界值取决于作物的种类、生育阶段和气象因素等。判别作物水分亏缺的主要指标除土壤水分指标外，反映其亏缺状况的直接指标是作物水分生理指标。常用的作物水分生理指标有：叶水势、气孔开度、细胞液浓度等。

二、水分亏缺对作物的影响

无论是土壤水分亏缺，还是作物水分亏缺，它们都将会抑制作物器官和个体的生长发育；影响作物的光合与呼吸作用；影响作物碳水化合物的代谢与同化物的运输；影响作物的生化反应；以及影响作物对矿物质的吸收，最终将导致作物干物质累积和产量的降低。

水分亏缺对作物生长发育和产量的影响，很大程度土取决于水分亏缺发生的时期、持续时间和亏缺程度。在不同的生育阶段，作物生长发育和产量对水分亏缺的敏感性不同。一般，作物发芽出苗阶段，轻度水分亏缺会造成缺苗，但对最终产量的影响不会十分明显，严重的水分亏缺则会造成死苗而影响产量。在营养生长阶段，短期的轻度缺水不会引起产量的下降；在生殖生长阶段，作物对水分亏缺反应特别敏感，特别是在作物从营养生长到生殖生长的过渡阶段，即作物的需水临界期或称需水关键期，水分亏缺对作物产量影响最敏感，最严重。

三、关于节水型灌溉制度

当水源供水量不足时，应优先安排面临需水临界期的作物的灌水，以充分发挥水的经济效益，把该时期的水分亏缺影响降低到最小程度，这对于稳定作物产量和保证获得相当满意的产量，提高水的利用效率是非常重要的。例如，在严重缺水或者相当干旱的年份，棉花可以由灌三水（现蕾期灌一次和花铃盛期灌两次）改为灌两水（现蕾期和花铃盛期各灌水一次）或一水（在开花初期），仍能获得皮棉至少 50kg/亩的产量。冬小麦田灌三水（拔

节、抽穗和灌浆期各灌水一次）改为灌二水（拔节期和抽穗期各灌水一次）或一水（孕穗期），同样可以得到相当理想的产量（200kg/亩）。但是，适当限额灌水，是在尽量利用降雨的条件下，考虑到作物的需水特性、主要根系活动层深度的补水要求，以及相应的灌水技术条件等实施的，绝不是灌水定额愈小、灌水量愈少愈好。通常，由于灌区长时期灌溉或有降雨，土壤中、下层含水量较大，贮存有一部分水分，缺墒主要是在上层；只是在大旱年份，中、下层土壤才有可能缺水。因此，一般生长期灌水以能供给作物 10 天左右的需水要求，灌前土壤水分不低于适宜土壤含水量下限，按计划湿润层深度 60cm 考虑，灌水定额以不超过 30～50m^3/亩，为宜。

节水型经济灌溉制度的依据是降低适宜土壤含水率的下限指标。根据我国北方各地经验，在田间良好的农业技术措施配合下，作物对土壤水分降低的适应性有相当宽的伸缩幅度。土壤适宜含水率下限可以从 65%～70%降低到 60%～55%，作物仍能正常生长，并获得相当理想的产量，而且使田间耗水减少 30%～40%，灌水次数和灌溉定额减少一半或者更多。例如山西省临汾，小麦适宜土壤含水率下限降低到 50%～60%，产量仍能达到 200～350kg/亩；河南新乡，中国农业科学研究院农田灌溉研究所的玉米，适宜土壤含水量下限降低到 50%～60%，产量达 398kg/亩，大大节约了灌溉水，从而也扩大了灌溉面积。以上适宜土壤含水率下限均按田间持水量的百分数表示。

此外，我国北方各灌区也正在努力改变陈旧的多灌水能增产的观念。例如，山西省夹马口试验，小麦灌水 5 次，产量为 333kg/亩，而灌三水的产量为 325kg/亩；多灌两次，但增产仅 2. 5%，非常不合算。陕西省泾惠渠经验，1982 年严重干旱，小麦灌一次，产量 452kg/亩，而灌水 6 次的产量为 432kg/亩，灌水次数增多，反而减产；1981 年，小麦灌水定额为 35m^3/亩，灌溉定额为 107m^3/亩，获得产量 450m^3/亩，而灌水定额为 67m^3/亩，灌溉定额为 201m^3/亩的产量则为 458m^3/亩，灌水定额增加了 32m^3/亩，灌溉定额增加了 47%，产量仅增加 8. 0kg/亩，仅提高了 1. 6%。山西省临汾的某些农户误认为，灌水量大，保墒一定时间长，必然会增产，但实际上是 1981 年小麦灌水定额 40m^3/亩、灌溉定额 167m^3/亩的产量为 465kg/亩，要比灌水定额 80m^3/亩、灌溉定额 149m^3/亩的产量 279kg/亩，高出 186kg/亩之多。大定额灌水，不仅浪费了水，少浇了地，还减了产。陕西省渭惠渠试验，凡灌水定额超过 50m^3/亩的小麦，都没有显著的增产效果。

制定节水型的灌溉制度是实现农业节水的一项基本内容，我国各地对多种作物开展了这项研究。表 2-12 至表 2-16 为我国一些地区的节水高产型的灌溉制度，供各地参考。

表 2-12　　甘肃省民勤县春小麦玉米带田玉米生育期节水灌溉制度

水文年份	灌水日期（日/月）	灌水次序	灌水定额（m^3/亩）	灌溉定额（m^3/亩）	备　　注
湿　润　年	22/7 3/8 17/8	1 2 3	50～60 50 50	150～160	小麦收获前取小值，收获后取大值
一般年及干旱年	22/7 3/8 17/8 1/9	1 2 3 4	50～60 50 50 50	200～210	小麦收获前取小值，收获后取大值

表 2-13　　陕西关中棉花高产节水灌溉方案

地区	干旱年			一般年			湿润年		
	灌水次数	灌溉定额（m^3/亩）	灌水时期及灌水定额（m^3/亩）	灌水次数	灌溉定额（m^3/亩）	灌水时期及灌水定额（m^3/亩）	灌水次数	灌溉定额（m^3/亩）	灌水时期及灌水定额（m^3/亩）
关中西部	2	100	冬灌或春灌60，花铃灌40	2	100	冬灌或春灌60，花铃灌40	1	60	冬灌或春灌
关中中部	2～3	100～135	冬灌或春灌60，花铃灌40～75	2	100	冬灌或春灌60，花铃灌40	1	60	冬灌或春灌
关中东部	3	2100	冬灌或春灌60，花铃或蕾花灌80	2～3	100～135	冬灌或春灌60，花铃灌40～75	1～2	60～95	冬灌或春灌60，或加花铃灌35

表 2-14　　陕西关中小麦和玉米一年两作高产节水灌溉方案

水文年	地区	灌水次数	灌溉定额（m^3/亩）	灌水时期及灌水定额分配（m^3/亩）
干旱年	关中西部	4～5	165～200	小麦冬灌90，玉米抽穗灌40，麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，35～70
	关中中部	4～5	170～210	小麦冬灌90，玉米抽穗灌40，麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，35～70
	关中东部	4～5	170～210	小麦冬灌90，玉米抽穗灌40，麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，40～80
一般年	关中西部	3～4	130～160	小麦冬灌50，玉米抽穗灌40，小麦拔节、麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，40～70
	关中中部	3～4	130～160	小麦冬灌50，玉米抽穗灌40，小麦拔节、麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，40～75
	关中东部	3～4	130～160	小麦冬灌50，玉米抽穗灌40，小麦拔节、麦黄或玉米播种及孕穗灌1～2次，40～75
湿润年	关中西部	2～3	85～125	小麦冬灌50，小麦拔节、玉米播种或麦黄、玉米抽穗等灌1～2次，35～70
	关中中部	2～3	90～130	小麦冬灌50，小麦拔节、玉米播种或麦黄、玉米抽穗等灌1～2次，40～80
	关中东部	2～3	90～130	小麦冬灌50，小麦拔节、玉米播种或麦黄、玉米抽穗等灌1～2次，40～80

表 2-15　不同水文年晋南春棉的限额灌溉制度

水文年型	灌水次数	灌溉定额（m^3/亩）	产　量（kg/亩）	灌水定额（m^3/亩）			
				苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
丰水年	2	81	69		40	41	
	1	42	59			42	
	0		48				
平水年	3	113	69		40	40/33	
	2	80	62		40	40	
	1	50	49			50	
	0		38				
干旱年	4	148	71	36	38	37	37
	3	110	60		40	35	
	2	80	50		40	40	
	1	55	38			55	
	0		29				

表 2-16　甘肃民勤春小麦节水高产灌溉制度

水文年	灌水次数	灌水日期（日/月）	灌水定额（m^3/亩）	灌溉定额（m^3/亩）
湿润年	1	5/5	50	210
	2	25/5	50	
	3	10/6	60	
	4	30/6	50	
一般年	1	5/5	50	260
	2	25/5	50	
	3	5/6	60	
	4	20/6	50	
	5	5/7	50	
干旱年	1	5/5	50	300
	2	25/5	50	
	3	5/6	50	
	4	15/6	50	
	5	25/6	50	
	6	5/7	50	

第三章　畦　　灌

畦灌是地面灌溉中推广应用最广泛的灌水方法之一。近年来，随着节水灌溉技术的发展，我国农田灌溉除继续应用传统的畦灌方法，改进和完善其灌水技术外，还不断吸取了许多国外推行的较为先进的畦灌技术，同时我国灌区群众也创造了不少新的，更行之有效的节水畦灌技术。

第一节　畦灌的灌水技术

一、畦灌的特点

畦灌，是用临时修筑的土埂将灌溉土地分隔成一系列的长方形田块，即灌水畦，又称畦田。灌水时，灌溉水从输水垄沟或直接从田间毛渠引入畦田后，在畦田田面上形成很薄的水层，沿畦长坡度方向均匀流动，在流动的过程中主要借重力作用，以垂直下渗的方式逐渐湿润土壤的灌水方法。

畦灌方法主要适用于灌溉窄行距密植作物或撒播作物。如小麦、谷子等粮食作物，花生、芝麻等油料作物，以及牧草和速生密植蔬菜等。此外，在进行各种作物的播前储水灌溉时，有时也常用畦灌方法，以加大灌溉水向土壤中下渗的水量，使土壤中储存更多的水分。

二、畦田布置及规格

（一）畦田布置

畦田布置应主要依据地形条件，并结合考虑耕作方向，一般认为以南北方向布置为最好，但应保证畦田沿长边方向有一定的坡度。一般适宜的畦田田面坡度为 0.001～0.003，最大可达 0.02，但畦田田面坡度过大，容易冲刷土壤，而引发水土流失。

根据地形坡度，畦田布置有两种形式，在南北方向地面坡度较平缓的情况下，通常沿地面坡度布置，也就是畦田的长边方向与地面等高线垂直，见图 3-1 (*b*)。若土地平整较差，南北方向地面坡度较大时，为减缓畦田内地面坡度，畦田也可与地面等高线斜交或基本上与地面等高线方向平行，见图 3-1 (*c*)。

根据输水垄沟或毛渠向畦田的供水方式，畦田

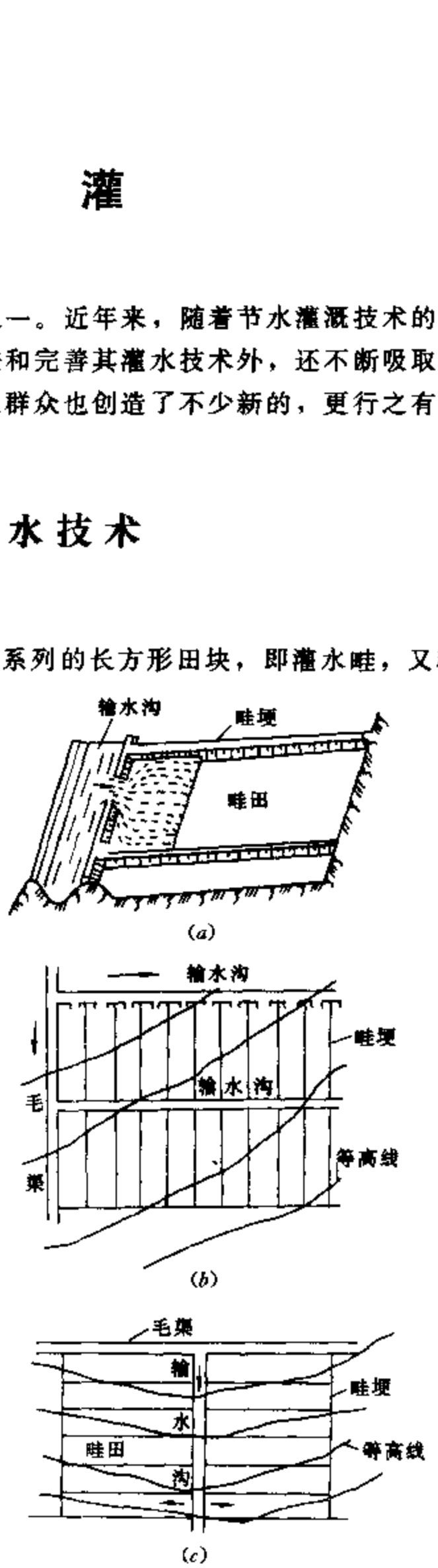


图 3-1　畦田布置示意图

(*a*) 畦田示意图；(*b*) 畦田与地面等高线垂直布置；(*c*) 畦田与地面等高线平行布置

可分为单向灌水和双向灌水两种形式。单向灌水法是输水垄沟或毛渠只向一侧畦田供水，它适用于地面坡度较大的情况。双向灌水法是输水垄沟或毛渠可向两侧畦田供水，它适用于地面坡度较小，土地平整较好的情况。

在山区、丘陵地区，地形比较复杂，应结合当地地形等具体情况，因地制宜地确定畦田布置形式，通常可采用梯田小畦或在畦田内加筑各种形式的土档地埂，以分散水流，减缓畦田内水流流速，防止冲刷畦田田面，促使土壤湿润均匀，提高灌水均匀度。

（二）畦田规格

畦田规格主要指畦田的长度、畦田的宽度和畦埂断面。畦田规格的大小对灌水质量的好坏，灌水效率的高低，土地平整工作量的多少，以及对田间渠网的布置形式和密度与畦埂占地面积等影响很大。畦田规格主要与地形和耕作水平等因素有关，实施畦灌，必须合理地确定畦长、畦宽和畦埂断面。

1. 畦宽

畦宽主要取决于畦田的土壤性质和农业技术要求，以及农业机具的宽度。通常，畦宽多按当地农业机具宽度的整倍数确定，一般约 2～4m，传统畦灌法的畦宽一般都要求最宽不宜大于 3m。在水源流量小时或井灌区，为了迅速在整个畦田面上形成流动的薄水层，一般畦田的宽度较小，多为 0.8～1.2m 左右。为了灌水均匀，一般要求畦田田面无横向坡度，以免水流集中，冲刷畦田田面土壤。

2. 畦长

畦长应根据畦田纵坡、土壤质地及土壤透水性能、土地平整情况和农业技术条件等合理确定。畦田田面坡度大的畦长宜短，纵坡小的畦长可稍长；砂质土壤，土壤透水性能强，畦田长度宜短，粘质土壤，土壤透水性能弱，畦长可以稍长。总之，畦田的长短，应要求畦田田面灌水均匀，并尽量使湿润土壤均匀，筑畦省工，畦埂少占地，便于农业机具工作和田间管理。若畦田过长，往往会使畦首、畦尾灌水很难一致，土壤湿润更不易均匀。目前我国自流灌区，一般传统畦灌法的畦长以 50～75m 为宜，以保证灌水均匀，能实现定额灌水。在提水灌区和井灌区，畦长应短一些。一般畦长约 30～50m。畦长与土壤质地及地面坡度的关系见表 3-1，供参考。

但是，若地面坡度较大，而土壤透水性又较弱时，可以适当加大畦长，但入畦的单宽流量则需适当减小。若地面坡度较小，土壤透水性较强时，则要适当缩短畦长，但应适当加大入畦流量，才能使灌水均匀，并防止产生深层渗漏。

3. 畦埂

畦埂断面一般为三角形，畦埂高约 0.2～0.25m，底宽 0.3～0.4m，引浑水灌溉的地区应适当加大些。畦埂是临时性的，应与整地、播种相结合，最好采用筑埂器修筑。对于密植作物，畦埂也可以进行播种。为防止畦埂跑水，在畦田地边和路边最好修筑固定的地边畦埂和路边畦埂，其埂高不应小于 0.3m，底

表 3-1　不同土壤质地及地面坡度的畦长

单位：m

土质＼坡度	<0.002	0.002～0.005	0.005～0.01	0.01～0.02
轻砂壤土	20～30	50～60	60～70	70～80
砂壤土	30～40	60～70	70～80	80～90
粘壤土	40～50	70～80	80～90	90～100
粘土	50～60	70～80	80～90	100～110

宽 0.5～0.6m，顶宽 0.2～0.3m。

三、畦灌灌水技术

实施畦灌，要特别注意提高畦灌灌水技术，理想的畦灌灌水技术应当是，在一定的灌水定额情况下，薄层水流由畦首流到畦尾的同时，从畦田地表面向下的垂直入渗也将该定额水量全部渗完，并在整个畦田面的纵横两个方向下渗水量分布均匀，湿润土壤均匀，而且不易造成部分畦田田面积水与部分畦田土层湿润不足或者发生深层渗漏与泄水流失。为达到灌水均匀，防止深层渗漏，湿润土壤均匀，提高灌水质量，必须选定或确定合理的灌水技术要素，以达到节约灌溉水的目的。一般灌水技术要素之间的关系都应在总结灌水生产实践经验或分析畦灌田间试验研究资料的基础上，予以正确确定。

畦灌灌水技术要素主要指畦田长度、畦宽、每米畦宽引用的入畦流量，即单宽流量和放水入畦时间等而言。影响这些要素的因素主要有：土壤渗透系数、畦田田面坡度、畦田粗糙率与平整程度，以及作物的种植情况等。

由畦田沿畦长的水流推进过程及湿润土壤状况可知，在一定时间内的入畦灌溉水量应该等于该时间内下渗入土壤中的水量与继续沿畦面流动的水量或者停滞于畦面上的水量之和。为使沿畦长任何断面处渗入土壤中的水量都能达到大致相等，湿润土层基本均匀，就要求畦灌灌水技术要素之间应有如下关系。

(1) 渗入到畦田内土壤中的水量达到计划灌水定额时，畦田内各处所需要的入渗时间依下述经验公式确定：

$$H_t = K_0 t_n^{1-\alpha} \tag{3-1}$$

$$H_t = m$$

式中：H_t 为 t_n 时间渗入到土壤中的水量，cm；m 为计划的灌水定额，cm；K_0 为第一个单位时间内的平均入渗速度，cm/h；t_n 为畦田内各处入渗水量达到计划灌水定额所需要的下渗时间，h；α 为土壤入渗递减指数。

K_0 和 α 需通过土壤入渗试验得到，若无实测资料也可采用下述数值：对于弱透水性土壤，采用 $K_0 \leqslant 5$cm/h；强透水性土壤，$K_0 \geqslant 15$cm/h；中等透水性土壤，$K_0 = 5 \sim 15$cm/h。K_0 还随作物生育阶段和灌水次数变化。例如：河南引黄灌区，实测小麦播前灌水时，$K_0 = 6 \sim 8$cm/h；冬灌至返青灌水，$K_0 = 4 \sim 6$cm/h；灌浆灌水时，$K_0 = 3 \sim 4$cm/h。α 一般可采用 0.3～0.8，轻质土壤采用小值，重质土壤采用大值。

雨水或灌溉水等水分在重力和毛细管力作用下不断向土壤中渗入的过程，称为土壤入渗。土壤入渗的能力通常用入渗速度表示。入渗速度是指单位时间内渗入单位面积土壤中的水量，常以 cm/min，cm/h 表示。某一时段内渗入到土壤中的总水量，称入渗量，单位常用水层深度 cm，m 表示。

一般，地面灌溉的土壤入渗大致可分为两个阶段：在土壤渗水初期，由于地表土壤含水量较低，土壤孔隙多，土壤吸水能力强，所以土壤入渗速度大，随着土壤入渗时间继续，土壤含水量逐渐增加，土壤孔隙渐为水所充满，吸水能力减弱，则入渗速度逐渐减低。这种入渗速度随时间而变化的过程，称为土壤入渗的渗吸阶段，或称渗透阶段。随着土壤入渗继续，当全部土壤孔隙均充满了水，已基本达到饱和含水量状态时，入渗速度就渐趋常数，不再随时间而变化，此时的入渗速度称稳定入渗速度，这个阶段就称为渗漏阶段。

土壤入渗速度的高低取决于土壤的孔隙、质地、结构，以及初始土壤含水量、表土状况和水温等因素。其中，土壤质地影响最大。砂土不仅初始入渗速度高，达到稳定入渗速度所需时间短，而且稳定入渗速度值也高。粘土则相反，虽然初始入渗速度较低，达到稳定入渗速度所需要的时间长，其稳定入渗速度值也小。表 3-2 为几种不同质地土壤的稳定入渗速度数值范围。

表 3-2　　几种不同质地土壤的稳定入渗速度

土　　壤	砂	砂质土壤和粉砂质土壤	壤　土	粘质土壤	碱化粘质土壤
稳定入渗速度 (mm/h)	>20	10～20	5～10	1～5	<1

因此

$$t_n = (m/K_0)^{1/(1-\alpha)} \tag{3-2}$$

应当明确指出，在一般情况下，不能用式（3-2）所求得的下渗时间 t_n 作为畦首放水到停止所需要的全部供水延续时间。因为，此时畦首虽然入渗水量已达到了计划灌水定额，但是畦尾很可能湿润不足，甚至有可能出现薄层水流尚未流动到达畦尾的现象。但若以下渗时间 t_n 作为薄层水流到达畦尾时畦首停止供水的时间，虽然畦尾达到了计划灌水定额的入渗水量，但很有可能畦首部分湿润土壤的水量超过了计划灌水定额，而发生深层渗漏。由于影响下渗时间 t_n 的因素复杂，实际确定较困难，故畦首供水时间通常都近似采用下渗时间 t_n。

（2）进入畦田的总灌水量应与灌水定额所需要的水量相等，即

$$3600Qt = mbl \tag{3-3}$$

令

$$q = Q/b$$

则式（3-3）可改写为

$$3600qt = ml \tag{3-4}$$

式中：Q 为畦首控制的入畦流量，m^3/s；q 为入畦单宽流量，$m^3/(s \cdot m)$；b 为畦宽，m；l 为畦长，m；m 为灌水定额，m^3/亩；t 为畦首处畦口的供水时间，h，可近似采用下渗时间 t_n。

由式（3-4）和式（3-2）即可计算已知畦田规格情况下的入畦单宽流量 q，或选定入畦单宽流量 q 后，设计畦长及畦宽。

由式（3-4）尚可知，在相同的土质、地面坡度和畦长情况下，入畦单宽流量的大小主要与灌水定额有关。一般是，入畦单宽流量愈小，灌水定额愈大，入畦单宽流量愈大，灌水定额愈小。因此，可在不同条件下引用不同的入畦单宽流量，以控制达到计划的灌水定额。地面坡度大的畦田，入畦单宽流量应选小些，地面坡度小的，入畦单宽流量则可选大些。如在相同地面坡度条件下，畦田长，入畦单宽流量可大些；畦田短，入畦单宽流量可小些。砂土地畦田渗透快，入畦单宽流量应大；土质粘重或壤土地畦田渗水慢，入畦单宽流量宜小。地面平整差的畦田，入畦单宽流量可大些；地面平整好的畦田，入畦单宽流量可小些。

通常，在农田灌溉生产实践中，灌水定额、土壤性质以及地面坡度均已确定，此时畦灌技术和畦灌设计主要是确定畦田长度和入畦单宽流量，但还应防止入畦水流对畦田田面土壤的冲刷，从而产生水、土、肥的严重流失。因此，一般要求畦田上的薄层水流推进流速不得超过 0.1～0.2m/s。根据陕西省关中灌区各地灌溉试验结果，当灌水定额为 40～50m³/亩，畦田地面坡度为 1/400～1/1000 时，在中壤土和轻壤土质上，畦长为 30～100m 条件下，入畦单宽流量以采用 3～6L/（s·m）为宜，见表 3-3。表 3-4 列举了河南省引黄灌区畦田灌水技术要素之间的关系，供各地选用参考。

表 3-3　　陕西省关中、陕北一般大田作物畦田灌水技术要素表

灌　　区	土　　壤	地面坡度	单宽流量 [L/（s·m）]	畦　　长 (m)
泾惠、洛惠、宝鸡峡灌区	壤土及砂壤土	1/1000～1/2000	2～5	50～100
陕北灌区	砂土及砂壤土	3/1000～7/1000	2.5～5	15～25
小型抽水及井灌区	砂壤土	5/1000	2～3	7～15

表 3-4　　河南省引黄灌区畦田灌水技术要素表

坡度 / 技术要素 / 土质	<0.002			0.002～0.1			0.01～0.025		
	畦长 (m)	单宽流量 [L/（s·m）]	畦宽 (m)	畦长 (m)	单宽流量 [L/（s·m）]	畦宽 (m)	畦长 (m)	单宽流量 [L/（s·m）]	畦宽 (m)
强透水性轻质土壤	30～50	5～6	3.0	50～70	5～6	3.0	70～80	3～4	3.0
中等透水性土壤	50～70	5～6	3.0	70～80	4～5	3.0	80～100	3～4	3.0
弱透水性土壤	70～80	4～5	3.0	80～100	3～5	3.0	100～130	3	3.0

（3）为保证灌水均匀，就应使畦田上的薄层水流在畦田各点处的滞留时间相等，这样才有可能使畦田各点处的土壤入渗时间相同，从而使畦田各点渗入土壤中的水量大致相等。为此，沿畦田全长土壤湿润的均匀性就主要取决于畦尾和畦首各断面处湿润水量的差异大小，这就需要正确控制畦口的放水时间和入畦总流量。

在实施畦灌时，通常采用在畦首控制供水时间，及时封口改水的方法。采用以畦田薄水层水流长度与畦长的比值作为畦首供水时间的依据，也就是当薄层水流到达畦长的一定距离时就封堵该畦田入水口，并改水灌溉另一块畦田。例如，薄层水流流至畦长的 80%时，封口改水，即为八成改水。封口后的畦田，畦口虽已停止供水，但畦田田面上的剩余薄层水流仍将继续向畦尾流动，流至畦尾后再经过 t 时间，畦尾存水刚好全部渗入土壤，以使整个畦田湿润土壤达到既定的灌水定额。

改水成数应根据灌水定额、土壤性质、地面坡度、畦长和单宽流量等条件确定，一般可采用七成、八成、九成或满流封口改水措施。当土壤透水性较小，畦田田面坡度较大，灌水定额不大时，可采用薄水层水流达畦长的七成或八成时畦口停止供水，封口改灌其他畦田。若畦田田面坡度小，土壤透水性强，灌水定额又较大时，应采用九成封口改畦措施。封口过早，会使畦尾灌水不足，甚至无水；封口过晚，畦尾又会产生跑水、积水现象，浪费了灌溉水量。总之，正确控制封口改水，可以防止畦尾漏灌，或发生跑水流失。据各地灌

水经验，在一般土壤条件下，畦长 50m 时宜采用八成改水，畦长 30～40m 时宜采用九成改水，畦长小于 30m 应采用十成改水。

四、畦灌灌水技术计算实例

某灌区，小麦拔节期需要灌溉，已确定本次灌水的灌水定额为 40m³/亩（即 60mm 水深）。采用畦灌法，其畦田规格为：畦长 50m，畦宽 3m。经土壤入渗试验实际测定，该畦田第一个小时内的平均入渗速度 $K_0=10\text{cm/h}$，入渗速度递减指数 $\alpha=0.5$。现需要确定本次灌水应采用多大的入畦单宽流量？畦首放水时间为多少？

根据式（3-2），可求出畦田各处入渗水量达到灌水定额时所需要的入渗时间为

$$t_n=\left(\frac{m}{K_0}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}=\left(\frac{6}{10}\right)^{1/(1-0.5)}=0.36(\text{h})$$

因畦长不大长，该畦田土质为壤土，土壤透水性中等，可以不考虑畦首滞渗时间，也即畦首供水时间 t 就是入渗时间 t_n，于是可根据式（3-4）得到入畦单宽流量

$$q=\frac{ml}{2600t}=\frac{0.06\times 50}{3600\times 0.36}=0.0023\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})=2.3[\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})]$$

本次灌水需要畦首总供水流量为

$$Q=qb=2.3\times 3=6.9(\text{L/s})$$

计算时应特别注意单位，以免得出错误的计算结果。

采用畦灌切忌使用大水漫灌，否则将会造成大量水浪费，使水、土、肥大量流失，既破坏土壤结构，又抬高了地下水位，并招致土壤沼泽化或盐碱化，危害极大，必须予以充分重视。

为了保证畦灌的顺利进行，灌水前应组织好浇地队。浇地队一般是按用水单位或渠道组成，每队人数可根据用水单位的灌溉面积多少确定。在一些大型灌区，浇地队通常每队 7～9 人，队长负责掌握分、引渠的流量，和各输水沟水量的分配。以下分 2～3 人为一组，专管一条输水沟控制的畦田灌溉。浇完一条输水沟的畦田地段后，再浇另一条输水沟的地，一直到全部浇完。

在每一条输水沟的灌水地段内，一人在输水沟土下活动，专管沟中水量的调整和渠堤加固，防止输水沟决口跑水，以及按畦改水等工作。另外 1～2 人在畦间察看水流情况，随时使用截流板、铁铣等工具，调正畦内水流，防止发生水流聚集、畦埂溃决、跑水串畦等。

放水时，先由毛渠把水引入输水沟，通过输水沟再把水送入畦田区。水流通过输水沟时，最好先用少量的水把输水沟浸湿一下，然后用圆形草把（用麦秸或谷草捆成）将输水沟推 1～2 遍，使断面变成光滑的半圆形，以便过水通畅，并起到防渗的作用。灌水的次序，按畦田区布置情况而定。如是双面布置，可同时相对开口，同浇两畦；或浇完一侧再浇另一侧。如为单面布置，一般可由下而上按畦挨次灌水。这样可以在浇完一条输水沟后，沟内无退水量。但在地形比降较大或新输水沟第一次灌水时，亦可由上而下进行。

灌水后，要对所有畦口、水口，畦埂进行全面检查，发现有破损，应马上修整，以保证下次用水。灌水 2～3 天后，待田间稍干，即应进行中耕保墒。灌后松土保墒工作对保蓄土壤水分和消除板结裂缝的作用十分重要。

冬季灌水时，应特别注意设法避免渠道和田面发生壅冰现象，可采取集中引水，加大

流量的办法。一般白天引入畦区的单宽流量，可由平时的 3L/（s·m）加大到 5～8L/（s·m）；晚上气温较白天更低，单宽流量可加大到 7～10L/（s·m）。这样由于在田面上流量大、流速快、水层厚，就不会形成冰层。浇地时，如发现细小冰块挡水，灌水员可用钉齿耙调整水流，以免冰块壅塞，水流不向前推进。冬季改水的成数，应当减小，如以往采用“二、八”改水，冬灌时，在白天可改为“四、六”，晚上改成“五、五”，以防止积冰消融后造成深层渗漏或畦尾积水过多。

第二节 水 平 畦 灌

水平畦灌是田块纵向和横向两个方向的田面坡度均为零时的畦田灌水方法。水平畦灌实施灌水时，通常要求引入畦田的流量很大，以使进入畦田的薄水层水流能在很短时间内迅速覆盖整个畦田田面。水平畦灌法具有灌水技术要求低，深层渗漏小，水土流失少，方便田间管理和适宜于机械化耕作，以及可直接应用于冲洗改良盐碱地等优点。因此，已在美国等一些国家得到广泛推广应用。

我国北方平原，丘陵及塬坡台地与河谷滩地等灌溉土地早已有类似于水平畦灌的悠久历史。例如，我国北方地势平坦的渠灌区，像内蒙古河套灌区，宁夏青铜峡灌区，甘肃河西走廊灌区，新疆和黑龙江农垦灌区，以及华北等地区畦块田宽度较大而长度又较短的广大井灌区，往往田面纵、横两个方向的地面坡度很小，当地农民群众至今仍在采用类似于水平畦灌法的无坡块灌法。不过，目前这些灌区大多采用大水漫灌方式，灌水技术落后，灌水质量差，效益低。因此，开展块灌法和水平畦灌法的试验研究，并加以示范推广应用，将对发展节水灌溉农业具有重要意义。

一、水平畦灌灌水技术

水平畦灌是在短时间内供水给大面积地块灌水的一种新的地面灌水方法，也是一种节约灌溉用水的先进灌水技术。水平畦灌的主要特点如下。

（1）畦田田面各方向的坡度都很小（≤1/3000）或为零，整个畦田田面可看作是水平田面。所以，水平畦田上的薄层水流在田面上的推进过程，将不受畦田田面坡度的影响而只借助于薄层水流沿畦田流程上水深变化所产生的水流压力向前推进。

（2）进入水平畦田的总流量很大，以便入畦薄层水流能在短时间内迅速布满整个畦田地块。

（3）进入水平畦田的薄层水流主要以重力作用，静态方式逐渐渗入到作物根系土壤区内，而与一般畦灌主要靠动态方式下渗不同，故它的水流消退曲线为一条水平直线。

（4）由于水平畦田首末两端地面高差很小或为零，所以对水平畦田田面的平整程度要求很高，从而一般情况下，水平畦田不会产生田面泄水流失或出现畦田首端入渗水量不足及畦田末端发生深层渗漏现象，灌水均匀度高。在土壤入渗速度较低的条件下，灌溉田间水利用率可达 98%以上。

如图 3-2 所示，水平畦田的长度和宽度均为 183m，种植紫花苜蓿。引入水平畦田的总流量为 0.43m^3/s。从水平畦田的一角放水，流到对角仅用了 125min，然后再经过 18.5h，畦田上的薄层水流就全部渗入到土壤内。图内曲线为薄层水流推进前峰曲线，曲线上的数字

表示到达该前峰线处的时间，min。

水平畦灌法适用于所有种类作物和各种土壤条件。包括密植作物，如小麦、谷类、豆类和水稻等作物；饲草，如苜蓿、牧草等；宽行距行播作物，如玉米、棉花、高粱、甜菜等；以及树木，如各种果树、用材林、经济林和葡萄、蕃茄、黄瓜等水果蔬菜作物。水平畦灌法尤其适用于土壤入渗速度比较低的粘性土壤，但实践证明，它也是砂性土壤的一种良好的节水方法。一般水平畦灌法可节水 20% 以上。

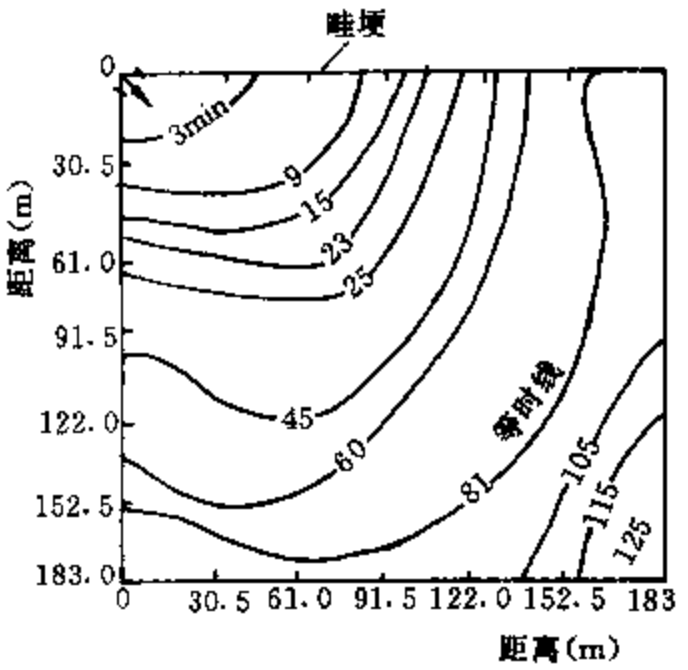


图 3-2　水平畦灌水流推进曲线图

水平畦灌法对土地平整的要求很高，水平畦田地块必须进行严格平整。以往采用传统的土地平整测量方法和平整工具，既费工，也很难达到精确的平整要求。为此，美国在 1975 年就应用了带用激光控制装置的铲运机进行土地平整。它的基本工作原理是，在水平畦田地块中间或者一端设置激光发生器，发射一束激光。激光信号接收装置安装在平地铲运机上，激光发生器可以按照设计者平整土地的意图发射出一束水平的或者与水平面呈所需要角度的激光光束。平地铲运机就依据激光光束产生的虚拟光面和指导位置，上下移动铲运机铲板，自动调节铲刀位置于适当高度，并在平地铲运机行进过程中，或将地面高处铲平，或将低处地面填土整平。激光接收器上安装有硅酮光电管，以用于指示激光的位置。当激光接收器收到激光信号后，即可向安装在拖拉机驾驶室内与控制系统相连接的阀门发出信号，操作人员可在驾驶室内监视全套系统装置的运行情况，激光发生器在工作过程中可以以一定的角速度旋转，由于激光本身在空气中具有很强的穿透力（在 20km 处都能接收到），所以平地铲运机在水平畦田地块的任何位置都能接收到激光信号。

根据水平畦田地块原有平整程度的好坏，可以采用粗平机械和精平机械。若原畦田田面起伏较大，就需要粗平机具先将地块田面大致整平，然后再进行精平。对于以前曾平整过的水平畦田，下次结合耕作一般只需精平即可。

激光平地机械的效率和平整精度都相当高，例如美国的 CAM3C0 激光平地机，功率为 132.3kW（180 马力），每台班 8h 可以精平 5～15hm^2 的土地，能完成 2500～5000m^3 的平地土方量，其平整精度可达到最大误差在±3cm 以内。

对于水平畦田的土地平整程度，美国土地保持局要求的标准是，80%的水平畦田地块田面平均高差应在±1.5cm 以内。实际上，利用激光控制的平地铲运机平整土地，其平整后的地面高差平均误差均在±1.5cm 以内，最大误差为±3.0cm 左右的畦田面积比例达到 86%。

此外，由于水平畦灌供水流量大，故在水平畦田进水口处还需要有较完善的防冲措施。同时，又由于水平畦田宽度较大，为保证沿水平畦田全宽度都能按确定的单宽流量均匀灌水，必须采取与之相适应的田间配水方式、田间配水装置及田间配水技术措施。

水平畦灌法的灌水技术要素，同样也是畦长、畦宽、单宽流量和灌水时间等因素。由

于水平畦灌法灌水技术要素的确定不能应用一般畦灌法理论和方法，而必须应用简化了的流体力学数学模型，也就是零位惯性量数学模型解算。这种计算方法很复杂，需借助于电子计算机求解。

二、块灌灌水技术

块灌法在我国农田灌溉事业发展中已有上千年历史，目前在我国甘肃、宁夏、内蒙古、新疆等省（区）的广大地势平坦的灌区，群众普遍采用块灌方法。

在我国北方应用块灌灌水方法的大多数灌区，由于长期以来落后的灌水习惯，普遍在块田上都采用大块地大水漫灌和大块地大水串灌，一般串灌块田十多块，有的可达成百块，一块串灌一块，以块田代替田间输水渠和输水沟，浪费灌溉水量相当大，而且不仅灌水质量很低，还影响作物的产量和品质，并促使地下水位抬高，招致土壤沼泽化和盐碱化。近十多年来，随着农业生产的发展，广大农民逐渐对节水灌溉的意义有了深刻认识，并积极要求改变过去的落后灌水习惯，从而促使“改大块为小块，宽块为窄块和长块为短块”“三改”灌水技术的改革速度大大加快，大块灌水和串块灌的面积逐年减少。

据甘肃、宁夏、内蒙古等灌区试验资料和群众灌水经验，小块灌技术的块田宽度一般不宜大于5m，块田长度应在50m左右，块田面积最好小于0.5亩，最大也不要超过1.0亩。对于无坡块灌，块田面积、长度和宽度均可比有坡块灌的大一些。但由于我国目前尚无效率高的精细土地平整机具，因此为减轻土地平整工作量，块田规格也不宜过大。一般块田面积不宜超过1.0亩，块田长度不宜大于60m，宽度应小于10m。据统计分析，一般小于0.5亩的块灌，在自流灌区，要比大于1.5亩的块灌省水43.9%；在提水灌区，也要节水24.4%。

一般，划分灌水方法的依据是：①灌溉水向田间输送的方式。②湿润土壤的方式。传统的畦灌灌水方法，是以薄层水流的形式向田间土壤表面输送的，湿润土壤主要依靠薄层水流的重力作用，而土壤毛细管的湿润作用较弱。同样，块灌灌水方法也是以薄层水流向田间土壤表面输送，并主要以重力作用湿润土壤，毛细管作用虽有，但不如重力作用大。因此，块灌仍归属于畦灌范畴。但块灌与畦灌又有区别，其差异主要表现在块田与畦田的宽度相差甚大，从而导致土壤表面薄层水流的推进运动过程有悬殊不同。

据试验观测，在土地平整良好，田面纵向地面坡度单一，横向地面坡度很小的畦田和块田条件下，进入块田的水流，横向扩散运动非常明显，也就是块田宽度对薄层水流推进运动影响显著，块灌灌水技术必须考虑这种影响。而畦灌其畦田宽度较小，薄层水流沿畦长方向的纵向推进运动是主流，横向薄层水流的扩散运动，影响不明显，故一般在其灌水技术中都不考虑畦宽对入畦薄层水流可能产生的影响。

根据试验研究分析：一般宽度小于5m的畦田，它的横向水流扩散作用很小；5～10m宽度，薄水层水流横向扩散现象已能被观察到；宽度大于10m，薄水层水流横向扩散十分明显。因此，为提高灌水技术的灌水质量水平，块田与畦田的主要差别应以宽度5m为界线。不大于5m的地块称畦田；大于5m的地块称块田。

由于块田和畦田的田面坡度大小对其灌水技术影响很大，而且可用不同的地面水流推进理论解算确定，因此可按它们的田面有无坡度划分为有坡畦、块田和无坡畦、块田。根据试验观测和理论分析可以确定，当田面坡度不大于1/3000时，可以归属于无坡畦、块灌，

即水平畦灌，需应用水平畦灌零位惯性量数学模型确定其灌水技术要素。对于田面坡度大于 1/3000 的地块，属于有坡畦、块田，可应用一般的畦灌灌水技术要素。无论是有坡畦、块田还是无坡畦、块田，都要求其田面无横向坡度。

表 3-5　　甘肃西营河灌区块灌灌水技术方案

灌水定额 (m^3/hm^2)	畦　长 (m)	单宽流量 [L/ (s·m)]	块　宽 (m)	块田进水流量 (L/s)	放水时间 (min)	田面坡度
975	100 160	2.71 4.33	20～25 20～25	50～68 86～108	60 60	0～1/300

表 3-6　　块田灌水技术要素表

土壤类别	灌水定额 (mm)	田面坡度 (%)	块田宽度 (m)	块田长度 (m)	单宽流量 [L/ (s·m)]
砂土	100	0.0 0.4 0.8	12～30 10～12 5～10	60～100 60～100 75	10～15 8～10 5～7
壤土	150	0.2 0.4 0.8	15～30 10～12 5～10	90～300 90～180 90	4～6 3～5 2～4
粘土	200	0.2 0.4	15～30 10～12	350 180～300	3～6 2～4

表 3-5 列举了甘肃省西营河灌区的灌水技术方案，供参考。块田规格及单宽流量等因素尚可参见表 3-6。

块田宽度对灌水质量、灌水均匀度的影响不可忽视。因此，应要求块田田面尽量无横向坡度，土地平整良好，向块田供水也应采取多口均匀供水，均匀分配水流的技术措施。为有助于提高灌水质量和节约灌溉水量，可采取的具体方法：为了使引入块田的薄层水流能迅速沿块田横向遍布整个田面，在块田首部 10m 范围内，把田面平整成水平状；而为了在下游能蓄存积水，防止产生地面径流流失，在块田尾部 20m 范围内，也把田面修筑呈水平状。

第三节　节水型畦灌技术

近十多年来，我国广大灌区，为彻底杜绝大水漫灌、大畦和大块漫灌，以节约灌溉水，提高灌水质量，降低灌水成本，推广应用了许多项先进的节水型畦灌技术，取得了明显的节水和增产效果。

一、小畦灌灌水技术

小畦灌灌水技术主要是指畦田“三改”灌水技术，也就是“长畦改短畦，宽畦改窄畦，大畦改小畦”的“三改”畦灌灌水技术。

小畦灌“三改”灌水技术的畦田宽度，自流灌区为 2～3m，机井提水灌区以 1～2m 为宜。地面坡度 1/400～1/1000 时，单宽流量为 2.0～4.5L/s，灌水定额为 20～45m^3/亩；畦长，自流灌区以 30～50m 为宜，最长不超过 70m；机井和高扬程提水灌区以 30m 左右为宜。畦埂高度一般为 0.2～0.3m，底宽 0.4m 左右，地头埂和路边埂可适当加宽培厚。

在灌区大力推广小畦灌和小块灌的主要优点如下。

(1) 节约水量、易于实现小定额灌水。大量试验资料表明，灌水定额是随畦长的增加而增大，也就是说，畦长越长，畦田水流的入渗时间越长，因而灌水量也就越大。所以，减

小畦长，灌水定额可减少，就能达到节约水量的目的。

（2）灌水均匀，浇地质量高。由于畦块小，水流比较集中，水量易于控制，入渗比较均匀，可以克服高处浇不上，低处水汪汪等不良现象。据测试，不同畦长的灌水均匀度为：畦长 30～50m 时，灌水均匀度都在 80%以上，符合科学用水的要求；而畦长大于 100m 时，灌水均匀度则达不到 80%的要求。

（3）防止深层渗漏，提高田间水的有效利用率。小畦灌深层渗漏量小，从而可防止灌区地下水位上升，预防土壤沼泽化和土壤盐碱化发生。据灌水前后对 200cm 上层深度的土壤含水量测定表明：畦长 30～50m 时，未发现深层渗漏（即入渗未超过 1.0m 上层深度）；畦长 100m，深层渗漏量较微；畦长 200～300m，深层渗漏水量平均要占灌水量的 30%左右，几乎相当于小畦灌法灌水定额的 50%。

（4）减轻土壤冲刷，减少土壤养分淋失，土壤板结减轻。由于畦块大，畦块长，则灌水量大，就易严重冲刷土壤，易使土壤养分随深层渗漏而损失。小畦灌灌水量小，有利于保持土壤结构，保持和提高土壤肥力，促进作物生长，增加产量。

二、长畦分段短灌灌水技术

小畦灌灌水技术需要增加田间输水渠沟和分水、控水装置，畦埂也较多，在实践中推广应用存在有一定的困难。为此近年来，在我国北方干旱缺水地区出现了一种将一条长畦分成若干个没有横向畦埂的短畦，采用地面纵向输水沟或塑料薄壁软管，将灌溉水输送入畦田，然后自下而上或自上而下依次逐段向短畦内灌水，直至全部短畦灌完为止的灌水技术，称为长畦分段短灌灌水技术，见图 3-3 所示。

长畦分段短灌，若用输水沟输水和灌水，同一条输水沟第一次灌水时，应由长畦尾端短畦开始自下而上分段向各个短畦内灌水。第二次灌水时，应由长畦首端开始自上而下向各分段短畦内灌水，输水沟内一般仍可种植作物。长畦分段短灌，若用低压薄壁塑料软管（俗称小白龙）输水、灌水，每次灌水时均可将软管直接铺设在长畦田面上，软管尾端出口放置在长畦的最末一个短畦的上端放水口处开始灌水，该短畦灌水结束后可采用软管“脱袖法”脱掉一节软管，自下而上逐个分段向短畦内灌水，直至全部短畦灌水结束为止。

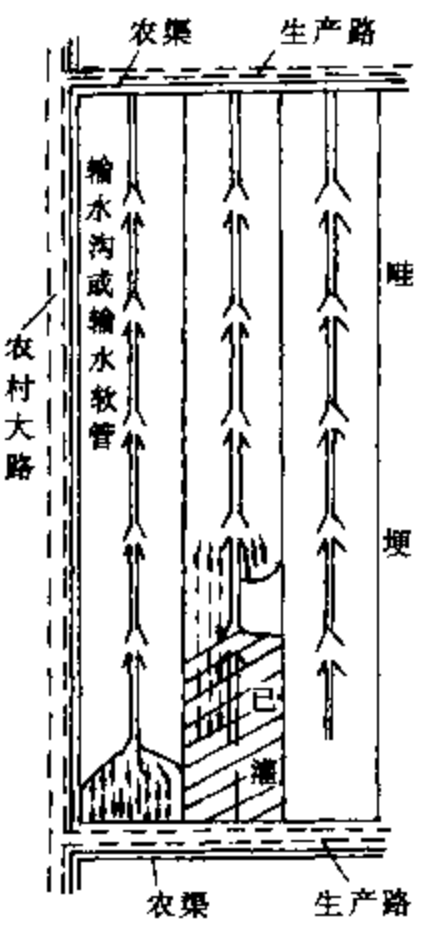


图 3-3 长畦分段短灌示意图

长畦分段短灌技术的畦宽可以宽至 5～10m，畦长可达 200m 以上，一般均在 100～400m 左右，但其单宽流量并不增大。这种灌水技术的要求是，正确确定入畦灌水流量，侧向分段开口的间距（即短畦长度与间距）和分段改水时间或改水成数。

因此，长畦分段短灌灌水技术主要是正确确定侧向分段开口间距。根据水量平衡原理和畦灌水流运动基本规律，在满足定额灌水和十成改水的条件下，计算分段进水口间距的基本计算公式如下：

对于有坡畦（块）灌

$$L_0 = \frac{40q}{1+\beta_0}\left(\frac{1.5m}{K_0}\right)^{1/(1-\alpha)} \tag{3-5}$$

对于水平畦（无坡块）灌

$$L_0 = \frac{40q}{m}\left(\frac{1.5m}{K_0}\right)^{1/(1-\alpha)} \tag{3-6}$$

式中：L_0 为分段进水口间距，m；β_0 为地面水流消退历时与水流推进历时的比值，一般 β_0 $=0.8\sim1.2$；q 为入畦（块）单宽流量，L/（s·m）；m 为灌水定额，m^3/亩；K_0 为第一个单位时间内的平均入渗速度，mm/min；α 为入渗递减指数。

正确应用长畦分段短灌法，就能达到省水、省地、省工、灌水均匀度高、灌水有效利用率高的目的。经实际应用证明，长畦分段短灌法是一种良好的节水型灌水方法，它具有以下优点。

（1）可以实现灌水定额 $30m^3$/亩左右的低定额灌水，灌水均匀度、田间灌水贮存率和田间灌水有效利用率均大于 80%～85%，且随畦长而增大，与畦田长度相同的常规畦灌方法相比较，可省水 40%～60%，田间灌水有效利用率可提高 1 倍左右或更多。

（2）灌溉设施占地少，可以省去一至二级田间输水渠沟。

（3）与常规畦灌方法相比，可以灵活适应地面坡度、糙率和种植作物的变化，可以采用较小的单宽流量，减少土壤冲刷。

（4）投资少，节约能源，管理费用低，技术操作简单，因而经济实用，容易推广运用。

（5）田间无横向畦埂或渠沟，方便机耕和采用其他先进的耕作方法，更有利于作物增产。表 3-7 为长畦分段短灌灌水技术要素表，仅供参考。

表 3-7　　长畦分段短灌灌水技术要素参考表

	输水沟或灌水软管流量	灌水定额		畦长	畦宽	单宽流量	单畦灌水时间		长畦面积	分段长度×段数
	L/s	m^3/亩	mm	m	m	L/（s·m）	min	m^2	亩	m×段
1	15	40	6	200	3	5.00	40.0	600	0.9	50×4
				200	4	3.76	53.3	800	1.2	40×5
				200	5	3.00	66.7	1000	1.5	35×6
2	17	40	6	200	3	5.67	35.0	600	0.9	65×3
				200	4	4.25	47.0	800	1.2	50×4
				200	5	3.40	58.8	1000	1.5	40×5
3	20	40	6	200	3	3.67	30.0	600	0.9	65×3
				200	4	5.00	40.0	800	1.2	50×4
				200	5	4.00	50.0	1000	1.5	40×5
4	23	40	6	200	3	7.67	26.1	600	0.9	70×3
				200	4	5.76	34.8	800	1.2	65×3
				200	5	4.60	43.5	1000	1.5	50×4

由于长畦分段短灌具有上述优点，因此已在山东、河北、辽宁和陕西等地普遍推广应用，取得了显著的经济效益。例如，山东蓬莱县，小麦种植面积 35 万亩，全县平均畦田长度为 166m，畦长 200m 以上的畦田占 40.7%，约 14 万亩，畦长最长为 300～400m。他们计算，若以砂土、壤土分别占全县小麦面积 1/3 推算，长畦分段短灌每次灌水要比常规长畦灌省水 $21m^3$/亩，全县一次灌水就可省水 500 万 m^3。小麦全生育期以灌水 4 次计，则可

省水 2000 万 m^3，节水效益相当可观。

三、宽浅式畦沟结合灌水技术

宽浅式畦沟结合灌水技术，是群众创造的一种适应间作套种或立体栽培作物，“二密一稀”种植的灌水畦与灌水沟相结合的灌水技术。通过近年来的试验和推广应用，已证明这是一种高产、省水、低成本的优良灌水技术。

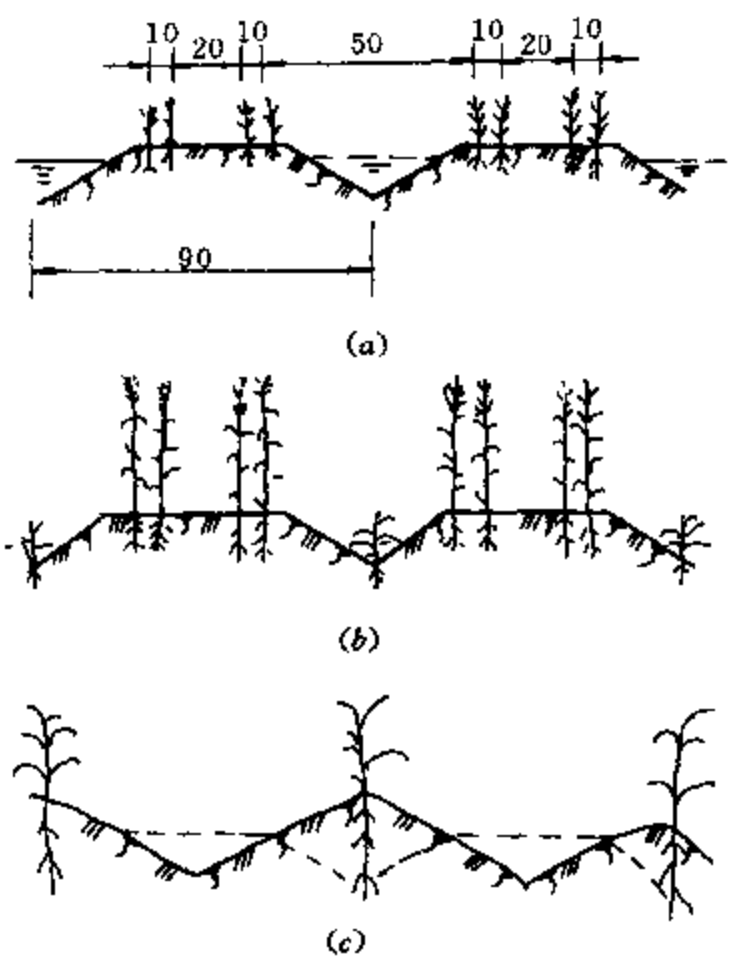


图 3-4　宽浅式畦沟结合条田轮作示意图
(a) 小麦播种后畦、沟位置（单位：cm）；
(b) 小麦乳熟期套种玉米；
(c) 小麦收获后开沟培土

这种灌水技术的特点是：①畦田和灌水沟相间交替更换，它的畦田面宽为 40cm，可以种植两行小麦（就是“二密”），行距 10～20cm。②小麦播种于畦田后，可以采用常规畦灌或长畦分段灌水技术灌溉，见图 3-4 (*a*)。③小麦乳熟期，在每隔两行小麦之间开挖浅沟，套种一行玉米（就是“一稀”），套种的玉米行距为 90cm。在此时期，如遇干旱，土壤水分不足，或遇有干热风时，可利用浅沟灌水，灌水后借浅沟湿润土壤，为玉米播种和发芽出苗提供良好的土壤水分条件，见图 3-4(*b*)。④小麦收获后，玉米已近拔节期，可在小麦收割后的空白畦田田面处开挖灌水沟，并结合玉米中耕培土，把从畦田田面上挖出的土壤覆在玉米根部，就形成了垄梁及灌水沟沟埂，而原来的畦田田面则成为灌水沟沟底，见图 3-4 (*c*)。其灌水沟的间距正好是玉米的行距，灌水沟的上口宽则为 50cm，这种做法，既可使玉米根部牢固，防止倒伏，又能多蓄水分，增强耐旱能力。

宽浅式畦沟结合灌水方法，最适宜于在遭遇天气干旱时，采用“未割先浇技术”，以一水促两料作物。这就是，在小麦即将收割之前，先在小麦行间浅沟内，给玉米播种前进行一次小定额灌水，这次灌水不仅对小麦籽粒饱满和提早成熟有促进作用，而且对玉米播种出苗或出苗后的幼苗期土壤层内，增加了土壤水分，提高了土壤含水量，从而对玉米出苗或出苗后壮苗也有促进作用。

宽浅式畦沟结合灌水技术的优点：①灌溉水流入浅沟以后，就由浅沟沟壁向畦田土壤侧渗湿润土壤，因此，对土壤结构破坏少。②蓄水保墒效果好。③灌水均匀度高，灌水量小，一般灌水定额 35m^3/亩左右即可，而且玉米全生育期灌水次数比一般玉米地还可以减少 1～2 次，耐旱时间较长。④能促使玉米适当早播，解决小麦、玉米两茬作物“争水、争时、争劳”的尖锐矛盾和随后的秋夏两茬作物“迟种迟收”的恶性循环问题。⑤通风透光好，培土厚，作物抗倒伏能力强。⑥施肥集中，养分利用充分，有利于两茬作物获得稳产、高产。这是我国北方广大旱作物灌区值得推广的节水灌溉新技术。但是，它也存在有一定缺点，主要是田间沟、畦多，沟和畦要轮番交替更换，劳动强度较大，费工也较多。

第四章　沟　　灌

沟灌是我国在地面灌溉中普遍应用于中耕作物的一种较好的灌水方法。近年来，随着田间灌溉现代化的迅速发展，以及节水灌溉技术的研究与推广，传统的沟灌技术已有了很大的改进和提高。

第一节　沟灌的灌水技术

一、沟灌的特点

沟灌是在作物行间开挖灌水沟，灌溉水由输水沟或毛渠进入灌水沟后，在流动的过程中，主要借土壤毛细管作用从沟底和沟壁向周围渗透而湿润土壤的。与此同时，在沟底也有重力作用浸润土壤。因此，沟灌法与畦灌法相比较，更具有明显的优点。一般，沟灌的主要优点是：①灌水后不会破坏作物根部附近的土壤结构，可以保持根部土壤疏松，通气良好。②不会形成严重的土壤表面板结，能减少深层渗漏，防止地下水位升高和土壤养分流失。③在多雨季节，还可以利用灌水沟汇集地面径流，并及时进行排水，起排水作用。④沟灌能减少植株间的土壤蒸发损失，有利于土壤保墒。⑤开灌水沟时还可对作物兼起培土作用，对防止作物倒伏效果显著。但是，沟灌需要开挖灌水沟，劳动强度较大，若能采用开沟机械，则可使开沟速度加快，开沟质量提高，劳动强度减弱。

沟灌适用于灌溉宽行距的中耕作物，如棉花、玉米和薯类等作物，某些宽行距的蔬菜也采用沟灌，窄行距作物一般不适合用沟灌。沟灌比较适宜的土壤是中等透水性的土壤。

适宜于沟灌的地面坡度一般在 0.005～0.02 之间。地面坡度不宜过大，否则，水流流速快，容易使土壤湿润不均匀，达不到预定的灌水定额。

二、沟灌灌水沟的布置及规格

（一）灌水沟的种类及布置形式

1. 灌水沟的种类

（1）依地形坡度大小划分，灌水沟有顺坡沟和横坡沟两种。在大多数情况下，灌水沟都沿地面坡度方向，即基本上垂直于地面等高线，故称顺坡沟。但是，若地面坡度较大时，也可使灌水沟与地面坡度方向成锐角，使灌水沟能获得适宜的比降，以有利于在田间自流灌水，故称横坡沟，又称等高线沟。

（2）依灌水沟断面尺寸及沟深划分，灌水沟有深灌水沟和浅灌水沟两种。深灌水沟常用于灌溉多年生深根行播作物；浅灌水沟一般适用于土壤下渗速度较缓慢的土质及窄行距作物。一般认为，灌水沟深度大于 0.25m，底宽大于 0.3m 的灌水沟，称为深灌水沟；沟深小于 0.25m，底宽小于 0.3m 的灌水沟，称为浅灌水沟。

（3）依灌水沟沟尾是否封闭划分，有封闭沟和流通沟两种。灌水沟沟尾用土埂封堵死的，称封闭沟。当灌溉水流入封闭灌水沟后，其在流动的过程中一部分水量下渗入土壤内；

而在放水停止后，沟中仍将存蓄一部分水量，再经过一段时间，才逐渐完全渗入土壤内。所以，封闭沟适用的地面坡度应较小，一般地面坡度以小于 1/200 的地区为宜。灌水沟的尾部不封闭的，称为流通沟。在流通沟情况下，灌溉水流入灌水沟后，在流动的过程中全部渗入土壤内，灌水停止后，沟中不需要存蓄部分水量。因此，流通沟适用于地面坡度较大或地面坡度虽小但土壤透水性亦小的地区。

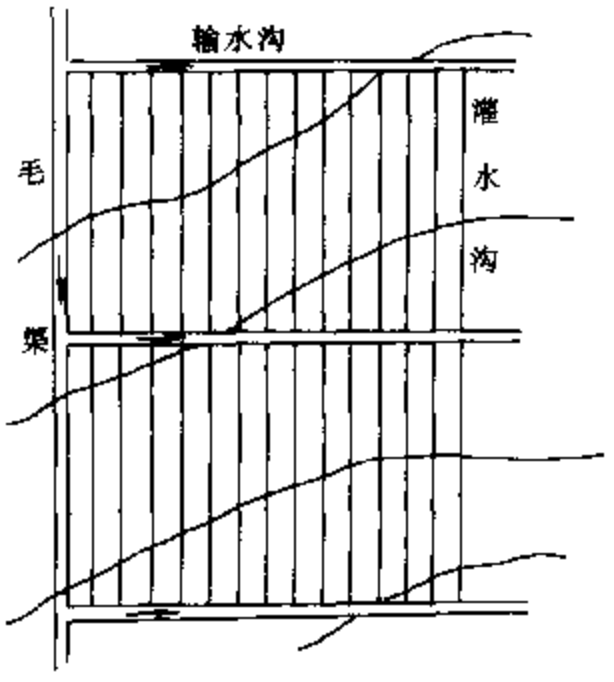


图 4-1　封闭灌水沟布置图

我国沟灌技术主要采用封闭沟灌水，基本布置形式见图 4-1。流通沟在国外自动化沟灌系统中常用，但需要尾水回收再利用系统，以及相应的回收再利用装置（见图 4-2）。我国细流沟灌的灌水沟仍可以归属于封闭沟类型，主要是因为实施中其灌水沟尾经常用低土埂适当封堵，以防万一灌水控制不当，发生沟尾泄水流失现象，但其灌水沟中一般放水停止后将不存蓄灌溉水。

（二）灌水沟的规格

灌水沟的规格主要指灌水沟的间距，灌水沟的长度和灌水沟的断面结构等。灌水沟规格的确定是否合理，将对沟灌灌水质量、灌水效率、土地平整工作量以及田间灌水沟的布置等影响很大，应依据沟灌田间试

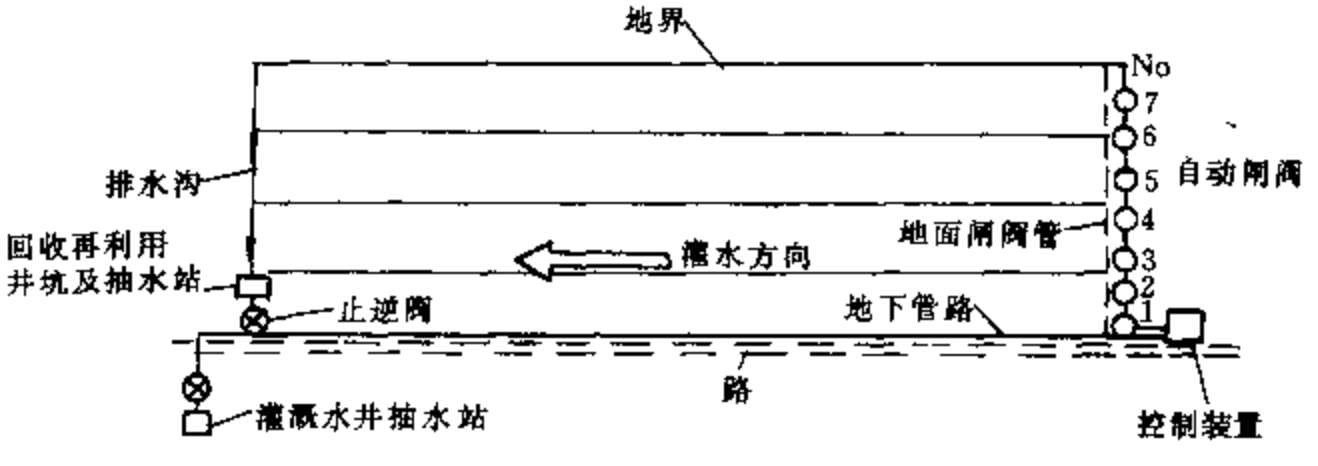


图 4-2　流通沟自动回收尾水再利用系统

验资料和群众沟灌灌水实践经验认真分析研究，合理确定。

1. 灌水沟的间距

灌水沟的间距，也就是沟距，应和沟灌的湿润范围相适应，并应满足农业耕作和栽培上的要求。

沟灌灌水时，由于灌溉水沿灌水沟向土壤入渗的同时，受着两种力的作用。其中，重力作用主要使沿灌水沟流动的灌溉水垂直下渗，而毛细管力的作用除使灌溉水向下浸润外，亦向四周扩散，甚至向上浸润。因此，沿灌水沟断面不仅有纵向下渗湿润土壤，同时也有横向入渗浸润。灌水沟中纵、横两个方向的浸润范围主要取决于土壤的透水性能与灌水沟中的水深，或在灌水沟中水流的时间长短。由于在轻质土壤上，灌水沟中的水流受重力作用，其垂直下渗速度较快，而向灌水沟四周沟壁的侧渗速度相对较弱，所以其土壤湿润范

围呈长椭圆形。在重质土壤上，毛细管力的作用较强烈，灌水沟中水流通过沟底的垂直下渗与通过沟壁的侧渗接近平衡，故其土壤湿润范围呈扁椭圆形。见图 4-3 所示。

为了使土壤湿润均匀，灌水沟的间距应使土壤的浸润范围相互连接。因此，在透水性较强的轻质土壤上，其灌水沟沟距应较窄；而透水性较弱的重质土壤上，其沟距应适当加宽。不同土质条件下的灌水沟间距见表 4-1。陕西省总结各灌区不同土质条件下的灌水沟间距见表 4-2。

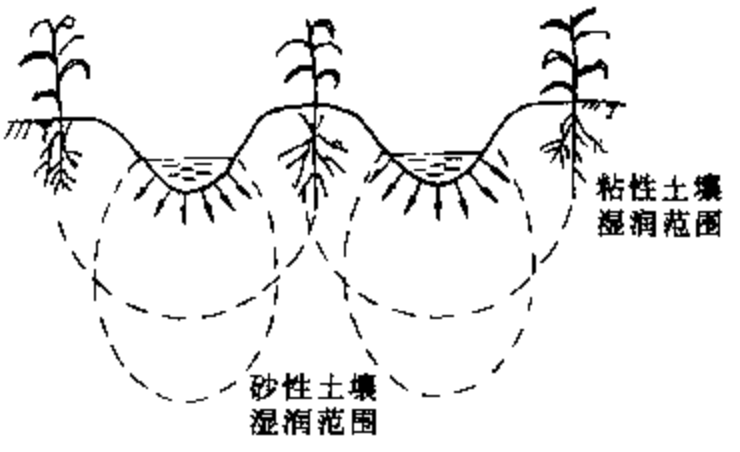


图 4-3　灌水沟水流土壤湿润范围示意图

表 4-1　　不同土质条件下的灌水沟间距

土　质	轻质土壤	中质土壤	重质土壤
间距（cm）	50～60	65～75	75～80

表 4-2　陕西省各地不同土壤的灌水沟沟距

土　质	砂壤土	粘壤土	粘　土
间距（cm）	45～60	60～75	75～90

为了保证一定种植面积上栽培作物的植株数目，在一般情况下，灌水沟间距应尽可能与作物的行距相一致。作物的种类和品种不同，其所要求的种植行距也不相同。因此，在实际操作中，若根据土壤质地确定的灌水沟间距与作物的行距不相适应时，应结合当地具体情况，考虑作物行距要求，适当调整灌水沟的间距。

2. 灌水沟的长度

灌水沟的长度与土壤的透水性和地面坡度有直接关系。地面坡度较大，土壤的透水性能较弱时，灌水沟长度可以适当长一些。而在地面坡度较小，土壤透水性较强时，要适当缩短灌水沟沟长。根据灌溉试验结果和生产实践经验，一般砂壤土上的灌水沟长度约 30～50m，粘性土壤上的沟长在 50～100m 左右。蔬菜作物的灌水沟长度一般较短，农作物的沟长较长。但灌水沟长度不宜超过 100m，以防止产生田间灌水损失，影响田间灌水质量，为提高田间灌溉水有效利用率和灌水均匀度奠定基础。

3. 灌水沟的断面结构

灌水沟的断面形状一般为梯形和三角形。其深度与宽度应依据土壤类型、地面坡度，以及作物的种类等确定。为防止实施沟灌时出现“沟漫灌”浪费灌溉水量的现象，通常对于棉花，因行距较窄（平均行距一般 0.55m 左右），要求小水浅灌，故多采用三角形断面，见图 4-4（*a*）。对于玉米，因行距较宽（一般行距 0.7～0.8m），灌水量较大，多采用梯形断面，见图 4-4（*b*）。梯形断面的灌水沟，上口宽为 0.6～0.7m，沟深 0.2～0.25m，底宽 0.2～0.3m；三角形断面的灌水沟，上口宽为 0.4～0.5m，沟深 0.16～0.2m。灌水沟中水深一般为沟深的 1/3～2/3。对于土壤有盐碱化的地区，由于灌水沟的顶部（即沟垄）容易聚积盐分，可以把作物种植在灌水沟的侧坡部位，以避免盐碱威胁作物生长发育。梯形断面灌水沟实施灌水后，往往会改变成为近似抛物线形断面，见图 4-4（*c*）所示。

三、沟灌灌水技术

沟灌湿润土壤的过程和原理基本上与畦灌相同。沟灌灌水技术主要是控制和掌握灌水

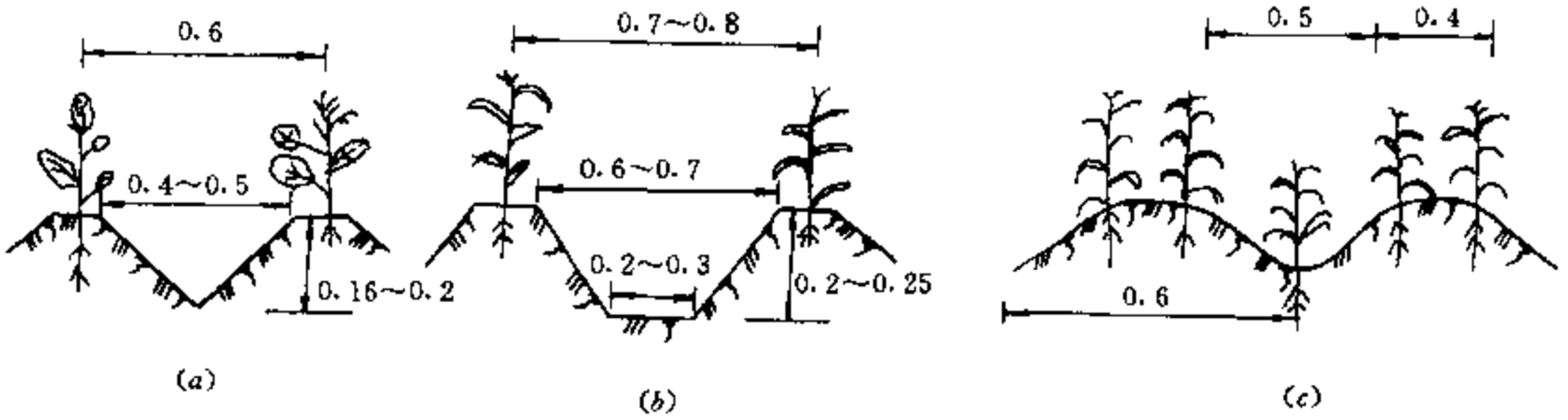


图 4-1　灌水沟灌面图（单位：m）

（a）三角形断面；（b）梯形断面；（c）抛物线形断面

沟长度与输入灌水沟的单沟流量。灌水沟长度与入沟流量都与土壤的透水性能、地形坡度，以及灌水定额和灌水沟的形状等因素有关，而且它们之间也是互相制约的。

封闭沟灌在灌水停止后，其灌水沟中的流动水流，一般有两种情况：①沟中水流除在灌水期间渗入到土壤中的一部分水量外，还在沟中存蓄一部分水量。②沟中水流在灌水期间全部下渗到土壤计划湿润层深度内，灌水停止后，沟内不存蓄水量。

对于第一种情况，封闭灌水沟各灌水要素之间有如下关系。

（1）计划灌水定额应等于在 t 时间内渗入土壤中的水量与灌水停止后在沟中存蓄的水量之和，其计算式为

$$maL = (b_0 h + P_0 \overline{K}_t t)L \tag{4-1}$$

式中：h 为灌水沟中的平均蓄水深度，m；a 为灌水沟的间距，m；m 为灌水定额，m；L 为沟长，m；b_0 为灌水沟中的平均水面宽度；P_0 为在时间 t 内灌水沟的平均有效湿润周长，m；t 为灌水时间（不考虑滞渗），h；$\overline{K}_t$ 为 t 时间内的土壤平均入渗速度，m/s。

（2）封闭灌水沟的沟长与地面坡度及沟中水深的关系，用下述计算式表示：

$$L = \frac{h_2 - h_1}{i} \tag{4-2}$$

式中：h_1 为灌水停止时封闭灌水沟的沟首水深，m；h_2 为灌水停止时封闭灌水沟的沟尾水深，m；L 为沟长，m；i 为灌水沟的坡度。

（3）当灌水沟的沟长与入沟流量已知时，灌水时间与其他灌水要素间的关系为

$$qt = maL \tag{4-3}$$

$$t = \frac{maL}{q} \tag{4-4}$$

式中：q 为灌水沟流量，m^3/s；其余符号意义同前。

对于第二种情况，封闭灌水沟各灌水技术要素之间有如下关系。

（1）在灌水时间 t 内的入渗水量等于计划的灌水定额，即

$$maL = P_0 \overline{K}_t t L = P_0 K_0 t^{(1-\alpha)} L \tag{4-5}$$

所以

$$t = \left(\frac{m}{K_0 P_0}\right)^{1/(1-\alpha)} \tag{4-6}$$

式中：α 为土壤入渗速度递减指数；其余符号意义同式（4-1）。

此处计算的时间 t，实质上是沿灌水沟各点处湿润土壤均匀并达到计划灌水定额所需要的入渗时间，与畦灌同理，若不考虑滞渗时间，则可近似认为是沟口的放水时间，一般不会产生较大的偏差。

(2) 灌水流量与沟长的关系同式 (4-3)，即

$$qt = maL$$

由上述沟灌灌水技术要素之间的关系可以看出，在地面坡度小，土壤透水性能强，土地平整较差时，应使灌水沟长度短一些，入渗流量大一些，以使沿灌水沟湿润土壤均匀，沟首端不发生深层渗漏，沟尾端不产生泄水流失。当地面坡度大，土壤透水性弱，土地平整较好时，应使灌水沟长一些，入沟流量小一些，以保证有足够的湿润时间。根据目前我国各地封闭沟沟灌实践经验，不同土壤、灌水定额和地面坡度等条件下的灌水沟长度见表 4-3。入沟流量一般为 0.5～3.0L/s。为使入沟流量适当，可根据田间毛渠或输水沟的流量大小，调整同时开口放水的灌水沟数目。表 4-4 为河南引黄灌区沟灌技术要素表，可供选用参考。陕西省洛惠渠灌区沟灌试验结果，在轻壤土上，灌水沟坡度为 1/800～1/1000 时，较为适宜的入沟流量，灌水沟长度和灌水定额之间的关系参见表 4-5。

表 4-3　　不同土壤、灌水定额和地面坡度等条件下的灌水沟长度

沟长 (m)　不同土壤的灌水定额 (m^3/亩)　地面坡度	粘壤土			中壤土			轻壤土		
	25	30	35	25	30	35	25	30	35
0.001	30	35	45	20	25	35	20	25	30
0.001～0.003	35	40	60	30	40	55	30	45	50
0.004	50	65	80	45	60	70	45	50	60

表 4-4　　河南省引黄灌区灌水沟长度与灌水流量关系表

土壤透水性	沟底比降	沟长 (m)	灌水沟流量 (L/s)	沟中水深与沟深比
强	0.01～0.004	60～80	0.6～0.9	1/3 以下
	0.004～0.002	40～60	0.7～1.0	2/3 以下
	<0.002	30～40	1.0～1.5	2/3 以下
中	0.01～0.004	80～100	0.4～0.6	1/3 以下
	0.004～0.002	70～90	0.5～0.6	1/3 以下
	<0.002	40～60	0.7～1.0	2/3 以下
弱	0.01～0.004	90～120	0.2～0.4	1/3 以下
	0.004～0.002	80～100	0.4～0.5	1/3 以下
	<0.002	50～80	0.5～0.6	2/3 以下

为保证沿灌水沟长度各点湿润土壤均匀，就必须控制其各点处的土壤入渗时间大致相等，也就是应严格控制沟灌的灌水时间。在沟灌生产实践中，灌水时间的控制方法与畦灌方法相同，即采用及时封沟改水的改水成数的方法。根据沟灌灌水定额，土壤透水性以及灌水沟的纵坡，沟长和入沟流量等条件，改水成数可采用七成、八成或九成封沟改水，或

表 4-5　　入沟流量、沟长和灌水定额的关系

沟长(m) / 入沟流量(L/s) / 灌水定额(m^3/亩)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
40	31.7	28.7	26.4	24.5	23.1	21.8	21.0	20.4	20.0
50	40.0	34.5	28.7	28.7	26.8	25.3	23.9	22.7	21.7
70	42.0	35.8	30.0	30.0	28.3	27.0	26.0	25.3	24.8
100	44.0	37.5	30.8	30.8	29.1	28.5	28.5	28.4	29.0

满沟封口改水等方法。一般地面坡度大，入沟流量大或土壤透水能力小的地区，改水成数应取低值；地面坡度小，入沟流量小，或土壤透水性强的地区，应选取较大的改水成数。

四、实施沟灌应注意的问题

在干旱、半干旱地区的灌区，实施沟灌应特别注意以下 4 个问题。

1. 正确确定开沟时间

灌水沟的开沟时间，对灌溉的实际效果影响很大。开沟过早，会压伤幼苗，损失地墒；开沟过迟，则会因植株过高而使根、茎受损伤，或土壤过于干燥影响开沟质量。灌水沟的开沟时间可结合中耕、施肥、培垄进行。适宜的开沟时间，据陕西省灌区经验，玉米苗高 0.5m 左右（约 7 月上旬至 7 月下旬），棉花在现蕾初期（6 月中旬至 7 月上旬），苗高 25cm 左右，马铃薯苗高 20cm 左右，抢时趁墒开沟培垄最为适宜。表层土壤湿度以 16%～18%（占干土重的百分数，约为田间持水量的 70%）左右为最好。由于开沟具有强烈的时间性，这时农事活动又较繁忙，必须注意改进开沟工具，提高开沟效率。开沟后一定要进行整沟，使其通畅不挡水，以避免灌水时发生串沟或漫沟。

2. 留足行距，保证开沟质量

为保证沟灌质量，作物行距要留足，灌水沟开沟深度不可太浅，这样才能达到垄大、沟深，容水多，不串沟，不漫溢，板结少，又耐旱，见图 4-4。

3. 认真组织实施沟灌

实施沟灌灌水时，当各输水沟流量调整均匀后，可按两人一组，划分灌水地段。一人在沟口负责调整各分水沟或灌水沟的流量，一人随水头进入田间看水。看水时，尚可进行中间调剂。水流快的调剂慢的沟；流量大的调剂流量小的沟；遇有特殊地形如坟墓或洼地，尚可开沟绕流，使洼地不积水，高地不阻流。

对于不同沟形，应采取不同的引灌方法。直形沟和锁缝沟灌水时，水流通过输水沟，由下而上，循序放入灌水沟。灌水沟的水深一般控制在沟深的 1/2～1/5，以免过大产生漫沟现象。方形沟灌水时，水流通过输水沟，左右开灌，也可以先灌一列，然后再灌另一列，一般在沟内水面距沟顶 3～4cm 时，停止供水。田字形沟，先不开上游沟口，由下而上，逐沟灌溉。沟中水流流至沟尾，在沟中蓄积水量占沟深 4/5 时，停止供水。冬灌时，当田字沟水流聚满，使田面稍见明水后，停止供水，以达到土壤冻消作用。

4. 抓紧灌后中耕、蓄水保墒

由于灌后中耕可以破除板结、疏松土壤、流通空气、保蓄水分，所以灌后中耕对保墒

具有非常显著的作用。据测验，在灌水量相同的情况下，中耕比不中耕可延长耐旱时间 2～4 天。

第二节 涌 流 灌 溉

涌流灌溉，是对地面沟、畦灌水方法的重大发展，又称波涌灌溉或间歇灌溉。涌流灌溉是把灌溉水断续地按一定周期向灌水沟（畦）供水，逐段湿润土壤，直到水流推进到灌水沟（畦）末端为止的一种节水型地面灌溉新技术。也就是说，涌流灌溉与传统的地面沟（畦）灌不同，它向灌水沟（畦）供水不是连续的，其灌溉水流也不是一次灌水就推进到灌水沟（畦）末端；而是灌溉水在第一次供水输入灌水沟（畦）达一定距离后，暂停供水，然后过一定时间后，再继续供水，如此分几次间歇反复地向灌水沟（畦）供水的地面灌水技术。

涌流灌溉是 70 年代末期由美国犹他州大学提出，随后主要对涌流沟灌进行了大量的试验研究，美国从 1986 年开始推广应用这一灌溉新技术。我国从 1986 年开始，西安理工大学水资源研究所、水利水电科学研究院水利所、水利部农田灌溉研究所等单位对涌流灌理论与技术进行了不同程度的试验研究，取得了很多有价值的研究成果。根据美国近十年的实践和我国有关研究单位在河南商丘，人民胜利渠灌区以及陕西泾、洛、渭等灌区的试验研究表明，涌流灌溉的灌水效果与节水效益主要与土壤质地、田面耕作状况、灌前土壤结构，以及灌水次数等有关。涌流灌溉较传统地面沟（畦）灌灌水方法具有灌水均匀，灌水质量高，田面水流推进速度快，省水、节能和保肥等优点，另外还具有容易实行小定额灌溉和自动控制等特点。特别适宜在我国旱作物灌区农田地面灌溉推广应用。

一、涌流灌溉的灌水方式及系统

（一）涌流灌溉的灌水方式

目前，涌流灌溉的田间灌水方式主要有以下三种。

(1) 定时段—变流程方式也称时间灌水方式。这种田间灌水方式是在灌水的全过程中，每个灌水周期（一个供水时间和一个停水时间构成一个灌水周期）的放水流量和放水时间一定，而每个灌水周期的水流推进长度则不相同。这种方式对灌水沟（畦）长度小于 400m 的情况很有效，需要的自动控制装置比较简单、操作方便，而且在灌水过程中也很容易控制。因此，目前在实际灌溉中，涌流灌溉多采用此种方式。

(2) 定流程—变时段方式也称距离灌水方式。这种田间灌水方式是，每个灌水周期的水流新推进的长度和放水流量相同，而每个灌水周期的放水时间不相等。一般，这种灌水方式比定时段—变流程方式的灌水效果要好，尤其是对灌水沟(畦)长度大于 400m 的情况，灌水效果更佳。但是，这种灌水方式不容易控制，劳动强度大，灌水设备也相对比较复杂。

(3) 定流程—变流量方式也称增量灌水方式。这种灌水方式是以调整控制灌水流量来达到较高灌水质量的一种灌水方式。这种方式是在第一个灌水周期内增大流量，使水流快速推进到灌水沟（畦）总长度的 3/4 的位置处停止供水。然后在随后的几个灌水周期中，再按定时段—变流程方式或定流程—变时段方式，以较小的流量来满足计划灌水定额的要求。主要适用于土壤透水性能较强的条件。

（二）涌流灌溉的田间灌水系统

涌流灌溉需要向灌水沟（畦）间歇性地交替放水和停水，这可以通过人工控制或自动控制实现。但是，若用人工对灌水沟（畦）进行反复地封口、改口和开口，灌水工作人员的劳动强度是非常繁重的，而且很不容易按设计计划控制封口、改口和开口的时间及其流量，因此，涌流灌溉应尽可能配备自动化程度较高的专用控制装置和带阀门的管道。

长期以来，在美国对于地面灌溉自动化一直认为是一个重要问题，并不断地进行试验研究和实践，而其中对于涌流灌溉灌水方式，则正是作为一种实现地面灌溉自动化管理方面的新方法、新技术提出来的。当前，美国商品化的涌流灌溉田间灌水系统，基本上有两类。它们只局限应用于涌流沟灌。

1. “双管”涌流灌溉田间灌水系统

“双管”田间灌水系统（见图 4-5），一般通过埋于地下的暗管管道把水输送到田间，再通过竖管和阀门与地面上带有阀门的管道相连。这种阀门可以自动地在两组管道间开关水流，故称“双管”。通过交替控制两组间的水流就可以实现间歇供水。当这两组灌水沟结束灌水后，灌水工作人员可将全部水流引到另一放水竖管处，进行下一组涌流灌水沟的灌水。

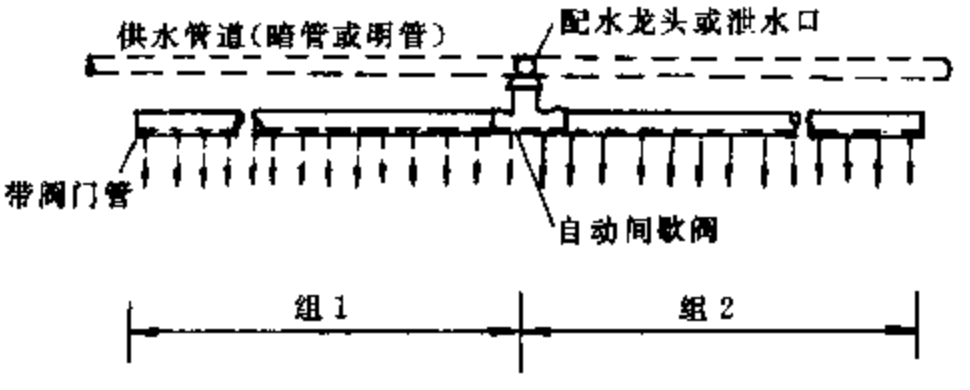


图 4-5　沟灌双管涌流灌溉系统示意图

2. “单管”涌流灌溉田间灌水系统

“单管”田间灌水系统（图 4-6）通常是由一条单独带阀门的管道与供水处相连接（故称“单管”），管道上的各个出水口则通过低水压、低气压或电子阀控制，而这些阀门均以一字形排列，并由一个控制器控制这个系统。

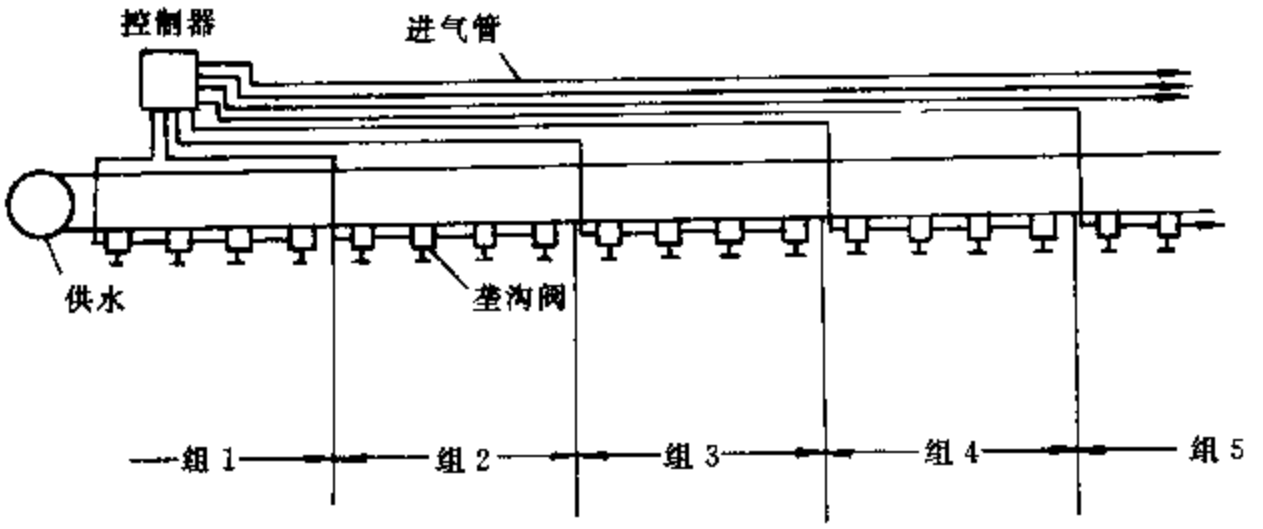


图 4-6　单管涌流灌溉系统示意图

二、涌流灌溉灌水技术

涌流灌溉可以划分为涌流沟灌和涌流畦灌两类。它们与传统的连续沟、畦灌的最主要区别就在于，在一次灌水过程中包含有几个供水和停水阶段。

涌流沟（畦）灌灌水技术要素主要有四项：①单沟或单宽放水流量。②周期放水时间。③灌水周期数。④循环率等。

涌流沟、畦灌的一个放水和停水过程就构成为一个灌水周期。周期放水时间与停水时间之和称为周期时间；而放水时间与周期时间之比则称为循环率。完成涌流沟、畦灌灌水全过程所需要的放水和停水过程的次数称为周期数。

涌流灌溉灌水技术要素是影响涌流灌溉灌水效果的重要参数，一般应通过灌水试验或参考类似条件下的实践经验确定，若无上述资料，也可应用理论分析方法或经验分析方法确定。

陕西省泾惠渠灌区涌流畦灌的实施方案如下：

以涌流灌节水率大、灌水质量高和灌水管理方便为原则，根据大田间歇入渗和涌流畦灌灌水试验研究成果，结合泾惠渠灌区水源、田间条件等实际情况，考虑涌流畦灌技术要素的最佳组合，确定的涌流畦灌灌水实施方案见表 4-6 和表 4-7。在 1992～1993 年两年中，依照提出的涌流畦灌灌水实施方案，在陕西省泾惠渠灌区进行了涌流畦灌灌水技术的示范推广，它较同条件下的连续畦灌平均节水 21%，并提高了灌水质量，收到了良好的灌水效果，深受群众欢迎。

表 4-6　泾惠渠灌区涌流畦灌灌水实施方案

（适宜作物头水灌溉）

畦长（m）	坡　降（‰）	单宽流量［L/（s·m）］	周期数	循环率
160（左右）	2 左右	10～12	2	1/2
	3～4	8～10	2	1/2 或 1/3
	5 左右	4～8	2	1/3
240（左右）	2 左右	12～14	3	1/3
	3～4	10～13	3	1/2 或 1/3
	5 左右	6～10	3	1/2
320（左右）	2 左右	12～14	3 或 4	1/3
	3～4	10～12	3	1/2 或 1/3
	5 左右	8～10	3	1/2

注　本表适用于清水涌流畦灌，对浑水涌流畦灌可供参考。

表 4-7　泾惠渠灌区涌流畦灌灌水实施方案

（适宜作物非头水灌溉）

畦长（m）	坡　降（‰）	单宽流量［L/（s·m）］	周期数	循环率
160（左右）	2 左右	6～8	2	1/3
	3～4	4～6	2	1/2 或 1/3
	5 左右	3～5	2	1/2
240（左右）	2 左右	8～10	3	1/3
	3～4	6～8	3	1/2 或 1/3
	5 左右	4～6	3	1/2
320（左右）	2 左右	10～12	3 或 4	1/3
	3～4	8～10	3	1/2 或 1/3
	5 左右	6～8	3	1/2

注　本表适用于清水涌流畦灌，对浑水涌流畦灌可供参考。

第三节　节水型沟灌技术

目前，我国北方灌区实施沟灌的主要问题是，不严格按沟灌灌水技术要求灌水，采用

大水沟漫灌，浪费水十分严重。节水的沟灌灌水技术主要有以下几种。

1. 封闭式直形沟沟灌技术（图 4-7）

封闭式直形沟沟灌主要适用于土壤透水性较强、地面坡度较小的地块。一般封闭沟沟距约 0.6～0.7m，沟深约 0.15～0.25m，沟长为 30～50m。当地面坡度为 1/400～1/1000 时，单沟流量一般为 0.5～1.0L/s，灌水定额为 20～40m³/亩。灌水时，将 3～5 条灌水沟划为一组，由两人看管。一人在灌水沟首负责调剂入沟流量、巡护渠道和改灌水沟沟口，另一人随水流疏通灌水沟，掌握各沟水流进度。

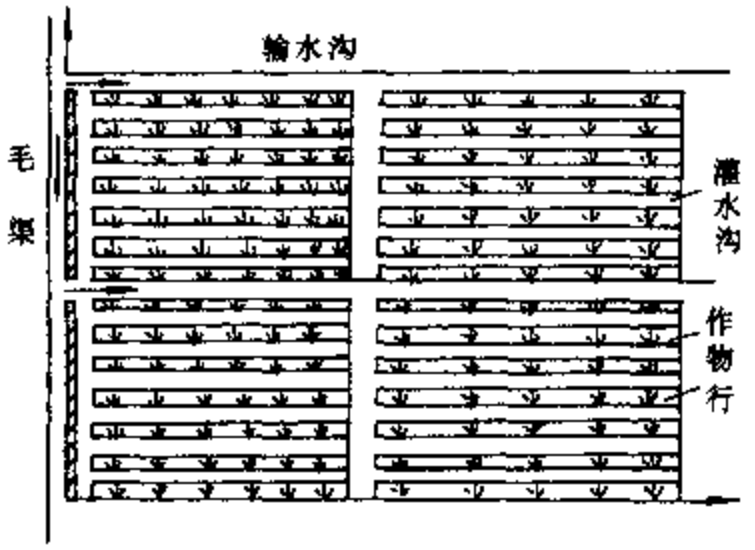


图 4-7 直形沟

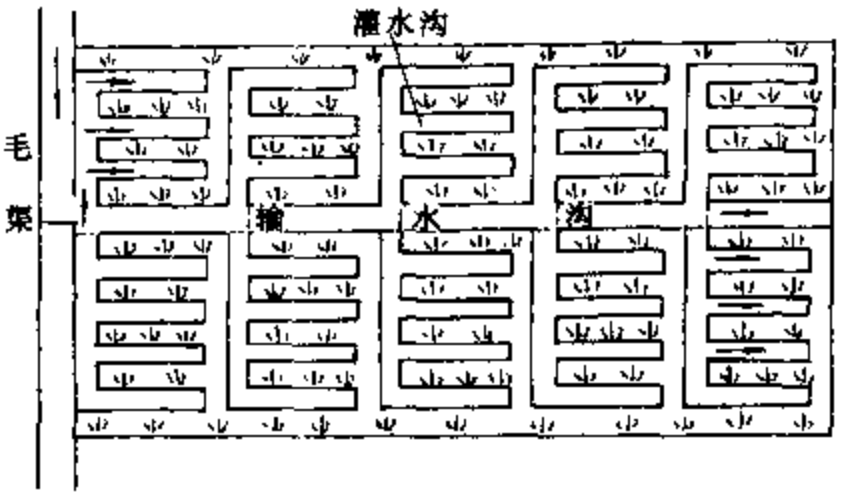


图 4-8 方形沟

2. 方形沟沟灌技术（图 4-8）

方形沟沟灌主要适用于地形较复杂，地面坡度较陡（1/50～1/200）的地段。灌水沟长一般约 2～10m，地面坡度陡时宜短，坡缓时宜长。每 5～10 条灌水沟为一组，组间留一条沟作为输水沟，就成为一个方形沟组。灌水时，从输水沟下段第一方形组开口，由下而上浇灌。第二次灌水时，仍利用原渠口由上而下浇灌。方形沟沟灌需要通过掌握沟内蓄水深度来控制灌水定额。一般沟中水深蓄到 10～13cm 时，灌水定额可达 40m³/亩。

3. 锁链沟沟灌技术（图 4-9）

锁链沟沟灌主要适用于地面坡度 1/200～1/600，土壤透水性较弱的地块。锁链沟可以延长水在沟中的入渗时间，提高灌水均匀度，适当加大灌水定额，以增强抗旱、防风、抗倒伏能力。

4. 八字沟沟灌技术（图 4-10）

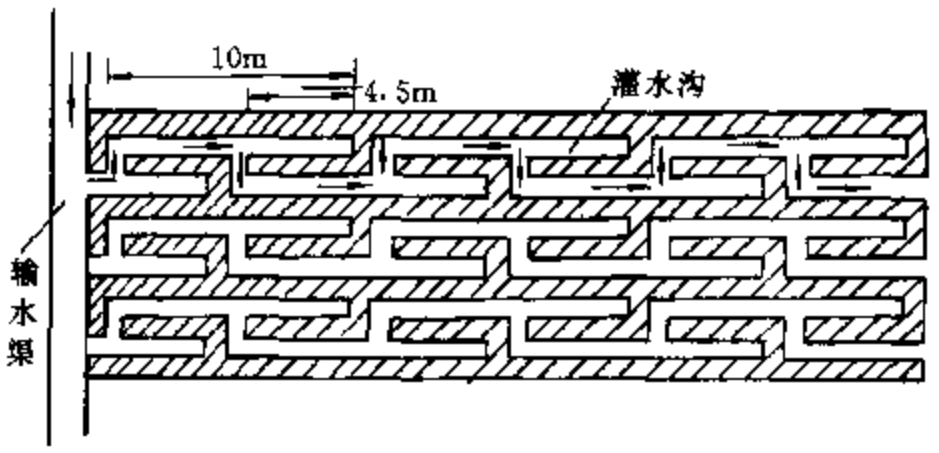


图 4-9 锁链沟

八字沟沟灌由输水沟或者分水沟引水，经引水短沟(长 1.0～1.5m)，然后分水到灌水沟内。每一八字沟，可以控制 5～9 条灌水沟。八字沟向灌水沟灌水时应先远后近，待两侧灌水沟流到 1/3 沟长后，再向中间灌水沟灌水，这样就可以较好地控制入沟水量，克服各沟进水不均匀的缺点。八字沟适用于地形较复杂的地块。

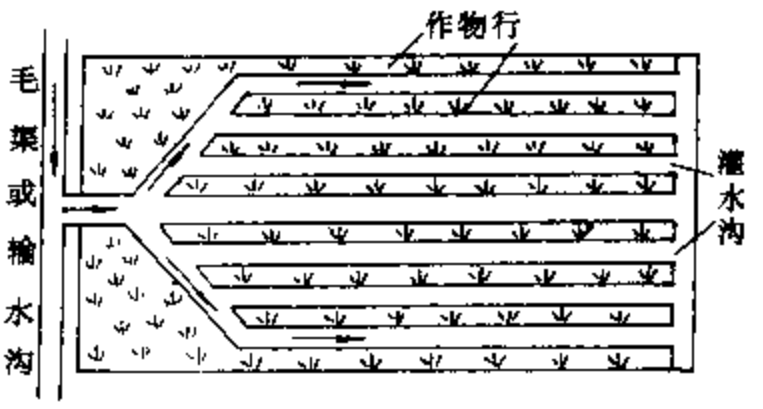


图 4-10　八字形沟

5. 细流沟灌技术

细流沟灌是用短管(或虹吸管)或从输水沟上开一小口引水。流量较小，单沟流量为 0.1～0.3L/s。灌水沟内水深一般不超过沟深的1/2，大约为 1/5～2/5 沟深。因此，细流沟灌在灌水过程中，水流在灌水沟内，边流动边下渗，直到全部灌溉水量均渗入土壤计划湿润层内为止，一般放水停止后在沟内不会形成积水，故属于在灌水沟内不存蓄水的封闭沟类型。

细流沟灌的优点是：①由于沟内水浅，流动缓慢，主要借毛细管作用浸润土壤，水流受重力作用湿润土壤的范围小，所以对保持土壤结构有利。②可减少地面蒸发量，比灌水沟内存蓄水的封闭沟沟灌蒸发损失量减少 2/3～3/4。③可使土壤表层温度比存蓄水的封闭沟灌提高 2℃左右。④湿润土层均匀，而且深度大，保墒时间长。

细流沟灌的形式一般有如下三种。

(1) 垄植沟灌，如图 4-11 (*a*)。作物顺地面最大坡度方向播种，第一次灌水前在行间开沟，作物种植在垄背上。

(2) 沟植沟灌，如图 4-11 (*b*)。灌水前先开沟，并在沟底播种作物（播种中耕作物一行，密植作物三行)，其沟底宽度应根据作物的行数而定。沟植沟灌最适用于风大，冬季不积雪，而又有冻害的地区。

(3) 混植沟灌，如图 4-11 (*c*)。在垄背及灌水沟内都种植作物。这种形式不仅适用于中耕作物，也适用于密植作物。

细流沟灌灌水技术要素的选用：①入沟流量控制在 0.2～0.4L/s 为最适宜；大于 0.5L/s时沟内将产生严重冲刷，湿润均匀度差。②沟长：中、轻壤土，地面坡度在 0.01～0.02 时，一般控制在 60～120m。③沟宽、沟深和间距：灌水沟在灌水前开挖，以免损伤禾苗，沟断面宜小，一般沟底底宽为 12～13cm，上口宽为 25～30cm，深度约 8～10cm，间距 60cm。④放水时间：细流沟灌主要借毛细管力下渗，对于中壤土和轻壤土，一般采用十成改水；土壤透水性差的土壤，可以允许在沟尾稍有泄水。

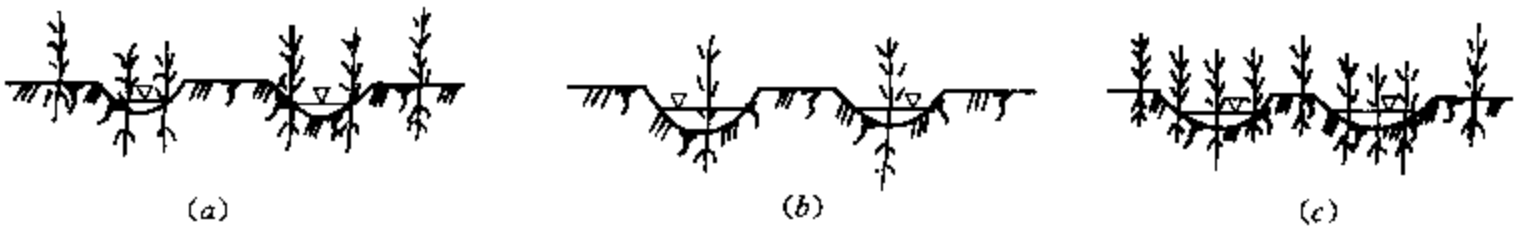


图 4-11　细流沟灌形式

(*a*) 垄植沟灌；(*b*) 沟植沟灌；(*c*) 混植沟灌

6. 沟垄灌灌水技术

沟垄灌灌水技术（图 4-12），是在播种前，根据作物行距的要求，先在田块上按两行作物形成一个沟垄，在垄上种植两行作物，则垄间就形成灌水沟，留作灌水使用。因此，其湿润作物根系区土壤的方式主要是靠灌水沟内的旁侧土壤毛细管作用渗透湿润。

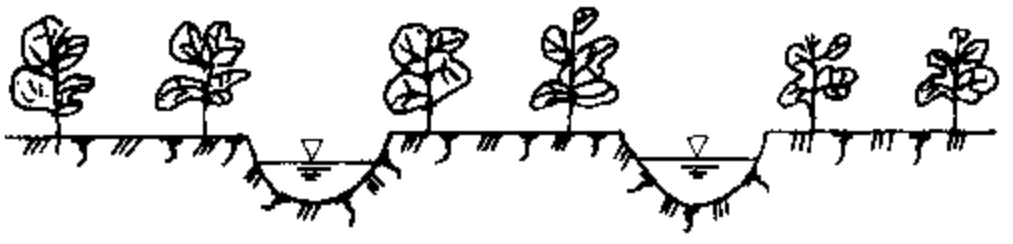


图 4-12　沟垄灌

沟垄灌方法，一般多适用于棉花、马铃薯等薯类作物或宽窄行相间种植作物，是一种既可以抗旱又能防渍涝的节水沟灌方法。

这种方法的主要优点：①灌水沟垄部位的土壤疏松，土壤通气状况好，土壤保持水分的时间持久，有利于抗御干旱。②作物根系区土壤温度较高。③灌水沟垄部位土壤水分过多时，尚可以通过沟侧土壤向外排水，从而不致使土壤和作物发生渍涝危害。

主要缺点是，修筑沟垄比较费工，沟垄部位蒸发面大，容易跑墒。

7. 沟畦灌灌水技术（图 4-13）

沟畦灌类似于畦灌中宽浅式畦沟结合的灌水方法。这种沟畦灌是以三行作物为一个单元，把每三行作物中的中行作物行间部位处的土壤，向两侧的两行作物根部培土，形成土垄，而中行作物只对单株作物根部周围培土，行间就形成浅沟，留作灌水时使用。

沟畦灌方法大多用于灌溉玉米作物。它的主要优点是，培土行间以旁侧入渗方式湿润作物根系区土壤，根部土壤疏松，湿润土壤均匀，土壤通气性好。

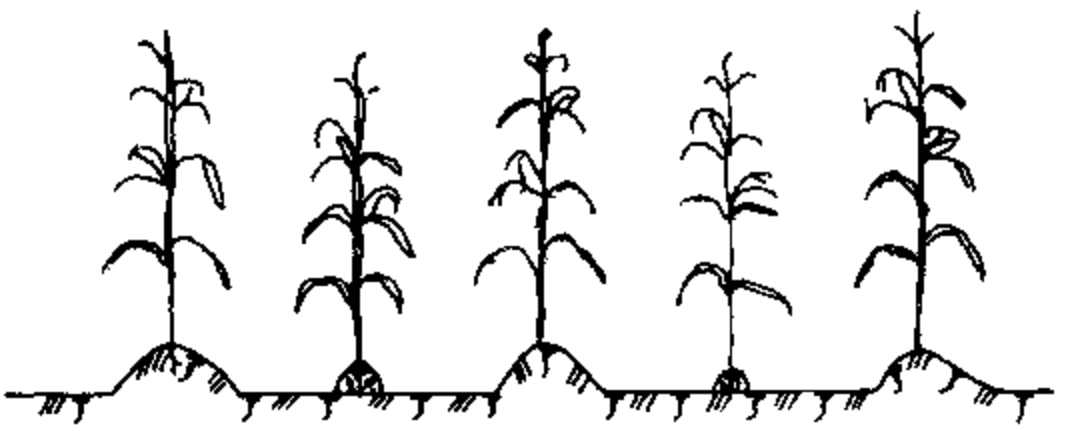


图 4-13　沟畦灌

8. 播种沟灌水技术

播种沟沟灌主要适用于沟播作物播种缺墒时灌水使用。当在作物播种期遭遇干旱时，为了抢时播种促使种子发芽，保证出苗齐，出苗壮，而采用的一种沟灌灌水技术。

播种沟沟灌的具体技术是，依据作物计划的行距要求，犁第一犁开沟时随即播种下籽；犁第二沟时作为灌水沟，并将第二犁翻起来的土正好覆盖住第一犁沟内播下的种子，同时立即向该沟内灌水；之后，依此类推，直至全部地块播种结束为止。

这种沟灌方法，种子沟土壤所需要的水分是靠灌水沟内的水通过旁侧渗透浸润得到的。

因此，可以使各播种种子沟土壤不会产生板结，土壤通气性良好，土壤疏松，非常有利于作物种子发芽和出苗。播种种子沟可以采取先播种，之后再灌水；或随播种随灌水等方式，以不延误播种期，并为争取适时早播提供方便条件。

9. 沟浸灌田字形沟灌水技术（图 4-14）

沟浸灌田字形沟灌，是水稻田地区在水稻收割后种植旱作物的一种灌水方法。由于采用有水层长期淹灌的稻田，其耕作层下，通常都形成有透水性较弱的密实土壤层（犁底层），这对旱作物生长期间，排除因降雨或灌溉所产生的田面积水或过多的土壤水分是不利的。据经验总结和试验资料，采用这种沟灌方法可以同时起到旱灌涝排的双重作用，小麦沟浸灌比格田淹灌可以节水 31.2%，增产 5.0%左右。

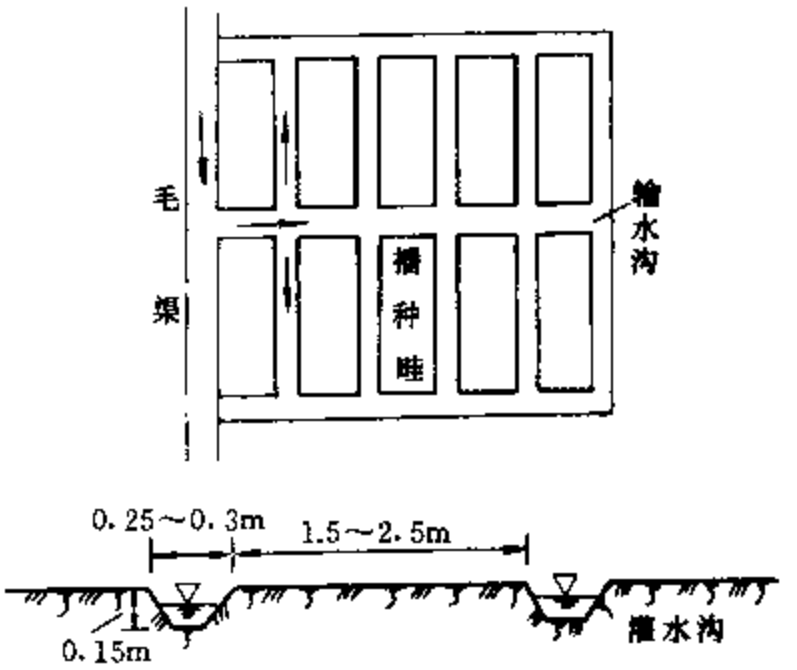


图 4-14　沟浸灌田字形沟

10. 隔沟灌技术

采用隔沟灌灌水时，不是向所有灌水沟都放水，而是对灌水沟实施间隔放水，一般多采用间隔一条灌水沟灌一条灌水沟的方法。这种方法主要适用于作物需水少的生长阶段，或地下水位较高的地区，以及宽窄行作物。通常宽行间的灌水沟实施灌水，而窄行间的沟则不进行灌水。

近年来，为减少作物植株间的土壤蒸发和控制作物根系的生长，对宽行作物采取控制隔沟灌灌水。这种隔沟灌水方法是在作物某个时期只对某些灌水沟实施灌水，而在另一个时期，则对其相邻的灌水沟灌水。这样，由于作物根系的向水性，可以用这种控制隔沟灌水方法来控制作物根系的生长，同时也达到了节水的目的。

第四节　果园地面灌溉

果树的一切生命活动都与水有密切的关系。不仅在果树的整个营养生长时期，需要有足够的水分供应，就是在休眠时期，也需要有一定的水分供应。无论何种类型和特点的果园，合理地进行及时而适量的灌溉，是果园管理中极为重要的一项措施。果园灌溉可以促进果树生长健壮，结果早，高产稳产，品质优良。

果园灌溉，不仅影响果树当年的生长结果状况，而且也会影响来年的果树生长结果状况，甚至还会影响果树的寿命。因此，对果园必须进行合理的灌溉。

一、果树灌溉制度

果树灌溉制度与大田农作物的灌溉制度相同，同样都由灌水时间、灌水次数、灌水定额和灌溉定额四个部分组成。果树的灌溉制度随果树的种类、品种和种植地区不同而有很大的差异，必须针对具体的果树种类和品种，以及种植地区的自然条件，正确地制定。

1. 果树灌水时间的确定

正确的果树灌水时间，应在果树未受到缺水影响以前就进行灌溉，而不要等到果树已从形态上显露出缺水时。例如果实出现皱缩，叶片发生卷曲等才进行灌溉，此时，已对果树的生长和结果造成不可弥补的损失。

确定果树灌水时间的主要根据，是果树在生长期内各个物候期的需水要求及当时的土壤含水率。一般认为，在果树生长期的前半期，应供水充足，以利生长发育和结果；在果树生长期的后半期，要适当控制水分，以使果树停止生长．适时进入休眠期，作好越冬准备。根据各地的气候特点和果树各个物候期的需水特征，一般可把果树的适宜灌水时间概括为以下 4 个主要灌水时期：

（1）花前水，又称催芽水。在果树发芽前后到开花前期，若土壤中有充足的水分，将会加强新梢的生长，加大叶片面积，增强光合作用，并使开花和座果正常，为当年丰产打下基础。因此，春旱地区，花前灌水将是促进果树萌芽、开花、新梢叶片生长，以及提高座果率的有效措施，一般可在萌芽前后进行灌水，但以提前尽早灌水效果更好。

（2）花后水，又称催梢水。果树新梢生长和幼果膨大期是果树的需水临界期，此时期果树的生理机能最旺盛。若土壤水分不足，果树叶片因强烈蒸腾，而吸收幼果水分，甚至吸收根部水分，致使幼果皱缩和脱落，以及影响根的吸收作用正常进行，果树生长减弱，产量显著下降。因此，这一时期若遇干旱，应及时进行灌溉，其对加强新梢迅速生长，提高座果率，并促使幼果膨大有显著作用，是保证果树高产稳产的关键水，一般可在落花后 15 天至生理落果前进行灌水。在南方多雨地区，此时期正值梅雨季节，应特别注意果园的排水工作。

（3）花芽分化水，又称成花保果水。就多数主要落叶果树而言，此时正值果实迅速膨大期及花芽大量分化期，应及时灌水。这样既可以满足果实肥大对水分的要求，保证提高当年产量，又能促进花芽健壮分化，形成大量有效花芽，为来年丰产创造条件。

（4）休眠期灌水，即冬灌。一般在土壤结冰前进行冬灌，可起到防旱御寒作用，以保证果树安全越冬，且有利于花芽发育，并在土壤中储足水分，促使肥料分解，有利于果树次年春天生长。我国北方地区，冬春比较干旱，更有必要进行冬灌。

2. 果树灌水次数及灌水定额的确定

果树在各个物候期内的灌水次数主要取决于各个时期的降水量和土壤内的水分状况。在一般年份的上述各个灌水时期通常需各灌水一次，即可满足果树该时期的需水要求。但是，若果园内土壤含水量降低到田间持水量的 50%时，则必须及时进行灌水。

果树的灌水定额依果树的种类、品种和砧木特性，树龄大小，以及土质、气候条件而有不同。耐旱树种，如红枣、板栗等及砧木对水分要求较低的树种，灌水定额可以小一些。耐旱性较差的树种，如葡萄、苹果、梨等，灌水定额应大一些。砂地果园，保水力差，宜采用小水勤灌，以免水分和养分流失。幼树少灌水，结果果树可多灌水。盐碱地果园灌水应注意地下水位上升，以防止返盐、返碱。一般成年果树一次最适宜的灌水量，应以水分完全湿润果树根系范围内的土层为原则。灌水定额的计算方法与大田农作物灌水定额的计算方法完全相同，但土壤计划湿润层深度一般应采用 1.0m。若果园内还套种有中耕作物和绿肥作物，其灌水定额应增加 30%～50%，若种植牧草，需多灌约 75%～100%的水量。果园适宜灌水量应使土壤含水量达到田间持水量的 60%～80%为宜。

二、果园地面灌水技术

在果园有条件时应尽量采用喷灌、微灌等先进灌水方法。但目前我国绝大多数果园仍以采用地面灌溉为主要灌水方法。果园地面灌水方法大致有以下几种。

(1) 坑灌。在每棵果树树干周围的地上，用土埂围成圆形或方形坑，由输水沟或输水管道引水入坑的灌水方法，称坑灌。坑灌方法简单，但土壤水分仅分布在果树主根附近，根群部分水量较少，从而缩小了果树根系吸水的范围，并会影响机械耕作，土壤易板结，以及还有灌水效率不高等缺点。坑灌又称盘灌，见图 4-15 (*a*)。

(2) 分区（格田）灌。在果树间筑土埂，埂高一般约 15～20cm，把果园划分成许多长方形或正方形的小区，由输水沟向各小区供水灌溉的方法，称分区灌。一般一棵树为一个独立的小区。这种灌水方法能使灌溉水充分与果树根系相接触，整个根系受水均匀。但其主要缺点是，破坏土壤结构，使土壤表面板结，需培筑许多纵横土埂，既费劳力又妨碍机械化耕作。

(3) 环灌。修筑直径为树冠直径 2/3～3/4 并带有土埂的环形沟，由输水沟向环形沟供水灌溉的方法，称环灌。环灌湿润土壤的范围较小，主要湿润果树根系群部分的土壤，因此灌水量较小，用水较经济。此外，环灌对土壤结构的破坏也较少，但对机械化耕作仍有一定妨碍。环灌多应用于幼龄果树，是一种较好的果园节水地面灌水方法。环灌见图 4-15 (*b*)。

(4) 沟灌（图 4-16）。沟灌是果园地面灌溉中较为合理的灌水方法。沟灌是在整个果园的果树行间开灌水沟，由输水沟或输水管道供水灌溉。灌水沟的间距，视土壤类型及其透水性而定。一般易透水的轻质土壤，沟距为 60～70cm；有结构的中壤土和轻壤土，沟距为 80～90cm；粘重土壤上的沟距为 100～120cm。距离果树树干最近的灌水沟，在幼龄果园内为 50～80cm；结果果园的距离为 100～150cm。一般密植果园可在每一果树行间开一条灌水沟即可。稀植果园，若为粘重土壤，可在每行果树间每隔 100～150cm 开一条灌水沟；若为轻质土壤则每隔 75～100cm 开一条灌水沟。灌溉结束，可以将灌水沟填平。灌水沟的深度取决于灌水沟距果树树干的远近而定，距离树干远的灌水沟应深些，离树干近的灌水沟应浅些。一般灌水沟深约 20～25cm，近树干的灌水沟沟深约 12～15cm。灌水沟的单沟流量通常为 0.5～1.0L/s。沟的比降应不致使灌水沟遭受冲刷。在坡度较陡的地区，灌水沟可接近平行于等高线布置。灌水沟的长度，在土层厚、土质均匀的果园，可达 130～150m；若土层浅、土质不均匀，沟长不宜大于 90m。

灌水沟除在果树行间开挖封闭式纵向深沟外，也可由纵沟分出许多封闭式的横向短沟，以布满树根所分布的面积上。短沟长度：3～5 年的果树为 3～4m；5～6 年的果树为 4～6m。短沟沟距一般为 1.0m，沟深约 15～20cm，距树干最近的沟应离树干 50cm 以上。灌水沟还可以采用弯曲形沟布置形式，见图 4-16。

沟灌的主要优点是，湿润土壤均匀，灌溉水量损失小，可以减少土壤板结和对土壤结构的破坏，土壤通气良好，并方便机械化耕作。因此，沟灌是果园较合理而又节水的一种地面灌水方法。

我国南方雨水较多，一般平地果园均需开挖排水沟，以利果园排水。但在干旱时也可利用此类排水沟，进行蓄水浸灌，而无需再另开挖灌水沟。“一沟”灌排两用，既节水又少

占地，增产效果很显著。

（5）穴灌。在树冠下挖穴，向穴内灌水的方法，称穴灌。开挖穴数随树冠大小而增减，一般采用 10 个左右。穴深一般 60～80cm，直径约 30cm，多采用于山丘地区。

通常，在山区丘陵地区或水土流失严重地区建设的果园，都应结合水土保持措施，如鱼鳞坑、等高沟埂、水平梯田等规划布置灌溉沟渠或小型灌溉蓄水设施。

近年来，在果园中广泛推广采用塑料穿孔灌水管道与地面灌水方法相结合的灌水方法，可显著提高灌水效率和灌溉水有效利用率及灌水质量。

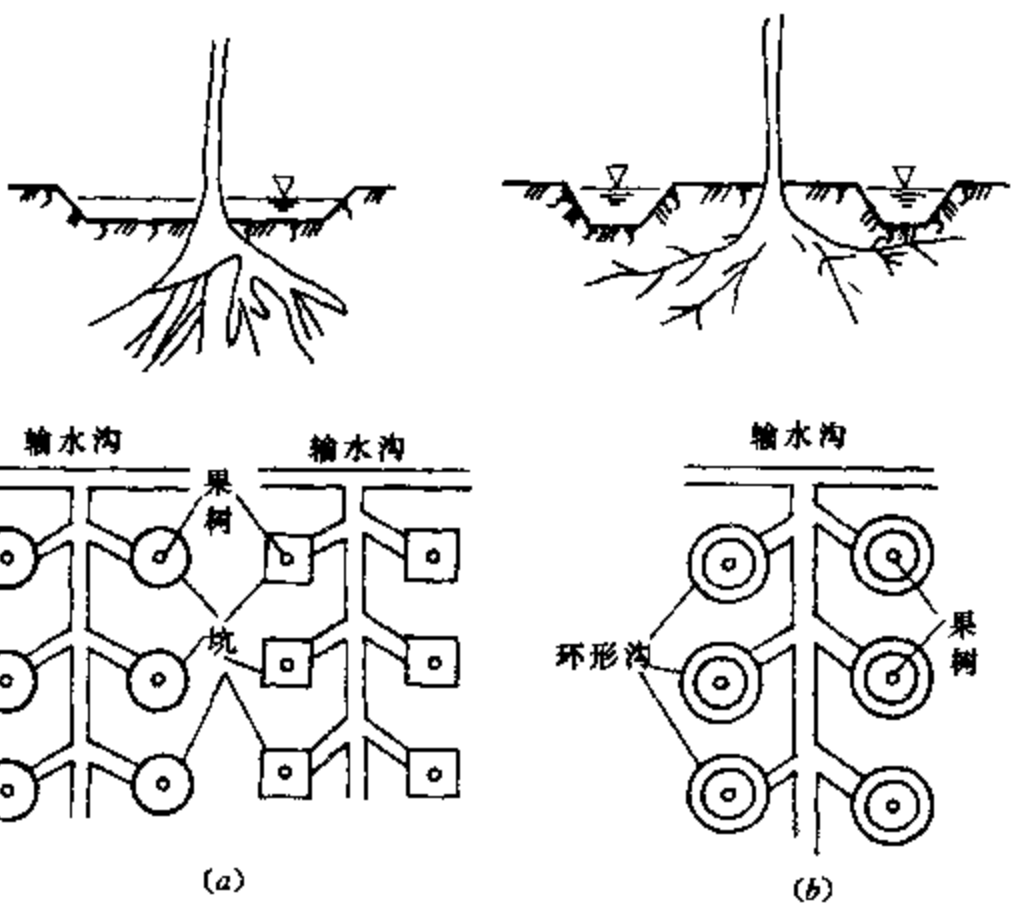


图 4-15　果树盘灌及环灌

（a）盘灌；（b）环灌

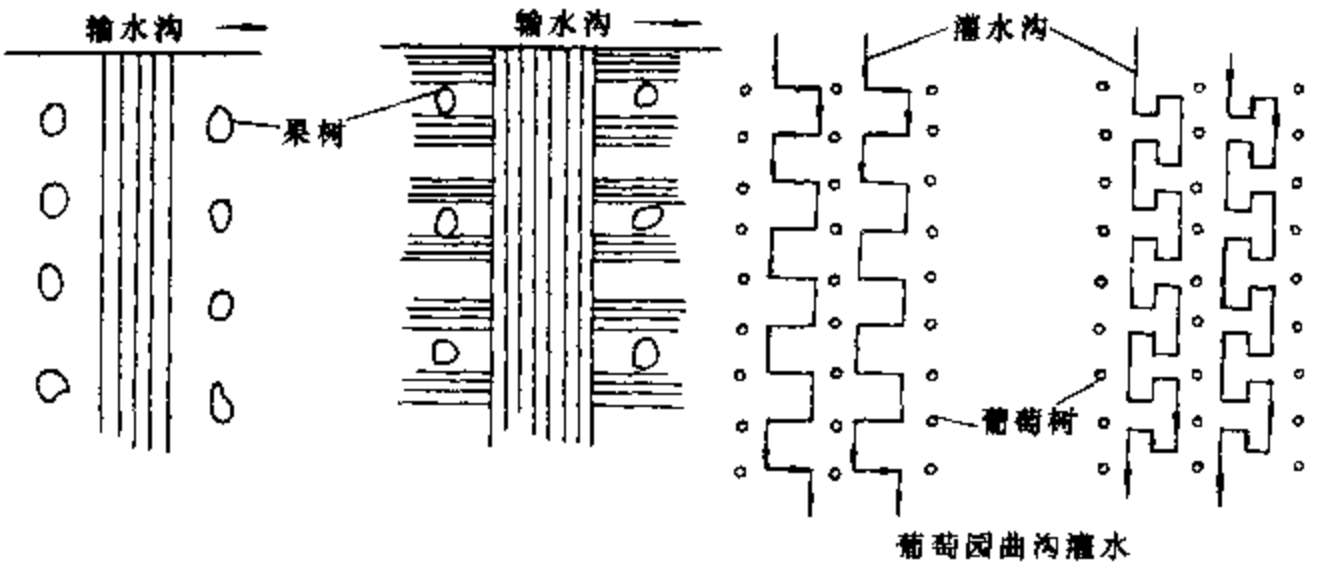


图 4-16　果树沟灌

第五章　地膜覆盖灌水技术

地膜覆盖灌水，是在地膜覆盖栽培技术基础上，结合传统地面灌水沟、畦灌溉所发展的新式节水型灌水技术。

利用塑料薄膜覆盖作物的栽培技术（简称地膜栽培技术），最早起始于1955年的日本，到1976年已在日本全国推广应用面积达20万hm^2。法国于1956年开始示范推广采用，到1976年已达0.35万hm^2。美国、意大利等国也都相继采用了这项技术，我国则于1979年由日本引进，现已在我国北方大面积推广应用。尤其在干旱地区的棉花、瓜果和蔬菜等经济作物的种植，都基本采用了地膜覆盖栽培技术，例如新疆地膜栽培面积已超过100万hm^2（1500万亩），其中棉花约占70万hm^2（1050万亩）。

新疆在20世纪80年代初引进地膜覆盖栽培技术后，近十年来又在地膜覆盖栽培的基础上，研究发明了新的地膜覆盖灌水方法，它包括膜侧、膜上和膜下等三类灌水方法。其中膜上灌，也称膜孔灌溉，是在膜侧灌溉的基础上，改垄背铺膜为沟（畦）中铺膜，使灌溉水流在膜上流动，通过作物放苗孔或专用灌水孔渗入到作物根部的土壤中。膜孔灌的形式由1987年的扶埂膜上灌，发展到现在的膜孔沟灌、膜孔畦灌、宽膜膜孔畦灌，以及膜孔畦格田灌、膜缝灌和喷灌膜孔灌等多种形式。正是由于膜上灌溉的蓬勃发展，覆膜宽度由70cm窄膜发展到现在的180cm宽膜，田间地膜覆盖率由60%上升到90%。目前新疆膜上灌灌溉面积已发展到20万hm^2（300万亩），而膜孔灌的作物已由棉花发展到玉米、瓜菜、甜菜、啤酒花、小麦、高粱和葡萄等十多种作物，地区也由新疆发展到北方的甘肃、宁夏、河南、河北等地。

第一节　地膜覆盖灌水的类型及其特征

各种类型的地膜覆盖灌水方法都有它各自的特征和使用范围。

一、揭膜畦、沟灌

揭膜畦、沟灌是棉麦兼作“一膜两盖”，并结合低定额灌水，而形成的一套节水型棉麦两种作物地膜覆盖栽培灌水新技术。据河北省黑龙港地区经验，这种技术采用麦田垄宽为40cm，棉田垄宽为80cm，并要求棉垄高出麦垄约10cm。一般，在霜降播种小麦时要浇足底墒水，并边播种边覆盖地膜，到来年初春（大致3月20日左右）揭膜，这样就省去了冬灌和返青水。在揭膜后，应追肥灌拔节水和抽穗水。

在浇灌小麦抽穗水的同时，也就浸润了播种前的棉田，而省去了棉田播前水。棉花播种时仍利用覆盖麦田的塑料薄膜，立即再覆盖棉田，以后就再不揭膜。据试验，“一膜两盖”遇平水年时，棉花只需浇灌一次苗期水；若遇偏旱年，则再浇灌一次现蕾水，之后进入雨季，就不再需要灌水，并可确保丰收。

这种棉麦“一膜两盖”栽培灌水方法，膜盖小麦可以晚种早收，膜盖棉花又可以早播

早收，小麦与棉花的共生期只有一个月左右，并都是边行生长优势，这样既增加了粮棉产量，解决了粮棉争地的矛盾，又具有显著的节水效益。据河北省黑龙港地区六年的试验，在平水年时棉麦两季用水的灌水定额仅 105m³/亩，但可收获皮棉 50～68kg/亩和小麦 200～250kg/亩。

二、膜侧沟灌

地膜覆盖的传统灌溉方法是膜侧沟灌技术，如图 5-1 所示。膜侧沟灌是指在灌水沟垄背部位铺膜，灌溉水流在膜侧的灌水沟中流动，并通过膜侧入渗到作物根系区的土壤内。膜侧沟灌灌水技术要素与传统的沟灌相同。这种灌水技术适合于垄背窄膜覆盖，一般膜宽 70～90cm。膜侧沟灌方法主要用于条播作物和蔬菜。该技术虽说能增加垄背部位种植作物根系的土壤温度和湿度，但灌水均匀度和田间水有效利用率与传统沟灌基本相同，没有多大改进，且裸沟土壤水分蒸发量较大。

三、膜上灌溉

膜上灌溉技术主要有以下几种类型。

1. 开沟扶埂膜上灌

开沟扶埂膜上灌是膜上灌最早的应用形式之一，如图 5-2 所示。它是在铺好地膜的棉田上，在膜床两侧用开沟器开沟，并在膜侧堆出小土埂，以避免水流流到地膜以外去。一般畦长为 80～120m，入膜流量 0.6～1.0L/s，埂高 10～15cm、沟深 35～45cm。这种类型因膜床土埂低矮，膜床上的水流容易穿透土埂或漫过土埂进入灌水沟内，既浪费灌溉水量又影响农机作业。



图 5-1　膜侧沟灌

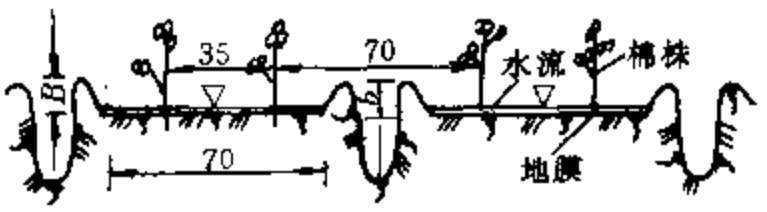


图 5-2　开沟扶埂膜上灌（单位：cm）

2. 打埂膜上灌

打埂膜上灌技术是将原来使用的铺膜机前的平土板，改装成打埂器，刮出地表 5～8cm 厚的土层，在畦田侧向构筑成高 20～30cm 的畦埂。其畦田宽 0.9～3.5m，膜宽 0.7～1.8m。根据作物栽培的需要，铺膜形式可分为单膜或双膜。对于双膜，其中间或膜两边各有 10cm 宽的渗水带，如图 5-3 和图 5-4 所示，这种膜上灌技术，畦面低于原田面，灌溉时水不易外溢和穿透畦埂，故入膜流量可加大到 5L/s 以上。膜缝渗水带可以补充供水不足。目前这种膜上灌形式应用较多，主要用于棉花和小麦田上。双膜或宽膜的膜畦灌溉，要求田面平整程度较高，以增加横向和纵向的灌水均匀度。

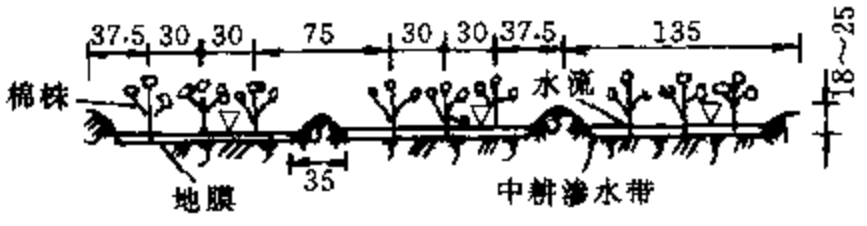


图 5-3　打埂膜上灌（单膜）（单位：cm）

此外，还有一种浅沟膜上灌，它是在麦田套种棉花并铺膜的一种膜上灌形式。这种膜上灌技术在确定地膜宽度时，要根据麦棉套种所采用的种植方式和行距大小确定，同时还应加上两边膜侧各留出的 5cm

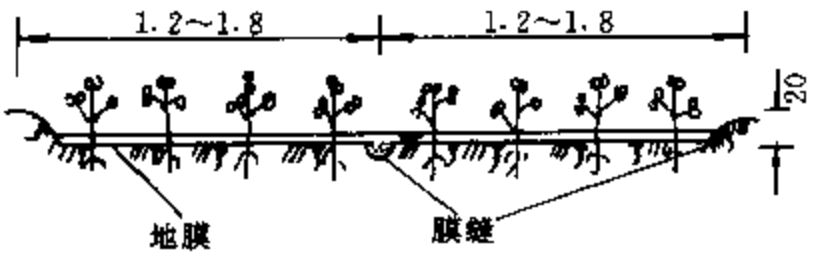


图 5-4　打埂膜上灌（双膜）（单位：cm）

宽度，以作为用土压膜之用，如图 5-5 所示。如河南商丘地区试验田麦棉套种膜上灌采用的“三一式套种法”，即种植三行小麦，一行棉花，1m 一条带。小麦行距 0.33m。棉花播种采用点播，株距 0.5m，每穴双株。膜宽 35cm，播种时铺膜，膜边则用土压实，并将土堆成小垄 5～8cm 高，小麦收割后，再培土至垄高 10～15cm，这就形成了以塑料薄膜为底的输水和渗水垄沟。这种膜上灌的适宜入膜流量为 0.6L/s，坡度大约为 1‰，灌水沟长度以 70～100m 比较适宜。

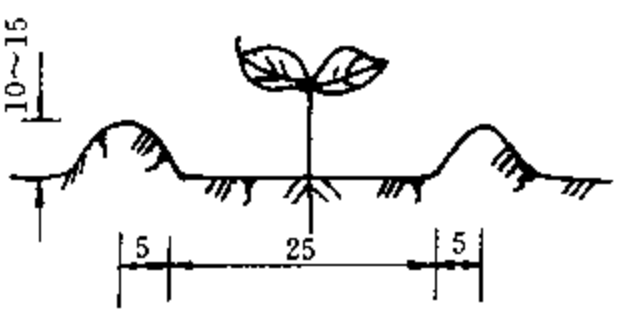


图 5-5　以塑料薄膜为底的输水沟（单位：cm）

3. 膜孔灌溉

膜孔灌溉分为膜孔沟灌和膜孔畦灌两种。膜孔灌溉也称膜孔渗灌，它是指灌溉水流在膜上流动，通过膜孔（作物放苗孔或专用灌水孔）渗入到作物根部土壤中的灌水方法。该灌水技术无膜缝和膜侧旁渗。

膜孔畦灌的地膜两侧必须翘起 5cm 高，并嵌入土埂中，如图 5-6 所示。膜畦宽度根据地膜和种植作物的要求确定，双行种植一般采用宽 70～90cm 的地膜；三行或四行种植一般采用 180cm 宽的地膜。作物需水完全依靠放苗孔和增加的渗水孔供给，入膜流量为 1～3L/s。该灌水方法增加了灌水均匀度，节水效果好。膜孔畦灌一般适合棉花、玉米和高粱等条播作物。



图 5-6　膜孔畦灌（单位：cm）

膜孔沟灌是将地膜铺在沟底，作物禾苗种植在垄上，水流通过沟中地膜上的专门灌水孔渗入到土壤中，再通过毛细管作用浸润作物根系附近的土壤，如图 5-7 所示。这种技术对随水传播的病害有一定的防治作用。膜孔沟灌特别适用于甜瓜、西瓜、辣椒等易受水土传染病害威胁的作物。果树、葡萄和葫芦等作物可以种植在沟坡上，水流可以通过种在沟坡上的放苗孔浸润到土壤。灌水沟规格依作物而异。蔬菜一般沟深 30～40cm，沟距 80～120cm；西瓜和甜瓜的沟深为 40～50cm，上口宽 80～100cm，沟距 350～400cm。专用灌水孔可根据土质不同打单排孔或双排孔，对轻质土地膜打双排孔，重质土地膜打单排孔。孔径和孔距根据作物灌水量等确定。根据试验，对轻壤土、壤土孔径以 5mm，孔距为 20cm 的单排孔为宜。对蔬菜作物入沟流量以 1～1.5L/s 为宜。甜瓜和辣椒作物严禁在高温季节和中午高温期间灌水或灌满沟水，以防病害发生。

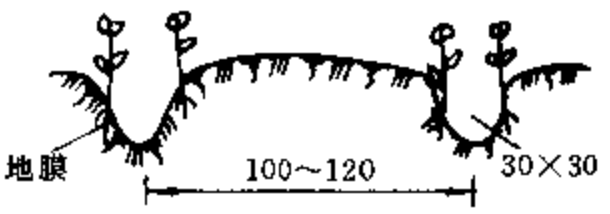


图 5-7　膜孔沟灌（单位：cm）

4. 膜缝灌

膜缝灌有以下几种类型。

（1）膜缝沟灌。是对膜侧沟灌进行改进，将地膜铺

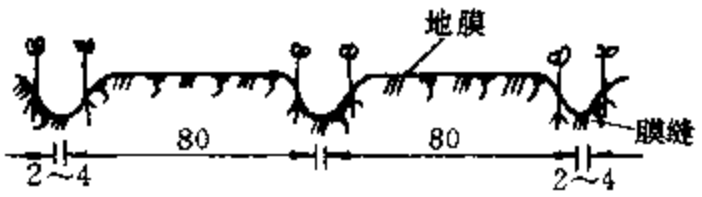


图 5-8　膜缝沟灌（单位：cm）

在沟坡上，沟底两膜相会处留有 2～4cm 的窄缝，通过放苗孔和膜缝向作物供水，如图 5-8 所示。膜缝沟灌的沟长为 50m 左右。这种方法减少了垄背杂草和土壤水分的蒸发，多用于蔬菜，其节水增产效果都很好。

（2）膜缝（孔）畦灌。是在畦田田面上铺两幅地膜，畦田宽度为稍大于 2 倍的地膜宽度，两幅地膜间留有 2～4cm 的窄缝，如图 5-9 所示。水流在膜上流动，通过膜缝和放苗孔向作物供水。入膜流量为 3～5L/s，畦长以 30～50m 为宜，要求土地平整。



图 5-9　膜缝孔畦灌

（3）细流膜缝灌。是在普通地膜种植下，利用第一次灌水前追肥的机会，用机械将作物行间地膜轻轻划破，形成一条膜缝，并通过机械再将膜缝压成一条 U 字形小沟。灌水时将水放入 U 形小沟内，水在沟中流动，同时渗入到土中，浸润作物，达到灌溉目的。它类似于膜缝沟灌，但入沟流量很小，一般流量控制在 0.5L/s 为宜，所以它又类似细流沟灌。细流膜缝沟灌适用于 1%以上的大坡度地形区。

5. 温室涌流膜孔沟灌

温室涌流膜孔沟灌系统是由蓄水池、倒虹吸控制装置、多孔分水软管和膜孔沟灌组成的半自动化温室灌溉系统，如图 5-10 所示。其原理是灌溉小水流由进水口（一般是自来水）流到蓄水池中，当蓄水池的水面超过倒虹吸管时，倒虹吸管自动将蓄水池的水流输送到多孔出流配水管中，水流再通过多孔均匀出流软管均匀流到温室膜孔沟灌的每条灌水沟

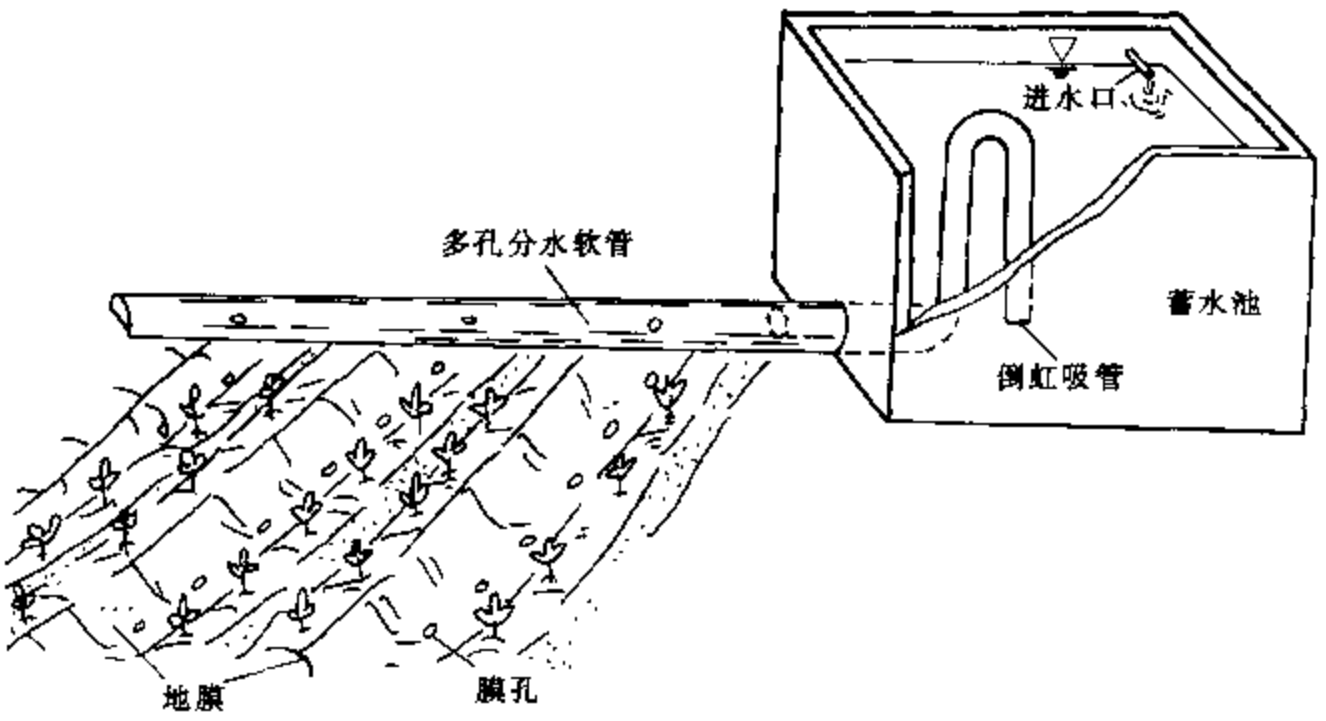


图 5-10　温室涌流膜孔灌溉系统

中。该系统不仅可以进行间歇灌溉，而且还可以进行施肥灌溉和温水灌溉，以提高地温和减少温室的空气湿度，并促进提高作物产量和防治病害的发生。该系统主要用于温室条播作物和花卉的灌溉，还可以用于基质无土栽培的营养液灌溉上。

6. 格田膜上灌

格田膜上灌是将土地平整成网格式的畦田，畦田埂呈三角形（埂高 15～20cm）。每块畦田大者 20 亩，小者几亩，每块格田内要平整得特别水平，然后铺膜灌溉。它适用于稻田膜上灌。

7. 喷灌膜上灌

喷灌膜上灌是在地膜覆盖种植下，利用喷灌灌溉作物，水喷洒到田间的地膜上，靠作物放苗孔和专用灌水孔渗入到土壤中，浸润作物。由于田间铺覆地膜，较不覆膜的裸地田间棵间蒸发和深层渗漏大大减少，所以比一般喷灌更节水。因此，在有喷灌设备和气候干燥的地区，可考虑使用喷灌膜上灌。

四、膜下灌溉

膜下灌溉一般分为膜下沟灌和膜下滴灌。膜下沟灌是将地膜覆盖在灌水沟上，灌溉水流在膜下的灌水沟中流动，以减少土壤水分蒸发。其入沟流量、灌水技术要素、田间水有效利用率和灌水均匀度与传统的沟灌相同。该技术主要使用于干旱地区的条播作物上。温室灌溉采用该技术可以减少温室的空气湿度，减少和防治病害的发生。

膜下滴灌 主要是将滴灌带管铺设在膜下，以减少土壤棵间蒸发，提高水的利用效率。该技术更适合干干旱半干旱地区。

第二节 膜上灌技术的效果

地膜覆盖灌溉的实质，是在地膜覆盖栽培技术基础上，不再另外增加投资，而利用地膜防渗并输送灌溉水流，同时又通过放苗孔，专门灌水孔或地膜幅间的窄缝等向土壤内渗水，以适时适量地供给作物所需要的水量，从而达到节水增产的目的。

如前节所述，在地膜覆盖灌水中，目前推广应用最普遍的类型是膜上灌水技术，尤其是膜孔沟灌和膜孔畦灌，其节水增产效果更为显著。膜上灌技术的突出效果主要表现在以下几个方面。

1. 节水效果突出

根据对膜孔沟灌的试验研究和对其他膜上灌技术的调查分析，与传统的地面沟（畦）灌技术相比较，一般可节水 30%～50%，最高可达 70%，节水效果显著。

膜上灌之所以能节约灌溉水量，其主要原因如下。

（1）膜上灌的灌溉水是通过膜孔或膜缝渗入作物根系区土壤内的。因此，它的湿润范围仅局限在根系区域，其他部位仍处干原土壤水分状态。据测定，膜上灌的施水面积（为局部湿润灌溉）一般仅为传统沟（畦）灌灌水面积（为全部湿润灌溉）的 2%～3%，这样，灌溉水就被作物充分而有效地利用，所以水的利用率相当高。

（2）由于膜上灌水流是在膜上流动，于是就降低了沟（畦）田面上的糙率，促使膜上水流推进速度加快，从而减少了深层渗漏水量；铺膜还完全阻止了作物植株之间的土壤蒸发损失，增

强了土壤的保墒作用。所以，膜上灌比传统沟（畦）灌及膜侧沟灌，田间水有效利用率高，在同样自然条件和农业生产条件下，作物的灌水定额和灌溉定额都有较大的减少。

例如，新疆巴州尉力县棉花膜上灌示范田，灌溉定额仅 62.5m³/亩，灌水 3 次，分别为 22.4m³/亩、22.1m³/亩和 18.0m³/亩，而采用常规沟灌，灌溉定额为 104.7m³/亩，两者相比，膜上灌每亩节水 42.2m³/亩，节水 40.8%。新疆昌吉市玉米膜上灌，灌溉定额为 296.1m³/亩。其中，播前灌灌水定额为 105m³/亩，生育期灌水 4 次，分别为 58.0m³/亩、48.0m³/亩、43.1m³/亩和 42.0m³/亩。而传统沟灌的灌溉定额为 599m³/亩。其中，播前灌灌水定额仍为 105m³/亩，但生育期灌水需 6 次，分别为 90m³/亩、87m³/亩、84m³/亩、81m³/亩、78m³/亩和 74m³/亩。膜上灌比常规沟灌可节水 302.6m³/亩，节水 58%，灌水次数减少了 2 次。新疆阿勒泰地区灌溉试验站，甜菜膜上灌，生育期灌溉定额为 97m³/亩，比常规沟灌灌溉定额 305.7m³/亩，节水 284.7m³/亩，节水高达 81.3%。新疆哈密地区 1.3 万亩瓜菜，80%实施膜上灌，每次灌水由原来的 60m³/亩，减少为 40～45m³/亩，节水 25%～30%。乌鲁木齐河灌溉试验站，啤酒花膜上灌，生育期灌溉定额为 277m³/亩，比大田灌溉定额节水 53%。乌鲁木齐县安宁渠灌区 2 万亩蔬菜膜上灌，比常规灌溉灌水次数减少 3～4 次，每亩节水 300～500m³/亩，节水 30%左右。

2. 灌水质量明显提高

根据试验与调查研究，膜上灌与传统沟（畦）灌相比较。其灌水质量的提高主要表现在以下两个方面。

（1）在灌水均匀度方面。膜上灌不仅可以提高地膜覆盖沿沟（畦）长度纵方向的灌水均匀度和湿润土壤的均匀度，同时也可以提高地膜沟（畦）横断面方向上的灌水均匀度和湿润土壤的均匀度。这是因为膜上灌可以通过增开或封堵灌水孔的方法来消除沟（畦）首尾或其他部位处进水量的大小，以调整和控制灌水孔数目对灌水均匀度的影响。

（2）在土壤结构方面。由于膜上灌水流是在地膜上流动或存蓄，因此不会冲刷膜下土壤表面，也不会破坏土壤结构；而通过放苗孔和灌水孔向上壤内渗水，就又可以保持土壤疏松，不致使土壤产生板结。据观测，膜上灌灌水四次后测得的土壤干容重为 1.49g/cm²，比第一次灌水前测得的土壤干容重 1.41g/cm³，仅增加不到 6%，而传统地面沟（畦）灌灌溉后土壤干容重达到 1.6g/cm³，比灌前增加了 14%。

3. 作物生态环境得到改善

地膜覆盖栽培技术与膜上灌灌水技术相结合，改变了传统的农业栽培技术和耕作方式，也改善了田间土壤水、肥、气、热等土壤肥力状况的作物生态环境。

膜上灌对作物生态环境的影响主要表现在地膜的增湿热效应。由于作物生育期内田面均被地膜覆盖，膜下土壤白天积蓄热量，晚上则散热较少，而膜下的土壤水分又增大了土壤的热容量。因此，导致地温提高而且还相当稳定。据观测，采用膜上灌可以使作物苗期地温平均提高 1～1.5℃，作物全生育期的土壤积温也有增加，从而促进了作物根系对养分的吸收和作物的生长发育，并使作物提前成熟。一般粮棉等大田作物可提前 7～15 天成熟，蔬菜可提前上市，如辣椒可提前 20 天左右上市。

此外，膜上灌不会冲刷表土，又减少了深层渗漏，从而就可以大大减少土壤肥料的流失。再加上土壤结构疏松，保持有良好的土壤通气性。因此，采用膜上灌水技术为提高上

壤肥力创造了有利条件。

4. 增产效益显著

由于膜上灌是通过膜孔（缝）等，容易按照作物需水规律，适时适量的进行灌水，为土壤提供了适宜的土壤水分条件，并改善了作物的水、肥、气、热的供应和生态环境，从而促使作物出苗率高，根系发育健壮，生长发育良好。据观测，打埂膜上灌可比平播提高棉花出苗率 42.17%，株高高出 5.3cm，叶片多 2 片，果枝多 2.1 个，蕾数多 23 个（三点 90 株的平均数）。

采用膜上灌技术的增产效果显著。例如，新疆尉力县膜上灌棉花，在同样条件下单产皮棉为 112.78kg/亩，常规沟灌皮棉则为 107.29kg/亩，增产 5.12%；而且霜前花增加 15%。新疆昌吉市玉米膜上灌亩产 725kg/亩，常规沟灌玉米为 447.5kg/亩，增产了 51.8%。新疆乌鲁木齐河灌溉站膜上灌啤酒花亩产 873kg/亩，比常规灌溉增产 22kg/亩。新疆乌鲁木齐县安宁渠灌区膜上灌豆荚比常规灌溉豆荚增产 200kg/亩以上，辣椒增产达 1000kg/亩以上。

第三节　膜孔沟（畦）灌溉技术

一、膜孔沟（畦）灌溉技术要素的确定

目前地膜覆盖灌溉多采用膜孔沟（畦）灌的形式。膜孔沟（畦）灌属于局部浸润灌溉。为保证作物根系区土层中具有足够的渗水量，以满足作 物生长对水分的需要，就必须根据不同的地形坡度，各种土质的膜孔渗吸速度和田间持水量等因素来确定膜孔沟（畦）灌溉的技术要素，其技术要素主要有入膜流量、改水成数、开孔率、膜孔布置形式和灌水历时。

膜孔沟（畦）灌的入膜流量，指单位时间内进入膜沟或膜畦首端的水量，常以 L/s 为单位。入膜流量的大小主要根据沟（畦）宽度、土壤质地、地面坡度和单位长度膜孔入渗强度的大小等确定。一般应根据田间不同入膜流量的水流行进过程实测资料，建立行进过程图解方程，并评价其灌水均匀度和田间水有效利用率等，来确定最佳入沟（畦）流量。无实测资料时，也可采用下式计算入膜流量：

$$q = 0.001\,Knv\omega \tag{5-1}$$

$$\omega = \frac{nd^2}{4}SLN \tag{5-2}$$

式中：q 为入膜流量，又称灌水强度，L/（h·m），即单位时间单位膜宽上的灌水量；K 为旁侧入渗影响系数，它与膜上水深成正比，与膜畦长度成反比，对无旁渗的打埂膜上灌，一般取值为 1.46～3.86 之间，平均为 2.66；n 为每米膜长上的灌水孔数，包括放苗孔和增设的专用灌水孔的孔数在内；v 为土壤的入渗速度，随灌水次数的增加而减少，依田间实测确定，cm/h；ω 为放苗孔和专用灌水孔的平均面积，cm^2；d 为放苗孔或灌水孔孔径（直径），cm；S 为孔距，cm；L 为膜沟（畦）长度，cm；N 为孔口排数，单排孔 $N=1$，双排孔 $N=2$。

例如，若已知某田块 $n=27$，$\omega=8cm^2$，实测 $v=8cm/h$，取 $K=2.66$，则该田块的入膜流量为 $q=0.001\times2.66\times27\times8\times8=4.6L/(h\cdot m)$。

改水成数是指沟（畦）首停水时膜孔沟（畦）灌溉水流推进长度占总沟（畦）长度的比例，一般对于坡度较平坦的膜孔沟（畦）灌改水成数为 1，对坡度较大的膜孔沟（畦）灌

要考虑取改水成数 0.8～0.95。若有些膜孔沟（畦）灌溉达不到灌水定额时，则要考虑允许尾部泄水以延长灌水历时。

沟（畦）宽度主要根据栽培作物的行距和薄膜宽度、耕作机具等要求确定。目前棉花和小麦的膜孔沟（畦）灌分单膜和双膜，地膜宽度一般为 120～180cm。

经过对新疆部分地区不同土壤类型的膜孔沟（畦）灌溉调查，当地面坡度在 1‰时，对于粘土和壤土，毛渠间距（膜畦长度）应为 20～25m；毛渠的流量应为 20～30L/s，畦宽为 1m 时，开 10～15 个灌水口，膜畦流量控制在 1.5L/（s·m），改水成数为 1。膜畦宽 2m 时，膜畦流量控制在 2～3L/s。当地面坡度在 6‰时，在戈壁粘土情况下，毛渠间距（膜畦长度）一般为 60～80m，入膜流量为 1.5～2L/（s·m），水流到达畦尾后要持续 30min。根据不同土层厚度和土质情况，膜孔灌水定额在 45～55m³/亩，即可满足作物的正常需水要求。对草甸土，地面坡度在 3‰～4‰时，膜畦长以 50m 较为适宜，入膜流量控制在 2L/s。对砂壤土，地面坡度为 4‰时，膜畦长为 50～100m，入膜流量为 1.1～1.3L/s 较为适宜。

膜孔沟（畦）灌的灌水质量主要用灌水均匀度和田间水有效利用率进行评价。由于膜孔沟（畦）灌的水流是通过膜孔渗入到作物根部的土壤中，与传统沟（畦）灌相比，降低了土壤的入渗强度和地面糙率，使水流的行进速度增加，减少了深层渗漏损失。根据试验研究表明，地面糙率系数随单位面积的孔口面积（开孔率）的减少而减少。在地面坡度和灌水流量一定的情况下，膜孔沟（畦）灌的灌水均匀度是随开孔率的减小而增加。在地势平坦和无尾部泄水的情况下，其田间有效利用率可大大提高。孔口处覆土和不覆土，对孔口入渗也有很大影响，因此，在膜孔沟（畦）灌时要考虑膜孔的开孔率和膜孔覆土与不覆土对灌溉入渗的影响。

二、膜孔沟（畦）灌推广中应注意的主要问题

（1）膜孔沟（畦）灌属局部灌溉，由于入渗强度的降低，灌溉时要特别注意满足灌水定额的要求。

（2）由于膜孔沟（畦）灌减少了作物棵间土壤蒸发，因此不能采用传统的灌溉制度，应根据实际土壤含水率，确定节水型的优化灌溉制度。

（3）膜孔沟（畦）灌溉改变了一些传统的作物栽培技术措施，因此要采取合理的施肥措施，以解决作物后期的需肥问题。

（4）要注意残膜对土壤及农业生态环境的污染，在作物收割后应尽量回收残膜，或在作物灌一两水后揭膜。

（5）目前农户灌溉配水，多为大水定时灌溉，一渠水限定时间灌完一户的田地，农户在指定的时间内，都力争多灌些。而膜孔沟（畦）灌溉是小水渗灌，渗水时间短则不能浸润足够的土壤，因此需要继续试验研究适合当地的膜孔沟（畦）灌溉配水制度。

（6）膜孔宽畦灌时，要注意田面横向应平整及纵向比降要均匀，这样才能提高膜孔沟（畦）灌溉质量。

（7）有关膜孔沟（畦）灌溉技术参数和栽培方式主要是在新疆自然条件下总结出的一些经验，各地在推广应用时，应研究和总结出适合当地实际情况的膜孔灌溉栽培方式和灌水技术要素，使这一节水灌溉新技术在农业生产中发挥更大的作用。

第六章　田　间　工　程

田间工程通常指农田灌溉排水系统中最末一级固定灌溉渠道与固定排水沟道之间所包围的田块内部的工程设施。目前，我国大多数灌区，最末一级固定渠道与沟道是农渠与农沟。农渠与农沟所控制范围内的田间工程设施一般包括：农渠与农沟本身及其以下各级田间灌排渠沟（如毛渠、毛沟、输水沟渠等），灌水沟、畦和格田，井、塘、蓄水池，小型田间工程配套建筑物（如闸板、闸门、涵洞、桥梁，倒虹吸管，小渡槽、小跌水，量水建筑物等）以及农村道路，输电线路，防护林带，新农村规划和土地平整等。涉及面很宽，内容十分丰富。但是，我国北方有的灌区，田间工程常以斗渠、斗沟为控制范围界限，则包括的项目就更多。

第一节　田间工程的配套

一、田间工程配套的意义

搞好田间工程配套，对实行节水灌溉、提高灌溉效率、推广先进的灌水技术，以及合理地利用土地资源、控制地下水位上升和充分发挥灌溉工程效益都有着十分重要的作用。它是实现旱涝保收、建立高标准稳产高产基本农田，促进节约灌溉水量和实现农业现代化的物质基础，是搞好农田基本建设和改善农业生产基本条件的主要环节，也是加速农业发展，实现农业翻番的重要措施和基本途径之一。

在农田灌水中，由于田间工程不配套、田间灌排渠沟不健全、土地不平整、灌水无组织无计划、灌水量过大、次数过多，以及采用落后的灌水方法和不科学的灌水技术等；因此田间灌水量的流失、浪费和深层渗漏，以及蒸发损失极其严重。据调查资料，甘肃省河西走廊引山水灌溉的灌区，由于前些年田间工程不配套，土地不平整，采用大块条田漫灌或串漫灌，每亩净灌水量浪费近 1 倍，全年净灌溉定额都在 450m^3/亩以上。目前我国北方灌区，一般旱作物灌水定额都在 100m^3/(亩·次)左右，有的甚至高达 150m^3/(亩·次)以上。例如，陕西省冯家山水库灌区，采用大畦漫灌，土地又不平整，致使灌水定额有的地方达 110～130m^3/(亩·次)，灌溉水有效利用率长期停留在 0.4 左右。我国北方许多大型灌区，平均每年灌溉水量为 680m^3/亩，有的可高达 1000m^3/亩以上，例如，新疆的先进灌区，毛灌溉定额平均为 400～500m^3/亩，但一般灌区因田间工程不配套，则需要 1150m^3/亩。大量田间灌溉水量损失浪费，不仅影响作物正常生长发育而招致减产，还会恶化土壤，降低土壤肥力，使每年实灌面积占有效灌溉面积和灌溉工程设施面积的比例逐年减小。因此，搞好田间工程配套，建设高标准农田内部条(方)田，进行土地平整，是十分必要的。完善田间工程配套，使节水型的农田建一块成一块，建一片成一片，使全灌区渠、沟、路、树、输电线路端直，田块方正，井塘遍布，从而为保证农业可持续发展及创造稳产高产农田的农业生产条件奠定基础。

二、对田间工程配套的基本要求和原则

田间工程是以彻底改变农业生产条件，建设旱涝保收、稳产高产农田，适应农业现代化的需要为主要目标；以健全和改建、完善田间灌排渠沟网为主要内容；对山、水、田、林、路等进行全面规划，综合治理的一项农田基本建设工程。田间工程要有利于调节农田水分状况和培育土壤肥力。

1. 田间工程配套的基本要求

(1) 要有完善的田间灌排渠沟网以及灌水田间畦、沟或格田。斗、农渠等固定渠道应全部砌护防渗或尽量采用U形渠槽，其防渗效果优良，而且还能少占良田耕地。有条件的地区，可采用埋设于地下的低压输水管道和低压或无压的排水管道。渠、路、林等要结合规划布置，并配置必要而齐全的附属建筑物，达到引水有门，分水有闸，量水有堰，过路有桥，调整渠、沟比降有跌水等建筑物。要促使灌排自如，灌水能控制，排水有出路，遇旱能灌，遇涝能排，有洪能防；能调节和控制地下水位，防止土壤过湿、沼泽化和盐碱化。要坚决消灭旱地大水漫灌和水田串灌串排。要保墒、保土又保肥。

(2) 按农田基本建设和灌溉、耕作与田间管理的要求平整土地。渠、沟、路、林、输电线路要端直，机井、陂塘、蓄水池的配置合理，尽量扩大田块（条田或方田）的面积，以适应农业机械化的要求，并提高土地利用率，提高灌水质量。

(3) 要有利于改良土壤，提高土壤肥力，促进作物稳产高产。

(4) 适应农业现代化的要求，实现山、水、田、林、路的综合配套和综合治理。

(5) 合理利用土地，实现农、林、牧、副、渔全面发展，增强农业发展后劲，促进农业持续发展。

(6) 田间工程量小，占地少，效益高，而且管理方便。

2. 制定田间工程规划应遵循的原则

(1) 田间工程规划是农田基本建设规划的重要组成部分。因此，田间工程规划必须在当地农业发展规划和地区水利规划的基础上进行，必须与当地农田基本建设规划相适应。

(2) 田间工程规划必须着眼长远，立足当前。既要充分考虑农业现代化的要求，又要不脱离农业生产发展的实际需要；从当前现实状况出发，逐步达到长远目标；应全面规划，分期实施，尽量做到当年能增产，长远又能继续发挥作用。

(3) 田间工程规划必须因地制宜，讲求实效，要采取严格的科学态度，注重调查研究，走群众路线，力求规划合理，布局恰当。

(4) 田间工程规划必须以治水改土为中心，实行山、水、田、林、路综合治理，促进农、林、牧、副、渔全面发展。

根据我国北方灌区各地经验，田间工程规划一般以灌溉渠道（斗渠或农渠）、排水沟道（斗沟或农沟），以及主要道路为骨架。然后结合当地地形，并考虑到行政区划，进行田间生产道路规划，林带、输电线路等的规划，同时划分灌水耕作的生产作业田块（即条田、方田）及其内部的建设计划，如土地平整，深翻改土等。

第二节 田间灌溉排水网

田间灌溉、排水网是斗渠或农渠、斗沟或农沟以下各级固定的和临时的渠道与沟道，及

其附属建筑物等和田间灌水沟、畦的总称；是具体执行引水入田并实施灌溉的工程；是田间工程配套中的主体组成部分和骨架工程。

一、田间灌溉排水网规划布置原则

田间灌溉排水网除应满足一般田间工程配套要求，并遵守田间工程规划的一般原则外，在规划布置时还应特别注意遵循下列原则。

(1) 统一规划，统筹安排。田间灌溉排水网的规划布置一般应主要根据灌溉的要求，同时也要考虑排水和控制地下水位的要求。在规划布置时，需针对具体情况，对灌排渠沟、林带、道路、水井、电网以及居民点等进行统一规划，统筹全面安排。

(2) 因地制宜，经济合理。田间灌排渠沟网的规划布置应与上一级渠、沟道的布置相适应。应根据自然地形条件，将田间灌溉渠道尽可能布置在较高处，田间排水沟道尽可能布置在较低处，以使田间灌排渠沟网能充分控制所辖区域的面积。同时，渠、沟道应平直，以使流程短，占地少，但还应避免过大的填、挖方，以及尽量减少建筑物的数量，从而使其工程量最小。

(3) 便于配水和灌溉，排水通畅及时，方便耕作和田间管理。田间灌排渠沟网的规划布置，应能满足田间灌溉渠网配水的要求；应能保证田间土壤水分过多和地下水位过高时，田间排水沟网排水通畅而及时。同时，还应考虑农业技术、耕作机具和田间管理方便的需要。田间渠道、沟道和道路应相互平行，上下级渠、沟道应相互垂直；要避免出现农田三角地，力求田块方正整齐，大小基本相等，以方便轮作和机耕。

(4) 合理利用水资源，调济渠井灌溉相结合。在规划布置田间灌溉排水网时，应尽量有利于地下水资源的开采和合理利用。渠井相结合，互相调济，不仅能补充灌溉用水，合理利用水资源，而且还可以调控地下水位，预防农田发生涝、渍或次生盐碱化等灾害。

(5) 减少灌溉水量损失，提高田间灌溉渠道有效利用率和田间灌溉水有效利用率。规划布置田间渠道网时应特别注意使渠线最短，渠道平直，渠道底坡不宜过小，固定渠道应一律采取砌护防渗措施，并尽量采用U形防渗渠槽。有条件的地区，应逐步将田间灌排渠沟网建设成地下固定灌溉排水管道系统。

(6) 平整土地，提高灌水质量。实施地面灌溉，为了保证并提高灌水质量，田间灌溉排水渠沟网所控制的田块内部应土地平整，以满足灌水沟、畦和格田的灌水技术要求。进行平整土地时应特别注意保持表土层，保持平整后土壤肥力不下降，并能改良土壤，尽量扩大耕地面积。

二、田间灌溉排水网的布置

由于各地自然条件不同，其田间灌溉排水网的规划布置也就有很大差异，必须根据具体情况，因地制宜地进行规划布置。

(一) 田间渠道的技术标准与规格

田间灌溉排水网的输配水灌溉渠道主要包括斗渠或农渠、毛渠及输水沟，其中斗渠或农渠都是固定渠道，毛渠可以是固定渠道，但在农业机械化程度高的地区，毛渠常修建成临时性的。输水沟通常都是临时性的，一般都在农田结合作物耕种时修建。田间输配水渠道的技术标准与规格如下。

1. 斗渠

斗渠是从支渠或干渠直接引水，向农渠或毛渠配水的渠道。斗渠的控制范围是灌区灌溉管理的基本单元，是灌区灌溉排水全系统规划设计的基础。在我国北方大多数灌区，斗渠的控制面积一般为3000～5000亩，以3000亩左右较适宜，其间距一般为500～1000m，长度一般3000m左右。对于平原地区的大型国营农场，以谷物为主的灌区，斗渠控制面积可达7000～10000亩。但是，在山区丘陵地区，斗渠的控制面积、长度和间距则变化很悬殊，主要视地形条件等具体情况，因地制宜而定。

2. 农渠

农渠是从斗渠引水，向毛渠配水的固定渠道。在灌溉面积比较大的斗渠系统中，一般都需要布设农渠。但是，在山区丘陵地区和井灌地区，往往斗渠的间距及控制面积较小，此时可由斗渠直接开设毛渠，而不布置农渠。农渠的灌溉面积约300～700亩，一般以500亩为宜。农渠间距一般为300～600m。斗渠一侧布置（单面布置）农渠时，农渠长度为600～1200m；两侧（两面）布置时可因地制宜而定。

3. 毛渠

毛渠是从农渠或斗渠引水，而向输水沟配水的末级固定渠道或临时性渠道。毛渠的控制面积一般为50～360亩，以150亩为宜。毛渠的间距为100～400m。毛渠长度一般为100～600m。

4. 输水沟

输水沟是从毛渠或农渠引水，而向灌水沟、畦配水的临时性渠道。在我国北方一些大中型灌区，有的只设一级输水沟，有的需要布设两级输水沟，称为顺渠和腰渠。

（1）顺渠是顺灌水方向（即顺地形坡度方向），向腰渠配水的临时渠道。顺渠的灌溉面积约15～30亩，以20亩为宜，顺渠的间距，一侧（单面）向腰渠供水时，为30～50m；两侧（双面）供水时，间距为60～100m。顺渠的长度一般为100～350m，流量为20～25L/s。顺渠渠深约0.25～0.35m，底宽0.4～0.6m，上口宽0.8～1.0m。顺渠内不能种植密植作物，中耕作物可在顺渠的两个渠堤上及渠内各种一行，形成三行种植。顺渠的渠堤顶呈圆形。一般一条顺渠可同时向两条腰渠配水。

（2）腰渠是垂直灌水方向（垂直地形坡度），直接向灌水畦、沟放水的临时渠道。腰渠的控制面积约3～5亩，长度以50m为宜，其间距就是灌水畦、沟的长度，引水流量为10L/s左右。腰渠的渠深约0.2～0.3m，底宽0.3～0.5m，上口宽0.6～0.8m。一条腰渠通常可同时向1～2个灌水畦或4～8条灌水沟供水。

上述田间各级灌溉渠道可以根据地形条件及其控制面积设置不同的组合方案。一般在斗渠以下的各级渠道有以下三种组合布置方案：①斗、农、毛、顺、腰五级渠道。②斗、农、毛、腰或斗、顺、腰四级渠道。③斗、农、毛和斗、毛、腰三级渠道。

（二）条田建设

条田建设（图6-1）是指最末一级固定灌溉渠道（毛渠）和最末一级固定排水沟道（毛沟）之间所控制的田块，又称方田或灌水耕作区。它是进行农业机械耕作，布设条田内部灌排渠沟道的基本单元，也是作物种植和组织田间灌水、田间管理以及平整土地的基本单位。

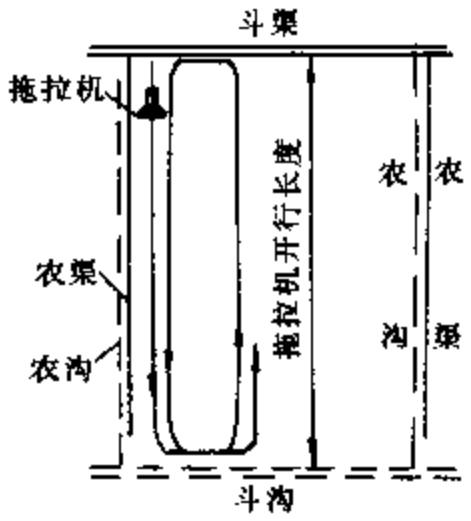


图 6-1　条田示意图

条田规格主要指条田的长度、宽度、形状和田面坡度等内容。它的规格大小应满足下述要求。

(1) 应有利于农业机械化耕作。机耕除要求条田形状方整外，还要求有一定的长度。条田太短，农业机械开行长度太小，转弯次数就多，生产效率低，机械磨损大，消耗的燃料也多。若条田控制面积大，会增加土地平整的工程量，田间灌水组织工作也比较复杂。根据实测，使用大型耕作机械的地区，条田长度一般以 800～1000m 为宜；使用小型农机具的地区，一般宜为 300～400m。条田长度小于 300m 时，农机具生产效率显著降低，但农业机械开行长度超过 1000m 时，用于转弯的时间损失所占比重很小，增加开行长度所提高的生产效率已很不明显，但却会给田间灌水和管理带来诸多不便。

条田宽度主要根据土壤性质和灌溉与排水的要求确定。对于要求地下水控制深度较小，土壤透水性较好的地区，其排水沟间距大一些，一般在农渠农沟相间布置时，条田宽度以 100～150m 为宜，相邻布置时，条田宽度约 200～300m。

(2) 要有利于田间灌水。在我国北方灌区，一般希望每块条田能在 1～2 天内灌水结束，以使条田内土壤于湿基本一致，从而便于及时进行中耕。为了方便组织进行田间灌水，则要求条田长度以不超过 500～600m 为宜。

(3) 要有利于排渍和除涝。在易涝、易发生盐碱化的地区，条田规格还应考虑除涝、防渍和改良盐碱土的要求，以能及时排除因暴雨产生的田面积水，减小淹水时间和淹没深度，以免土壤中水分过多；或者为满足控制与降低地下水位的要求，而将地下水位降低到地下水临界深度以下，以防土壤表层积盐、返盐，保证作物能正常生长。因此，条田过宽，排水沟间距过大，排水效果就不可能理想，从而会使条田中部地下水位过高，不利于除涝、防渍和洗盐。一般土质较粘重，地下水位较高，雨季易受渍害和在土壤盐碱化较严重的地区，条田宽度应窄一些，短一些。

(4) 应少占耕地。条田规格不宜过小，以节省耕地；否则，渠、路、地埂等的占地就要增多。最好使渠、路尽可能相结合，以便于管理、维护。同级灌溉渠道的灌溉面积应尽量相等，以利配水、输水和灌水。

总之，影响条田规格的因素较多，应根据当地具体情况确定。我国旱作区条田规格可参考表 6-1。在平原地区，使用大中型农业机械的条田，其规格可大一些；使用小型农业机具和畜力耕作的地区，条田尺寸应小一些。井灌区、山丘地区，条田规格要更小，以提高灌水质量和灌溉效率，节约灌溉水量。

条田田块的形状，对于地面灌溉一般应以矩形和平行四边形最有利于农业机具工作。要尽量避免采用三角形和不规则的条田形状。不得已时，亦可采用梯形，但它的两长边应当相互平行，而且也与水流方向平行。梯形和平行

表 6-1　　旱作区条田规格

地　　区	长度 (m)	宽度 (m)
陕西关中	300～400	100～300
安徽淮北	400～600	200～300
山　　东	200～300	100～200
新疆军垦农场	500～600	200～350
内蒙古机耕农场	600～800	200

四边形条田地块的锐角不宜小于 70°。

条田田面坡度的大小，对灌水效率和灌水质量也会产生影响。田面坡度过陡，灌水时容易使田面受冲刷，而且灌水不均匀，灌水量往往小于计划灌水定额，不耐旱。田面坡度过缓，则容易使灌水定额增大，产生深层渗漏，浪费灌溉水，并增加灌水成本。适宜的条田田面坡度（纵向坡度）与土壤类型和灌水方法有关。一般畦灌田田面坡度为 1/1000～1/500；沟灌田田面坡度为1/1000～1/250．其适宜田面坡度参见表 6-2 和表 6-3。选用表中数值时，最好通过对当地灌溉效果好的田块进行实测，以确定出切合实际的田面纵坡。田面横向坡度应小，一般以不超过纵向坡度的 1/3 为宜；最好田块没有横向坡度。对于稻麦两茬地的田面坡度可为1/2000～1/1000。田面坡向应尽可能取北高南低的向阳坡向，以利于作物生长。

表 6-2　　畦灌条田适宜田面坡度

土壤透水性能 / 畦田长度 (m)	井灌区			渠灌区		
	强	中	弱	强	中	弱
10～15	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$					
15～20	$\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{500}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$				
20～25	$\frac{1}{500}\sim\frac{1}{300}$	$\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{500}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$			
25～30		$\frac{1}{500}\sim\frac{1}{300}$	$\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{500}$			
30～35			$\frac{1}{500}\sim\frac{1}{300}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$		
35～40				$\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{500}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$	
40～45				$\frac{1}{500}\sim\frac{1}{300}$	$\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{500}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$
45～50					$\frac{1}{500}\sim\frac{1}{300}$	$\frac{1}{2000}\sim\frac{1}{1000}$

（三）条田内部灌溉渠道的布置

条田内部灌溉渠道主要包括毛渠和田间输水沟等，一般都是临时性渠道。但是，由于我国目前农业机械化程度尚不高，所以我国许多灌区的毛渠，仍采用固定式渠道。

1. 规划布置条田内部灌溉渠道的原则

(1) 应保证按时按量将水输送到田间灌水沟、畦。

(2) 田间渠道比降应与地面坡度一致，并避免倒坡、高填方以及冲刷和淤积。

(3) 应不妨碍田间耕作，渠线短而直，并少占地。

(4) 为便利机耕，节约用水和便于管理，应逐步实现田间渠道地下管道化，或采用临

时性渠道、移动式或可拆卸式的管道替代。

(5) 应防止渠道跑水、泄水和决口，以提高田间水的有效利用率。

(6) 应与土地利用规划、作物种植区划和轮作区划相协调。

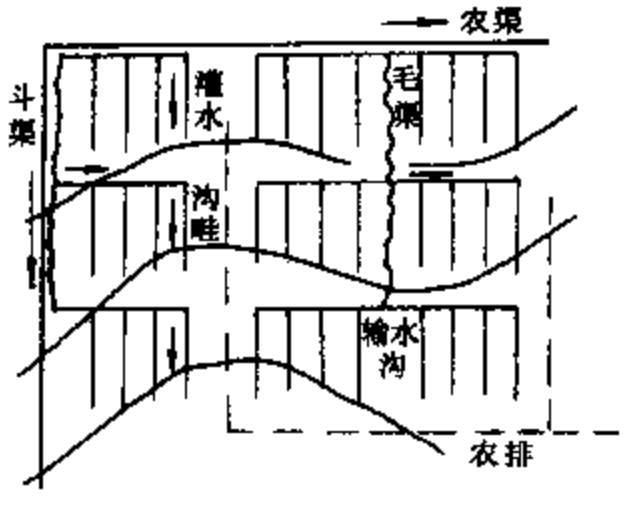
2. 我国平原旱作物灌区，条田内部灌溉渠道的布置

表 6-3　　沟灌条田适宜田面坡度

条田长 (m) \ 土壤透水性能	强	中	弱
30～40	$\frac{1}{1000}$～$\frac{1}{500}$		
40～50	$\frac{1}{500}$～$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{1000}$～$\frac{1}{500}$	
50～60			$\frac{1}{1000}$～$\frac{1}{500}$
60～70		$\frac{1}{500}$～$\frac{1}{250}$	
70～80			$\frac{1}{500}$～$\frac{1}{250}$
80～90			

(1) 纵向布置（图 6-2）。毛渠方向与灌水沟、畦方向一致。灌溉水从毛渠流经输水沟，然后进入灌水沟、畦。毛渠的布置要注意控制有利地形，保证能向灌水沟、畦正常输水。根据具体地形条件，毛渠可以布置成双向控制（就是沿毛渠两侧布置输水沟）或单向控制（只在毛渠一侧布置输水沟）。毛渠一般以垂直等高线方向布置为宜，以使灌溉水能沿着最大地面坡度方向，从而给灌水创造有利条件。但是，地面坡度较大（大于 0.01），而又要采用畦灌时，为避免冲刷田面，毛渠也可沿地面较小坡度，与等高线斜交布置。

(2) 横向布置（图 6-3）。毛渠方向与灌水沟、畦方向垂直。灌溉时，水从毛渠直接流入灌水沟、畦，省去了输水沟。毛渠一般沿等高线布置，以使灌水沟、畦沿地面坡度方向布置，有利于田间灌水。



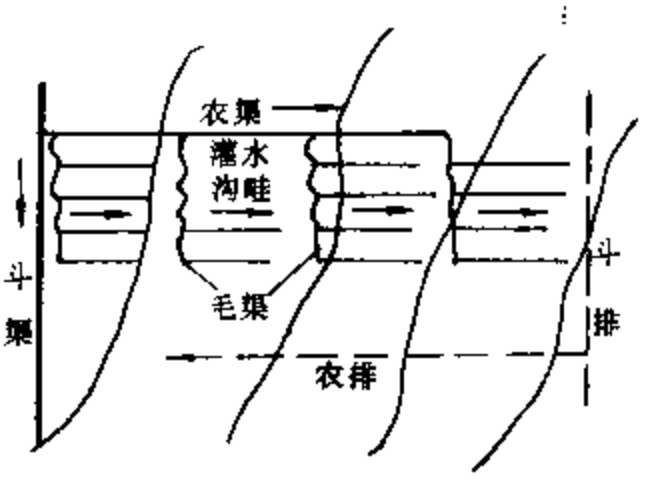


图 6-2　纵向布置　　图 6-3　横向布置

3. 地形复杂地区条田内部灌溉渠道的布置

如果地形较复杂，土地平整较差时，以采用纵向布置为宜。地形平坦，坡度较小时，可采用横向布置，在地下水位较高的地区，选择布置形式时，还应考虑要有利于控制地下水位。在山区丘陵地区，坡陡，梁峁起伏，沟壑纵横，地形破碎，水土极易流失。因此，坡地灌溉的田间工程、条田规格，及其内部渠道的布置都应保证灌水安全，防止水土流失，还要便利交通。

图 6-4 为甘肃省河西走廊引山水灌区，对现行条、块田内部渠道布置进行节水技术改造后的五种布置形式，可供参考。

（四）田间灌溉渠与排水沟的布置

田间灌排渠沟道的布置主要是指斗、农渠道与斗、农沟道相结合的布置。在进行斗、农渠规划布置时，必须同时考虑排水沟道的规划布置，以做到能灌能排，灌、排结合，才能使灌区环境不致恶化，免受盐碱和渍涝灾害，为作物创造良好的生长条件，保证作物稳产高产。

由于各地自然条件不同，斗、农渠及斗、农沟的布置形式也有很大差异，必须根据具体情况，因地制宜地进行规划布置。对于平原和圩区斗、农渠与斗、农沟的布置形式，一般可根据渠、沟的相对位置及其不同作用划分为如下两种基本布置形式。

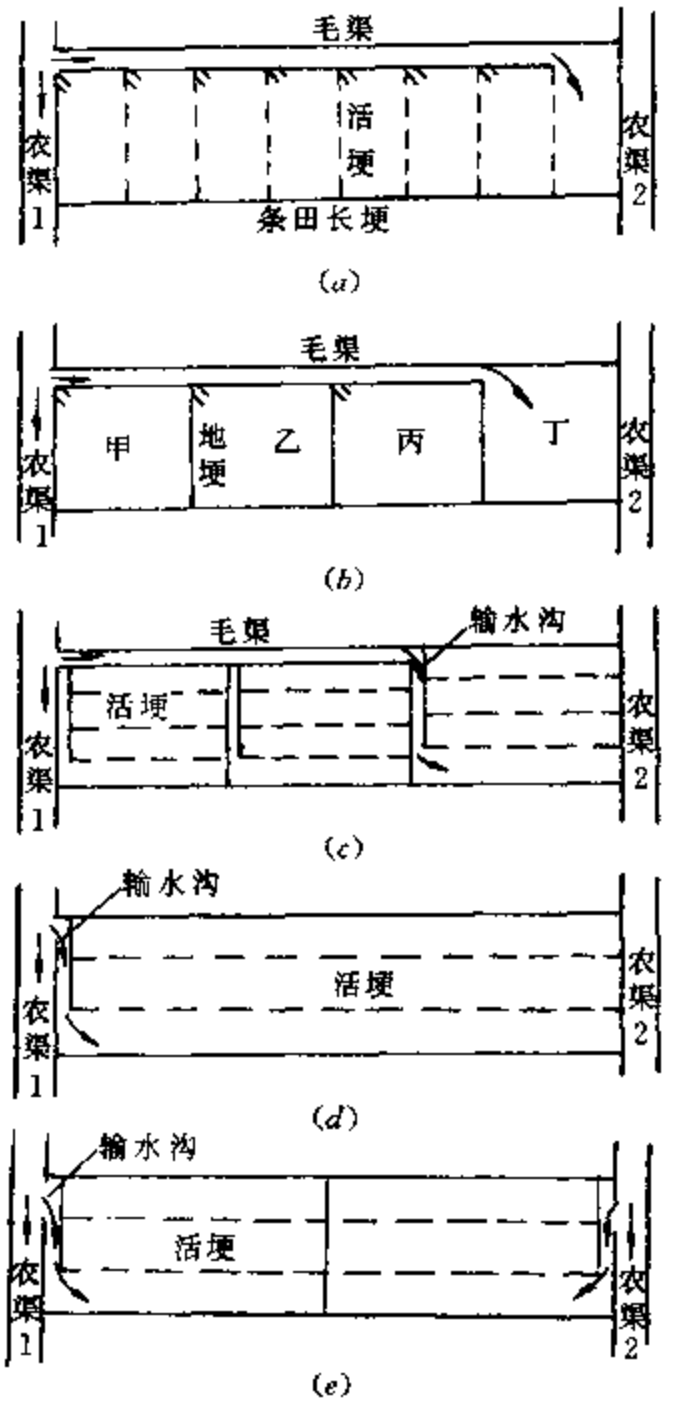


图 6-4　条田田间工程布置图

(a) 条田地埂加毛渠分段畦灌；(b) 多户耕种条田加毛渠方畦灌；(c) 条田加毛渠顺长小畦灌；(d) 条田顺长加活埂长畦灌；(e) 条田分割双向畦灌

1. 灌排相邻布置

灌排相邻布置（图 6-5）是斗渠与斗沟，或者农渠与农沟相邻平行布置。适用于地形坡向单一，且坡度较陡，灌排方向一致的地区。斗、农渠只能单方向分水，斗、农沟也只能单方向排水。这种布置形式的优点是，可以用挖排水沟道的土方修筑相邻的灌溉渠道，从而可节省土方和修渠挖沟的劳力。在雨涝严重的地区，为了迅速排除田面积水，或为了使重盐碱地在冲洗时能迅速排水脱盐，通常可在条田内加设较密的毛排浅沟（临时性的沟道）。

2. 灌排相间布置

灌排相间布置（图 6-6）是斗渠与斗沟，或农渠与农沟相间平行布置。斗渠或农渠可以向两侧分水，斗沟或农沟则可以承泄两侧排水。这种布置形式适用于地形平坦或有一定波浪状、起伏不平的地形和土壤透水性较强的地区。这种渠沟双向控制灌排布置形式，灌排效果好。在地下水位较高，需要调节或控制地下水位及防止土壤发生次生盐渍化的地区，最好采用这种布置形式。

农沟是控制农田水分状况的主要固定排水沟道。它同时担负着排涝和调节根系层土壤水分的双重任务。农沟的间距与深度是相互制约的，间距大，沟深就要深；间距小，则沟深可浅些。表 6-4 和表 6-5 为我国各地排除地面水和排除地下水的排水沟道深度与间距调查表，供参考。

毛沟一般均是临时性沟道，其作用是加速排除地面水和耕作层内土壤过多的水分。毛沟的规格一般为：间距 30～100m；深度 1.0～1.5m；沟底宽 0.3～0.5m；沟长为农沟的间距。

三、田间灌溉渠道流量的计算

某种作物某次灌水所需要引入田间的流量称为灌水流量。不考虑田间输水和配水以及田间灌水的各种损失水量时，称为净灌水流量。根据某种作物的某次灌水定额就可以按下式计算净灌水流量：

$$Q = \frac{Am}{3600Tt} \qquad (6\text{-}1)$$

式中：Q 为净灌水流量，或田间某级灌溉渠道的净流量，m^3/s；A 为灌溉面积，亩；m 为灌水定额，m^3/亩；T 为某次灌水的延续时间，d；t 为每天灌水的小时数，抽水灌区和井灌区，一般 $t=20\sim22h$，自流灌区为减少水量损失和提高灌溉效率，通常应昼夜灌水，所以 $t=24h$；

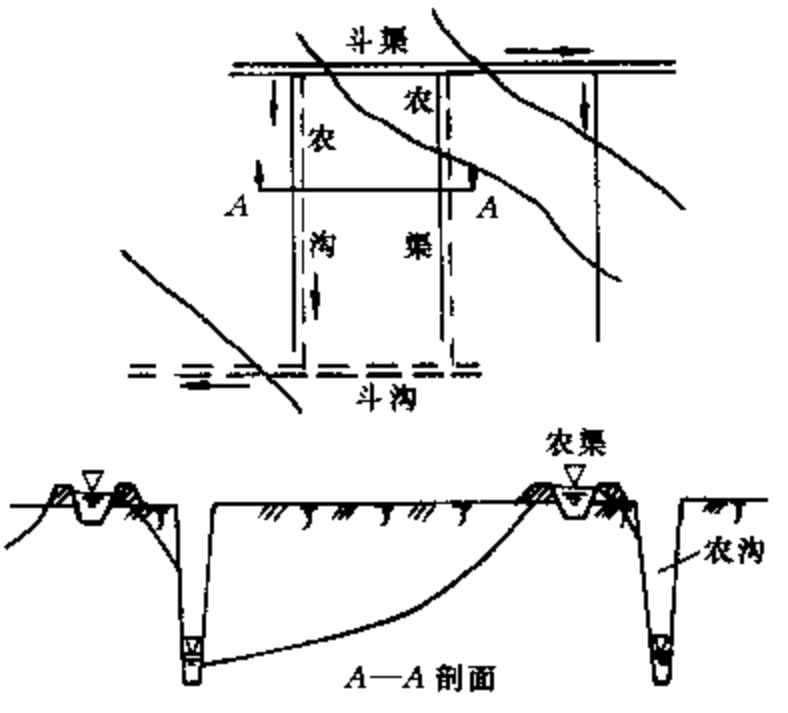


图 6-5　灌排相邻布置

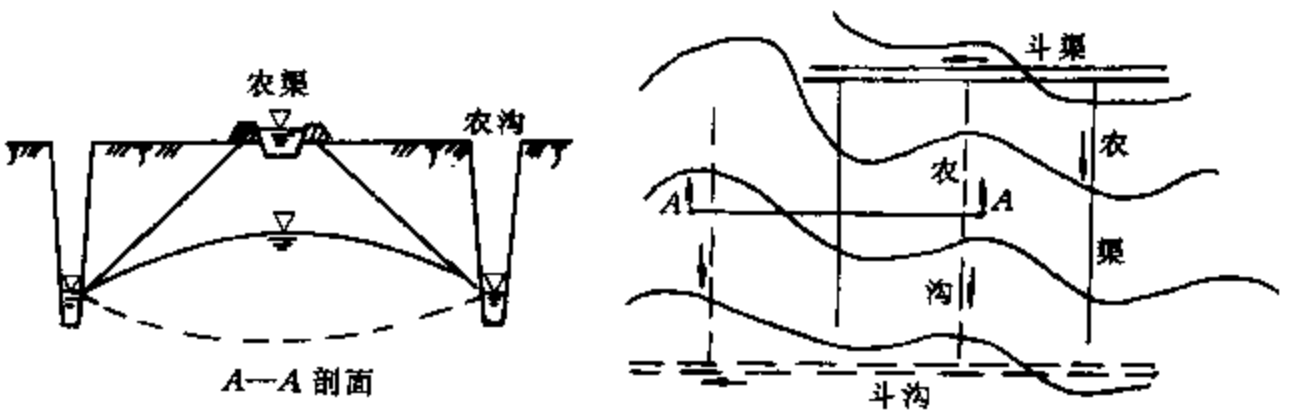


图 6-6　灌排相间布置

表 6-4　　我国北方各地排除地面水的田间排水沟深度与间距

地　区	沟　名	沟深（m）	间距（m）	备　注
河北省南皮县	毛　沟 农　沟 斗　沟	1～1.5 1.5～2.5 2.8～3.0	50～100 250～300 1000	试验区（除涝、排渍）
三口平原低地	毛　沟 农　沟	0.6～0.8 0.8～1.0 >1.0	65～112 22～48 400～500	一般涝区 重涝区
淮北平原	毛　沟 农　沟 斗　沟	0.8～1.0 1.5 2.0	60 250 500	砂上、黑土区排除三天暴雨均值为125mm，设计暴雨前期影响值为45mm
华北低洼易涝区	毛沟及农沟	0.8 1.0 1.3	30 50 100	

表 6-5　　我国北方各地排除地下水的田间排水沟深度与间距

地　区	沟　名	沟　深 (m)	间　距 (m)	备　注
陕西蒲城卤泊滩地区	农　沟	1.23	156	浅位，薄层重壤偏中粘土
		1.45	156	中位，中层轻粘、重粘土
		2.40	326	深位，中层重壤偏轻粘壤土
		2.61	300	浅位，中层重粘、轻粘土
内蒙古河套灌区乃日水试验站	农　沟	1.6～1.8	76～152	低洼盐碱地
山东打渔张灌区	毛　沟	0.9～1.0	65	深位厚层胶泥细砂，渗透系数 2.5m/d
	农　沟	1.5～2.5	120～220	中位厚层胶泥轻壤，渗透系数 2.5m/d
	农　沟	1.5～1.8	530	表层厚粘土质，渗透系数 6.5m/d
		2.0～2.5	600	深位厚层胶泥质，渗透系数 2.5m/d
新疆南疆 29 团	农　沟	1.2～1.5	80～120	以轻壤为主的盐碱地水旱轮作地
新疆北疆 125 团	农　沟	1.5	80～130	以重砂及粘土为主的水旱轮作盐碱地
	农　沟	1.5～2.0	160～270	以中壤为主
		2.0～2.5	270～340	

3600 是 1 小时的秒数。

一般田间灌溉渠道斗、农或毛渠的灌溉面积以及某种作物某次灌水的灌水定额都已确定，所以影响灌水流量的主要因素是灌水延续时间，它与作物种类、灌溉面积大小和农业生产劳动计划安排有关。灌水延续时间越短，作物对水分的要求越容易得到及时的满足，但这将加大渠道的输水流量，并造成灌水劳动强度过分紧张。不同作物允许的灌水延续时间也不相同。对主要作物的重要一次灌水，例如作物需水临界期的灌水，灌水延续时间不宜过长。次要作物可以允许延长一些灌水时间，如棉田冬灌等。如果灌溉面积较大，劳动力条件较差，灌水时间也可以稍长些，但延长灌水时间应在农业栽培技术许可和不影响作物生长发育，不降低作物产量的前提下确定。对于灌溉面积较小的斗、农、毛渠，灌水延续时间应短些。例如，一条农渠的灌水延续时间一般为 12～24h。

为满足农田需要引入的净流量，就必须在计算斗、农、毛渠通过的流量时加上各自渠道的输水损失流量，通常按下式计算

$$Q_{毛} = \frac{Q}{\eta} \tag{6-2}$$

式中：$Q_{毛}$ 为渠道毛流量，又称渠道设计流量，就是净灌水流量与损失流量之和，m^3/s 或L/s；η 为渠道水利用系数。对于田间各级渠道，要求渠道水的利用系数必须在 0.85 以上。

举例：某农渠控制面积 500 亩，作物本次灌水的灌水定额为 $40m^3$/亩，要求昼夜灌水，1 天内灌完，农渠水的利用系数采用 0.9。所以，要求农渠应通过的流量为

$$Q = \frac{Am}{3600Tt} = \frac{500 \times 40}{3600 \times 1 \times 24} = 0.231(m^3/s)$$

$$Q_{毛} = \frac{Q}{\eta} = \frac{0.231}{0.9} = 0.257\ m^3/s = 260\ (L/s)$$

四、渠、沟、路、林、电和村的配置

渠、沟、路、林、电和居民村是农田基本建设的重要组成部分。在进行田间灌排渠沟

网规划布置时，应同时进行道路、林带、通讯和输电线路以及居民点的全面规划布置。通常它们都与土地利用规划结合进行。规划中除满足灌排要求外，还应有利于当地的生态环境保护和农、林、牧、副、渔各业的全面发展。一般要求，耕地面积不应低于土地面积的80%～85%；林地面积不少于7%～10%；基建用地面积不大于8%～10%。

田间道路关系到农业生产、交通运输、人民生活和实现农业机械化等方面的需要，因此，规划配置时应特别注意：①田间道路应保证居民与田间，以及田块之间的交通方便通畅。②田间道路应与渠、沟、林及田块地界相协调。③尽量减少田间道路占地以及道路桥、涵等的工程投资。④田间道路要与村镇城乡骨干道路相连通。

根据各地经验，田间道路网占地面积应小于土地利用面积1.5%。路面应高出条田地面0.3～0.7m；干、支道取大值，田间生产路取低值。道路纵向坡度不宜太大，平原地区一般不宜超过6%；山丘区最大不应超过11%。地面坡度过陡，道路不可强求端直，应回旋攀登，但弯道半径不得小于20m。田间道路宽度应根据生产需要和尽量节约占地，按交通车辆和农机具的宽度确定。田间生产路宽度，大路3～4m。人行道，不通行机动车辆的生产小路，一般路面宽度1.5m左右。

灌区绿化，植树种草，发展多种经营，不仅可以增加收入，而且还能美化环境，调节气候，保持水土，防风护苗，这是我国旱区有关生态环境保护的重要问题。通常在渠旁、沟旁、路旁和一切可以植树种草的地方栽种林木、果树和花草　一般可在支、斗、农渠和沟，以及道路的一侧或两侧栽种。植树行数、行距和株距要适当，不可过密，否则会影响树木和花草、作物的正常生长。一般可在斗、农渠和沟两岸植树两行。植树位置应在渠堤顶宽以外0.5m处；排水沟则在沟口外缘0.5m的沟岸上；渠和沟的内侧不得种树。道路两侧可以栽种一行树。东西方向的渠沟路以种植低矮、遮荫小的树种或灌木为宜，株距2m左右，以免影响作物生长。南北方向的渠沟路可以种植大冠树种，株距3～5m。起防风作用的林带，要垂直主风向布置。要注意经济林与用材林，常绿树与落叶树，乔木和灌木，成林与幼林的互相搭配。有条件的地方，可种植果树或饲养桑蚕、柞蚕等。树种应以用材林为主。斗渠和支路以下宜种植杨树、柳树等，林木间可以套种紫穗槐和白腊条等。村镇周围和街道两旁宜种植风景林。

田间输电线路和广播通讯线路一般要求应在渠道和道路的一侧沿条田地界架设，以便于管理维护和田间耕作。电杆和线路距渠、路外侧的安全距离，高压线为15～18m，低压线应不小于10m。

第三节　平　整　土　地

平整土地是保证灌水质量，提高灌水劳动生产率，节约灌溉用水的一项重要措施，是农田基本建设的主要内容之一。实践证明，土地经过平整、深翻，不仅耕作、灌溉方便，而且还可以充分发挥水、肥、土的综合增产作用，为取得旱涝保收、高产稳产奠定基础。

一、对平整土地的基本要求

平整土地既要符合地面灌溉灌水技术的要求，又应便利耕作和田间管理，其基本要求如下。

(1) 平整后田块内所有各点的田面高程应比最末一级固定渠道(农渠或者毛渠)引水口处的渠底高程低，以方便自流引水入田。

(2) 平整后的田面坡度应满足灌水要求。一般，在条田地块内，田面纵向坡度（沿田面长边坡度方向）应尽量与自然地面坡度一致。也就是，田面纵坡方向应顺着耕作方向和灌水方向，并要求尽量有一致的坡度，而且接近自然地面坡度，以减少平整土地的土方量。但田面不允许存在倒坡。对于旱作物地面灌溉，田面坡度应满足畦、沟灌灌水技术的要求。

(3) 应满足一定的平整精度。平整后的条田田面要求坡度均匀一致。一般畦灌地面高差应小于±5cm；水平畦灌地面高差应在±1.5cm 以内；沟灌地面高差应小于±10cm。

(4) 平整工作量最小。要求移高填低，就近挖填方平衡；运距最短，工效最高。

(5) 平整后的土地应保持一定的肥力。为此平整土地时应尽量保留表土。一般挖方处应保留表土厚度 20～30cm；填方处填厚超过 50cm 时，必须使熟土上翻，生土上保持有 20～30cm 厚的熟土层；如种有绿肥，应将绿肥和熟土切成方块搬移，待平整后再还原、铺平。

(6) 平整土地应以长远为目标，以当前为基础。确保当年平整，当年受益。为此要妥善安排当年农业生产和作物种植计划，以不影响当年农业产量。

二、平整土地的测量与计算

在满足平整土地基本要求的前提下，于平整土地前，先进行测量与计算，以掌握地形情况和地面高程变化。并根据填挖土方量平衡的原则，确定填挖分界线和各点的填挖方高(深)度。在没有较好的大比例尺地形图时，最常用的测量方法有目估试平法和方格网测量法两种。

(一) 目估试平法

目估试平法比较粗糙。该方法可分为目估和试平两个环节。

1. 目估

由技术人员和有经验的干部、群众对需进行土地平整的田块进行调查，并依据地形条件及平整土地的技术要求和填挖方量平衡的原则，凭经验初步确定出填挖方分界线、填挖方范围和有代表性地点的挖填高度，同时建立挖填方标志。

2. 试平

若地形比较复杂，目估不易准确时，应进行试平。即组织少量劳力，在平整地块内选择有一定代表性的一个或几个小地段进行试平，以对目估结果进行校核。

试平方法是，先在选定的挖土地段内，依估计挖深开挖一个土槽（称试平槽），贯通挖方地段，并将挖出的土方运至填方地段，且使填土宽度与挖方土槽宽度相等（图 6-7）。然后查看平整后的挖填槽带是否符合平整要求，挖填土方量是否平衡。若挖方量大于填方量，可将开挖线向高处移动，以减小挖土面积，减少挖方深度，扩大填方面积，提高试平面。若挖方量小于填方量，应将开挖线向低处移动，降低试平面。如此调整试平面，使挖填土方量基本平衡为止。最后得到的试平面与原地面的交界线即为挖填土方分界线，试平地面的高程即为土地平整施工的标准高程。

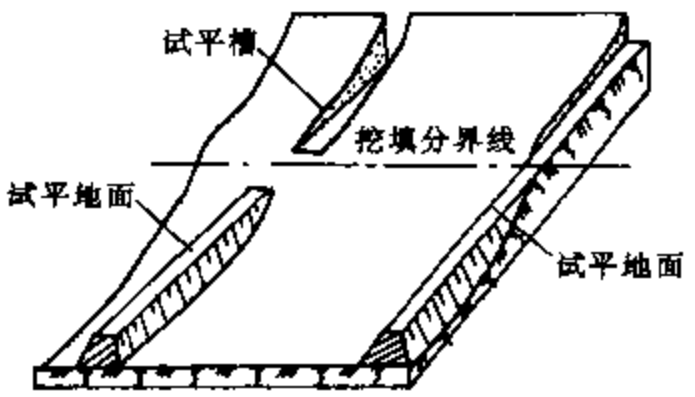


图 6-7　目估试平法示意图

试平地带的选择应具有一定的代表性。若试平地带在平整地块的中部，称中间试平。若试平地带在平整地块的边界处，称边线试平。若地形比较复杂，应分区试平若干地带，进行挖填土方量的平衡计算。

根据群众经验，把待平整地块的地形可分解为“盆地”形、“龟盖”形、“扁担”形、“弓腰”形、“跌角”形和“溜坡”形等多种形式的地块，或由几种地形形式混合形成的地块等。各种地形、地块的开挖线有以下几种形式，可供目估时参考。

(1) 四周高中间低的“盆地”（又称锅底）形地块（图 6-8）和四周低中间高的“龟盖”形地块（图 6-9），其开挖线为一封闭曲线。

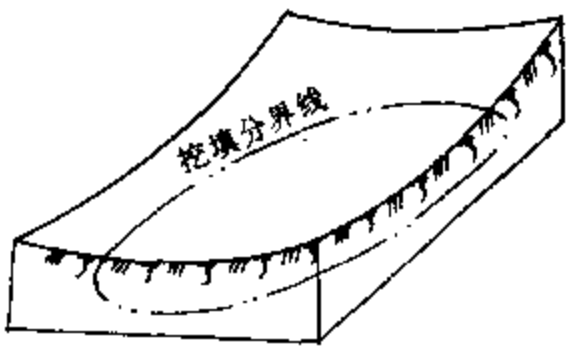


图 6-8 锅底形地块

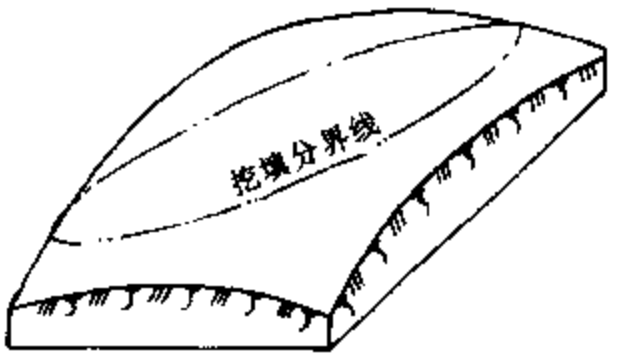


图 6-9 龟盖形地块

(2) 两头高中间低的“扁担”形地块（图 6-10）和中间高两端低的“弓腰”形地块（图 6-11），其开挖线为两条线段。

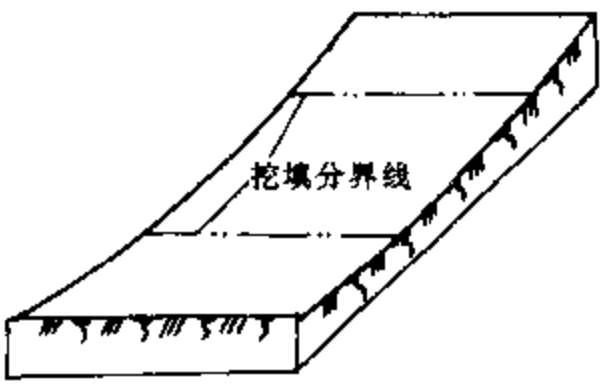


图 6-10 扁担形地块

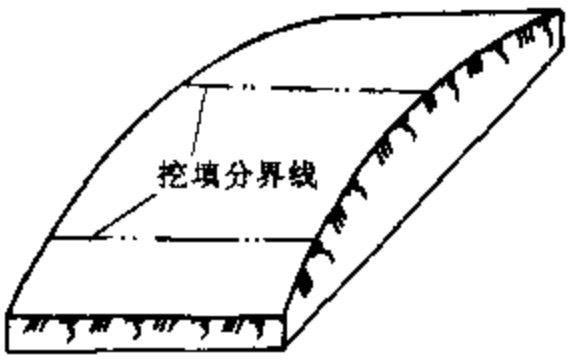


图 6-11 弓腰形地块

(3) 三边高一边低的“跌角”形地块（图 6-12）和一边高一边低的“溜坡”形地块（图 6-13），开挖线为一条线段。

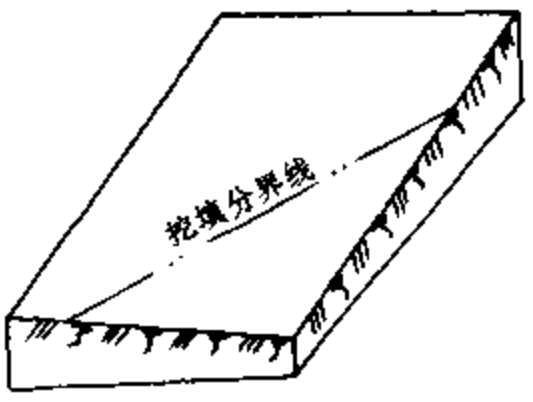


图 6-12 跌角形地块

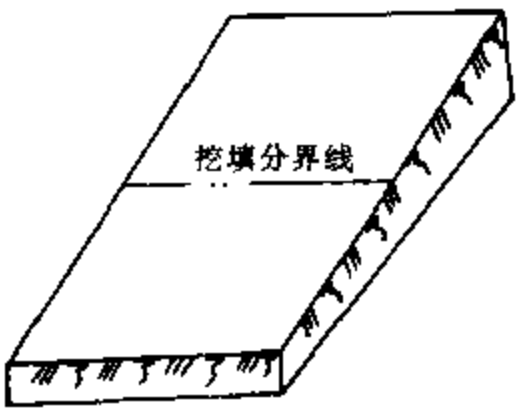


图 6-13 溜坡形地块

（二）合并田块的平整测量与计算法

通常，为了适应农业机械耕种的要求，往往需要将数块面积较小的地块合并成为一个大的田块，如图 6-14 所示。若有四块不等高的平台阶地，其面积分别为 A_1、A_2、A_3 和 A_4。各地块面积的大小可利用小平板仪测出，或用皮（钢）卷尺丈量，绘出草图后，进行计算。对应各地块的田面高程需用水准仪测出，分别为 H_1、H_2、H_3 和 H_4。用水准仪测定高程时可用假定高程，或由附近水准点引测实际海拔高程。施测时，若田面比较平坦，可只测地块中部有代表性一个点的田面高程。若田面有较均匀的坡度，可在地块两端各测一个点的田面高程，取两点田面高程的平均值，作为代表本地块的田面高程。

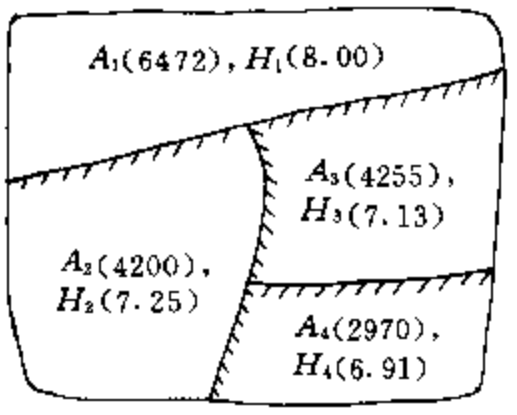


图 6-14　小块地合并图

设合并后地块平整的田面高程为 H_m，则各地块的填（挖）施工高度分别为：H_1-H_m，H_2-H_m，H_3-H_m 和 H_4-H_m。

为了满足挖填土方量平衡条件，则挖填土方量总和应等于零，即

$$A_1(H_1-H_m)+A_2(H_2-H_m)+A_3(H_3-H_m)+A_4(H_4-H_m)=0 \qquad (6\text{-}3)$$

所以

$$H_m=\frac{A_1H_1+A_2H_2+A_3H_3+A_4H_4}{A_1+A_2+A_3+A_4}=\frac{\sum A_iH_i}{\sum A_i} \qquad (6\text{-}4)$$

平整后的田面高程 H_m 计算出来后，即可逐个求出各小地块的填高或挖深值，为填挖施工时提供依据。

如图 6-14 所示，可计算得出平整后的田面高程为

$$H_m=\frac{6472\times 8.00+4200\times 7.25+4255\times 7.13+2970\times 6.91}{6472+4200+4255+2970}=7.44\ (\text{m})$$

各小地块的填高或挖深值分别为：A_1 地块，8.00—7.44＝0.56m（挖深）；A_2 地块，7.25—7.44＝—0.19m（填高）；A_3 地块，7.13—7.44＝—0.31m（填高）；A_4 地块，6.91—7.44＝—0.53m（填高）。

（三）方格网测量与计算法

对于地形比较复杂而需要平整的地块面积又较大时，应采用方格网测量与计算方法。一般方格网测量与计算的方法步骤如下。

1. 布设方格网

为了减少测点，简化计算手续，方格网的布设，其起始边通常是在地块较整齐的边缘处（如渠道、沟道和道路的边线），用标杆定出一条基准线。在基准线上每隔一定距离打一木桩（或撒白灰、草木灰），即为基准线上方格网的基点，如图 6-15 上的 a、b、c、d、e 等各点。然后在各木桩基点处作垂直于基准线的垂线，并在各垂线上按与基准线相同的间距设点打木桩，这样就在地面上组成了方格网。若地块没有较整齐的边缘时，也可以地块中心线为基准线，设立第一排木桩基点。然后再向左右延伸，直至地块边缘。在木桩基点上作垂直于基准线的垂线的方法，可以采用经纬仪法，或用卷尺根据勾股弦定律，用距离交会的方法在地面上作出。

方格的大小，可根据地块面积的大小，地形的复杂程度及平整土地的施工方法确定。对

于人工平地，地块面积较小的情况，方格可采用10m×10m或20m×20m；对于机械化平地，可采用40m×40m或100m×100m的方格。为计算方便，各方格应对照平整地块现场绘出草图，并按行列编号，如图6-15所示（其边长为20m，为20m×20m的方格网），其第一个方格左上角的桩号为1—a，顺序排列编号，直到最后一个方格，即第16个方格的右下角的桩号为5—e。

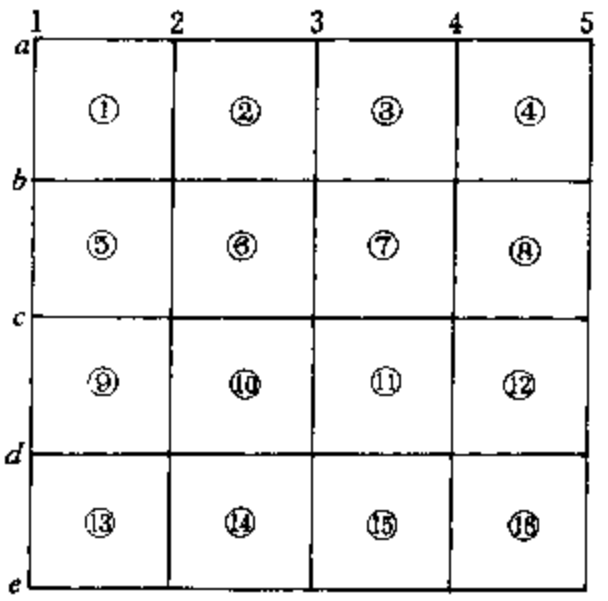


图6-15　方格网布设图

2. 进行方格网测量

进行方格网测量的任务，就是应用水准仪，测定出方格网各方格角点的地面高程，如图6-16所示。测量地面高程时，若某个方格角点正好处在局部凹（凸）处，则可以该方格角点附近有代表性的地面高程代替。各方格角点的地面高程最好由附近的水准点引测；若无水准点，也可采用假定高程，即假定某一方格角点的地面高程为起算高程。如图6-17，假定1—a点的地面高程为10.00mm，然后用水准仪测出其它各方格角点的地面高程，并标记在绘制的平整地块图上。

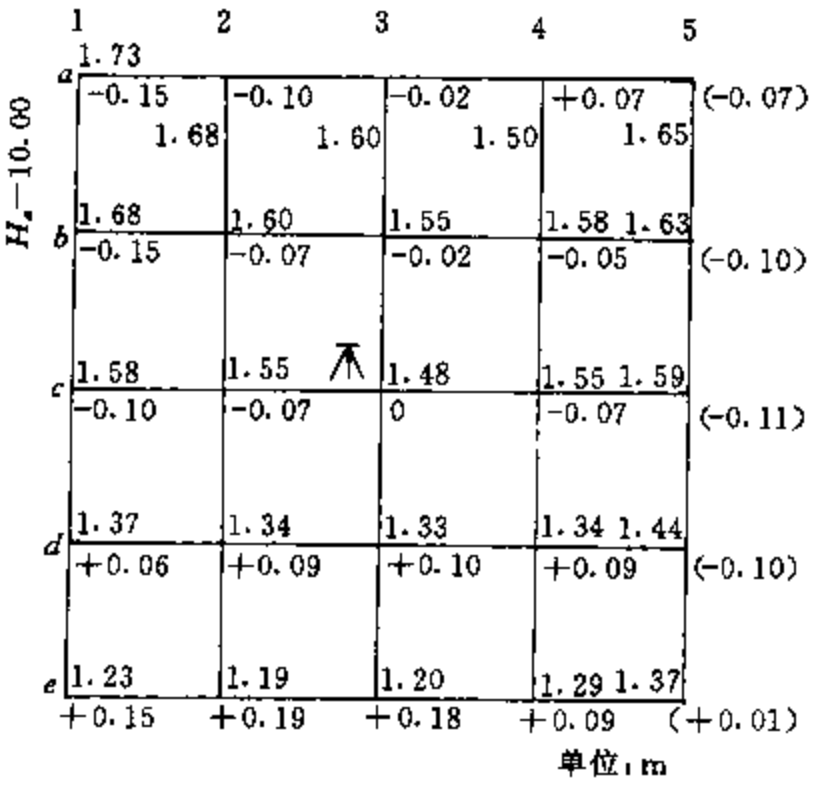


图6-16　方格网测算图（一）

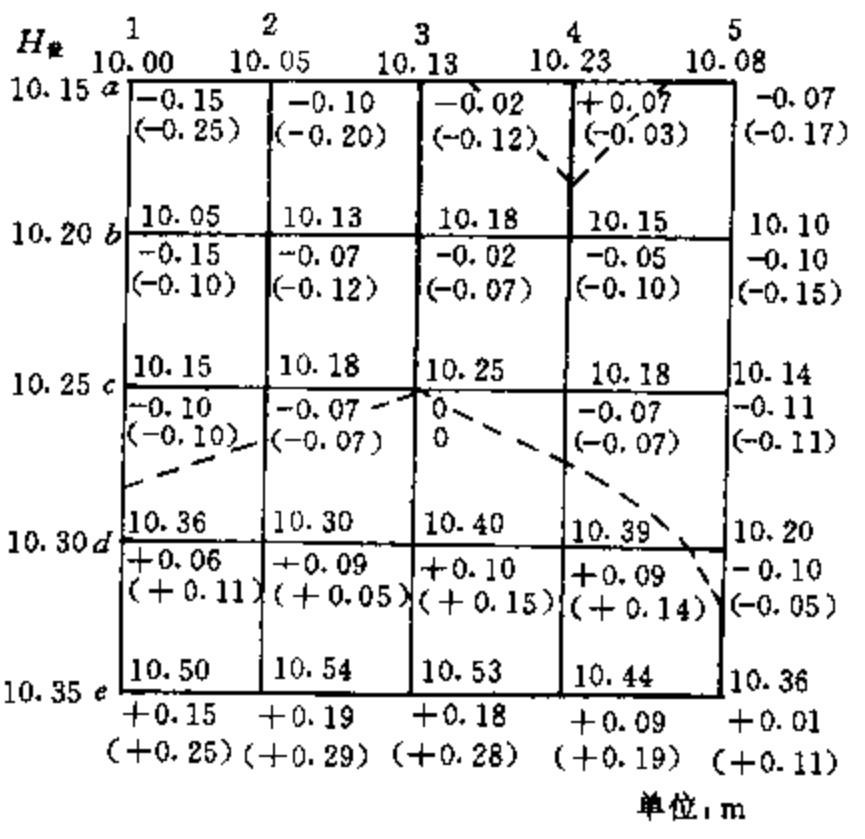


图6-17　方格网测算图（二）

3. 挖填高度的计算

平整地块挖填高度的计算一般有两种情况，即将平整地块平整成水平面情况和将平整地块平整成为具有一定纵坡的情况；通常平整地块的横向都要求为水平面状态。

（1）平整成水平地面，各方格角点填挖高度的计算。

1）计算每个小方格四个角点的平均高程H_1、H_2…H_n（n为方格数），如图6-17中：

第一个方格$H_1 = \frac{1}{4}(10.00 + 10.05 + 10.05 + 10.13) = 10.06$（m）

第二个方格$H_2=\frac{1}{4}(10.05+10.13+10.13+10.18)=10.12$ (m)

依此类推，可逐个算出各小方格的平均高程，即，$H_3=10.17$，$H_4=10.14$，$H_5=10.13$，$H_6=10.18$，$H_7=10.19$，$H_8=10.14$，$H_9=10.27$，$H_{10}=10.30$，$H_{11}=10.30$，$H_{12}=10.25$，$H_{13}=10.45$，$H_{14}=10.46$，$H_{15}=10.44$，$H_{16}=10.37$。

2）取所有小方格平均高程的平均值，作为平整后水平地面的设计高程H_m，即

$$H_m=\frac{1}{16}(H_1+H_2+\cdots+H_{16})=10.25\ (\mathrm{m})$$

3）计算各方格角点的填挖高度（平整施工高度）。填挖高度＝角点地面高程－设计高程。其计算结果，“＋”数为挖土深度，“－”数为填土高度，于是可计算出，1－a点应填高＝10.00－10.25＝－0.25m，依此可计算得出各方格角点的填挖高度，如图6-17中方括号内的数值。

(2) 平整成具有一定纵向坡度地面的各方格角点的填挖高度计算。为减少平整土地施工土方量和满足地面沟、畦灌法灌水要求，通常均需将地面平整成具有一定坡度的斜平面。此时，各方格角点的填挖高度计算方法如下。

1）按前述平整成水平面的计算方法，求出田面设计高程H_m，即上例，$H_m=10.25$m。

2）计算斜面上各方格角点间的设计地面高差。例如，若把图6-17平整成为南高北低，坡度为1/400的斜平面时，则南北向相邻两个方格角点的设计地面高差为20m×1/400＝0.05m。

3）计算各方格角点的设计高程。通常，地面沟、畦灌灌水技术只要求纵向有一定田面坡度，而横向（即本例之东西向）无坡度。现已知平整田面的设计高程，也即平面中心或称平整田面重心的高程，则可在土地平整方格网测量图上初步确定平整田面重心点和重心行的位置。例如，在图6-17上，可初步确定平整田面的重心点和重心行为c角点及其1－c、2－c、3－c、4－c和5－c各角点，其设计高程均应为10.25m。于是，其他各方格角点的设计高程也可推算得出。对于重心行（即c角点所在的行）以南各行（即d行、e行）的各角点，其设计高程应分别增加0.05m和0.05m×2。则d行上的各角点的设计高程应为10.25＋0.05＝10.30m。同理e行上各角点的设计高程应为10.25＋0.05×2＝10.35m。对于重心行以北各行（即b行、a行）的各角点，其设计高程应分别减去0.05m和0.05m×2m，即为10.20m和10.15m等。见图6-17。

4）计算各方格角点的填挖高度（又称施工高度）并标注在方格网测量图上。各方格角点的填挖高度＝各方格角点的地面高程－该点的设计高程。计算结果若为“＋”数，表示该角点的地面高程大于设计高程，需挖去，即为挖方深度。若计算结果为“－”数，则表示该角点的填方高度。

4. 在方格网测量图上绘出施工零线

在方格网的填方点和挖方点之间必有一个填挖方的分界点，即施工零点，把相关的施工零点连接起来，即为施工零线。零点和零线是计算土方量和进行施工的重要依据。零点位置可根据相似三角形的比例关系求出，如图6-18所示，计算公式为

$$x=\frac{l}{h_1+h_2}h_1 \tag{6-5}$$

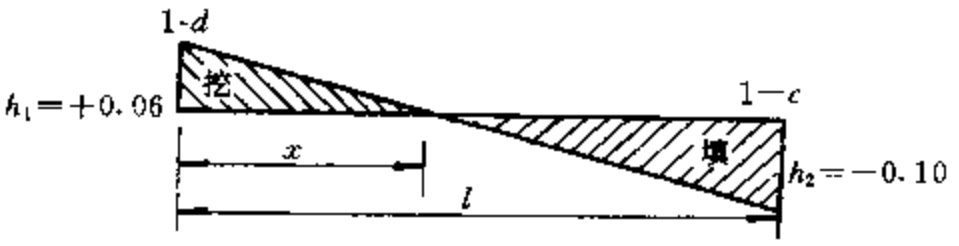


图 6-18　零点位置相似三角形比例关系图

式中：x 为零点距填（挖）数值为 h_1 的方格点的距离；l 为方格边长；h_1，h_2 为方格两端的填挖数值，均用绝对值。

如图 6-18 所示，本例之 1—c 和 1—d 之间的零点位置为距 1—d 点 7.5m 处，即

$$x = \frac{20}{(0.06 + 0.10)} \times 0.06 = 7.5\ (\text{m})$$

5. 填挖土方量计算

填挖施工零线（或称开挖线）确定后，即可按下式分别计算各方格的填挖土方量，即

$$V = Ah \tag{6-6}$$

式中：V 为某方格的填方或挖方数量，m^3；A 为该填、挖地块的底面积，m^2；h 为该方格各角点填高或挖深的平均数，m。

计算土方量时，若某方格中既有填高的角点，又有挖深的角点，则应先按施工零线将方格中的填、挖地块分隔开，再分别按填方地块和挖方地块依其各自的实际底面积计算其填方量和挖方量。

计算出各方格的填、挖方量后，将其分别汇总即得总填方量和总挖方量。一般总填方量应与总挖方量大致相等，但由于计算中的近似性，总填、挖方量往往相差较大，此时若经复算仍无误时，则需要修正设计高程，即

$$\text{修正后的设计高程} = \text{第一次计算的设计高程} + \frac{(\text{挖方总量} - \text{填方总量})}{\text{平整田块的总面积}} \tag{6-7}$$

用改正后的设计高程，重新确定填挖施工零线，再计算填、挖土方量，直到填、挖土方量基本相等为止。

6. 土方量的调配

当填挖土方量计算完成后，应作出运土用工最省、施工方便的调配方案，图 6-19 为一种简略的土方调运路线示例图。图中箭头所指的是运土方向，箭杆方框内的数字表示运土的方量。在制定土方调运方案时，应特别注意不可产生交叉对流调运路线。

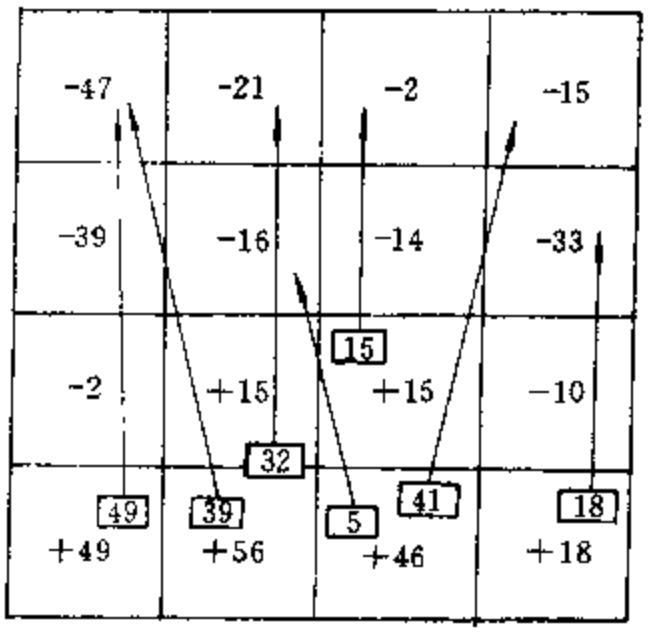


图 6-19　土方调运示例图

三、平整土地方法

平整土地方法直接影响土地平整质量和工效，是保证当年受益，当年作物增产的关键。对于地面高差不大的田块，平整土地方法可结合耕作，进行有计划地移高垫低，逐年平整达到平整要求为止。对于地面高差大，需要深挖厚垫的田块，通常可采用人工平整方法和机械平整方法两类。

人工平整方法较多。各地叫法不同，但归纳起来，大致可分为“倒槽法”、“抽槽法”和“全铲法”三种。

1. 倒槽平地法

倒槽平地法又称倒行子法，亦称去生留熟法。倒槽平地法是在挖方地段，将挖方田块分成若干行，每行宽1～2m，依设计地面高程先在第一行挖槽，深达设计地面高程以下约30cm，将槽内土挖出并全部运至填方处，然后再挖松该行槽底生土，深约30cm；随之将第二行表层30cm厚的表层熟土翻填铺于第一行槽内，并使其达到田面设计高程；再挖取第二行槽内熟土层以下的底土，运至填方处，如此用同样方法依次一槽一槽地进行平整。

倒槽平地法，平地质量高，容易保留表土，平后地力均匀，平地结合深翻，有利于保证当年增产。另外，倒槽法工作面大，能多摆劳力进行平整，施工方便，不易产生窝工浪费。

2. 抽槽平地法

抽槽平地法是在挖方地段取土的地块上，顺坡度方向每隔一定距离挖一条宽1～2m的土槽，挖取槽土深度依土方量平衡灵活掌握。一般应挖至设计地面高程线以下。先将挖出的表层熟土置于土梁上，然后再将槽内生土翻松并运至填土处；随后再在槽内搜根挖梁，刨松底土及槽两侧生土，填平抽槽，再将置于土梁上的熟土回填覆盖到槽内生土上。

抽槽平地法的主要优点是劳动组织管理方便，工效较高，可保留熟土50%以上。但缺点是合槽技术不易掌握，平地后常出现地力不均匀，影响作物生长和当年产量。

3. 全铲平地法

全铲平地又称揭盖子，是将平整地块高出设计地面高程线以上的部分，不论生土和熟土，一次全部挖去，并移填至低处。

全铲平地法适用于机械平整，工效高，平整速度快。但平后土地生熟土混杂，地力不易恢复，容易造成减产。

平整土地是一项工作量较大的土方工程。近年来随着农业机械化的发展，应用机械平整土地，已越来越广泛。实践证明，机械平地不仅大大加快了平地速度，而且在复种指数高的地区，尚有利于抓紧作物收、种之间的间隙，及时进行平整，同样可以保证平地质量，促进农业增产。目前，我国应用最多的平地机械是推土机、铲运机和平地机。

四、土地平整后的田间管理

平整土地，极易产生地力不均匀现象。因此，除在土地平整设计与施工中，尽量避免深挖、厚填，注意保留熟土外，还应加强土地平整后的田间管理，以促进土壤熟化，保证当年作物就能增产。一般可采取以下田间管理措施。

1. 早灌塌实水

土地平整后及时灌水，不仅可以塌实土壤，促进土壤熟化，而且还可以蓄足底墒，为适时播种和苗全苗壮创造条件。冬季平整后灌水，通过冻融作用，可使土壤疏松。夏季平整后灌水，经烈日暴晒，可使死土变活土。实践证明，平整后及时早灌塌实水，增产显著。灌塌实水应力求均匀、一次灌好。对于填土部位因有虚土，应注意结合深耕筑好畦埂，或每隔一定距离开一条灌水沟，由沟内灌水。灌水量应稍大一些，一般约80～120m^3/亩。

2. 重施有机肥，巧施速效肥

平整后的土地往往因挖填厚度不同，生熟土分布不均匀，而造成表土地力有很大差异，需要增施有机肥（猪粪、厩肥及人粪尿等），巧施速效肥（墙坑土和化肥等），改良土壤结构，促进土壤熟化，平均地力，保证作物生长整齐健壮，达到均衡增产。特别是在挖土部

位，更应多施有机肥；在作物生长期禾苗较瘦弱时，适当多追施化肥。

3. 深耕细整，耙磨碾压

深耕可以松土匀土，使新老土掺搅拌合，有利于土壤蓄水和熟化。因此，平整后应趁土壤水分适宜时进行耕翻、耙磨碾压，不仅可以填平小沟，粉碎土块，提高土地平整质量，并有改良土壤结构的功能。

4. 选种耐瘠薄作物，加强苗期田间管理

挖方部位一般土壤肥力较低，可选种红薯、油菜、豌豆等耐瘠薄作物；在填方部位，作物（特别是棉花）生长前期可能发苗迟，而后期容易疯长，故应加强苗期田间管理，力促壮苗早发。

第七章　田间灌溉管理

灌区灌溉管理是对全灌区的灌溉工程进行全面管理，而田间灌溉管理则是对灌区的田间工程（田间灌排渠沟系统）进行全面管理。它们的主要任务是：通过对全灌区包括田间的农田灌溉工程设施的管理运用，以保护和合理地利用灌区内一切可以开发的水资源，充分发挥农田灌溉水的最大效益；合理地调配农田灌溉水量，实行科学用水，节约用水，以保持良好的农田生态环境，维持灌区水土资源平衡，发挥灌排的最大作用，获得作物高产稳产；开展科学试验研究，推广先进的农田灌排新技术；搞好经营管理，开展多种经营综合利用，以不断进行灌区技术改造，降低灌溉成本。加强灌溉管理，特别是加强田间灌溉管理，提高其用水效率，将对推行节水灌溉，发展农业生产，增强农业持续发展的后劲，具有重要的意义。

灌区灌溉管理的主要内容包括组织管理、工程管理、用水管理和经营管理。四大组成部分。它们是一个有机的整体，彼此相互联系，互相促进，形成灌区管理工作的四个主要环节。其中，工程管理是灌区灌溉管理工作的基础，用水管理是灌区灌溉管理工作的中心内容，组织管理是全面实施灌区灌溉管理工作的根本保证，经营管理是促进、巩固和发展灌区灌溉管理工作的重要手段。

灌溉工程管理主要是，对灌溉工程设施进行合理地调度控制运用、检查观测和维修养护，以及改善、改建和扩建等。它的主要任务是，使各项灌溉工程配套完善，不断提高灌溉工程质量，保证灌溉工程设施完整及运行安全，充分发挥其正常功能。

灌溉用水管理主要是，实行计划用水，合理调配水量，及时组织进行田间灌水，为作物生长和土壤改良提供良好的水分条件，以达到节约农田灌溉用水，促进作物稳产高产的目的。

灌溉组织管理主要是，健立、健全各级管理组织，制订各种灌溉管理规章制度，进行宣传教育和干部职工培训，编制及执行生产财务计划等等，以充分发挥各级管理组织的效能，贯彻执行党和国家政府的有关方针、政策，保证灌溉管理工作任务全面完成。

灌溉经营管理主要是，结合灌溉工程设施和灌溉用水管理，实行以水养水的原则，调整水价，征收水费，开展综合利用和多种经营、充分利用灌区水土资源及灌溉工程设施创造财富，以扩大灌区各级管理组织的经济收入，推行灌区管理产业化和企业化。

田间灌溉管理同样包括上述四个组成部分，但其管理范围及管理重点则有很大差别。田间灌溉管理的主要内容包括：①建立健全田间管理组织及灌水的有关规章制度，征收水费并开展多种经营。②实行计划用水，合理地调配田间灌溉水量，并在田间组织实施合理的灌水与排水。③检查、观测和维修养护田间工程设施，保证田间灌溉设施完整与运行安全。

第一节　田间灌溉管理组织

一、田间灌溉管理组织的形式与任务

灌区田间灌溉管理组织是全面负责灌区田间各项管理工作的组织机构，是搞好灌区田

间灌溉管理的可靠保证。目前，我国灌区按管理体制大致可分为国家管理、集体管理和个人管理三种类型。其中田间灌溉管理组织则是上述三种管理体制类型灌区管理组织的基础，属群众性的民主管理组织。因此，田间灌溉管理组织又称为基层灌溉管理组织。随着我国农村经济体制改革的深入发展，以及农村生产责任制的变化和完善，基层灌溉管理组织的形式也多种多样，各地并不统一。

我国大、中型灌区，多数均以斗渠管理委员会为灌区最基层的民主管理组织。斗渠管理委员会，由受益户民主协商选举产生。斗渠管委会委员的组成应照顾到渠道上、中、下游和不同行政区域、不同用水单位的代表性。委员会设主任、副主任各一人，委员若干人。主任一般可由主管水利的村长担任，副主任由斗渠长担任。斗渠长应选择热心公益事业，年富力强，有一定管理经验，处事公正，在当地群众中有一定威信的人担任。斗委会内应设斗渠技术员和会计员，斗委会下应设浇地组或灌水、维修专业队，以及临时性的或季节性的防汛抢险工程维修等劳动组织。斗委会和斗渠长的主要职责是负责全斗渠所辖范围内的工程养护、维修，以及用水计划的编制与执行；负责灌溉期间水量的分配和送水工作，维持用水秩序，解决用水纠纷；组织防汛抢险和岁修清淤工作；负责本辖区用水户水费的计收工作；推广应用先进的灌水技术，建立示范试点基地工作等。

在我国大、中型灌区，斗渠以下还设有基层管水组织，一般采用村设水管组，村民小组设水管员的组织形式。通常每个村民小组设一名水管员，每个行政村则由村民小组的水管员组成水管组。水管员和水管组长最好是专职或分别由村民小组长和村长兼任。水管组的主要任务是，统一管理全村的农田灌水与渠道修建和维修养护工作。斗渠长、斗委会采取以村民小组为基本灌溉用水单位，实行斗渠配水、计量、收费到村民小组的管理办法。同时，又以村民小组水管员为核心成立管水、护渠和浇地专业队伍，负责搞好本村和全村各村民小组的灌溉用水、工程设施管理维护和计量、收费等项工作，从而使水、政统一，保证修渠、管水、用水、收费四位一体，统一进行。这样既调动了管水人员的积极性，也调动了行政管水和群众管水的积极性。在斗渠系和田间，统一进行巡渠、管水和浇地，可以方便及时灌溉，使浇地质量大为提高，灌溉费用降低，浇地速度加快，杜绝灌溉水量浪费，大大促进田间节约灌溉用水量。

对于集体及群众合作经营的小型灌区、多水源小型灌区和井灌区，我国一些地区田间灌溉管理组织的经验是，由乡或村统一管理，实行承包责任制。乡、村成立水管专业组织，统一管理各种水利设施，保证协调灌溉用水和适时、适量的灌水，从而合理地利用水土资源，促进农业稳产、高产。

对于机井、小型泵站和塘堰、蓄水池等小型水利工程设施，通常可因地制宜，因井、泵站、塘、池制宜，实行大包干、专户承包、养田承包、维修承包以及股份制等多种管理形式的责任制。采取乡、村（或组）、井（泵站、塘、池等）三级管理。村组统一管理，专人承包的管理制度，其管水，用水与节约用水，节约用能的成效非常显著。

我国北方机井灌区，近年来推广养井田承包制，井灌效益相当高。养井田承包制是一种由村、组统一管理，专户承包，并划拨养井田，发展井旁小经济区的综合机井管理方式。它充分利用了机井灵活和水源有保证的特点，组织群众在井旁土地上发展高收入的种植业和养殖业。一般养井田面积少则 3～5 亩，多则 20～30 亩。

总之，对于不同规模的水利设施，可以在所有权不变的前提下，由区、乡水利管理站或水利技术员负责组织承包。可以承包给农户、水利专业户、联户、村民小组或联合体经营管理；也可以工程或村为单位，建立田间管理组织，统一管理。对于水利工程，可以采取综合承包，或按工程分项采取单项承包。无论采用何种承包形式，都要有合同书。合同书中必须明确“责、权、利”。承包期可以适当加长，以尽量多的保护承包者的合法权益。

二、建立健全水量结算制度，加强财务管理

实行村设水管组、组设水管员管水，斗渠配水、计量和收费等均以村民小组为基本单位。为了杜绝乱收费、乱摊派等不良现象发生，堵塞财务往来漏洞，必须建立、健全田间灌溉管理组织内部的流量（或水量）的结算制度，必须加强财务管理。

根据我国一些灌区多年来的实践经验，通常在田间灌溉管理组织的财务管理上都实行“一单，一薄，一表”制度。“一单”是指用水通知单（或用水通知书），是供水单位与管水和用水单位发生经济往来的重要依据。“一薄”是指流量记载薄，是管水和用水单位与供水单位进行水量结算的唯一根据。“一表”指的是水费结算表，是供水单位与管水和用水单位经济往来关系的终结，必须纳入供水单位的财务账目中。

为调动广大群众管水、用水的积极性，以节约灌溉用水，降低灌水成本，必须在斗、村、组建立水利灌溉专账。目前我国一些灌区在基层灌溉管理组织中实行“一册，一表，一据”制度。“一册”是在灌溉管理段（站）、斗、村民小组设征收水费底册，也就是由斗配水到组，由段（站）开票，水费建账到组。“一表”是村民小组向用水户定期公布的水费、水量表，它可以加强村民小组对财务的管理，以及用水户对村民小组财务管理的监督。“一据”是用水户交纳水费的收据。这种财务管理制度，使各行政村分组建账，实行互相监督，可以大大节约用水，提高浇地灌水质量。

三、田间灌溉管理组织的经费筹集与劳动报酬

对于属集体管理的工程维修、养护和管水人员的劳动报酬，原则上应由灌溉用水受益户按受益多少筹集解决。资金筹集的渠道主要有：①按灌溉亩数多少或实用灌水量多少随水费计收附加费。②由乡、村集体企业利润中提取。③从斗委会本身综合经营收入中解决。④申请国家贷款或补贴。⑤由灌区管理单位从水费中予以补助。

关于管水人员的劳动报酬，应根据其所担任的工作性质、任务大小、劳动强度、技术难易程度，以及服务态度等给以恰当而合理的报酬。付酬方式应遵循按劳取酬的原则，并应规定与当地农业生产责任制相适应的办法，实行与工作任务相联系的岗位责任制和承包合同制。目前各地对群众管水人员的付酬方法有：①在灌区工作期间由斗委会根据所签订的合同，在附加水费中给以工资补助。②由灌区管理单位在水费中给以工资补助。③在经济比较发达、乡村集体企业实力雄厚的地方，可以把管水人员作为企业的一个组成成员，按企业管理办法计工付酬。④由集体划分一部分耕地、林木、或池塘作为责任田交给群众管水人员经营，签订承包合同，从经营收益中取得报酬。

第二节　田间灌溉水量调配

对于大、中型灌区，田间灌溉水量的调配主要是指用水单位(通常指斗渠管理委员会)内

部的灌溉水量调配。用水单位内部灌溉水量调配是灌区和渠系水量调配的基础，是最终实施计划用水，实现用水单位内部用水计划和灌水计划，节约灌溉用水，促进作物稳产高产的重要手段。

对于集体管理或个人管理的小型水利工程设施的灌区，它们本身就是一个独立的灌溉用水单位。因此，其田间灌溉水量的调配完全可以参考大、中型灌区用水单位内部灌溉水量的调配方法。

一、用水单位的用水计划

用水单位用水计划是编制灌区渠系用水计划的基础，是农田灌溉技术与农业生产技术相结合，为农业增产服务的重要环节，也是农业生产计划的一个组成部分。用水单位用水计划通常均以斗渠管理委员会或乡、村、农场为单元，在灌区专管机构的指导下编制。

1. 用水计划的编制

以斗渠管理委员会为单元，用水单位用水计划一般按灌溉季节编制，并在每轮灌水前编制出灌水计划。用水单位用水计划通常是根据上级用水计划安排，并结合本单位实际情况，如作物种类、种植面积、需水要求以及群众丰产用水经验等，提出本单位的用水时间和需用水量（或流量），并以用水申请书的形式（见表 7-1）报送上级灌区专管机构，经灌区管理机构综合平衡后，再以用水通知书的形式（见表 7-2）下达各个用水单位。各用水单位必须以下达的用水通知书作为本单位灌溉用水的依据。

表 7-1　　灌区用户需（用）水申请书

用户姓名：　　灌溉轮次：　　轮期：

作物种类	所在渠系	灌溉面积（亩）	灌水定额（m^3/亩）	需水量（万 m^3）	备　注
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

表 7-2　　用 水 通 知 书

用水通知书（存根）

_____村　_____组

_____灌　_____次

用水

用水单位		
	起	月　日　时　分
	止	月　日　时　分
	历时	时　分
斗口流量		L/s
斗口水量		m^3
毛灌水定额		m^3/亩
应灌面积		亩

第　号

×渠×斗用水通知书

_____村　_____组

_____发去　_____灌　　第　　次

用水通知书，希按时引用，自误水期或浪费水量少浇地不补。

用水通知									斗口流量（L·s）	斗口水量（L/s）	毛灌水定额（m^3/亩）	应灌面积（亩）
起				止				历时（时、分）				
月	日	时	分	月	日	时	分					

表 7-1 中各栏均需根据用水单位本轮期本次灌水的实际情况如实填写。其中第 5 栏（需水量）＝第 3 栏（灌溉面积）×第 4 栏（灌水定额）。

2. 用水计划的实施

斗渠管理委员会或斗渠长在未接到用水通知书前，应深入田间，查看本单位控制范围内的灌溉用水准备情况，然后按需水缓急分类排队，确定实施灌水的先后次序。斗委会或斗渠长接到用水通知书后，立即根据上级分配的灌溉水量和斗渠系水的有效利用系数、流程时间等进行水量调配，并在每轮灌水前编制好灌水计划。

斗渠每轮灌水计划是在接到用水通知书后，斗委会或斗渠长编制的灌水实施计划，一般包括斗渠灌水计划表和主要措施两大部分。编制斗渠灌水计划前，应由斗委会成员、斗渠长，以及乡、村管水人员、干部、技术员、老农等一起，深入田间，逐块地、逐条渠的进行认真调查，以掌握本轮期本次灌水的实际情况，并收集有关本次灌水的基本资料，为编制好本次灌水计划奠定基础。

通常斗渠和斗渠内部及各用水单位之间均实行轮灌，即把同时灌水的农渠、毛渠或乡、村、组、农场等用水单位划分为一个轮灌组进行灌水，该轮灌组灌水结束后，再转入另一轮灌组实施灌水，直到所有轮灌组全部灌水结束为止。

轮灌组的划分直接关系到灌水量的合理分配与农事活动、劳畜力的恰当安排。因此，合理地划分轮灌组是编好用水单位（或斗渠）灌水计划的重要环节。划分轮灌组时应注意的问题：①要有利于提高斗渠系（或用水单位）水的有效利用率。②要有利于灌水与其他农事活动相配合。③要使下一级渠道的分配流量与上一级渠道的输水能力相适应，即轮灌组内各条渠道的流量之和不得大于向它供水的渠道的流量，以保证输水、行水安全。④轮灌组内的各条渠道应尽量靠近，以缩短输水路程，减少输水损失。⑤各轮灌组的流量应大致相等，以方便上级渠道配水。

轮灌组的划分一般有三种形式：①按整条渠道划分轮灌组，例如一条斗渠有八条农渠，划分为两个轮灌组，则每个轮灌组均由四条农渠组成。②斗渠划分数段，在每个斗渠段内的农、毛渠实行轮灌。③按村、组等用水单位划分轮灌组实行轮灌。在大、中型灌区，通常都采用第一、二种划分轮灌组的形式。第三种轮灌组形式只适用于集体的或个人管理的小型灌区，或初步实行计划用水的灌区。

二、用水单位的水量调配

用水单位内部的水量调配是全灌区和全渠系水量调配的基础，是最终实施计划用水，实现用水单位的用水计划和灌水计划，节约灌溉用水，促进作物稳产高产的重要手段。由于各用水单位具体情况不同，各种作物不同生育期的需水要求差异悬殊，因此，对用水单位内部水量调配总的要求是，在贯彻执行上级配水计划和本单位用水计划的前提下，既要认真执行按比例分配水量的原则，又要根据用水户的农事活动情况，机动灵活地调配水量，使农业与灌溉密切配合，充分发挥灌溉水的增产作用，从而达到省水、稳产高产的目的。

（一）大中型灌区斗渠内部的水量调配

1. 斗渠内部水量调配的原则

根据我国一些灌区的实践经验，斗渠内部水量调配的一般原则如下。

（1）先急后缓，由下而上，先左后右，循序轮灌。根据斗渠每轮灌水计划，按先下游、

后上游，先左（面向斗渠水流方向的左方）后右的顺序轮流灌水。在作物需水情况发生变化时，应尊重乡、村、组用水户的用水自主权，在他们所分配的用水时间和所分配的流量范围内，按先急后缓的原则决定灌水顺序。

我国北方灌区灌溉水经常含有大量细颗粒泥沙，在引高含沙浑水灌溉时，由于洪水历时短，远距离输水容易引起多数渠道淤积，也可以按先上后下、先近后远的次序轮灌。若引洪水淤灌时，应先淤灌盐荒地和重碱地，后淤灌轻盐碱地；先淤灌整片地块，后淤灌零星地块。

斗内的水量调配工作由斗渠长或斗技术员执行，村、组则要由村水管员向各村民小组或用水户分配水量，其他人无权调配水量。

（2）节约归己，浪费不补，水量互济，自愿互利。在斗渠内部计划分配的水量中，凡节约水量的，其节约的水仍归节约单位，多灌面积的用水单位，下次配水不扣减水量。凡浪费水量、少灌面积的用水单位，下次配水一律不补。乡、村、组互相调剂水量，要根据自愿互利的原则，由双方协商，经斗委会同意后调剂。

（3）坚持按比例配水，均衡受益，全面增产。由于我国灌区各地情况差异很大，而且作物种植情况也非常不同，因此所采用的配水方式也各异，但都要坚持按比例配水。按比例配水的办法可以采用从斗渠先配水到村，再由村分水到组的方式，后一种配水方式主要适用于我国水稻灌区，它能适应水稻需水量大，灌水次数多，灌水时间长的特点。

（4）斗渠内部的水量调配要与所采用的地面灌水方法、灌水技术相适应，以节约灌溉水，提高斗渠系水的有效利用率，提高浇地效率和灌水质量。

2. 斗渠内部按比例调配水量的方法

在我国灌区一般斗渠内部按比例调配水量的方法有以下三种。

（1）按流量（或水量）比例配水。这种配水方式适用于农、毛渠量水设施较齐全，技术力量较强，且有调节控制水量的工程设施的斗渠。其配水方法是，斗渠流量按配水比例分配到轮灌组或农渠，农渠内则按灌溉面积比例向各村民小组或毛渠分配用水时间。各村民小组由下而上或由上而下依次序灌水。斗渠流量大时，实行斗渠、农渠都续灌或农渠为分组轮灌，但轮灌组内的农渠仍为续灌的工作方式。斗渠流量小时，斗渠内农渠实行轮灌组轮灌，而轮灌组内的农渠可以续灌或轮灌。这种配水方式能准确控制和调节入渠或引入轮灌组内各条渠道的流量，有利于采用较为合理的灌水方法、灌水技术，能适应斗渠内的流量变化，防止大水漫灌和渠内水流走回头路输水，或走回头路灌水的缺点。同时能实际量测和记载流量，结算水帐清楚；便于检查水的有效利用率和灌溉效率；有利于不断提高用水管理水平和田间灌水质量。所以，按流量比例配水是一种较好的斗渠内配水方式。有条件的灌区也可以在农渠内按流量比例配水到毛渠，在毛渠内再按流量比例或按灌溉面积比例配水到田间，这样就更能节约灌溉水，杜绝田间可能产生的水量损失和浪费，但这都需要在农渠口和毛渠口安设测量流量的量水装置。

（2）按用水时间比例配水。对农、毛渠口没有量水设施，只能在斗口量水时，或者灌溉面积较小的斗渠，则按配水比例直接向村、组或农、毛渠分配用水时间。在正常情况下，各村、组由下而上依顺序轮流灌水。当上级渠道（斗渠）流量较大时，也可以几个村、组同时用水。这种配水方式，用水管理和水帐结算都比较简单，不需要安设专门的量水装置。

但缺点是，如果在一条农渠上有几个村、组，渠内水流就要走回头路，会使渠道渗漏损失增大，又由于没有量水设施，仅用灌水时间控制，很容易产生水量损失和浪费，达不到节水灌溉的目的；也常会因上、中游偷水截水，而造成下游用水困难，形成下游交水费多，但用水少，而上游交费少、用水多的不合理现象。所以，按用水时间比例配水不能达到斗渠系各用水单位均衡受益，也较难于提高灌水质量和用水管理水平。

(3) 设置调配渠的配水方式。在大中型灌区有时采用设置专门的调配渠道来调节流量的配水方式。在斗渠系内，这种配水方式需选择渠道稳固，开闭方便，以及输水能力较大的农、毛渠作为调配渠道。当上一级渠道分配给斗渠的流量大于计划流量时，可以增大调配渠流量或增开调配渠。当上一级渠道配给斗渠的流量小于计划流量时，则要减小调配渠道的流量或关闭调配渠。如果斗渠流量增减过大，可以采取各农、毛渠按比例全面调整流量，也可以采取调配轮灌组流量进行调整。

在斗渠内部实施轮灌时，由于各用水单位，或农、毛渠距离交接水点的远近不同，因此在配水前，还必须分别测定它们的流程时间，绘制出渠道的水流流程时间图表，以保证各用水单位或农、毛渠得到应配给的准确水量。

用水单位交水时间和接水时间的计算方法是：当斗渠由下而上轮灌时，最末一条农渠用水时间应加上该条农渠至斗口的流程时间；其余各条农渠的开始用水时间为交水农渠用水终止时间减去该条农渠至交水农渠之间的流程时间，提前接水。如果斗渠由上而下轮灌，则各条农渠的用水时间应加上该条农渠至交水农渠之间的流程时间。

如果由于各种主观原因或客观原因，使村、组或农、毛渠之间用水发生了不平衡现象，而且不平衡用水的差别还相当大，则可以本着团结用水，全面增产的精神，采取下述措施解决。①每轮用水，可以预留几个小时的机动水量，以备调剂使用。②通过斗委会讨论，调整各条农、毛渠或村、组等用水单位间的配水比例。③经双方协商，在自愿互利的原则下，相互支援、或在算清灌溉用水帐的基础上，调剂余缺，或上次多用水者下次少用等办法。

(二) 多种水源的用水单位水量调配

在蓄引提相结合，有多种水源可以利用的灌区，必须将各种水源统一纳入计划，实行“统筹兼顾，综合运用，统一管理，互相调剂”的原则，以充分发挥各种水源的作用。

1. 以渠水为主，渠、塘、小水库、井相结合的灌区

这类灌区水量调配方法的原则是，渠水仍按灌区配水方法调配水量，而塘水、小水库水和井水则应按它们的使用权限和使用规定，在受益范围内统一调配。所有权属斗委会的塘、小水库，应纳入斗渠用水计划，在全斗渠灌溉受益范围内统一调配使用。属乡、村集体所有的塘、小水库和井应本着谁修、谁管、谁用的原则，在受益的乡、村内部调配使用。为了充分发挥渠水、塘水、库水和井水相互调剂的作用，可以采取以下几种调配方法。

(1) 在渠水供水正常情况下，有塘、库、井的用水单位，渠水仍按比例配水，以调动群众开发其他水源的积极性。在抗旱期间，为了达到全面增产，可以通过民主协商，在自愿互利的原则下，实行有塘、库、井的用水单位支援没有塘、库、井的单位，以发挥渠水救急，各种水源相互调剂的作用。

(2) 在渠水不足的情况下，以塘、库、井水补充调剂渠水，以提高灌溉保证程度。渠水有余时，则以渠水充蓄塘、库，回灌补给地下水，以渠养井，充分利用河源自流水量，引

蓄结合，复蓄利用。

(3) 在各种水源的运用上，可以根据不同情况灵活调配。河源水量丰富时，先用渠水，后用塘、库、井水。河源水量欠缺时，同时使用渠、塘、库、井水，合并各水源流量进行灌溉，并流远浇，或上游用渠水，下游用塘、库、井水。开斗渠放水时，渠水、井水并流；斗渠停水关闭时，井灌不停止。

(4) 在渠水、井水水量统一调配上，可以采取机井水量各村、组自用，也即抽井水入渠多少水量，则从渠内就引出多少水量浇地。以机井定出水量，按出水量引水浇地；或经协商，渠水、井水统分、统管、统配，水、油、电等费用统一负担和分摊；也可以按井、渠供水量，调整各村、组的灌溉用水时间或配水比例，做到合理调配，合理负担，达到节约用水，合理用水的目的。

2. 以蓄水为主，渠、塘、库、井等多种水源相结合的灌区

这类灌区大多分布在我国山区和丘陵地区，当地经常采取在河道中垒堰蓄引水，自成独立的灌溉系统。这种灌溉系统的规模一般相当于斗渠或比斗渠稍大一些的灌溉范围。它的水量调配方法和纯渠水斗渠的配水方法基本上相似。而对于用水单位内部的其他种类水源，则要以塘、库蓄水为主，靠蓄水来保证灌溉。所以，这种类型的用水单位，必须抓好蓄水，同时还要抓保水和灌溉用水，使塘、库、井、泉和渠水等能综合运用，以提高保证灌溉的程度。这对于我国干旱缺水的小灌区合理利用多种水源，是十分重要的。这种类型灌区，在具体配水时尚应注意以下三点。

(1) 在水量调配和综合运用上，实行统一领导，分级管理，划清或划定其灌溉受益范围，合理地调配水量。即要将各种水源统一纳入配水计划或用水单位（斗渠）用水计划内，按不同水源分别划定灌溉范围。凡是塘、库等水源能灌溉的面积，一般不配或少配渠水，以减轻渠水负担。在旱象严重时，则通过协商，相互支援，余缺调剂，保证全面增产。

(2) 在灌溉水量的使用上，要采取先用由河流引进来的渠水，后用塘、库蓄水；先用活塘水、库水，后用死塘水、库水；先用临时蓄存的塘水、池水，后用永久性的塘水、库水。在调配水量时，要高水高用，低水低灌；先灌泥田，后灌砂田；先灌高田，后灌低田等。以节约灌溉用水，挖掘水源潜力。

(3) 在季节水量调配上，采取秋季抓蓄水，夏季抓用水。对天上降水、地面水和地下水，要三水齐抓。利用非灌溉季节的闲水，引蓄塘、库，实行常年轮蓄，闲蓄忙用。还可以采取拦截洪水，灌田蓄库，夏季以灌田浇地为主，秋季以引蓄塘、库为主。如有排洪沟，可以在它的沟底槽，节节拦挡，截引渗流，进行灌溉，并在非灌溉季节将闲水存蓄于陂塘、临时水库或冬水田内。

我国北方灌区，对多种水源的充分利用有着丰富的实践经验。例如，陕西省宝鸡峡灌区，具有渠库结合、长藤结瓜的有利条件。他们采用渠水、库水联合运用，先用河水，后用库水；闲蓄忙用，抢引洪水，抽库水掺清等措施，每年可多引近 1 亿 m^3 灌溉水量。陕西省泾惠渠灌区，实行渠井双灌双利用。冬季用渠水灌，夏季用井水灌；以渠济井，以井补渠，保证了灌区旱涝保收，稳产高产。陕西省洛惠渠灌区，根据洛河水源含沙量大，供水量不足的特点，利用高含沙河水，引浑水淤灌，改良盐碱地和低洼地，充分利用了灌区水土资源。每年平均可引含沙量超过 30%（重量比）的水量达 300 万 m^3，缓解了灌区供需水

矛盾，促进了灌区粮棉增产。

第三节　田间灌水装置

为了保证及时、迅速而准确地向田间灌水，并提高灌水质量和田间灌溉水有效利用率以及灌溉效率，在采用地面灌溉时，非常需要有将灌溉水从田间渠道或配水管道引入田间的灌水装置。

一、对田间灌水装置的要求及类型

1. 对田间灌水装置的要求

对各类田间灌水装置总的技术要求是：①要保证向所有各个灌水畦、沟、格田等田块供水均匀。②向田块供水不得冲刷田面土壤。③灌水装置应容易操作，工作可靠和便于维修管理。④结构简单，方便制作和安装。

2. 田间灌水装置的类型

田间灌水装置，依田间供水网类型可分为管道配水网灌水装置、明渠配水网灌水装置和自动化地面灌水闸阀等三种类型。

二、管道配水网灌水装置

管道配水网向田间供水的装置主要有给水栓、升降式出水口、可自动调节流量的阀门和多孔出流管等。

1. 给水栓

给水栓是我国低压管灌系统中向地面田块供水的主要装置。给水栓按其止水原理可分为外力止水、内水压力止水、软管折叠止水和柱塞止水等类型。其中以外力止水型的销钉提升压盖式、螺杆压盖式，以及内水压力止水型的浮球（球阀式）式和带有上、下栓体的浮塞式等给水栓最为常用。浮塞式给水栓分上栓体和下栓体两部分组成，一般可用塑料或钢材制作。下栓体与地面竖管相联接，平时在管道内水压力作用下，浮塞封闭出水口。灌水时，将上栓体柠在下栓体上，转动丝杆，压下浮塞，水则由上栓体出口处流出。这种给水栓具有结构合理，造价低廉，操作方便，止水性能好，一个上栓体可以配几个下栓体使用，以及还兼有进气和排气功能等优点。是低压管灌系统中较为理想的一种田间供水装置。浮球式给水栓的构造与浮塞式给水栓的构造类似，只是用浮球代替了浮塞而已，其工作可靠性，浮球式不如浮塞式。上述给水栓的结构见图 7-1、图 7-2、图 7-3 和图 7-4。

2. 自动升降式出水口

自动升降式出水口由硬聚氯乙烯材料制成，由冲土帽、内套管（升降竖管）、外套管和出水嘴组成。平时内套管在地面以下 30cm 处，灌水时在低水压力（25～30kPa）作用下，推动升降竖管从地面下升出地面，接上出水嘴，即可出水。停灌时，竖管借助自重，再回落到地面以下。这种出水口，虽使用方便，但出流量较小，而且植物根系对出水口升降有影响等缺点。

3. 可自动调节的阀门

可自动调节流量的阀门又称定流量阀。使用该阀后，不论上游水头压力如何变化，都能保证出水流量均匀，且基本恒定。阀门的开度可根据需要事先调好，以取得所需要的供

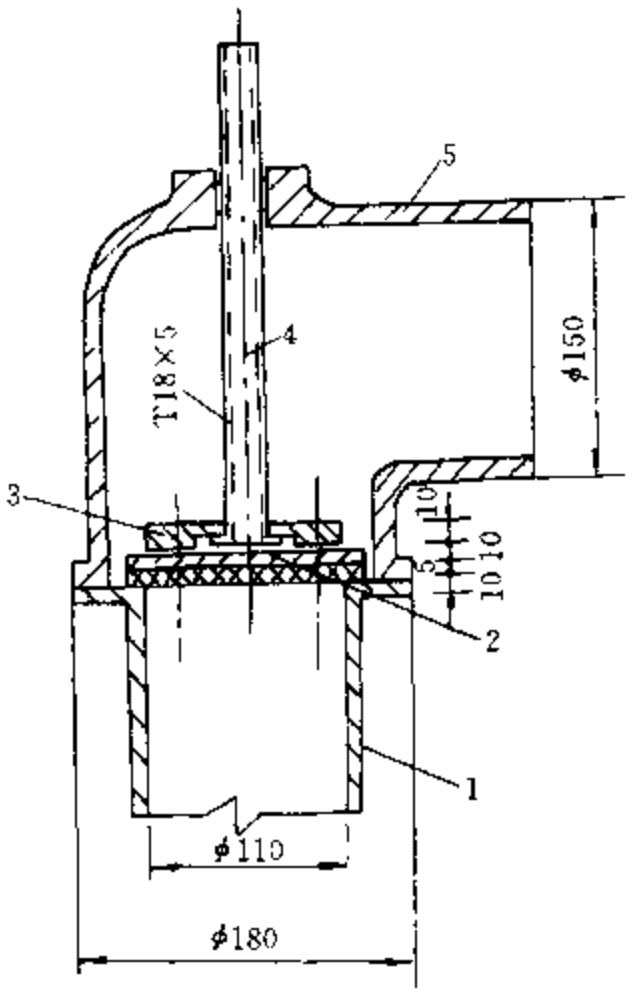


图 7-1　螺杆压盖型（单位：mm）

1－与管道三通立管插接的法兰盘管；2—压盖；
3－半圆扣瓦；4—螺杆；5—弯头外壳

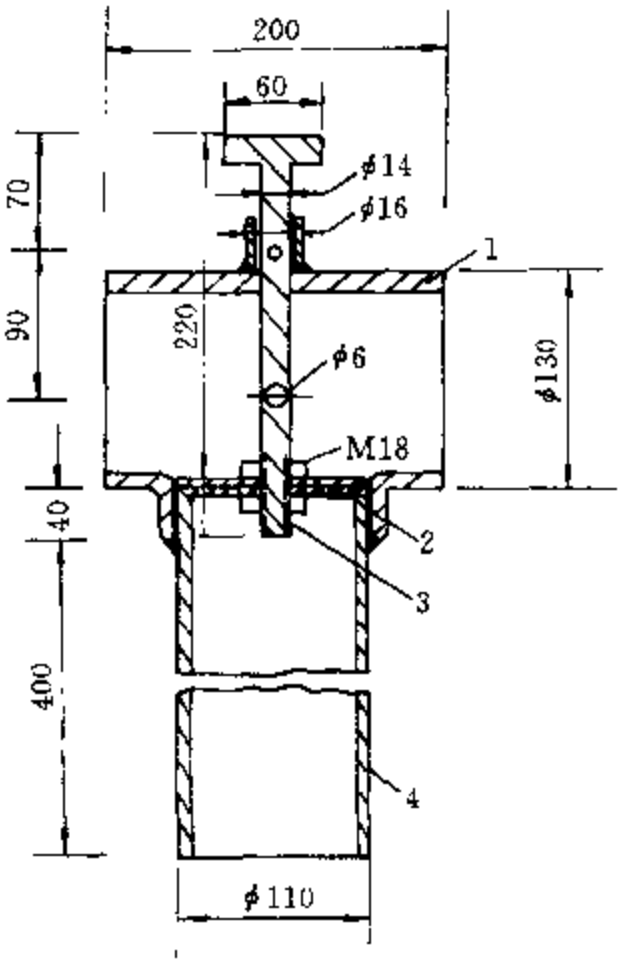


图 7-2　销杆压盖型（单位：mm）

1　三通管；2 -压盖；3 -销杆；
4—铸铁管

水流量。

4. 多孔出流管

多孔出流管是在柔性的轻便小直径管道上，隔一定间距钻出水孔，并与地下暗管相联接。水经地下暗管流到出流管，然后从出水孔供水到田块，一般多用于沟灌。

三、自动化地面灌水闸阀

低压管灌系统中的地面自动灌水闸阀，依其所获得的动力来源可分为水压式和气压式两大类。水压式自动灌水闸阀，是利用地埋暗管所提供的水压作为动力来启闭闸阀。气压式自动灌水闸阀是利用空压机中所产生的压缩空气（或氮气、丙烷气等）作为动力来启闭闸阀。如涌流灌溉中的自动灌水闸阀，见图 7-5、图 7-6 和图 7-7。

四、明渠配水网灌水装置

明渠配水网灌水装置，主要有简易灌水装置和侧堰式配水灌水装置两大类。以下重点介绍田

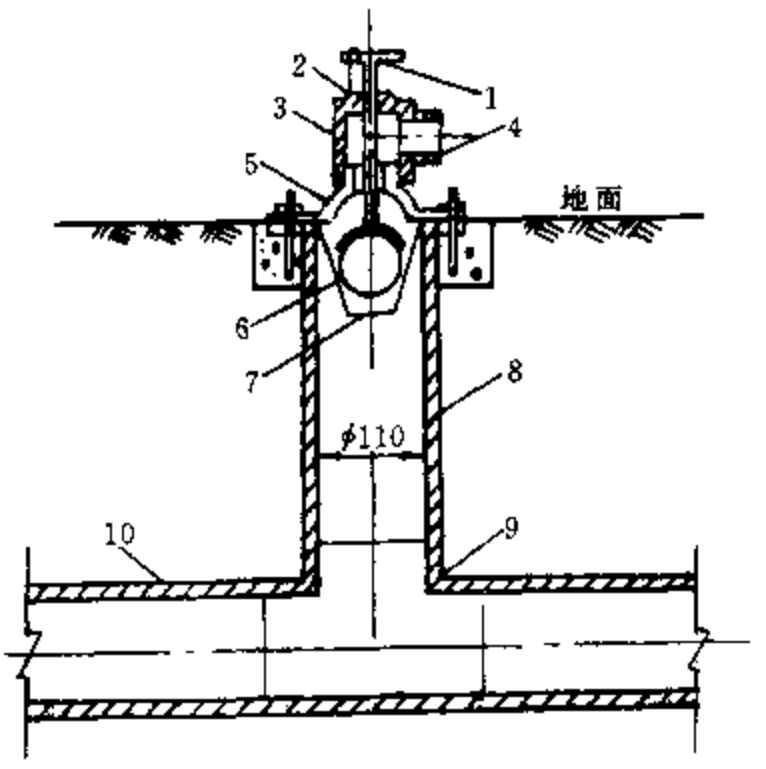


图 7-3　浮球型（球阀型）（单位：mm）

1—压杆；2—挂钩；3--上栓体；4—出水嘴；
5—下栓体；6—橡胶球；7—钢筋；8—竖管；
9－三通；10…输水管

间简易灌水装置。一般常规沟灌、畦灌等地面灌水方法中，常用的田间简易灌水装置，主要有挡水板、放水板、虹吸管、放水管和盒式出流口等。

1. 挡水板

当毛渠下游不需要灌水时，为了截断其下游水流及壅高其上游水位，以控制进入输水沟或灌水沟（畦）的流量，在毛渠上常使用挡水板。有时在大的输水沟上，也采用挡水板。

挡水板可用木板或木板外缘钉上铁板条做成，也可用薄铁板制作。其形状可以作成梯形或半圆形，如图 7-8 所示。

2. 放水板

在采用沟、畦灌方式灌水时，最简单的办法是在灌水沟、畦田头开口引水；停止灌水时，则用田内土堵塞。为了更好地控制进入灌水沟、畦中的流量，通常可使用放水板。

放水板可用木板薄铁板制成，见图 7-9。板的尺寸可按灌水沟断面或畦田放水口的尺寸确定。放水板中间开圆形或方形小孔，孔径的尺寸，对于沟灌，可视灌水沟流量确定。对于畦灌，孔径尺寸不仅决定于进入畦田的流量，还与畦田放水口的多少有关系。

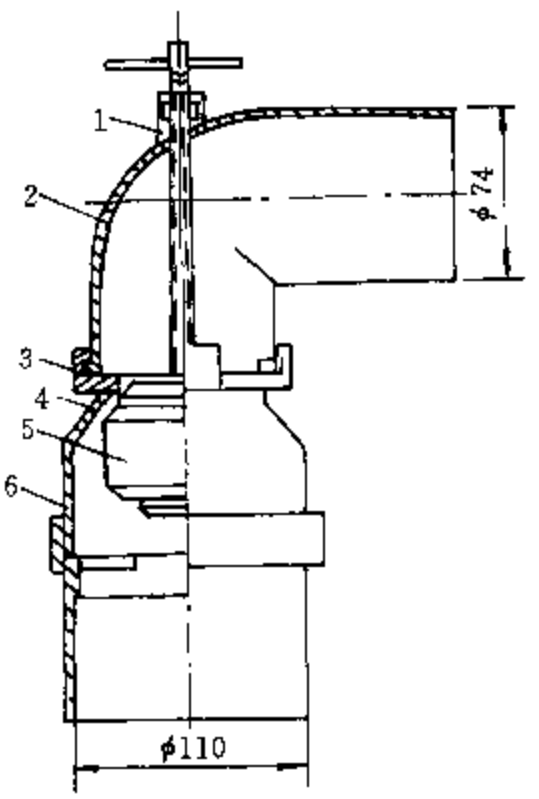


图 7-4 浮塞型（单位：mm）
1—丝杠；2—上栓体；3—密封圈；4—密封圈；5 浮塞；6—下栓体

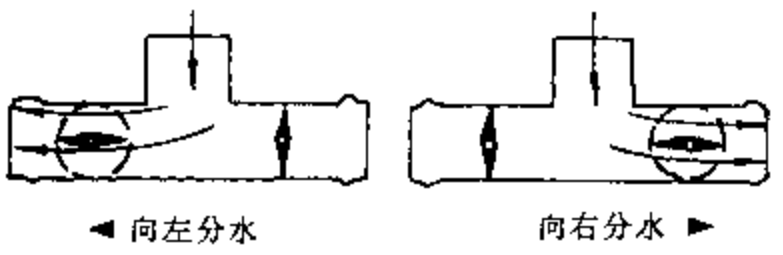


图 7-5 双管系统的自动间歇阀示意图

放水板可有效地掌握灌水流量，其特点是搬用灵活，使用效率高。

使用放水板时，可在每一个灌水沟上或灌水畦田放水口上的输水沟（或毛渠）堤岸上安设一个，并应注意：

（1）采用畦灌方式灌水时，放水板应安放在畦田头放水口位置处，孔口下缘与畦田地面齐平，以免由孔口流出的水流冲刷农田。

（2）采用沟灌方式灌水时，放水板应安放在每一个灌水沟口上，孔口下缘与灌水沟底齐平，以免冲刷沟底。

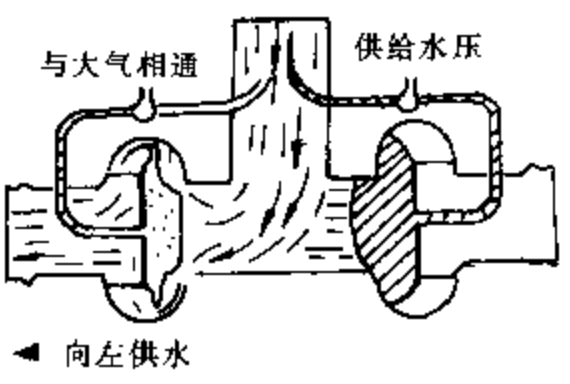


图 7-6 用水压运行的皮囊阀

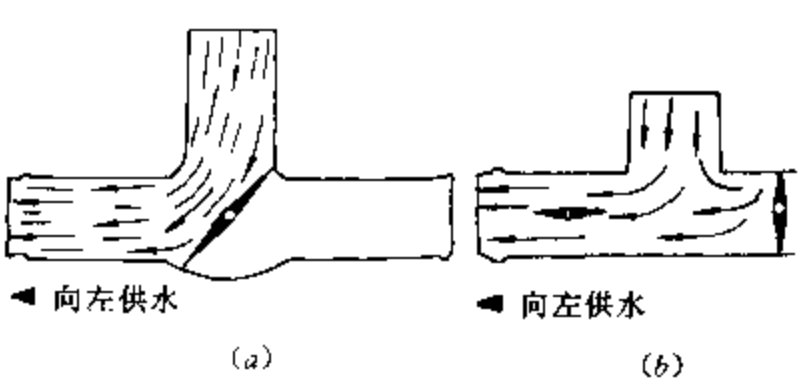
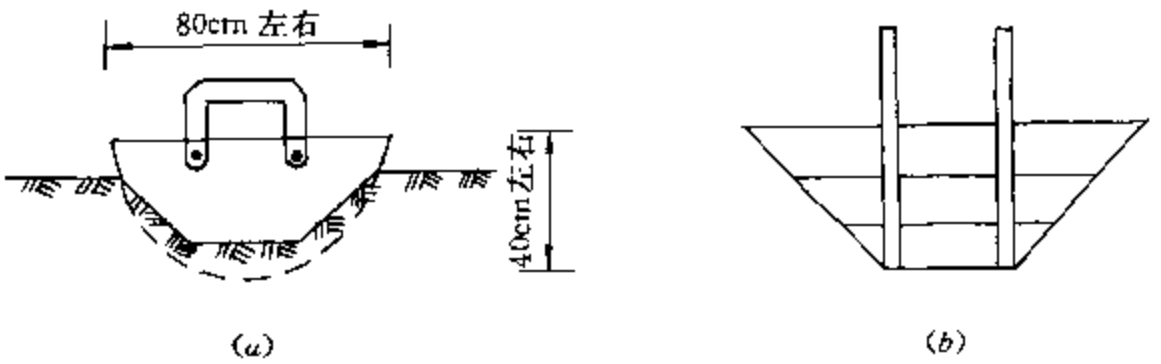


图 7-7 蝴蝶阀

3. 虹吸管



(a)　　(b)

图 7-8　挡水板

(a) 薄铁板挡水板；(b) 木挡水板

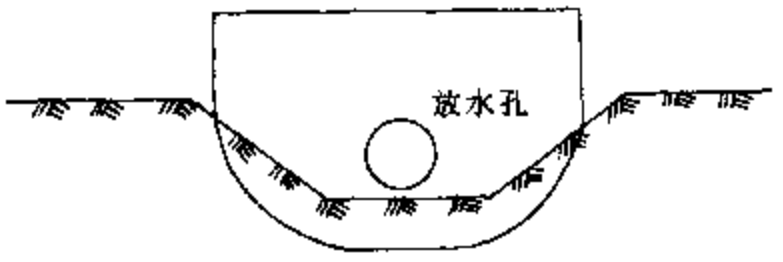


图 7-9　放水板

为了便于控制进入畦田或灌水沟的水量，并提高灌水劳动生产率，以达到有效灌溉和节约用水的目的，可在畦田或灌水沟道安设放水管或虹吸管。

虹吸管可选用铁制管或塑料软管，灌水时，将管内充满水，用两手紧握两头，放在灌水沟或畦田首的输水沟或毛渠的土堤上，使一头插入输水沟或毛渠的水面下，另一头置于灌水沟或畦田中。这样，输水沟或毛渠内的水就会通过虹吸管流入灌水沟或畦田。停止灌水时，将虹吸管拿起，水即断流。

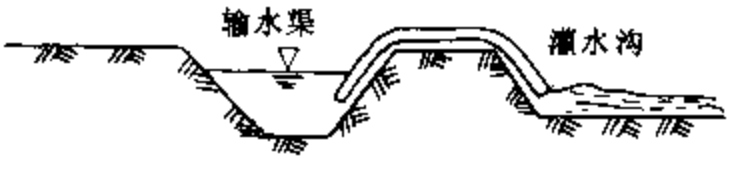


图 7-10　虹吸管

虹吸管使用灵活，进水量稳定，可以不在输水沟或毛渠土堤上扒口进行灌溉。虹吸管的布置形式如图 7-10 所示。若采用塑料虹吸管放水，一个灌水员可同时管理 600 根虹吸管，使灌水生产率大大提高。不同水头压力，不同管径的虹吸管所通过的流量见表 7-3。

表 7-3　　不同水头压力不同直径虹吸管的流量　　单位：L/s

直径(cm) / 水头压力(cm)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	直径(cm) / 水头压力(cm)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
2.0	0.12	0.26	0.51	0.83	1.23	8.0	0.24	0.53	1.03	1.65	2.45
4.0	0.17	0.38	0.73	1.18	1.75	10.0	0.26	0.58	1.14	1.83	2.72
6.0	0.20	0.45	0.88	1.42	2.10						

4. 放水管

放水管是长约 30～35cm、直径 3～5cm 的引水管，用铁皮管、竹管、木管、硬塑料管均可。放水管可埋设在灌水沟或灌水畦田首部输水沟或毛渠的小土堤内，两头分别伸进输水沟或毛渠和灌水沟或灌水畦田，水从输水沟或毛渠一端流入管内，再流入灌水沟或灌水畦中。放水管的口径取决于需要供给灌水沟的流量大小及每个畦田所需要数目，通常每块畦田可安设 3～5 个放水管。

圆形断面放水管的直径与流量参见表 7-4。其进水口应在水面以下 5cm 处，出水口则高于畦田或灌水沟中的水面。放水管的布置方式如图 7-11 所示。

表 7-4　不同直径放水管的出流量

直径（cm）	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	5.5
流量（L s）	0.10	0.15	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00

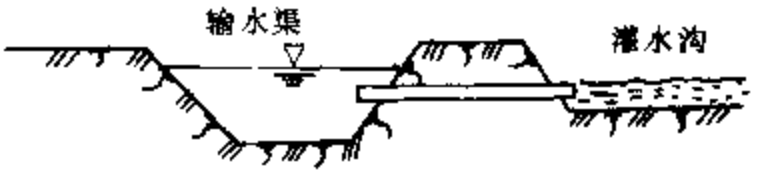


图 7-11　放水管

5. 盒式出流口

盒式出流口（图 7-12）主要用于水稻田中，一般采用木板，并做出溢水缺口。溢水缺口的深度可根据稻田水层深度确定。盒式出流口也可作为水平畦灌中的侧堰式田间配水和灌水装置应用。

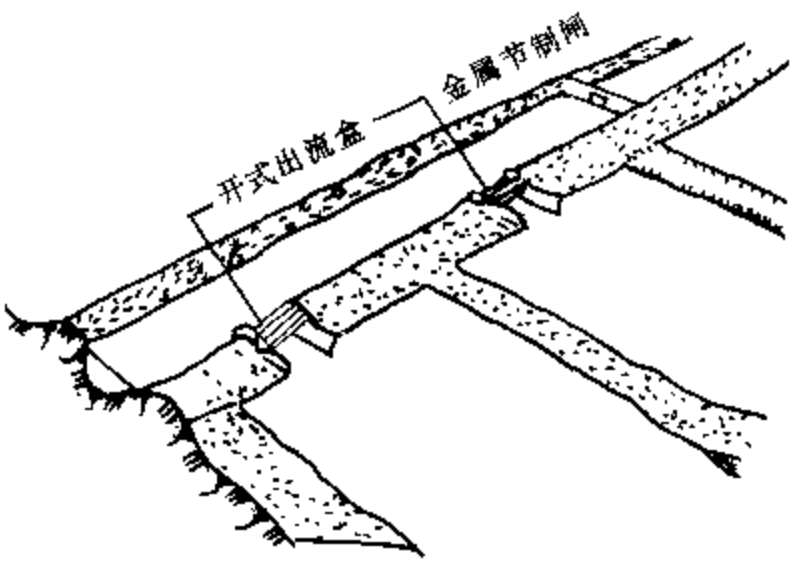


图 7-12　盒式出流口

第四节　田 间 量 水 方 法

灌区量水，是节约灌溉用水、提高灌水质量和灌溉效率的有力措施，是实行计划用水和准确引水、输水、配水和灌水的重要手段，也是核定和计收水费的主要依据。田间量水，是灌区量水的一个重要组成部分。

田间量水主要指，田间灌溉渠道与农田内部田间灌水的流量或水量的量测方法、量测技术和量测设备等。

一、田间量水的任务、分类和选型

（一）田间量水的任务

田间量水的任务与灌区量水的任务基本相同，主要有以下 4 项。

（1）按照用水单位用水计划的规定和水量调配组织的意见，调节、控制田间渠道和农田内部灌水的水量，准确地从上级渠道引水和向下级渠道输水、配水，以及向农田按定额灌水。

（2）掌握水量供需状况，合理修正、调整田间和用水单位间，以及田间渠道间的供水、配水和灌水方案。

(3) 检查灌水质量、灌溉效率和田间灌溉水的有效利用率。以指导和改进田间用水、灌水工作。

(4) 整理观测资料，总结田间管理经验。为改进田间管理工作及规划、设计、施工与科学研究等提供和积累资料。

(二) 量水设备的分类

量水设备是专供量测流速或水量的特设建筑物和设备。完整的量水设备通常由4部分组成，即上游连接段、量水建筑物、下游连接段和观测设备。其中，量水建筑物是经过专门设计并有特定尺寸要求的部分，其他3部分则是构成量水设备整体水力条件所需要的组成部分。

量水设备的4个组成部分都会影响流量测量的总精度，它具有单一的水位与流量的关系，而且受量水建筑物形式、尺寸和上下游连接段的水流特征的影响，必须根据理论分析、实验室率定及野外验证才能精确确定。因此，使用某种量水设备，必须依照该种量水设备的要求制作和安装，不得随意更改和变动。

量水设备通常按量水建筑物的水力特点和结构形式的不同，一般可分为量水堰、量水槽、量水器和复合断面量水堰4大类。

(1) 量水堰。可分为薄壁堰、平顶堰和三角剖面堰3种。薄壁堰有三角形堰、矩形堰、全宽堰和梯形堰4种形式。平顶堰又称量水槛，有上游锐缘的矩形剖面堰、上游圆头的矩形剖面堰和上游斜坡的梯形剖面堰等种类。三角剖面堰有全剖面的和截短的剖面堰等。

(2) 量水槽。国内通用的量水槽有矩形断面的巴歇尔量水槽、无喉段量水槽、水跃式量水槽和抛物线形量水槽。国外有梯形量水槽和U形断面量水槽等。

(3) 特种量水装置。主要有量水喷嘴、套管（闸前短管）、分流计和配水装置等。

(4) 复合断面量水堰。有三角剖面堰和平坦V形堰等。

随着电子技术、计算机技术的发展，近年来一些自动式或半自动式的量水装置、量水仪表等已在我国研制成功，并开始在某些有条件的灌区推广应用，在提高灌区和田间的量水效率和量水精度等方面，具有很明显的效果。

(三) 量水设备的选型

1. 选择量水设备的基本原则

(1) 应根据量水的目的，选择量水精度能满足要求的量水设备。

(2) 量水设备观测与计算流量和水量要简单、容易操作和管理方便。

(3) 选用的量水设备应水头损失小，测量流量或水量范围大。

(4) 量水设备的灵敏度高，可以准确量测较小的流量。

(5) 水流中的泥沙和杂物能顺利通过量水设备，而不致影响其量水精度。

(6) 量水设备应造价低廉，施工、安装简单、方便，制造容易。

2. 选择量水设备应考虑的因素

为测量田间渠道和农田灌水的流量或水量，选择量水设备时，应重点考虑以下因素。

(1) 满足量水精度3%～5%的要求。

(2) 量测的流量都比较小，一般流量都在500L/s以下。

(3) 量测流量的范围广，变幅大，通常田间渠道大约在500～5OL/s之间，田间灌水一

般在 70～10L/s 之间。

(4) 要求水头损失应尽量小，并不会因落淤泥沙或堵塞杂物而影响量水精度。

(5) 量水设备要更轻便，结构更简单，更易于制造和安装，更便于管理，造价更低。

二、田间灌溉渠道常用的量水设备

目前，量水方法和量水设备种类繁多，但对于田间灌溉渠道，因其经常需要控制、调节和量测的流量都比较小，故大多采用以下几种常用的设备进行量水。

(--) 利用水尺量水

利用水尺测量流量，必须事先选择或专门修建一段断面比较稳定，而又顺直的渠段，并在该渠段内设置水尺，再利用流速仪或其他精度较高的量测流量的仪器，测定其不同水位时的相应流量，绘制出水位流量关系曲线图或表。然后，在实际测流时，只需根据渠中水位观测出水尺读数，即可从已绘制好的水位流量关系曲线图或表中查得相应的流量。为保证渠床稳定，最好对量水渠段用混凝土等加以衬砌。

利用水尺量水，方法简单，造价低，容易掌握，主要用在通过流量较大的斗、农渠道上。但是，这种方法必须事先采用流速仪等仪器测量并绘制出相应的水位流量关系曲线图或表才能测流量水，量水精度较差，而且水流中含沙量不能过大。否则，因渠底落淤将会影响水尺读数的准确性。

(二) 利用流速仪量水

利用流速仪测流，量水精度较精确，但施测及计算流量都比较费时，费力。一般在没有其他量水设备或尚未安装量水设备的情况下，可以利用流速仪量测流量。在田间斗、农渠道上往往还可利用流速仪校正其他测流速建筑物或量水设备的过水能力及其流量系数等参数。用流速仪测流的方法步骤如下。

1. 选择测流断面，确定测线

测流断面应选择在渠段平直、水流均匀、无旋涡或回流的地方。断面应与水流方向垂直。测流段应尽可能具有稳定而规则的断面。

测流断面的测流速垂线数目，视渠道宽度而定，当渠道水面宽 1.5～5m 时，可设 3～5 条；水面宽 5～15m 时，可设 5～9 条。

2. 测定断面

测流断面的施测，如渠床稳定，可每月施测 1～2 次。施测前先在渠道两岸拉一带有尺度的绳索，测出测深线的起点距（与断面起点桩的水平距离）。测线深度，用木制或竹制的测深杆施测。测杆上刻度不应小于 2cm，杆底装置有铁盘或木盘，盘底与测杆零点相平。测线（水面至渠底）的深度，应在施测流速前测定，一般观测 2 次，取其平均值。同时观测相应水位。施测结果，应绘出测流断面图。

3. 施测流速

测线平均流速可用下列几种方法测定。

(1) 一点法。测线平均流速，一般均假定在水深 6/10 处（自水面向下算，下同），将流速仪放在该点上，测得之流速即为线上的平均流速 v_{cp} 为

$$v_{cp} = v_{0.6} \tag{7-1}$$

式中：v 右下角小数表示测点深度与水深的比值，下同。

(2) 二点法。将流速仪放在水深 2/10 及 8/10 两处，分别测定流速，取其平均值即为平均流速 v_{cp} 为

$$v_{cp} = (v_{0.2} + v_{0.8})/2 \tag{7-2}$$

(3) 三点法。将流速仪放在水深 2/10、6/10 及 8/10 处，各测流速，取其平均值：

$$v_{cp} = (v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8})/3 \tag{7-3}$$

或

$$v_{cp} = (v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8})/4 \tag{7-4}$$

(4) 五点法。将流速仪放在水面、水深 2/10、6/10、8/10 及渠底处，各测流速，按下式算出平均值：

$$v_{cp} = (v_{0.0} + v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8} + v_{1.0})/5 \tag{7-5}$$

水深小于 1m 时，通常采用一点法或二点法施测；水深为 1～3m 时，流速分布不均匀，则用三点法或五点法施测。

每一测点测速历时不宜小于 120s，转数不宜少于 20 转（旋杯式）或 100 转（旋桨式），以控制不稳定流速在时间上的变化。

4. 计算流量

流量由流速与断面面积相乘得出。流速在全断面内分布不均，需将全断面以测速垂线为界分成若干部分，求出每部分的平均流速与面积。部分平均流速乘部分面积，得出部分流量，部分流量之和即为全断面总流量，见图 7-13，所示计算方法、步骤如下：

(1) 计算部分平均流速。在相邻两测速垂线均有实测流速的部分，其平均流速为两侧测速垂线平均流速的平均值，即

$$v_2 = (v_{cp1} + v_{cp2})/2 \tag{7-6}$$

$$v_3 = (v_{cp2} + v_{cp3})/2$$

……

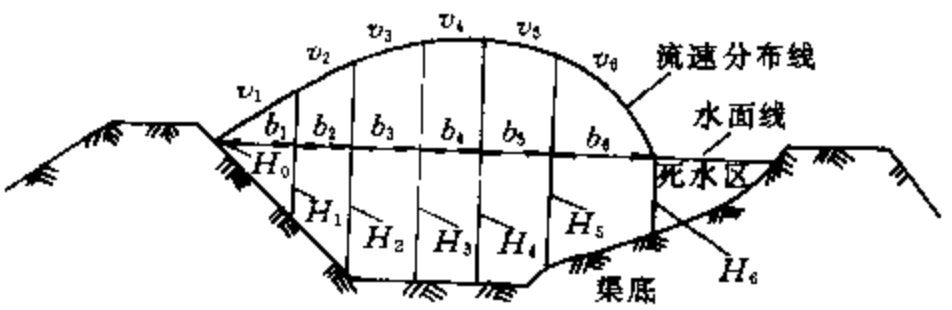


图 7-13 测流断面、流速分布示意图

对于梯形土渠，岸边至第一条测速垂线部分间的平均流速，等于从岸边起第一条测速垂线平均流速的 2/3，即

$$v_1 = v_{cp1}2/3 \tag{7-7}$$

对于混凝土衬砌或其他低糙率衬砌的渠道，矩形渠道或陡岸边，在岸边至第一条测速垂线间的平均流速为

$$v_1 = av_{cp1} \tag{7-8}$$

式中：a 值为 0.8～0.9。

当河渠边有不流动的死水部分时（紧接死水边有流水），其平均流速等于自死水边起第一条测线平均流速的 1/2，即

$$v_6 = v_{cp5}/2 \tag{7-9}$$

(2) 计算部分面积。相邻测线之间的面积为部分面积 f，部分面积由相邻两测速垂线深 H 的平均值与其间水平距离 b 相乘得出，即

$$
\left.\begin{array}{ll}
\text{第一部分面积} & f_1 = (H_0 + H_1)b_1/2 \\
\text{第二部分面积} & f_2 = (H_1 + H_2)b_1/2 \\
\cdots\cdots & \cdots \\
\text{第六部分面积} & f_6 = (H_5 + H_6)b_6/2
\end{array}\right\} \tag{7-10}
$$

（3）计算部分流量。部分平均流速与部分面积相乘，得出部分流量 q，即

$$
\left.\begin{array}{l}
q_1 = v_1 f_1 \\
q_2 = v_2 f_2 \\
\cdots \\
q_n = v_n f_n
\end{array}\right\} \tag{7-11}
$$

（4）计算总流量。总流量 Q 等于部分流量之和，即

$$
Q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n \tag{7-12}
$$

总流量除以全断面面积 F，即得断面平均流速，即

$$
v = Q/F \tag{7-13}
$$

5. 使用流速仪需注意的事项

（1）测流前应将流速仪各螺丝及零件旋紧，以防掉落水中。

（2）测流前须将记数仪内的各种附件装置完善，并将电线连通。

（3）测流时不得使用电线悬吊仪器，仪器须保持水平。

（4）流速仪用毕后须用布擦干，各零件要适当涂油，以防生锈；置入仪器箱后应放在干燥洁净的地方，搬运和移动时须防止撞击。

（5）每架流速仪均有其规定的测速范围，不得在显著超过其测速范围的情况下使用。

（6）每架流速仪都有经过率定的计算流速的公式。不宜随便自行拆卸修理，且每年应定期（非灌溉季节）送往水工实验室检修、调整和率定。

（7）仪器所备零件、附件及工具，用完后应随时放回原处，以防失落。仪器说明书和检定图表、公式等，要妥善保存，以备检修使用时查阅。

用流速仪测流的记录表格形式见表 7-5 和表 7-6。

表 7-5　　流速仪测速记数格式表　　年　月　日

测线号数	起点距（m）	水深（m）	流速仪位置	测速记录		一组信号转数	总转数	每秒转数	测点流速（m/s）	备注

计算者_____　记载者_____　施测者_____

表 7-6　　流速仪流量计算格式表　　第　　页

渠道名称			断面位置					地点	
施测时间	年 月 日 时 分				仪器号数			流速计算公式	
	1	2	3	4	5	6	7		天气
1									风向 / 风速
2									
3									
4									
5									
									总计流量
测线平均流速（m/s）									
测线水深（m）									
部分平均流速（m/s）									说明
部分断面宽度（m）									
部分断面平均水深（m）									
部分断面面积（m^2）									
部分断面流量（m^3/s）									

校核者＿＿＿＿＿＿　　计算者＿＿＿＿＿＿

（三）巴歇尔量水槽

巴歇尔量水槽是田间渠道中应用较广泛的一种量水设备。它量水精度高，壅水低，观测方便，但结构复杂，造价较高。一般用混凝土、石料或木板等材料制成。

1. 结构

巴歇尔量水槽由上游收缩段、短直喉道和下游扩散段三部分组成。收缩段的槽底向下游倾斜、扩散段槽底的倾斜方向与喉道槽底相反。其结构如图 7-14 所示。

2. 流量计算

（1）水流为自由流时（$H_b/H_a<0.7$）：

$$Q = 0.372W(H_a/0.305)^{1.569W^{0.124}} \tag{7-14}$$

式中：Q 为流量，m^3/s；H_a 为上游水尺读数，m；H_b 为下游水尺读数，m；W 为喉道宽，m。

当 $W=0.5\sim1.5$m 时，可用简化公式计算流量，对量水精度影响不大

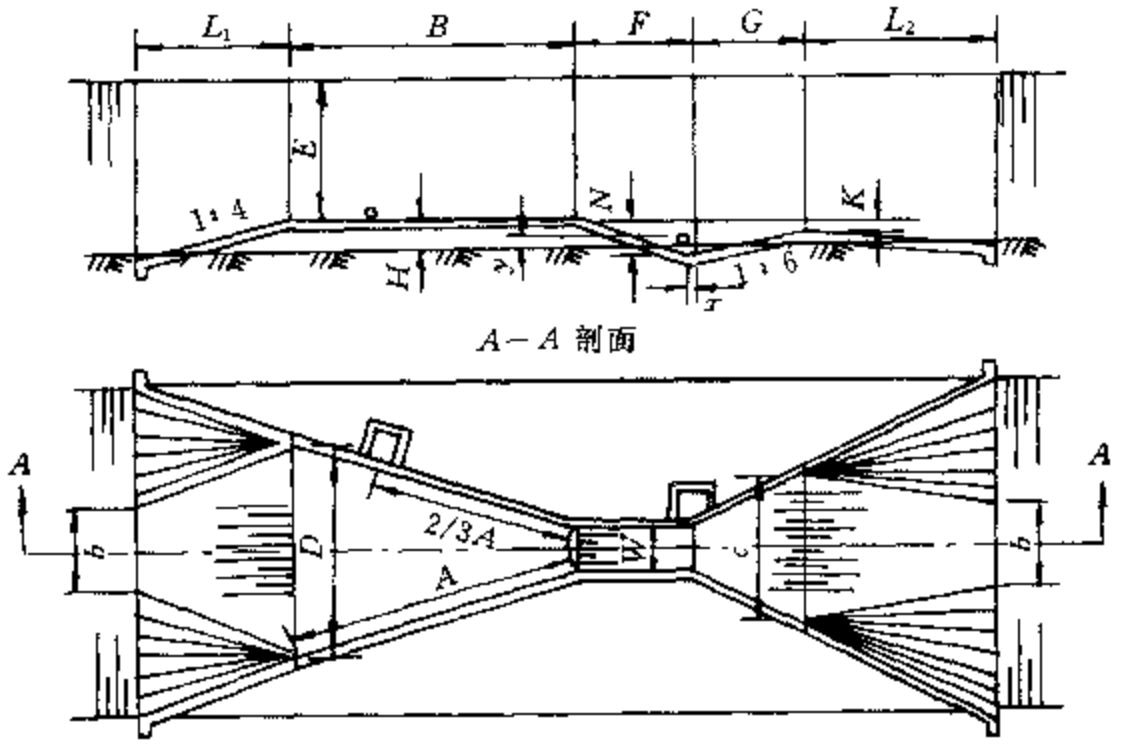
$$Q = 2.4WH_a^{1.57} \tag{7-15}$$

（2）水流为潜流时（$0.95>H_b/H_a>0.7$），先计算出流量改正值 ΔQ，即

$$\Delta Q = \left\{0.07\left[\frac{H_a}{\left[\left(\frac{1.8}{K}\right)^{1.8}-2.45\right]\times 0.305}\right]^{4.57\ 3.14K}+0.007\right\}W^{0.815} \tag{7-16}$$

再由上式计算出自由出流的流量，即可按下式得出潜流流量 Q'

$$Q' = Q - \Delta Q \tag{7-17}$$



A－A 剖面

图 7-14　巴歇尔量水槽图

$$K = \frac{H_b}{H_a}$$

式中：K 为潜没度；其余符号意义同前。

巴歇尔量水槽的流量计算比较复杂，实用中可根据 W、H_a 或 W、H_a 和 K 制成流量表供查用。

3. 安装

巴歇尔量水槽的施工安装要求如下：

(1) 安装量水槽的平直渠段长不应小于渠道宽度的 8～10 倍。上游长度不得小于渠宽的 2～3 倍，下游长度不得小于渠宽的 4～5 倍。

(2) 安装量水槽渠段的渠床应规则，无显著的变形现象。

(3) 安装施工时，基础必须夯实，避免有沉陷、漏水现象发生。

(4) 应严格按量水槽结构尺寸准确施工和安装。

(5) 由于喉道中水面的波动大，上、下游水尺应安设在量水槽壁后的观测井内，井底比槽底要低 20～25cm，观测井与量水槽可用平直的金属管或混凝土管连通，管子的中心线应高出槽底 3cm。上游水尺位于喉道上游距离喉道端2/3A 处，下游水尺位于喉道末端以上 5cm 槽壁处。上、下游水尺零点高程与槽底高程应在同一平面上。

(6) 量水槽进口部分的侧墙要与轴线成 11°19′的扩散角，出口部分的侧墙与轴线成 9°28′的扩散角，侧墙高度应高出量水槽上游最高水位 0.1～0.2m。

(四) 无喉段量水槽

无喉段量水槽与巴歇尔量水槽比较：结构更简单；制作和安装更省工、省料；由于没有喉道，上游壅水更为减小，也不易淤塞；在潜没流情况下，由于在上游观测水深比在喉道处观测水深时水面波动小，故量水精度更高。

1. 结构

无喉段量水槽，为水平槽底的矩形断面；上游进口段以 1∶3 折角收缩，下游出口段以

1∶6 折角扩散，进、出口的宽度相等；水尺安设在上、下游各距喉部为槽长的 1/9 和 5/9 处。量水槽进出口的翼墙与量水槽轴线在平面上的交角为 45°～90°，不可小于 45°；否则，需增加量水槽的长度，以保证具有足够的量水精度。翼墙的长度还应能保证与渠道的边坡连接平顺。无喉段量水槽的结构见图 7-15，各部分尺寸见表 7-7。

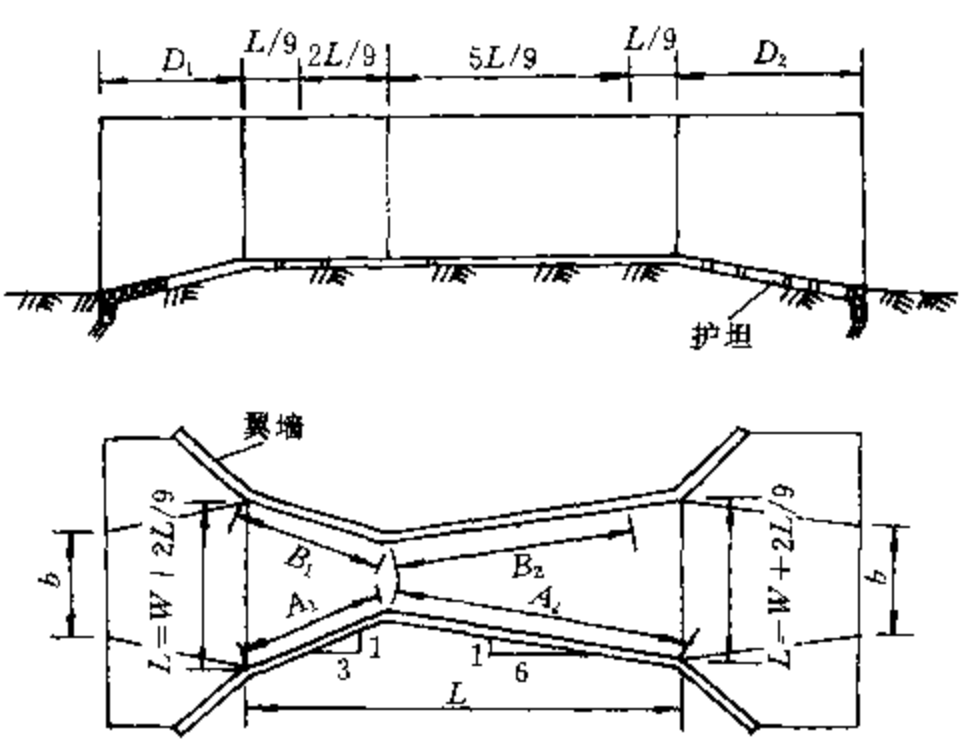


图 7-15　无喉段量水槽结构图

量水槽可用砖、石、混凝土等材料就地制作，或用混凝土预制构件装配做成。

2. 流量计算

（1）水流为自由流时：

$$Q = C_1 H^{n_1} \tag{7-18}$$

式中：Q 为过槽流量，m^3/s；H 为槽内上游水深，m；C_1 为自由流系数；n_1 为自由流指数。

表 7-7　　无喉段量水槽各部尺寸　　单位：m

槽　型	喉宽	槽长	上游侧墙长度	下游侧墙长度	上游水尺位置	下游水尺位置	进、出口宽度	上游护坦长度	下游护坦长度
$W\times L$	W	L	A_1	A_2	B_1	B_2	b	D_1	D_2
0.20×0.90	0.20	0.90	0.316	0.608	0.211	0.507	0.40	0.60	0.80
0.40×1.35	0.40	1.35	0.474	0.913	0.316	0.760	0.70	0.80	1.20
0.60×1.80	0.60	1.80	0.632	1.217	0.422	1.011	1.00	1.00	1.60
0.80×1.80	0.80	1.80	0.632	1.217	0.632	1.014	1.20	1.20	2.00
1.00×2.70	1.00	2.70	0.950	1.825	0.632	1.521	1.60	1.40	2.40
1.20×2.70	1.20	2.70	0.950	1.825	0.843	1.521	1.80	1.60	2.80
1.40×3.60	1.40	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.00	1.80	3.20
1.60×3.60	1.60	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.20	2.00	3.60
1.80×3.60	1.80	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.40	2.20	4.00
2.00×3.60	2.00	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.60	2.40	4.40

（2）水流为潜流时：

$$Q = \frac{C_2 (H - h_H)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}} \tag{7-19}$$

式中：C_2 为潜没流系数；h_H 为槽内下游水深，m；S 为淹没度，$S = h_H/H$；n_2 为潜没流指数；其余符号意义同前。

3. 安装

安装无喉段量水槽的渠道断面要规则整齐，比降一致。渠道应顺直，长度不小于 40m，

其中在量水槽部分应不小于 15m，下游不小于 20m。量水槽的轴线应与直线段渠道中线重合，喉宽应小于渠道底宽。要保证量水槽底板水平，侧墙应垂直，各部分尺寸应准确。上、下游水尺应垂直于槽底，零点与槽底相平。喉宽小于 0.8m 时，水尺可设在侧墙壁上。若喉宽大于 1.0m 时，可在槽外设观测井，观测水位。

（五）平底抛物线形无喉段量水槽

平底抛物线形无喉段量水槽可适用于多种形状渠槽的流量测量，而且特别适用于 U 形渠道的测流。

1. 结构

平底抛物线无喉段量水槽由进口收缩渐变段、抛物线形喉口和出口扩散渐变段三部分组成，如图 7-16 所示。通过量水槽的流量只与槽前水深和量水槽的几何尺寸有关。

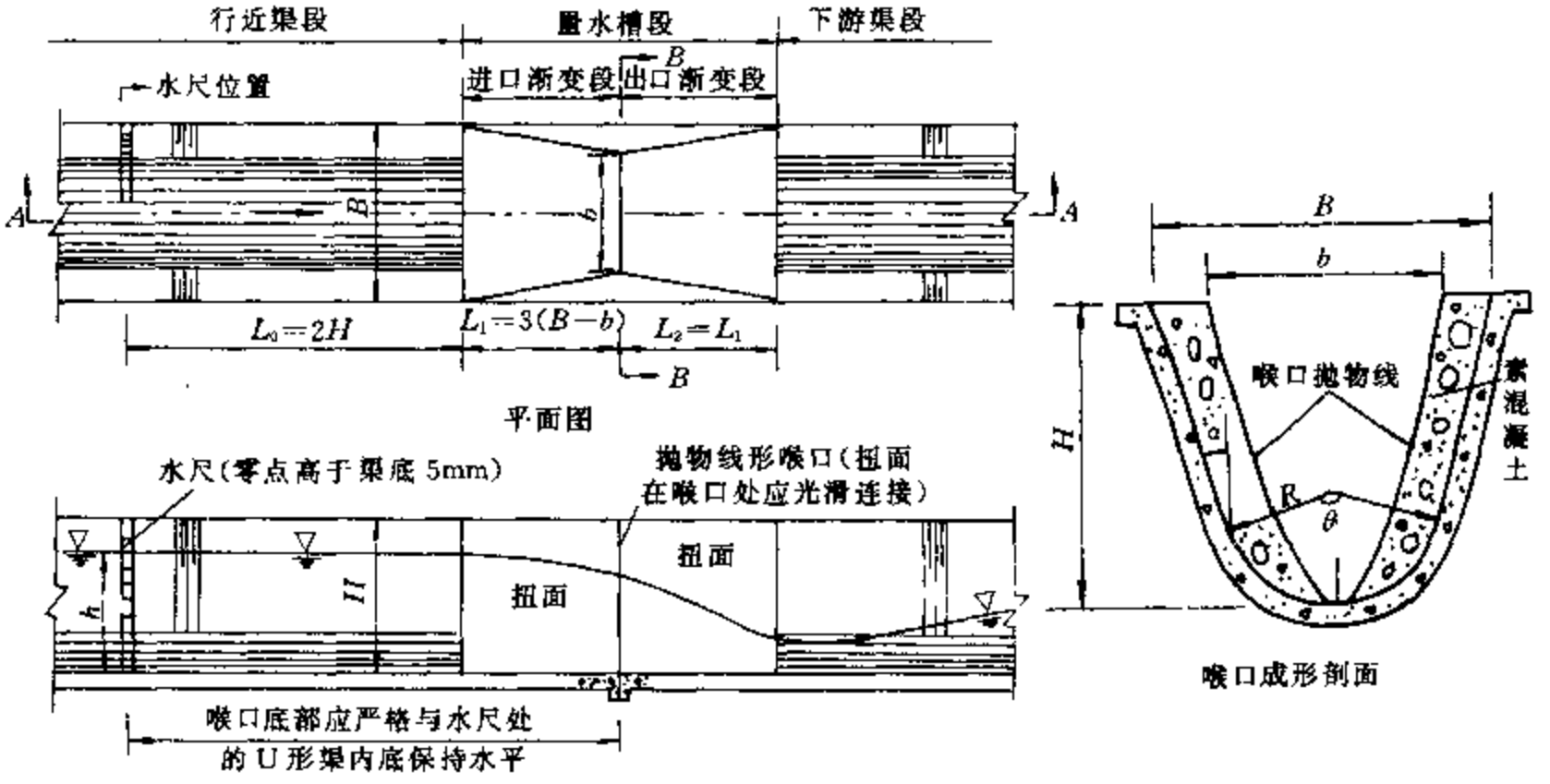


图 7-16　平底抛物线形量水槽

平底抛物线形无喉段量水槽喉口断面的方程为

$$Y = PX^2 \tag{7-20}$$

式中：Y、X 为纵、横坐标，m；P 为抛物线的形状系数，m^{-1}，其值随输水渠断面面积 A（m^2）、渠深 H（m）和量水槽的面积收缩比 ε 而改变，计算公式为

$$P = \frac{16}{9}\frac{H^3}{\varepsilon^2 A^2} \tag{7-21}$$

进口收缩渐变的收缩比 ε 与出口扩散渐变的扩散比均为 1∶6，而且进、出口渐变段的长度也相同．为

$$L_1 = L_2 = 3(B - b) \tag{7-22}$$

式中：B 为输水渠槽断面的上口宽，m；b 为抛物线形收缩断面的上口宽，m；$b=2$（H/

$P)^{1/2}$。

表 7-8 为与 U 形渠道相对应的平底抛物线形无喉段量水槽的结构尺寸。

表 7-8　　平底抛物线形量水槽尺寸及材料用量表

U 形渠道参数			量水槽参数						可测流量	
半径 R (cm)	渠深 H (cm)	口宽 B (cm)	收缩比 ε	抛物线系数 P (cm^{-1})	口宽 b (cm)	水尺距 l_0 (cm)	渐变长 L_1 (cm)	渐变长 L_2 (cm)	最小 Q_{min} (L/s)	最大 Q_{max} (L/s)
15	40	43.4	0.65	0.1635	31.3	80	36	36	2	95
20	50	56.2	0.65	0.1202	40.8	100	46	46	5	170
25	55	66.5	0.65	0.0922	48.8	110	53	53	5	240
30	60	76.8	0.65	0.0743	56.8	120	60	60	5	318
35	70	89.6	0.65	0.0637	66.3	140	70	70	5	468
40	80	102.4	0.65	0.0557	75.8	160	80	8	5	654

注　表中 U 形渠道边坡外倾角皆为 $\alpha=14°$，U 形渠尺寸与本表不符时应另行设计量水槽。要求增大过流量时可加高行近渠堤。

水尺位于量水槽上游，距进口渐变段前沿距离为 2 倍渠深处，水尺可直接标示在 U 形渠槽的内槽壁上，以便于观测。水尺零点应位于收缩断面底部水平面以上 5mm 处，而收缩断面的底部安装高程应与设置水尺位置处的渠底高程严格水平。

2. 流量计算

通常，平底抛物线形无喉段量水槽均采用自由出流，其流量公式为

$$Q = Ch^2/P^{1/2} \tag{7-23}$$

式中：Q 为过槽流量，m^3/s；h 为实测量水槽前的水深，即水尺处的水深，m；P 为抛物线形状系数，m^{-1}；C 为流量系数，需通过试验实际测定。

3. 施工安装方法

抛物线形量水槽可采用喉口预制、整体浇注的施工方法，具体步骤如下。

(1) 预做抛物线形堰板。根据 U 形渠道断面尺寸和比降，选择量水槽的收缩比及相应尺寸。然后，按选定的抛物线方程先在坐标纸上点绘出抛物线形状，并将坐标纸贴于五合板或其他板材上，描绘出抛物线轮廓，切割成堰板。堰板顶应保留一横档，以防安装堰板时变形，堰板外轮廓呈倒梯形，以便于上、下插入渠内，起固定作用，中部则可贯通浇注，以保证量水槽的整体坚固性。

(2) 安装堰板。在渠道侧墙及渠底开挖宽约 3cm 的窄缝，将堰板插入，并使其竖直，堰上中心线与渠道中心线一致，堰口底部高程与水尺处的渠底高程应严格水平。冻害地区，堰板底部应作防冻处理。

(3) 浇注进、出口渐变段。固定堰板后，用混凝土逐层填筑进、出口渐变段，浇注充分后，用直尺水平自下而上刮面，并用优质砂浆抹面，使进、出口渐变段与堰口的交界面连接光滑、平整。最后，安装水尺。

4. 适用条件及特点

抛物线形量水槽应安装在渠道衬砌良好、比降均匀的顺直渠段上，其长度应大于渠顶

宽度的5倍。量水槽距上游转弯、泄水闸或水跃的距离应大于渠中最大水深的30倍，以免造成淹没流。条件许可时，可在出口附近设5cm以上的跌坎。

抛物线形量水槽的显著优点是：①量水精度高（±3.5%）。②临界淹没度达0.85～0.91。③过流能力大，水深小时仍能保证量水精度。④壅水高度小。⑤因槽底为平底开敞式，故有利于泥沙及漂（悬）浮物通过。⑥结构简单，施工方便，造价低，可适用于多种形状渠槽量水，尤其适用于U形渠槽。

（六）套管（闸前短管）

套管是由原苏联研制的，在一般闸门前安装一个短管构成，它具有调节流量和量水的双重功能，既可在淹没情况下使用，也可在自由流情况下使用。泥沙淤积少，可用于挟沙水流中量水。

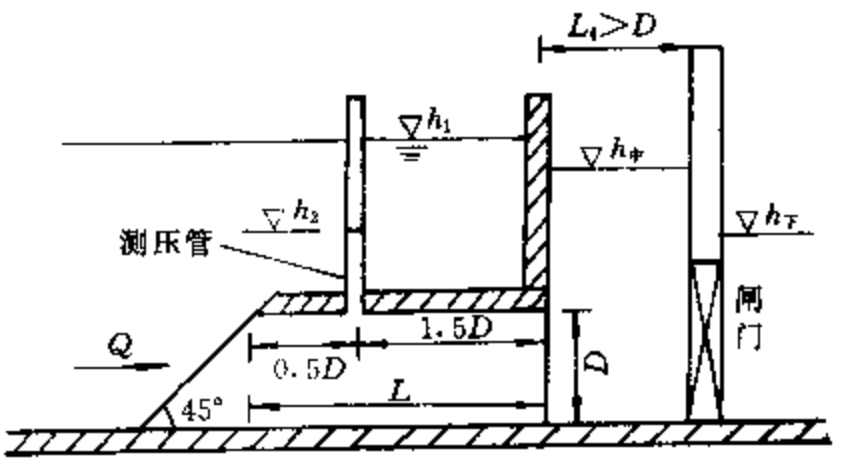


图 7-17 斜口圆短管型套管

表 7-9　　套管尺寸表

类　型	全长 L	b/a	l	备　注
斜口圆短管	(1.5～3) D	—	0.5D	D—管径
直口圆短管	(1.5～3) D	—	0.5D	b—进水宽度
矩形短管	(1.5～3) a	1～3	0.5a	a—进水高度
文丘利型短管	1.5a	1～3	0.4a	

注　文丘利型短管的详细结构尺寸可参考《灌区量水设备手册》。

套管的结构类型较多，主要有斜口圆短管（图7-17）、直口圆短管、矩形短管、文丘利型短管等。各种套管的尺寸规格见表7-9。

套管的流量计算公式为

$$Q = \mu A \sqrt{2gZ_k} \qquad (7\text{-}24)$$

式中：A 为套管过水断面面积，m^2；Z_k 为上游水位与测压管水位之差：$Z_k = h_1 - h_2$，m；μ 为流量系数。

套管可测流量范围为0.03～10m^3/s，允许在中等挟沙量的水流中使用，且流量系数较稳定，精度较高。

（七）分流式量水计

分流式量水计，具有结构简单，容易建造和安装，量水精度高而稳定，测算直观简捷，使用方便，造价低，测定比率大，水头损失小，测流范围广，灵敏度高，适用范围广等优点，对含沙量不太大的渠道和管道是一种较好的量水设备。

分流式量水计的结构可分为两大部分：①主流部分，包括上游进口连接段、节流元件和下游出口连接段等三部分，其中节流部分，我国目前研制的有文丘利管、圆缺孔板管和斜接半圆孔管等。②分流管部分，包括分流支管和分流水表等。

文丘利式涵管分流量水计的结构如图7-18和表7-10所示。图7-19为圆缺孔板式量水计结构图。图7-20及表7-11为斜接半圆孔管式量水计结构。

渠用分流计有渠中式和渠首式两种，分别见

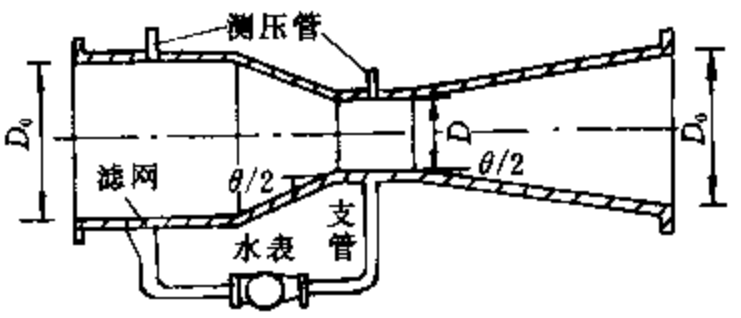


图 7-18　涵管分流计结构图

图 7-21 和图 7-22。便携式分流计和农田分流计分别见图 7-23 和图 7-24 所示。

三、田间灌水常用的量水设备

一般向田间灌水的流量都比较小，要求量水设备应更轻便，易于拆装和方便量测。田间灌水最常用的量水设备主要是三角形量水堰和梯形量水堰。

（一）三角形量水堰

1. 结构

三角形量水堰是一种锐缘薄壁堰。它的堰口为一倒置的等腰三角形，顶角向下，角度可为 20°、45°、60°、90° 及 120° 等。常用的三角形量水堰，其顶角为 90°，故又称为直角三角形量水堰。堰缺口斜面向下游，倾斜角为 45°左右。

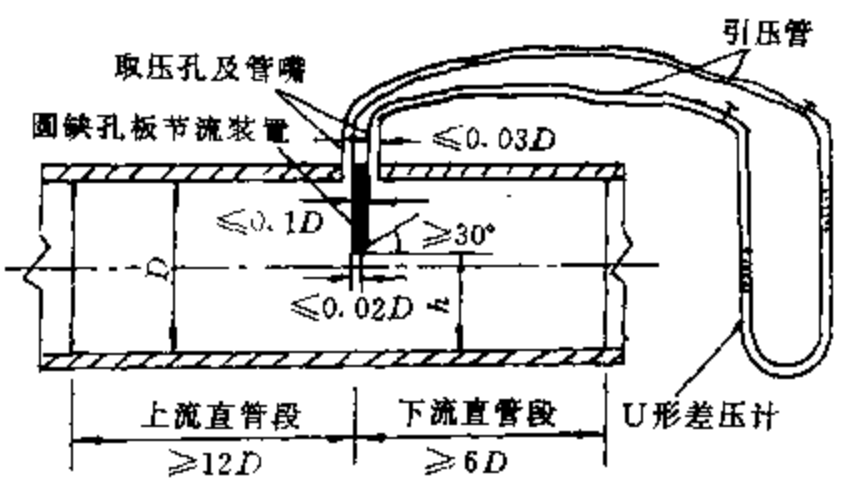


图 7-19 圆缺孔板节流式差压量水计结构示意图

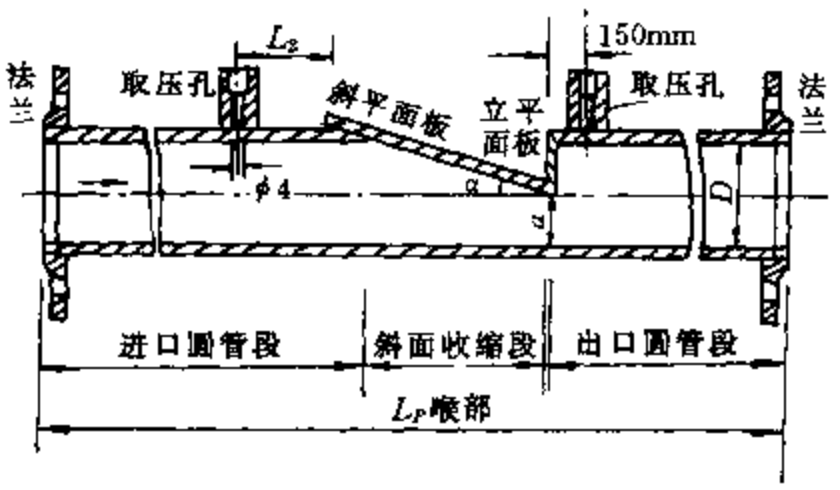


图 7-20 斜接半圆孔管式量水计构造图

三角形量水堰通常可用 3cm 左右厚度的木板，或 3～5mm 的薄铁板、塑料板制作。用木板制成的三角形量水堰，其堰口锐缘部分应采用薄铁皮包镶固牢，促使锐缘整齐、尖锐，以保证量水精度。三角形量水堰的堰边宽度和堰槛高度都应等于或大于最大过堰水深（一般都大于 30cm）。堰口深度应大于最大过堰水深 5cm。常用的直角三角形量水堰的结构形式如图 7-25 所示。各部分结构尺寸见表 7-12，可供制作时参考。

2. 流量计算

当下游水位低于角顶（自由流）P 时，流量公式为

$$Q = 1.343H^{2.47} \tag{7-25}$$

或

$$Q = 1.4H^{2.5} \tag{7-26}$$

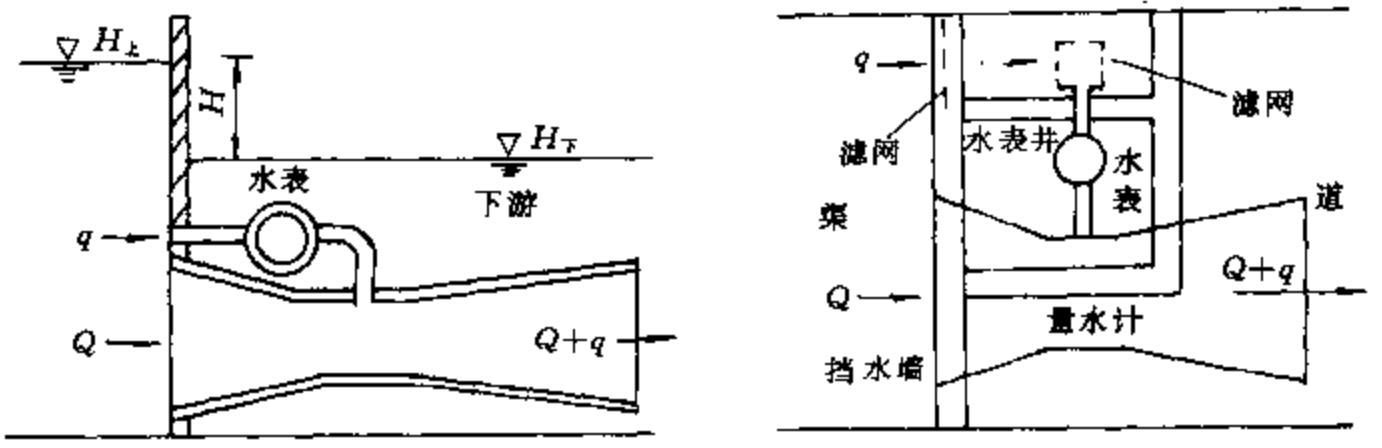


图 7-21 渠用分流计（渠中式）

（a）工作图；（b）平面图

表 7-10　　分流计型号及测流范围

分流计型号 NEL（P—D）	适用水头范围 (m)	测流范围 (m^3/s)	水表起始水头 H_b (mm)	$Z_c=15cm$ 时的流量 (m^3/s)
NFL（0.6—100）	0.002～4.00	0.0025～0.11	0.1	0.021
NFL（0.6—150）	0.001～2.80	0.04～0.21	0.15	0.05
NFL（0.6—200）	0.002～2.80	0.01～0.38	0.11	0.09
NFL（0.6—300）	0.0005～2.33	0.012～0.83	0.09	0.21
NFL（0.6—400）	0.0015～1.85	0.041～1.43	0.08	0.41
NFL（0.625—500）	0.0008～2.7	0.044～2.56	0.09	0.60
NFL（0.65—600）	0.001～2.65	0.066～3.44	0.1	0.81

表 7-11　　斜接半圆孔管式量水计的结构尺寸与量水特性表

D (m)	a (m)	W (m^2)	L_0 (m)	L_2 (m)	ΔP (m) ～Q (m^3/s) 计算表		
					$\Delta P=0.4m$	$\Delta P=1.0m$	$\Delta P=1.6m$
0.15	0.075	0.0088	0.345	0.075	0.0219	0.0346	0.0419
0.20	0.100	0.0157	0.459	0.100	0.0389	0.0615	0.0746
0.25	0.125	0.0245	0.574	0.125	0.0607	0.0960	0.1164
0.30	0.150	0.0353	0.689	0.150	0.0875	0.1384	0.1677
0.35	0.175	0.0481	0.805	0.175	0.1192	0.1885	0.2285
0.40	0.200	0.0628	0.922	0.200	0.1556	0.2462	0.2984
0.45	0.225	0.0795	1.030	0.225	0.1970	0.3117	0.3777
0.50	0.250	0.0981	1.150	0.250	0.2431	0.3845	0.4661
0.60	0.300	0.1414	1.380	0.300	0.3494	0.5528	0.6700

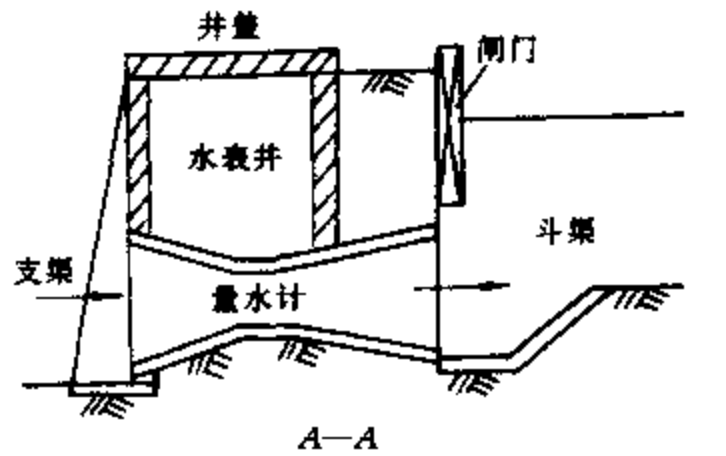


图 7-22　渠用分流计（渠首式）

表 7-12　　直角三角形量水堰结构尺寸

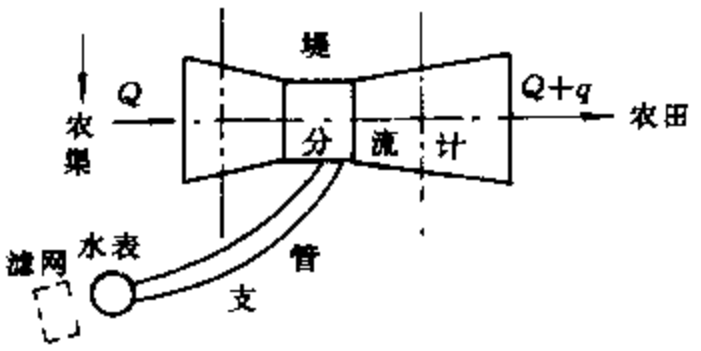
编号	渠道流量 Q (L/s)	最大水头 H (cm)	口高 h (cm)	堰高 P (cm)	边宽 T (cm)	堰口宽 b (cm)
1	50～70	30	35	30	30	70
2	70～100	35	40	35	35	80
3	100～140	40	45	40	40	90
4	140～185	45	50	45	45	100
5	185～240	50	55	50	50	110
6	240～300	55	60	55	55	120
7	300～375	60	65	60	60	130

式中：Q 为过堰流量，m^3/s；H 为过堰水深，m，通常 $3cm<H<30cm$。

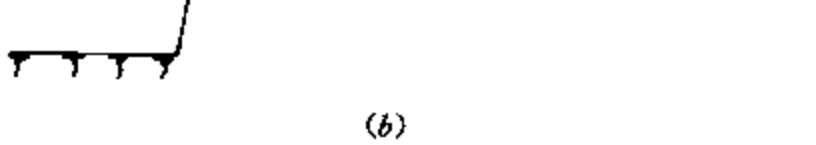
在实际应用中还可根据过堰水深 H 由表 7-13 查得直角三角形量水堰过堰流量。

当下游水位高于角顶为潜流时，对于直角三角形量水堰可根据过堰水深 H，由表 7-13 查得相应流量，再乘以淹没系数 f_n（由表 7-14 查得）即得过堰流量。

过堰流量是通过过堰水深来计算的。用事



(a)



(b)

图 7-23 便携式分流计

(a) 平面图；(b) 纵剖面图

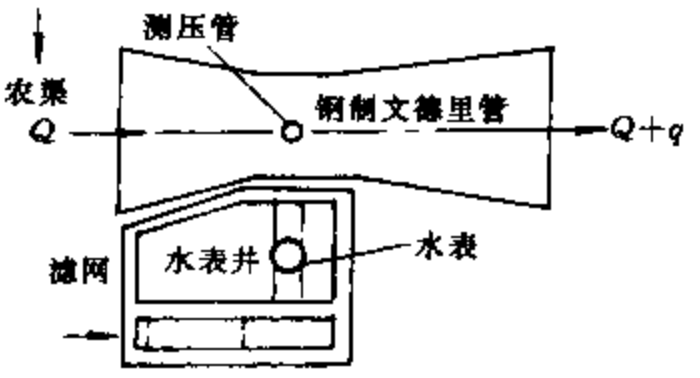


图 7-24 农田分流计

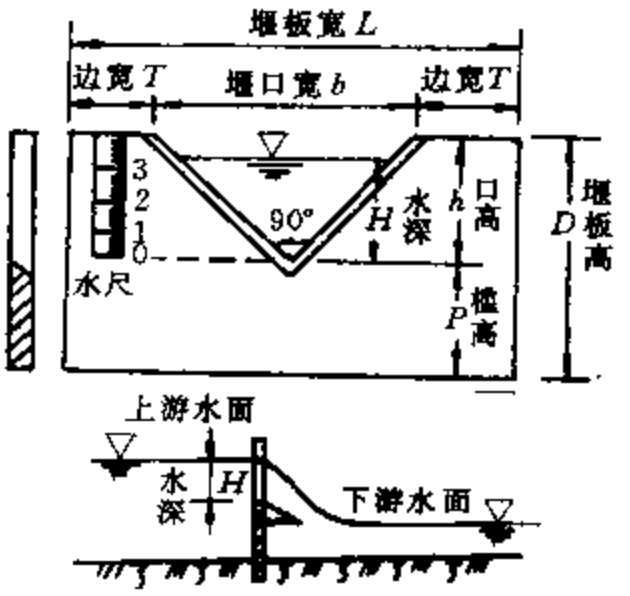


图 7-25 三角形量水堰

表 7-13 直角三角形量水堰流量表

H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)
0.5	0.003	10.5	5.09	20.5	26.90
1.0	0.015	11.0	5.70	21.0	28.30
1.5	0.043	11.5	6.40	21.5	30.40
2.0	0.085	12.0	7.16	22.0	31.80
2.5	0.15	12.5	7.89	22.5	33.70
3.0	0.23	13.0	8.65	23.0	35.70
3.5	0.33	13.5	9.49	23.5	27.40
4.0	0.46	14.0	10.14	24.0	39.60
4.5	0.62	14.5	11.30	24.5	41.50
5.0	0.83	15.0	12.30	25.0	43.90
5.5	1.04	15.5	13.40	25.5	45.00
6.0	1.29	16.0	14.50	26.0	47.70
6.5	1.54	16.5	15.60	26.5	50.40
7.0	1.95	17.0	16.90	27.0	52.90
7.5	2.33	17.5	18.10	27.5	55.10
8.0	2.56	18.0	19.40	28.0	57.80
8.5	3.07	18.5	20.80	28.5	59.10
9.0	3.48	19.0	22.00	29.0	62.80
9.5	4.06	19.5	23.50	29.5	65.80
10.0	4.54	20.0	25.20	30.0	68.00

表 7-14　　三角形量水堰潜没系数表

$\frac{h}{H}$	f_n	$\frac{h}{H}$	f_n	$\frac{h}{H}$	f_n
0.30	0.998	0.54	0.912	0.78	0.722
0.32	0.993	0.56	0.901	0.80	0.699
0.34	0.989	0.58	0.889	0.82	0.674
0.36	0.984	0.60	0.877	0.84	0.647
0.38	0.978	0.62	0.863	0.86	0.617
0.40	0.972	0.64	0.849	0.88	0.585
0.42	0.965	0.66	0.849	0.90	0.548
0.44	0.957	0.68	0.818	0.92	0.508
0.46	0.949	0.70	0.802	0.94	0.461
0.48	0.941	0.72	0.784	0.96	0.404
0.50	0.932	0.74	0.765	0.98	0.328
0.52	0.922	0.76	0.744		

先刻划在堰板上的水尺来确定过堰水深。水尺零点应正好与三角形缺口的尖顶齐平，水尺刻度应能读出 5mm。量水时，观测水面在水尺上的读数，利用预先制成的过堰水深与流量的关系表，查算流量非常方便。例如，某次放水，观察水尺得知过堰水深为 20.5cm，查表 7-13 得知，此时过堰流量为 26.9L/s。

3. 安装

(1) 三角形量水堰安装的位置应选在直线段上，先在渠道断面上或田间放水口断面处刻划出一条窄槽，将堰板嵌入槽内约 10cm，并使堰板端正直立，垂直于水流轴线。堰体中线即通过堰板缺口尖顶的中线要与水流轴线相吻合。堰板两侧顶部要水平。

(2) 堰板缺口锐缘应朝向迎水面，倾斜面应朝向下游。

(3) 安装堰板结束后，应填平并夯实安设堰板的窄槽，以使堰底及两侧不得有漏水现象发生。

(4) 水尺分上游水尺和下游水尺，分别安设在上、下游距堰板 3～4 倍最大过堰水深处。上游水尺也可安设在堰口旁侧，或直接绘制于堰板迎水面上，水尺零点高程与堰口角顶高程应相同，水尺刻度为 5mm。若仅为自由流时，三角形量水堰可以不安设下游水尺。

4. 适用范围

三角形量水堰具有结构简单，安装、观测方便，量水精度高，以及造价低廉，而且容易拆装和搬移等特点。但它能量测的流量较小，故适宜于安装在流量小（一般小于 100L/s 以下）、比降较大或有跌坎的小型渠道上（例如田间毛渠、输水沟等）以及农田内部流量的量测上。在比降缓的渠道上安装，容易在三角形量水堰上游产生壅水影响，虽然抬高上游水面的高度并不大，但在堰前容易沉积泥沙，水流中漂浮物较多时，堰口处易被杂物堵塞，而影响量水精度。实践证明，当过堰水深 H 在 5～30cm 之间时，三角形量水堰量水精度较高。

（二）梯形量水堰

1. 结构

梯形堰为一具有梯形缺口的薄壁量水设施（如图 7-26）。可用木板堰口加铁皮、钢丝网

表 7-15　　常用梯形量水堰结构尺寸表

单位：cm

堰槛宽 B	b	H_{max}	h	T	P	适宜施测流量 Q 范围 (L/s)
25	31.6	8.3	13.3	8.3	8.3	2～12
50	60.8	16.6	21.6	16.6	16.6	10～63
75	90.0	25.0	30.0	25.0	25.0	30～178
100	119.1	33.3	38.3	33.3	33.3	61～365
125	148.3	41.6	46.6	41.6	41.6	102～640
150	177.5	50.0	55.0	50.0	50.0	165～1009

注　表中 $b=B+h/2$，$H_{max}=B/3$，$h=B/3+5$，$T=B/3$，$P\geqslant B/3$。

混凝土薄板堰口加铁皮或薄铁板、塑料板等制成。堰槛宽度 b 一般在 0.25～1.5m 之间，堰口侧边通常为 4∶1（竖∶横）的斜边，堰口呈锐缘状。常用的标准梯形堰结构尺寸见表 7-15。

2. 流量计算

（1）当下游水位低于堰槛（自由流，见图 7-26）时，流量公式为

$$Q = 1.86bH^{3/2} \qquad (7\text{-}27)$$

式中：Q 为流量，m^3/s；H 为过堰水深，m；b 为堰槛宽，m；1.86 为综合流量系数，由实验求得，当流速大于 0.3m/s 时，此值改为 1.90。

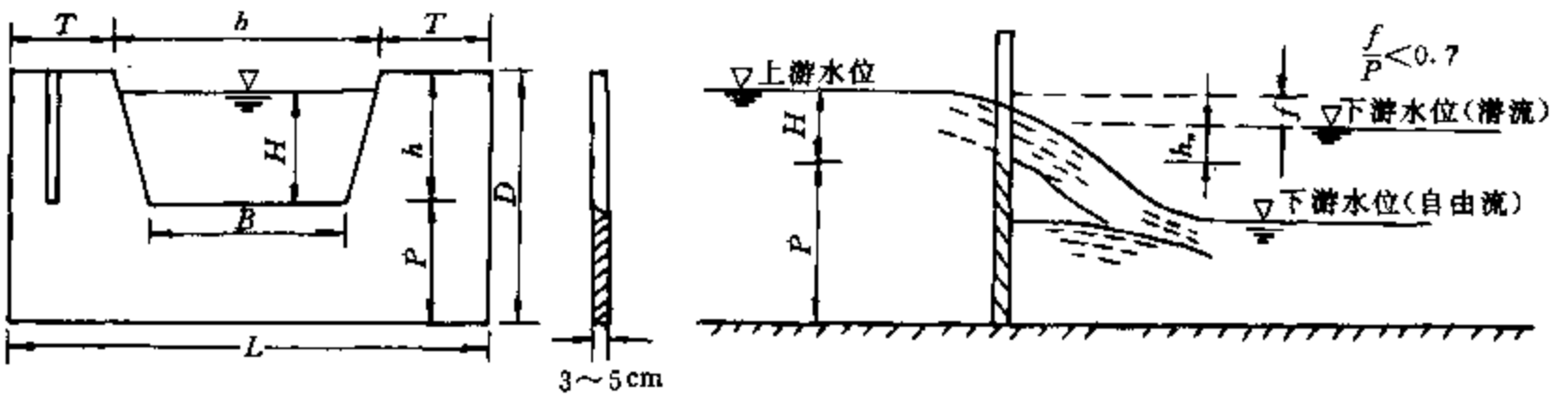


图 7-26　梯形量水堰

根据上面公式，并假设 $b=1$，制成表 7-16。使用时根据过堰水深 H 在表中查出相应流量，再乘以实际堰宽 b，即得所求流量 Q。

表 7-16　　梯形量水堰自由流流量表　　单位：m^3/s

过堰水深 H (m)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008	过堰水深 H (m)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
0.02	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.17	0.131	0.132	0.135	0.137	0.139
0.03	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.18	0.142	0.144	0.147	0.149	0.152
0.04	0.015	0.016	0.017	0.018	0.020	0.19	0.154	0.156	0.159	0.161	0.164
0.05	0.021	0.022	0.023	0.025	0.026	0.20	0.166	0.169	0.171	0.174	0.177
0.06	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.21	0.179	0.182	0.184	0.187	0.189
0.07	0.035	0.036	0.038	0.039	0.041	0.22	0.192	0.104	0.197	0.200	0.202
0.08	0.042	0.042	0.045	0.047	0.049	0.23	0.205	0.208	0.311	0.313	0.216
0.09	0.050	0.052	0.054	0.056	0.057	0.24	0.219	0.221	0.224	0.227	0.230
0.10	0.059	0.060	0.063	0.064	0.066	0.25	0.232	0.235	0.238	0.241	0.244
0.11	0.068	0.070	0.072	0.074	0.076	0.26	0.247	0.250	0.252	0.255	0.258
0.12	0.078	0.080	0.082	0.084	0.085	0.27	0.260	0.263	0.266	0.270	0.272
0.13	0.087	0.090	0.092	0.094	0.096	0.28	0.275	0.278	0.281	0.284	0.287
0.14	0.098	0.100	0.102	0.104	0.106	0.29	0.290	0.293	0.296	0.299	0.302
0.15	0.108	0.111	0.113	0.115	0.117	0.30	0.305	0.308	0.311	0.314	0.317
0.16	0.119	0.122	0.124	0.126	0.128						

（2）当下游水位高出堰槛，且上、下游水位差与堰槛高之比（f/P）小于 0.7（潜流）时，流量公式为

$$Q = 1.86 f_n b H^{3/2} \tag{7-28}$$

式中：f_n 为潜没系数，通常可由表 7-17 查得。

表 7-17　　梯形量水堰潜没系数表

$\frac{h_n}{H}$	f_n	$\frac{h_n}{H}$	f_n	$\frac{h_n}{H}$	f_n	$\frac{h_n}{H}$	f_n
0.06	0.996	0.50	0.855	0.28	0.944	0.72	0.714
0.08	0.992	0.52	0.845	0.30	0.939	0.74	0.698
0.10	0.988	0.54	0.834	0.32	0.932	0.76	0.682
0.12	0.984	0.56	0.823	0.34	0.925	0.78	0.662
0.14	0.980	0.58	0.812	0.36	0.917	0.80	0.642
0.16	0.976	0.60	0.800	0.38	0.909	0.82	0.621
0.18	0.972	0.62	0.787	0.40	0.901	0.84	0.599
0.20	0.968	0.64	0.774	0.42	0.892	0.86	0.576
0.22	0.963	0.66	0.760	0.44	0.884	0.88	0.550
0.24	0.958	0.68	0.746	0.46	0.875	0.90	0.520
0.26	0.952	0.70	0.730	0.48	0.865		

注　h_n 为下游水位高出堰槛的水深。

3. 安装

（1）堰体稳定且直立，堰槛水平，堰体中线应与渠道水流轴线相吻合；堰槛宽 b 应在 $3H$～$10H$ 之间，堰口锐缘斜面朝向下游。

（2）安装在渠道纵坡为 1/400～1/1500 的渠段上为宜，渠段宽度应大于堰口宽度。上游平直段长度不得小于 10 倍堰槛宽，下游平直段长度不得小于 4 倍堰槛宽。此外，为了使过堰水流为自由流，在保证计划过流的前提下，应使堰槛高出下游水位 2cm 左右。

（3）上游水尺安装（或绘制）在堰板上，下游水尺安装在距堰板约 3～4 倍最大过堰水深处。

4. 适用范围

梯形堰结构简单，造价低廉，易于制造，观测方便。但量水时壅水较高，水头损失大，堰前易沉积泥沙，适于安设在坡降较大或有跌槛，含沙量小的渠道上。当流量在 0.1～1.0m^3/s 之间时，测量精度较高。因此，梯形量水堰也可用于测量田间渠道流量。

例如，某梯形量水堰堰宽为 1.5m，过堰水深为 0.15m，由表 7-16 中查得 0.15m 的流量为 0.108m^3/s，则实际通过梯形堰的流量为 0.108×1.5＝0.162m^3/s。

第五节　田间灌溉管理技术经济分析

对田间灌溉管理质量的评估和分析，是促进田间管理水平不断提高的重要措施。科学的评估方法是，首先确定一系列评估技术经济指标，然后针对当地当时的实际情况，计算出这些指标的具体数值，再与设计的或计划的水平相比较，或当年的指标值与过去的相比

较，或与条件类似灌区的田间管理水平相比较，以便了解本地当时的田间管理水平及存在的问题，为今后改进田间管理工作提供参考。

一、田间灌溉管理技术经济评估指标

为反映田间灌溉管理的技术水平、管理水平和经济效益，必须科学地制定出一系列技术经济评估指标，以衡量和评价其技术经济效益。

田间灌溉管理技术经济指标，除在第一章第三节介绍的评估田间灌水方法的技术指标和经济指标外，在管理方面尚需提出以下指标。

1. 田间灌溉用水量方面的评估指标

(1) 实现定额灌水率 η_e（%）

$$\eta_e = \frac{m_{计}}{m_{实}} \times 100\% \tag{7-29}$$

式中：$m_{计}$ 为计划灌水定额，m^3/亩；$m_{实}$ 为实际引入田间的灌水量，m^3/亩。

实现定额灌水率 η_e 主要反映在田间进行畦、沟灌灌水时，是否按计划或设计的灌水定额在田间实施灌水，田面是否有水量损失和浪费。地面灌溉应要求 η_e 接近于 1.0。这个指标的缺点是，若实施灌水时，不能反映深层渗漏损失的影响。

(2) 毛灌溉定额 M（m^3/亩）

$$M = \frac{W}{A} \tag{7-30}$$

式中：W 为供给田间的实际水量，m^3；A 为实际灌溉面积，亩。

毛灌溉定额可按每种作物分别计算，也可按多种作物计算综合毛灌溉定额。它反映在相同产量或相同效益条件下，毛灌溉定额愈小，则田间管理水平愈高。

2. 灌溉工程状况方面的评估指标

(1) 田间工程配套率 δ（%）

$$\delta = \frac{A_{配}}{A_{效}} \times 100\% \tag{7-31}$$

式中：$A_{配}$ 为已配套完备的田间渠系实际控制的灌溉面积，亩；$A_{效}$ 为有效灌溉面积，即田间渠系实际控制的可灌面积，亩。

田间工程不完善，是造成田间灌溉水量浪费、灌水质量低和影响农业高产的重要原因之一，因此田间工程配套率是衡量田间渠系配套及其工程管理水平的重要标志。

(2) 田间工程设施完好率 β（%）

$$\beta = \frac{N_{好}}{N} \times 100\% \tag{7-32}$$

式中：$N_{好}$ 为田间工程建筑物完好的座数或完好的田间渠道长度，座数或 km；N 为田间工程建筑物总座数或田间渠道的总长度，座数或 km。

对于田间渠系建筑物，完好是指整体安全，无较大破损，各种建筑物能正常运用，各种闸门能启闭灵活等。对于田间渠道，完好是指无较大坍塌，无严重淤积，无溃决，能正常运行，并能达到设计过水能力。田间工程设施完好率是标志田间工程设施完好程度及其工程管理水平的重要指标。

3. 灌溉面积及产量方面的指标

(1) 实灌面积率 λ (%)

$$\lambda = \frac{A}{A_{效}} \times 100\% \tag{7-33}$$

式中：A 为田间实际灌溉面积，亩；$A_{效}$ 为有效灌溉面积，亩。

(2) 计划灌溉面积完成率 α (%)

$$\alpha = \frac{A}{A_{计}} \times 100\% \tag{7-34}$$

式中：$A_{计}$ 为当年或某季或某轮、某次的计划灌溉面积，亩；A 为实际灌溉面积，亩。

实灌面积率和计划灌溉面积完成率是表征用水单位或田间工程实际灌溉的能力，以及工程状况、农业生产配合状况与水土资源利用的潜力状况。

(3) 单位面积产量 y_i (kg/亩)

$$y_i = \frac{Y_i}{A_i} \tag{7-35}$$

式中：Y_i 为某种作物总产量，kg；A_i 为该种作物种植面积，亩。

(4) 单位水量产量 y_w (kg/m^3)

$$y_w = \frac{Y_i}{W_i} \tag{7-36}$$

或

$$y_w = \frac{Y_i}{M_i} \tag{7-37}$$

式中：Y_i 为某种作物的总产量，kg；W_i 与 M_i 分别为所计算作物的田间毛灌溉用水量，m^3/亩与田间毛灌灌溉定额，m^3/亩。

单位面积产量和单位水量产量是衡量灌溉农业田间灌溉用水与农业生产相结合的田间管理水平的重要指标。

4. 灌溉效益方面的指标

(1) 单位面积灌溉效益 b_i (元/亩)

$$b_i = (Y_i - Y_0)C_i + (Y'_i - Y'_0)C'_i - h_i \tag{7-38}$$

式中：Y_i 与 Y_0 分别为灌溉与非灌溉条件下所计算作物的单位面积产量，kg/亩；Y'_i 与 Y'_0 分别为灌溉与非灌溉条件下所计算作物副产品的单位面积产量，kg/亩；C_i 与 C'_i 分别为所计算作物产品与副产品的单价，元/kg；h_i 为所计算作物单位面积的灌溉年费用，元/亩。

单位面积灌溉效益反映作物灌溉后比不灌溉所能达到的增产效益水平。

(2) 单位水量灌溉效益 b_w (元/m^3)

$$b_w = \frac{b_i}{M_i} \tag{7-39}$$

式中符号意义同前。单位水量灌溉效益反映田间用水的经济效益水平高低。单位面积灌溉效益与单位水量灌溉效益是评估田间灌溉管理水平高低的两个重要指标。

(3) 水分生产率 $\eta_{产}$ (kg/m^3)

$$\eta_{产} = \frac{Y_i}{E_{亩}} \ (kg/m^3) \tag{7-40}$$

式中：Y_i 为作物单位面积产量，kg/亩；$E_{田}$ 为作物全生育期需水量，m^3/亩。

《节水灌溉技术规范》规定，实施节水灌溉后，水分生产率应提高 20%以上，且不应低于 1.2kg/m^3。

（4）实收单位面积水费 i（元/亩）

$$i = \frac{I}{A} \tag{7-41}$$

式中：I 为田间灌溉管理单位一年或一季、一轮等实际收入的灌溉用水水费总额，万元；A 为实际灌溉面积，亩。

（5）实收单位方水费 i_w（元/m^3）

$$i_w = \frac{I}{W} \tag{7-42}$$

式中符号意义同前。

（6）水费征收率 E（%）

$$E = \frac{I}{I_{应}} \times 100\% \tag{7-43}$$

式中：$I_{应}$ 为应收水费总额，万元，$I_{应} = i_{应} A$，其中 $i_{应}$ 为规定的水费征收标准，元/亩；其余符号意义同前。

实收单位面积水费或实收单方水费是根据不同地区有无量水设施，分别进行核收的，为节约田间灌溉用水，应健全、完善量水设施，采取单方水费计收更为合理。按灌溉地单位面积计收水费，容易造成灌水定额过大，大大超过计划灌水定额，以致发生深层渗漏，甚致引起地下水位上升等不良现象。

实收单位面积水费或实收单方水费，以及水费征收率是反映田间灌溉管理单位经济收入水平的重要标志之一。

5. 其他方面的评估指标

（1）田间渠系绿化率 J（%）

$$J = \frac{L_{绿}}{L} \times 100\% \tag{7-44}$$

式中：$L_{绿}$ 与 L 分别为田间渠系已绿化的总长度与应绿化的总长度，m。

（2）地下水位升降值 ΔD（m）或地下水位升降率 Δd（%）

$$\Delta D = D_{去} - D_{今} \tag{7-45}$$

$$\Delta d = \frac{D_{去} - D_{今}}{D_{平}} \times 100\% \tag{7-46}$$

式中：$D_{今}$ 与 $D_{去}$ 分别为田间灌溉管理单位辖区范围内当年与上一年的平均地下水埋深，m；$D_{平}$ 为该辖区范围内多年平均地下水埋深，m。

上述指标是反映田间灌溉管理单位辖区范围内环境改善及其效益水平高低的重要标志。

二、田间灌溉管理技术经济分析

对水利工程和管理进行效益评估与技术经济分析，通常有两种方法，即静态分析法和动态分析法。

静态分析法，是在分析计算时不考虑资金的时间价值的方法，也就是不计及资金的利息的方法。目前常用的静态分析法有：还本年限法、投资效益系数法和抵偿年限法等。它们比较简单，主要适用于短期投资项目、小型灌区管理效益评价、大中型灌区必要的辅助经济分析或财务管理分析。

动态分析法，要考虑资金的时间价值。资金的价值是随着时间的变化而变化的，因此必须计及资金的利息和增值能力。也就是用一定的折算率（即利率）把不同年份的工程投资、年费用和效益折算到某一期限（即基准年）的现值或相等的年值，分析评估管理系统的经济效益与过程。动态分析法主要有，净现值法、等值年金法、效益费用比法和内部回收率法等。

由于田间灌溉工程的修建，一般所需工期较短，而田间灌溉管理用水时间，又比较集中，一般均是间歇性的，相对来说计算时期也比较短。因此，对于田间灌溉管理的技术经济分析，通常可以采用静态分析法，但有条件时，也可以采用动态分析法。以下介绍几种常用的静态分析方法。

1. 还本年限（或称投资回收期）法

还本年限法，表示水利工程建成投产以后，在运行期间逐渐通过效益的积累，全部回收投资的年限。其计算公式为

$$T = \frac{K}{B_0} \tag{7-47}$$

式中：T 为还本年限，或称投资回收期，年；K 为工程投资，万元；B_0 为工程多年平均的净效益（包括利润和折旧在内）。还本年限一般可采用 5～10 年。

2. 投资效益系数（或称投资收益率）法

投资效益系数，是工程建成后每年获得的净收益与投资总额的比值 e。其计算公式为

$$e = \frac{B_0}{K} \tag{7-48}$$

投资效益系数是还本年限的倒数。在比较不同建设规模的工程项目投资效益时，常用这种方法。投资效益系数一般可采用 0.2～0.07。

还本年限和投资效益系数两种分析方法，所反映的是一次性总投资额与达到正常设计能力时的效益之间的关系。但效益的提取不仅取决于总投资额的大小，还取决于每年所花费的管理费用。所以，在评价一个技术经济方案时，既要衡量其投资总额与效益之间的关系，还要分析工程建后成本的高低。为了从若干个方案中选择最优的技术经济方案，还需要用抵偿年限（追加投资回收期）这个指标进行比较。

3. 抵偿年限（追加投资回收期）法

追加投资是指两个不同方案所需要投资之间的差额。抵偿年限是指一个工程方案，通过节约的年管理运行费用来偿还追加投资所需的年限。如果比较两个方案的效益有差别时，也可以通过增加的效益来偿还追加投资，并计算抵偿年限。其计算公式可写为

$$T_{抵} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = \frac{\Delta K}{\Delta C} \tag{7-49}$$

式中：$T_{抵}$ 为抵偿年限，即追加投资的回收期；K_2 与 K_1 分别为 1、2 方案的工程总投资，K_2

$>K_1$；C_1 与 C_2 分别为 1、2 方案的年管理运行费（不包括折旧费），即成本费，$C_1>C_2$；ΔK 为追加的投资额；ΔC 为节约的年管理运行费。单位均为万元。

计算结果，如果 $T_{抵}$ 小于规定的标准抵偿年限 T_H，即 $T_{抵}<T_H$ 时，则追加投资的方案是可取的；反之，$T_{抵}>T_H$，则追加投资方案是不可取的。我国一般采用的标准抵偿年限 T_H 为 8～15 年。

4. 投资效益比较系数 E

投资效益比较系数 E 是抵偿年限 $T_{抵}$ 的倒数，用下式表示：

$$E=\frac{C_1-C_2}{K_2-K_1}=\frac{\Delta C}{\Delta K}=\frac{1}{T_{抵}} \tag{7-50}$$

投资效益比较系数表示，每一单位追加投资能获得多少年运行费的节约额。

5. 年折算费用最小

在进行多种方案比较时，若各方案的效益相同，则可采用年折算费用最小法对各方案进行比较选优。其计算有两种表示方法：

$$\left.\begin{aligned} S_C&=C_i+E_HK_i=\text{最小值}\\ S_K&=K_i+T_HC_i=\text{最小值}\end{aligned}\right\} \tag{7-51}$$

式中：S_C 与 S_K 分别为方案的年折算费用（按标准投资效益比较系数折算）与方案的年折算投资（按标准抵偿年限折算），万元；K_i 为方案投资，万元，即 K_1、K_2、K_3、…；C_i 为方案年运行费，万元，即 C_1、C_2、C_3、…；E_H 为标准投资效益比较系数；T_H 为标准抵偿年限。

年折算费用最小法适用于效益相同情况下的多种方案比较，计算简便，结果清楚。而采用上述的抵偿年限法，在多方案比较时要逐步优选淘汰，容易发生错误。

主 要 参 考 文 献

[1] 水利部农村水利司．灌溉管理手册．北京：水利电力出版社，1995

[2] 中国水利百科全书编辑委员会．中国水利百科全书．北京：水利电力出版社，1992

[3] 中国农业百科全书编辑委员会．中国农业百科全书．北京：农业出版社，1987

[4] 郭元裕主编．农田水利学．北京：水利电力出版社，1986

[5] 陈玉民、郭国双、王广兴等．中国主要作物需水量与灌溉．北京：水利电力出版社，1995

[6] 国家科委社会发展司等．农业节水技术．北京：水利电力出版社，1992

[7] 林性粹．旱区农田节水灌溉技术．北京：农业出版社，1991

[8] 朱树人．中国农业节水灌溉问题．水利学报，1991（4）

[9] 黎庆淮主编．土壤学与农作学．北京：水利电力出版社，1986

[10] A. M. Micheal. Irrigation Theory and Practice. Vikas Publishing House PVTLTD, India, 1978

[11] W. R. Walker, G. V. Skogerboe. Surface Irrigation Theory and Practice. Prentice-Hell Inc. U. S. A, 1987

[12] 陈炯新主编．灌区量水工作手册．北京：水利电力出版社，1984

[13] 王文焰等．波涌灌溉试验研究与应用．西安：西北工业大学出版社，1994

[14] 水利电力部水利建设司．农田基本建设规划．北京：水利电力出版社，1978

[15] 水利部科教司．武汉水利电力大学．灌排工程新技术．北京：中国地质大学出版社，1993

[16] 林性粹、马文敏．地面灌水方法的田间配水方式．陕西水利，1996（6）

[17] 辽宁省水利水电科学研究院、辽宁省节水技术研究会编著．节水灌溉技术手册．沈阳：辽宁科学技术出版社，1997

[18] 全国农牧渔业丰收计划办公室编．节水灌溉与旱作农业技术．北京：经济科学出版社，1996

封面
书名
版权
前言
目录
正文