

- 高等学校水利类专业教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十三五”规划教材
全国水利行业规划教材

高效灌排技术

主 编 郝树荣 缴锡云

副主编 朱成立 范严伟 高惠嫣 李全起



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

● 高等学校水利类专业教学指导委员会
● 中国水利教育协会
● 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十三五”规划教材
全国水利行业规划教材

高效灌排技术

主 编 郝树荣 缴锡云
副主编 朱成立 范严伟 高惠嫣 李金超



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为全国水利行业规划教材。全书共十章，包括绪论、地面节水灌溉技术、渠道防渗工程技术、低压管道输水灌溉技术、喷微灌工程技术、集雨蓄水节水灌溉技术、水稻节水灌排技术、节水灌溉理论、农艺节水技术和管理节水技术。

本书内容丰富，通俗易懂，可作为高等院校水利学科农业水利工程专业和水利工程专业的教学用书，也可供从事水利工程和农业节水等相关技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

高效灌排技术 / 郝树荣，缴锡云主编. — 北京：
中国水利水电出版社，2016.2
普通高等教育“十三五”规划教材 全国水利行业规划教材
ISBN 978-7-5170-4131-3

I. ①高… II. ①郝… ②缴… III. ①排灌工程—高等学校—教材 IV. ①S277

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第036243号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 全国水利行业规划教材 高效灌排技术
作 者	主编 郝树荣 缴锡云 副主编 朱成立 范严伟 高惠嫣 李全起
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 410千字
版 次	2016年2月第1版 2016年2月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	36.00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

编写人员名单

主 编	河海大学 河海大学	郝树荣 缴锡云
副主编	河海大学 兰州理工大学 河北农业大学 山东农业大学	朱成立 范严伟 高惠嫣 李全起
编 委	河海大学 武汉大学 河海大学 天津农学院	俞双恩 罗玉峰 郭相平 杨路华
主 审	河海大学	张展羽

前言

本书属于全国水利行业规划教材。“高效灌排技术”是农水水利工程专业和水利工程专业的一门专业课。编写中既注重了理论的系统性，又兼顾了实用性，内容上力求深度、广度适宜，并尽可能反映近年来节水灌溉方面的新理论、新技术、新知识和新成果。本书可作为高等院校水利学科的教材，也可作为其他有关学科专业的参考用书。

全书共分两篇。上篇为工程节水技术；下篇为非工程节水技术。绪论由河海大学俞双恩编写。上篇共六章：第一章为地面节水灌溉技术，由河海大学缴锡云编写；第二章为渠道防渗工程技术，由河海大学朱成立、郝树荣编写；第三章为低压管道输水灌溉技术，由河北农业大学高惠嫣、天津农学院杨路华编写；第四章为喷微灌工程技术，由河北农业大学高惠嫣、天津农学院杨路华编写；第五章为集雨蓄水节水灌溉技术，由河北农业大学高惠嫣、天津农学院杨路华编写；第六章为水稻节水灌排技术，由河海大学郝树荣、郭相平及武汉大学罗玉峰编写。下篇共三章：第一章为节水灌溉理论，由兰州理工大学范严伟编写；第二章为农艺节水技术，由山东农业大学李全起编写；第三章为管理节水技术，由武汉大学罗玉峰编写。本书大纲及前言由河海大学郝树荣编写。全书由河海大学郝树荣、缴锡云担任主编，并负责统稿。河海大学朱成立、兰州理工大学范严伟、河北农业大学高惠嫣、山东农业大学李全起为本书副主编。

本书承河海大学张展羽教授主审，在此表示衷心的感谢。

本书引用了大量的国内外研究成果，参考了许多已经出版的相关著作和教材，在此一并表示诚挚的谢意。

因水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大师生以及各位读者批评指正。

编者

2015年11月

目 录

前言

绪论	1
复习思考题	7

上篇 工程节水技术

第一章 地面节水灌溉技术	8
第一节 基本概念	8
第二节 灌水质量评价	13
第三节 地面灌溉设计	17
第四节 波涌灌溉技术简介	22
第五节 地面灌溉稳健设计简介	23
复习思考题	24
第二章 渠道防渗工程技术	26
第一节 概述	26
第二节 防渗措施	28
第三节 生态渠道的适宜结构	35
第四节 防渗渠道设计	42
第五节 防渗工程的冻胀及防治措施	47
复习思考题	50
第三章 低压管道输水灌溉技术	51
第一节 概述	51
第二节 低压管道输水灌溉系统的规划布置	54
第三节 管网水力计算	59
第四节 工程施工及运行管理	61
第五节 系统设计实例	63
复习思考题	67

第四章 喷微灌工程技术	68
第一节 喷灌技术与规划设计	68
第二节 滴灌技术与规划设计	87
第三节 微喷灌技术.....	105
第四节 渗灌技术.....	110
复习思考题.....	112
第五章 集雨蓄水节水灌溉技术	113
第一节 概述.....	113
第二节 雨水集蓄工程规划设计.....	115
第三节 雨水聚集技术.....	119
第四节 储水设施工程技术.....	122
第五节 雨水集蓄的配套技术.....	131
第六节 雨水集蓄工程的维护管理.....	133
复习思考题.....	134
第六章 水稻节水灌排技术	135
第一节 浅湿灌溉技术.....	135
第二节 控制灌溉技术.....	137
第三节 蓄水控灌技术.....	143
第四节 沟田协同控制排水技术.....	149
复习思考题.....	154

下篇 非工程节水技术

第一章 节水灌溉理论	155
第一节 作物需水量.....	155
第二节 水分胁迫的正负面效应.....	182
第三节 作物水分生产函数.....	190
第四节 节水型灌溉制度.....	197
复习思考题.....	220
第二章 农艺节水技术	226
第一节 耕作保墒技术.....	226
第二节 覆盖保墒技术.....	229
第三节 水肥耦合技术.....	231
第四节 化学调控技术.....	235
第五节 激光平地技术.....	244
复习思考题.....	250

第三章 管理节水技术	251
第一节 计划用水管理	251
第二节 墒情监测与旱情评估技术	253
第三节 灌溉实时预报技术	255
第四节 灌溉量水技术	255
第五节 排水系统的管护	257
第六节 灌区用水现代化管理技术	259
复习思考题	259
参考文献	261

绪 论

水是生命之源、生产之要、生态之基，水资源是国民经济和社会发展的基础资源。我国人均水资源占有量不足 2200m^3 ，仅为世界人均水平的 $1/4$ ，居世界百位之后。由于降雨的时空分布不均，我国水资源呈现南多北少、东多西少，夏秋多、冬春少的特点。占国土面积 50% 以上的华北、西北、东北地区的水资源量仅占全国总量的 20% 左右。随着人口增加、经济发展和城市化水平的提高，水资源供需矛盾日益尖锐，水资源短缺已成为我国经济社会发展的重要制约因素，而且加剧了生态环境的恶化。

雨热同季的气候特点，为我国的农业种植提供了良好条件，但由于降雨的时空分布不均，旱涝灾害仍然是我国农业生产的主要障碍因子，灌溉与排水对于提高我国粮经作物的产量至关重要。新中国成立以来，农业用水量虽然不断增加，但占全国总用水量的份额已由 1949 年的 95% 左右降到 2010 年的 60% 左右，随着工业化、城市化进程的加速，工业和城市挤占农业用水的现象比较普遍，农业用水的份额还会逐步降低。稳定和扩大灌溉面积是保障我国粮食安全的重要途径，但农业灌溉用水的紧缺又是我国的基本国情，因此，节水农业是我国农业发展的必由之路。

一、高效灌排的涵义

灌溉措施是指按照作物的需水要求，通过灌溉系统有计划地将水量输送和分配到田间，以补充农田水分的不足。排水措施是指通过修建排水系统将农田内多余的水分（包括地面水和地下水）排入容泄区（河流或湖泊等），使农田处于适宜的水分状况或适宜的地下水埋深。在农田灌溉与排水的过程中，都应该有节水的意识。

在我国，人们习惯用“节水”这一提法，更确切地提法应当是“高效用水”，国外多用后者。节水是相对的概念，不同的水源状况、自然条件和社会经济发展水平，对节水有不同的要求。

《节水灌溉工程技术规范》（GB/T 50363）对节水灌溉的定义是：根据作物需水规律和当地供水条件，高效利用降雨和灌溉水，以取得农业最佳经济效益、社会效益和环境效益的综合措施。节水灌溉的目的是提高水的利用率和水分生产率，其内涵包括水资源的合理开发利用，输配水系统的节水，田间灌溉过程的节水，用水管理的节水以及农艺节水增产技术措施等方面。

通常认为节水灌溉就是减少或避免用水浪费的灌溉，或节约灌溉用水量的灌溉。灌溉输水过程中大量的渗漏、过量配水造成的退水弃水、旱作物大水漫灌造成的田面水量流失与深层渗漏以及稻田长期淹灌造成的大量渗漏等，均是灌溉用水中的水量损失或水量浪费，造成这种情况的灌溉则是粗放或落后的灌溉，亦即用水浪费的灌溉。因此，渠道防渗或管道输水、实行计划用水、旱作物采用精细的地面灌溉技术或喷微灌、水稻节水灌溉模

式等，均可以大幅度减少渠道与田间的渗漏量、地表流失量，这是目前节水灌溉的最主要措施，其目的就是节约灌溉用水量。这种传统的节水灌溉概念与目的在以往无可非议，以这种概念指导节水灌溉实践已取得了很好的效果。但是，在当前水资源紧缺问题日益严重和农业节水科技高度发展的条件下，节水灌溉应适应节约水资源、保护生态环境和有利于生产实践的要求。

从水文循环的观点出发，节水灌溉就是减少“四水转化”过程中水资源的无效损失量。一般来说，从某一流域或地区排向大海的地表水与地下水、从地表失散的无效蒸发量和过多的作物腾发量，都是无法回收的水量，但我们可以通过各类工程技术措施和农艺措施来控制它，把它减少到最低程度，减少的水量就叫节约的水资源量，国外把它称为“真实的节水量”。“真实节水”的概念在指导现行的节水灌溉实践时，会导致一个结论：渠道可以不进行衬砌防渗，让其渗漏后进入地下水，它并没有流失，抽上来又可再利用；田间深层渗漏和退水量，也不算浪费，流到地下水和回归水中后，仍然进入了水文循环，总的水资源量并没有损失等。

传统的节水灌溉与“真实节水”的概念是有区别的，前者是解决现实中存在的问题，后者是从理论上讨论水的循环和再利用问题，但两者并不矛盾。节约灌溉用水量，可以减少引水量，实质上仍是节约了水资源量，两者是统一的。一般灌溉水都是通过修建灌溉工程而取得的，它是通过投入大量资金和劳力换来的商品水，引入到灌溉系统以后，就不能任意浪费。所以在对某一流域或地区进行节水灌溉规划时，应根据各地的自然和经济条件，做好水资源的全面规划，把地面水、地下水和灌区回归水等进行统一调度和分配，既要实现节约灌溉用水量，又要实现节约水资源量。

排水对于作物生长具有和灌溉同等重要的作用，没有适当的排水条件和设施，就不能保证良好的作物生长环境。由于农田排水不可避免地要带走部分养分和化学物质，不适当的排水不仅会造成农田养分的流失和水环境的污染，而且还会使农田的地表水、地下水或土壤水流失，增加灌溉的压力。同时，农田排水在水资源短缺的地区，还可以作为一个重要的水源加以再利用，从而缓解水资源短缺的矛盾。因此，农田排水中也有节水的内涵。

长期以来，由于单方面强调排水对农业增产的作用而忽视了水资源节约和对环境方面的影响，水资源浪费和水体污染的问题比较突出。人们逐步认识到了这一点，而开始关注排水的控制问题。自 20 世纪 70 年代末控制排水技术问世以来，已经在美国、荷兰、日本等国家得到广泛的应用，被认为是最好的水管理技术之一。控制排水技术不同于传统的自由排水，它通过在排水出口（明沟或暗管）加设控制设施，按照作物生长要求和农田的水分状况对农田排水的水位实行有效地管理。研究表明，控制排水不仅可以减少不必要的水量流失，使雨水和土壤水分得到充分利用，从而减少灌溉次数，减轻对水资源的需求压力，同时还可以减少肥料的流失，从而减轻农田化学物质对水体的污染。

将节水灌溉与农田控制排水的理论与技术进行组合，形成农田高效用水灌排模式，是未来农田灌排发展方向。因此，我们将高效灌排的涵义定义为：根据作物需水规律、作物生长所需的农田水分适宜状况和当地供排水条件，高效利用降水、灌溉水和地下水，以取得农业最佳经济效益、社会效益和环境效益的综合措施。

二、发展高效灌排技术的重要意义

由于降水的时空分布不均,导致我国水旱灾害频繁。据不完全统计,从公元前 206 年到 1949 年的 2155 年间,我国发生较大的水灾 1092 次,较大的旱灾 1056 次,几乎每年都有一次较大的水旱灾害。从 1950 年到 2012 年的 63 年间,水灾年均受灾面积 980.385 万 hm^2 ,成灾年均面积 542.04 万 hm^2 ,平均成灾率达 55.3%;旱灾年均受灾面积 2128.205 hm^2 ,成灾年均面积 946.885 hm^2 ,平均成灾率达 44.5%。因此,兴修水利、发展灌溉、防治水患,是我国历代安邦治国的一件大事。

新中国成立 60 多年来,我国的灌溉排水事业取得了巨大成就,灌溉面积由 1949 年的 1600 万 hm^2 加到 2012 年的 6250 万 hm^2 ,占全国总耕地面积的 50% 以上;全国有易涝耕地 2447 万 hm^2 ,渍害田 766.7 万 hm^2 ,盐碱耕地 760 万 hm^2 ,到 2012 年全国除涝面积已达到 2185.7 万 hm^2 。农田灌溉与排水极大地提高了农业综合生产能力,以全国耕地面积一半的灌排农田生产了全国 75% 以上的粮食和 90% 以上的经济作物,为保障国家粮食安全做出了重大贡献。

从我国目前的实际情况看,一方面水资源较紧缺,而另一方面又存在水量的严重浪费现象。不少灌区尤其北方灌区,由于灌水量偏大,渠道渗漏严重,加上管理不完善等原因,自流灌区灌溉水有效利用系数只有 0.45 左右,井灌区一般也只有 0.7 左右,全国的灌溉水有效利用系数仅为 0.5,远低于 0.7~0.8 的世界先进水平。由于粮食生产的极端重要性和灌溉用水量、效率低的特殊性,为缓解我国水资源危机,认真搞好农业节水,大力发展高效灌排,具有十分重要的意义。

长期以来我国的农田灌溉与排水工作都是围绕着促使农业高产稳产而进行的。过去,由于受主观认识以及客观条件的限制,没有把节水工作放到应有的地位。随着我国社会经济的迅速发展,人口、资源与环境的问题日益突出,构建节约型社会是我国社会发展的唯一选择。在新的历史发展时期,大力发展高效灌排事业,是进一步改善农业生产条件,缓解农业用水供需矛盾的需要,是加强农业基础设施建设,促使农业高产高效的有效措施,是农田水利基本建设的主要内容之一。发展高效灌排的意义不仅仅是节约灌溉用水,而且改变了传统的农业用水、管水方法。现代高效灌排,特别是先进的喷、滴灌技术和农田控制排水技术,大量采用高分子材料、信息采集、自动控制、计算机数据处理等先进科学技术和器材设备,能够科学有效地控制灌水质量、灌排水时间、灌排水量等,大大促进了农田水利的科技进步,提高了灌溉的科技含量,高效灌排已成为水利现代化的主要标志之一。发展高效灌排不仅要研究作物需水规律和灌溉排水技术,还要研究开发一系列与之密切相关的新材料、新设备、新工艺、新技术,可带动和促进水利产业的建设与发展。高效灌排为农作物生长创造了比较适宜的水分条件,通过水的作用,影响土壤的肥、气、热等因素,促使作物高产、稳产,同时,先进的灌排技术又反过来促进农业耕作栽培技术、良种培育等的变革。高效灌排与农机、施肥、植保等其他现代农业科技相配套,成为现代化农业不可缺少的组成部分。实行高效灌排所节省出的水量用在工业和城镇生活方面,缓解城市和工业用水供需矛盾,有利于国民经济快速、健康、持续发展。此外,发展高效灌排,还有利于促进人们在用水、管水方面的思想观念更新,提高用水管理水平,促进建立

适应社会主义市场经济体制要求的用水、节水、管水新机制。因此，高效灌排是我国农田水利发展史上意义深远的一场重大变革。

三、高效灌排理论依据

科技进步和生产发展，促进了人们对灌排原理的认识不断深化，经济发展与水资源紧缺的矛盾，给农田灌排科学提出了新的目标和要求。为了既能节约用水，又能保持农业持续发展，即最经济地利用有限的水资源和最有效地进行灌排，必须要有一定的高效灌排理论作指导。

长期以来，人们对农田灌溉与排水中的节水理论作过许多有益探索。20世纪70年代，在水资源紧缺的形势下，比较广泛地开展了节水灌溉的试验探索与有限水量条件下灌溉水的优化管理理论的研究。Hillel (1972) 指出，节水灌溉理论研究的根本目的并非单纯节约用水，而是通过供水和其他环境变量的优化提高劳动生产率。福田仁志 (1973) 也认为，灌溉的目的是土地和劳动生产率二者协调一致的提高，即缺水时每立方米水所获得的产量和水管理的集约化问题。郭元裕 (1983) 利用最优化技术确定平原湖区排涝最优水面率时，考虑河网供水需要的调蓄水量，开始用灌排经济学和系统工程学的原理评价灌排行为。Skaggs. R. W 和 G. J. Kriz (1979) 在美国的北卡罗来纳州采用地下水位管理的方式进行地下灌溉与排水，进而提出了控制排水技术，将节水、减排的理念引入农田排水领域。经过几代人的努力，逐渐形成了近代灌排目标，即不但要取得最优的灌排效果，同时要具有更高的灌排效率。因此，高效灌排的根本目标是在有限的供水量和排水条件下，能以最小的费用、最大限度地获得单位水量的灌排产值（或产量），即力争以最小费用获得最大的净效益。

水分在时空上的分布不均，作物在生育过程的需水要求不同，要保持二者间的平衡往往是暂时的或相对的。从全过程和整体观察，在许多情况下，水分亏缺胁迫和涝渍胁迫的矛盾总是不可避免。水分亏缺胁迫包括：供给土壤水数小于土壤水分消耗量的“土壤水分亏缺”；蒸腾失水大于根系吸水的“作物水分亏缺”。涝渍水胁迫是指农田地表滞水较深或受地下水浸渍，使土壤还原作用强烈，水、热、气和养分失调，土壤理化性状恶化，使作物生长产生危害。灌溉排水的关键问题是在不同的可供水量和排水条件下，为了获得最佳产量，允许作物在什么时候发生亏缺胁迫或涝渍胁迫及允许胁迫到什么程度？作物对水分胁迫逆境适应的能力有多大？当某生育阶段发生水分胁迫，经过灌溉排水补救之后，其后遗影响的大小及延续时间的长短，它们最终会对产量和产品质量构成哪些影响？揭示并依据这些规律便可科学地制定农田灌溉排水的策略，成为高效灌排的理论依据。

物种资源中存在着一系列的对水分胁迫的适应机制。这种机制表现为干旱时的耐旱（或抗旱）作用和受淹时的耐涝渍作用。水分生理学研究表明，受水分亏缺胁迫的许多作物都表现了脯氨酸（Pro）和脱落酸（ABA）的积累，Pro 增加对于渗透性的调节具有重要作用，作物通过渗透调节，能使细胞内渗透势大于周围环境的渗透势，以便维持细胞内一定膨压，利于保持水分和各种代谢过程的进行及抗渗透胁迫能力的增强。ABA 的积累可能对气孔关闭有某种作用，从而减少和调节蒸腾强度，有利于作物体保持一定水分。植物的抗涝渍能力主要取决于植物的形态结构和生理代谢对缺氧的适应能力。涝渍胁迫环境

下,形成不定根是植物对涝渍胁迫的一种主要适应方式,不定根能够迅速代替因缺氧而死亡的初生根,有利于根部形成有氧呼吸结构,既能满足植物根系生理活动的需求,还能避免叶片碳水化合物过量积累,维持光合速率不变。与此同时,植物体内诱导合成了一些新的蛋白及酶类物质,如植物叶片的游离脯氨酸累积,游离脯氨酸可促进蛋白质水合作用,进而增强植物耐渗透胁迫的能力,防止水分散失以及维持细胞质的稳定性,从而对植物体内的酶和膜具有保护作用,提高了植物体抗性。这种生物适应能力随作物种类和品种不同有较大的差异,对作物的耐性增加和延迟胁迫的适应性机制作出生理解释和揭示,有助于高效灌排作物品种、种类的分析 and 选择。

大量的研究表明,适度的水分亏缺胁迫和涝渍胁迫并不一定会显著降低作物产量。作物在适度水分亏缺胁迫或涝渍胁迫下具有一定的适应和抵抗效应,在经受短期水分胁迫时,作物生长和发育虽受到一定的抑制,但经过灌水或排水的补救,一段时间后又会上加快生长,表现为一种补偿生长的效应。适度的水分胁迫虽然会影响作物叶片的生长扩张,但并不影响叶片的气孔开放,不至对光合作用速率产生明显影响,最终不会影响产量。由于水分胁迫对蒸腾的影响迟于生长,在水分胁迫过程中,蒸腾作用却超前于光合作用的下降,因此即使在轻、中度胁迫情况下,气孔开度减小,蒸腾速率可能较大幅度下降,但光合作用仍不致显著下降,最终并不一定会造成产量的明显降低。

四、高效灌排技术体系

灌溉用水从水源到田间,再到被作物吸收、形成产量,主要包括水资源调配、输配水、田间灌水和作物吸收等四个环节。在各个环节采取相应的节水措施,组成一个完整的节水灌溉技术体系,包括水资源优化调配技术、节水灌溉工程技术、农艺及生物节水技术和节水管理技术。其中节水灌溉工程技术是该技术体系的核心,已相对成熟并得到普及,其他技术相对薄弱,急需加强研究开发和推广应用。

1. 灌溉水资源优化调配技术

该技术主要包括地表水与地下水联合调度技术、灌溉回归水利用技术、多水源综合利用技术、雨洪利用技术。

2. 节水灌溉工程技术

该技术主要包括渠道防渗技术、管道输水技术、喷灌技术、微灌技术、改进地面灌溉技术、水稻节水灌溉技术及抗旱点浇技术。直接目的是减少输配水过程的跑漏损失和田间灌水过程的深层渗漏损失,提高灌溉效率。

(1) 渠道防渗技术:采用混凝土护面、浆砌石衬砌、塑料薄膜等多种方法进行防渗处理,与土渠相比,渠道防治可减少渗漏损失 60%~90%,并加快了输水速度。

(2) 管道输水技术:用塑料或混凝土等管道输水代替土渠输水,可大大减少输水过程中的渗漏和蒸发损失,输配水的利用率可达到 95%。另外还能有效提高输水速度,减少渠道占地。低压管道输水技术在我国北方井灌区已经普及,但大型自流灌区尚处于试点阶段。

(3) 喷灌技术:喷灌是一种机械化高效节水灌溉技术,具有节水、省劳、节地、增产、适应性强等特点,被世界各国广泛采用。喷灌几乎适用于除水稻外的所有大田作物,

以及蔬菜、果树等,对地形、土壤等条件适应性强。与地面灌溉相比,大田作物喷灌技术可节水 30%~50%,增产 10%~30%,但耗能多、投资大,不适宜在多风条件下使用。

(4) 微灌技术:包括微喷和滴灌,是一种现代化、精细高效的节水灌溉技术,具有省水、节能、适应性强等特点,灌水同时可兼施肥,灌溉效率能够达到 90%以上。微灌已由果树、蔬菜等少数经济作物向行播大田作物发展,如近年来新疆棉花滴灌发展迅速,取得了良好的节水增产效果。微灌的主要缺点是易于堵塞、投资较高。我国在引进、消化吸收国外先进技术的基础上,已基本形成了自己的微灌产品生产能力。

(5) 改进地面灌溉技术:在今后相当长的时期内,地面灌溉仍将是我国主要灌溉方式。地面灌溉并非“大水漫灌”,只要在土地平整的基础上,采用合理的灌溉技术并加强管理,其田间水利用率可以达到 70%以上。多年来,我国普遍推广的沟、畦灌水技术,在土地平整的基础上,大畦改小畦,长沟改短沟,使沟畦规格合理化,可减少灌水定额 $1/5 \sim 1/4$ 。改进畦(沟)灌溉技术、田间间管灌溉技术、波涌灌溉技术等改进地面灌溉技术的集成配套与组合应用,形成了适合不同类型灌区的田间工程设计和应用模式,取得了良好的节水增产效果。

3. 农艺及生物节水技术

该技术包括耕作保墒技术、覆盖保墒技术、优选抗旱品种、土壤保水剂及作物蒸腾调控技术。目前,农艺节水技术已基本普及,但生物节水技术尚待进一步开发。如采用保水剂拌种包衣,能使土壤在降水或灌溉后吸收相当自身重量数百倍至上千倍的水分,在土壤水分缺乏时将所含的水分慢慢释放出,供作物吸收利用,遇降水或灌水时还可再吸水膨胀,重复发挥作用。此外,喷施黄腐酸(抗旱剂 1 号),可以抑制作物叶片气孔开张度,使作物蒸腾减弱。

4. 节水灌溉管理技术

该技术包括灌溉用水管理自动信息系统、输配水自动量测及监控技术、土壤墒情自动监测技术、节水灌溉制度等。其中,输配水自动量测及监控技术采用高标准的量测设备,及时准确地掌握灌区水情,如水库、河流、渠道的水位、流量以及抽水泵站运行情况等技术参数,通过数据采集、传输和计算机处理,实现科学配水,减少弃水。土壤墒情自动监测技术采用张力计、中子仪、TDR 等先进的土壤墒情监测仪器监测土壤墒情,以科学制定灌溉计划、实施适时适量的精细灌溉。

5. 控制排水技术

控制排水技术起源于 20 世纪 70 年代欧美一些国家,是在田间排水系统的出口设置控制设施,通过调节控制设施来调节田间的地下水位,达到排水再利用、治理涝渍害、减少排水对承泄区污染的目的。控制排水通过抬高地下水位,可以使土壤水分得到充分利用,从而减少灌溉次数,减轻对水资源的需求压力,同时可以改善排水水质。大量研究表明,常年对农田实行控制排水措施可以减少大约 30%的排水量,可以减少硝态氮含量的 20%左右,总氮减少量约为 45%,而磷大约可减少 35%。控制排水已经在美国、荷兰、日本等国家得到广泛的应用,被认为是最好的水管理技术之一。国内对控制排水的研究始于 20 世纪 90 年代后期,安徽淮北地区为治理洪涝灾害,开挖了大量的深沟大渠用于排水,90 年代起,当地农民开始自发地在大沟中建坝蓄水灌溉,在我国率先进行了控制排水的

实践。水稻控制排水技术从上世纪末开始重视，1997—2000 年沈荣开教授结合水利部“948 项目”“控制排水田间工程及水管理成套技术”，在广东台山开展了水稻控制排水自动化控制的有关研究；2004 年罗笸教授在宁夏银南灌区进行了控制排水技术的相关研究；2006 年以来，河海大学系统开展了水稻控制排水技术研究，提出了水稻节水、减排、高产灌排技术指标和田—沟—塘协同调控技术模式。

复 习 思 考 题

1. 结合国情，分析我国实行高效灌排的重要意义。
2. 高效灌排的涵义是什么？
3. 高效灌排的理论依据是什么？
4. 简述农业节水的途径和主要措施。

第一章 地面节水灌溉技术

地面灌溉是指利用沟、畦等地面设施对作物进行灌水，水流沿地面流动，边流动边入渗的灌溉方法。在地面灌溉过程中，灌溉水向土壤中的入渗主要借助于重力作用，兼有毛细管作用，因此地面灌溉也称重力灌水方法。

地面灌溉是最古老的，也是世界上应用最广泛的农田灌溉技术措施。据统计，全世界地面灌溉面积约占总灌溉面积的 95%。我国现有的灌溉面积中也有 95% 以上属于地面灌溉，其中除水稻外，小麦、玉米、棉花、油料等主要旱作物大多采用畦灌或沟灌。

与喷灌、滴灌等灌水方法相比，地面灌溉具有投资少、运行费用低的优点，但管理粗放、灌水均匀性和有效性不易控制是其主要缺点。实践表明，如果运用得当，地面灌溉的均匀性和有效性也可以达到较高的水平。

第一节 基本概念

一、地面灌溉的分类

按照灌溉水向田间输送的形式及湿润土壤的方式，地面灌溉可分为畦灌、沟灌和淹灌 3 类。

1. 畦灌

畦灌是指将田块用畦埂分隔成许多矩形条状地块，灌溉水以薄层水流的形式输入田间，并借助重力作用渗入土壤的灌水方法，如图 1-1 所示。畦灌又分尾端封堵和自由排水 2 种，我国的畦灌多属于前者，称封闭畦灌。畦灌通常适用于大田作物。

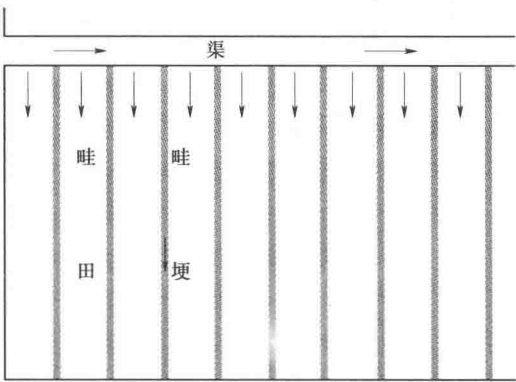


图 1-1 畦田布置示意图

根据畦田方向与地形等高线的关系，畦灌可以分为顺坡畦灌和横坡畦灌 2 种。当地面坡度较小（不超过 2%）时，畦长方向一般垂直于等高线布置，这种畦灌称为顺坡畦灌；当地面坡度较大（大于 2%）时，为了避免田面水流过快，畦长方向常与等高线平行布置，这种畦灌称为横坡

畦灌。

根据畦田长度划分，畦灌又可以分为长畦灌和短畦灌 2 种。一般畦长小于或等于 70m 时畦灌称为短畦灌，否则称为长畦灌。

2. 沟灌

沟灌是指将灌溉水引入田间灌水沟，并借助重力作用及毛细管作用向灌水沟四周土壤入渗的灌水方法，如图 1-2 所示。沟灌也分尾端封堵和自由排水 2 种，我国的沟灌多属于前者，称封闭沟灌。沟灌主要适用于宽行距作物，如玉米、棉花及薯类等。由于垄沟密布，所以沟灌通常不如畦灌便于机械化耕作与收割。

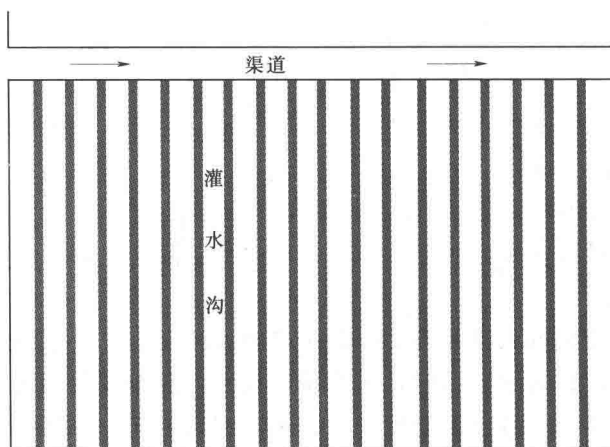


图 1-2 沟灌布置示意图

根据灌水沟方向与地形等高线的关系，沟灌也可以分为顺坡沟灌和横坡沟灌 2 种。当地面坡度较小（不超过 3%）时，沟的方向一般垂直于等高线布置，这种沟灌称为顺坡沟灌；当地面坡度较大（大于 0.5%）时，沟的方向常与等高线平行或斜交布置，这种沟灌称为横坡沟灌。

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，水主要借助重力作用下渗的灌水方法。淹灌主要适于水稻及水生作物的灌溉。

二、土壤入渗规律

1. 入渗的概念

入渗是指水分从土壤表面进入土壤的过程。入渗是灌溉过程中非常重要的一个环节，因为灌溉水正是通过入渗才被转化为土壤水分从而被作物吸收利用的。

影响入渗过程的因素有 2 个方面，一个是供水强度，另一个是土壤的入渗能力。当供水强度大于土壤入渗能力时，入渗由土壤入渗能力所控制，称为充分供水入渗；当供水强度小于土壤入渗能力时，入渗由供水强度控制，称为非充分供水入渗。