



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

灌溉排水工程技术

樊惠芳 主编
于纪玉 吴伟民 主审

 黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

灌溉排水工程技术

主 编 樊惠芳
副主编 李永平 何晓科 要永在
 杨胜敏 马竹青 郭旭新
主 审 于纪玉 吴伟民

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照国家对高职高专人才培养的规格要求及高职高专教学特点编写完成的。本书共分三篇 11 章:第一篇为渠道灌溉工程技术,内容包括农田水分状况与灌溉用水量、地面灌水技术、灌溉水源及取引水工程技术、灌溉渠道系统规划设计、渠道防渗;第二篇为管道灌溉工程技术,内容包括井灌区规划、喷灌工程技术、微灌工程技术、低压管道输水灌溉工程技术;第三篇为排水工程技术,内容包括田间排水系统、骨干排水系统规划设计。全书系统地介绍了灌溉排水工程的规划设计方法。

本书为水利类高职高专水利工程专业及灌溉排水专业的通用教材,也可供水利部门从事农业水利工程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉排水工程技术/樊惠芳主编. —郑州:黄河水利出版社,2010.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-80734-773-6

I. 灌… II. ①樊… III. ①灌溉系统-高等学校: 技术学校-教材 ②排灌工程-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①S274.2②S277

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 239055 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:20.25

字数:470 千字

印数:1—4 100

版次:2010 年 2 月第 1 版

印次:2010 年 2 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

本书在编写过程中紧扣当前高职教育的形势,充分体现以学生为主体的教育理念,突出学生能力培养,注重教材的针对性和实用性,理论知识以够用为度,并注意将新理论、新规范、新方法、新技术、新设备引入教材。为便于学生学习和教师使用,每一章都列有学习目标、学习任务和能力训练,使学生明确学习的目的,便于自主进行能力训练,同时方便教学。

全书共分三篇:第一篇为渠道灌溉工程技术,主要是培养学生对中小型渠道灌溉工程的规划设计能力,内容包括农田水分状况与灌溉用水量、地面灌水技术、灌溉水源及取引水工程技术、灌溉渠道系统规划设计、渠道防渗;第二篇为管道灌溉工程技术,主要培养学生对井灌区规划及节水灌溉工程的规划设计能力,内容包括井灌区规划、喷灌工程技术、微灌工程技术、低压管道输水灌溉工程技术;第三篇为排水工程技术,主要培养学生对中小型排水工程的规划设计能力,内容包括田间排水系统、骨干排水系统规划设计。全书以培养学生对灌溉排水工程的规划设计能力为主线,系统地介绍了灌溉排水工程的规划设计方法。

本书编写人员及编写分工如下:杨凌职业技术学院樊惠芳(前言),山东水利职业学院何晓科(绪论、第二章),杨凌职业技术学院郭旭新(第一章),北京农业职业学院杨胜敏(第三章、第九章),山西水利职业技术学院李永平(第四章),浙江同济科技职业学院徐瑛丽(第五章),内蒙古机电职业技术学院要永在(第六章),华北水利水电学院水利职业学院马竹青(第七章、第八章第一、二、三节),河南省水利勘测设计研究有限公司邓燕(第八章第四节),黑龙江大学应用技术学院刘莹(第十章),安徽水利水电职业技术学院杨晓红(第十一章)。本书由樊惠芳担任主编并负责全书统稿,由李永平、何晓科、要永在、杨胜敏、马竹青、郭旭新担任副主编,由山东水利职业学院于纪玉、福建水利电力职业技术学院吴伟民担任主审。

在本书的编写过程中,得到了有关设计单位的支持,为教材编写提供了许多设计实例,同时也得到了全国水利水电高职教研会及各位编审人员所在单位的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

前 言

绪 论	(1)
第一节 灌溉排水工程技术的服务对象和基本内容	(1)
第二节 我国灌溉排水事业的发展	(3)
第三节 课程特点、教学要求与学习方法	(6)
能力训练	(6)

第一篇 渠道灌溉工程技术

第一章 农田水分状况与灌溉用水量	(7)
第一节 农田水分状况	(7)
第二节 作物需水量	(14)
第三节 作物灌溉制度	(21)
第四节 灌溉用水量	(36)
能力训练	(42)
第二章 地面灌水技术	(45)
第一节 灌水技术综述	(45)
第二节 传统地面灌水技术	(51)
第三节 节水型地面灌水技术	(57)
能力训练	(62)
第三章 灌溉水源及取引水工程技术	(63)
第一节 灌溉水源	(63)
第二节 灌溉取引水方式	(68)
第三节 灌溉取引水工程的水利计算	(74)
能力训练	(82)
第四章 灌溉渠道系统规划设计	(83)
第一节 灌溉渠道系统规划布置	(83)
第二节 渠系建筑物规划布置	(87)
第三节 田间工程规划	(91)
第四节 灌溉渠道流量推求	(102)
第五节 渠道纵、横断面设计	(113)
能力训练	(131)
第五章 渠道防渗	(133)
第一节 渠道防渗工程的类型及特点	(133)

第二节 渠道防渗工程的规划设计	(137)
第三节 渠道防渗工程的防冻胀措施	(152)
能力训练	(155)

第二篇 管道灌溉工程技术

第六章 井灌区规划	(157)
第一节 地下水资源评价	(157)
第二节 单井设计	(164)
第三节 井灌区规划	(176)
能力训练	(180)
第七章 喷灌工程技术	(182)
第一节 喷灌系统的类型及特点	(182)
第二节 喷灌的主要设备	(186)
第三节 喷灌工程规划设计	(196)
第四节 喷灌工程规划设计示例	(207)
能力训练	(212)
第八章 微灌工程技术	(213)
第一节 概 述	(213)
第二节 微灌系统的主要设备	(216)
第三节 微灌工程规划设计	(226)
第四节 微灌工程规划设计示例	(241)
能力训练	(247)
第九章 低压管道输水灌溉工程技术	(248)
第一节 低压管道输水灌溉工程的类型及特点	(248)
第二节 低压管道输水系统的主要设备	(251)
第三节 低压管道输水灌溉工程规划设计	(258)
第四节 低压管道输水灌溉工程规划设计示例	(268)
能力训练	(272)

第三篇 排水工程技术

第十章 田间排水系统	(274)
第一节 田间排水的要求	(274)
第二节 田间排水沟的深度和间距	(279)
第三节 田间排水系统的布置	(284)
能力训练	(295)
第十一章 骨干排水系统规划设计	(296)
第一节 骨干排水系统的规划布置	(296)
第二节 排水沟的设计流量	(299)

第三节 排水沟的设计水位	(306)
第四节 排水沟断面设计	(308)
第五节 容泄区整治	(314)
能力训练	(315)
参考文献	(316)

绪 论

学习目标

通过学习灌溉排水工程技术的基本任务、发展历史及取得的成就,深刻理解学习灌溉排水工程技术课程的目的和意义。

学习任务

1. 理解灌溉排水工程技术的服务对象和基本内容(任务)。
2. 了解我国灌溉排水事业的发展和成就。
3. 了解掌握本课程的特点、学习要求及方法。

第一节 灌溉排水工程技术的服务对象和基本内容

一、灌溉排水工程技术的服务对象

当前,我国水资源短缺的形势是十分严峻的,大力发展节水农业、推广节水灌溉、建设节水型社会是我国一项长期的基本国策。解决水资源危机问题,要从开源与节流两方面入手:一方面要抓紧跨流域调水的规划设计工作,从根本上改变水资源紧缺的局面;另一方面要在节流上下功夫。我国在水资源的利用上还有巨大的潜力可挖。不少灌区,尤其是北方灌区,由于灌水量偏大,净灌水定额在 150 mm 以上,有些甚至高于 300 mm。这是由于渠道渗漏严重,加上管理不善等造成的,自流灌区灌溉水有效利用系数仅 0.4。换句话说,每年经过水利工程引、蓄的 4 000 多亿 m^3 水量中,约有 60% 是在各级渠道的输、配水和田间灌水过程中渗漏损失掉的。水量损失引起灌区地下水位的升高和土壤盐碱渍害,从而导致农业减产,并恶化灌区生态环境。采用科学的用水管理办法、推广节水灌溉技术,对缓解我国水资源供需矛盾将起到重要的作用。若将全国的灌溉水有效利用率平均提高 10% ~ 20%,则按 2005 年全国农业用水总量 3 780 亿 m^3 估计,每年可节约水量 370 亿 ~ 750 亿 m^3 。

灌溉排水工程技术是调节农田水分状况和改善地区水情变化,科学合理地运用有效的调节措施,消除水旱灾害,合理利用水资源,服务于农业生产和生态环境良性发展的一门综合性科学技术。在英、美等国称之为灌溉与排水(Irrigation and Drainage),而苏联则称之为水利土壤改良。

灌溉排水工程技术的研究对象主要包括以下两方面。

(一) 调节农田水分状况

农田水分状况一般指田间土壤水、地面水和地下水的状况及其相关的养分、通气、热

状况。田间水分不足或过多都会影响作物的正常生长和作物的产量。调节农田水分状况的水利措施一般可分为以下两种：

(1)灌溉措施。即按照作物正常生长的需要,通过灌溉工程有计划地将水分输送和分配到田间,以补充田间水分的不足。

(2)排水措施。即通过排水工程将田间内多余的水分(包括地面水和地下水)排入容泄区(河流或湖泊等),使田间处于适宜的水分状况。在易涝易碱地区,排水工程还有控制地下水位和排盐的作用。近年来,控制地下水位对作物增产的重要作用已越来越为人们所认识和重视。

(二)改善和调节地区水情

随着农业生产的发展和需要,人类改造自然的范围越来越广,田间水利措施不仅限于改善和调节农田本身的水分状况,而且要求改善和调节更大范围的地区水情。

地区水情主要是指地区水资源的数量、分布情况及其动态。改变和调节地区水情的措施,一般可分为以下两种：

(1)蓄水保水措施。通过修建水库、河网和控制利用湖泊、地下水库以及大面积的水土保持和田间蓄水措施(土壤水库),拦蓄当地径流和河流来水,改变水量在时间上(季节或多年范围内)和地区上(河流上下游之间、高低地之间)的水分分布状况,通过拦蓄措施可以减小汛期洪水流量,避免暴雨径流向低地汇集,可以增加枯水期河水流量以及干旱年份地区水量储备。

(2)调水排水措施。主要通过引水渠道使地区之间或流域之间的水量互相调剂,从而改变水量在地区上的分布状况。用水时期采用引水渠道及取水设备,自水源(河流、水库、河网、地下水库)引水,以供需水地区用水。正在修建的南水北调工程就是调水工程的典型例子,详见图0-1。

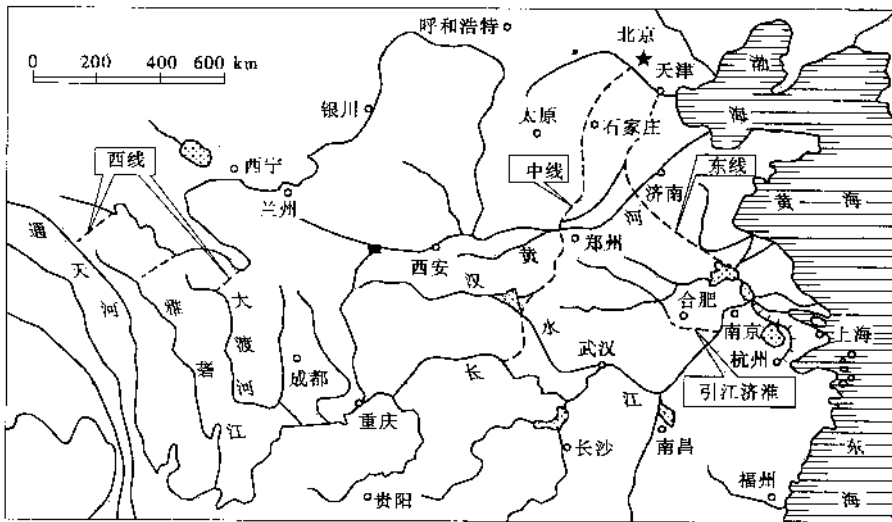


图0-1 南水北调线路示意图

二、灌溉排水工程技术的基本内容

灌溉排水工程技术的基本内容包括:分析和确定作物的需水规律和需水量,灌溉用水过程和用水量的确定;灌溉方法和灌水技术;水资源在农业方面的合理利用,水源的取水方式;输水渠道(或管道)工程的规划布置及设计。

灌溉研究的内容可以概括为水源工程、输水工程和田间工程的规划设计、施工和管理。

排水技术的主要内容有:分析产生田间水分过多的原因及采取相应的排水方法,田间排水工程的规划设计,排水输水沟道工程的规划设计、施工、管理和承纳排水工程排出水量的承泄区治理技术。

灌溉排水是调节土壤水分状况,以满足作物生长需要的适宜水分状况的措施。而且,在调节土壤水分状况的同时还可以起到调节田间小气候和调节土壤的温热、通气、溶液浓度等作用。例如,盛夏炎热季节灌水可以起到降温作用,冬灌可以起到防冻作用,盐碱地冲洗灌水可以使土壤脱盐,降低土壤盐溶液浓度。排水后土壤的自由孔隙度增加,改善了土壤的通气状况,有利于作物根系的呼吸,对好气性细菌活动有利,可以使有机质分解为无机养料,便于作物吸收利用。所以,灌溉排水是提高作物产量和改良土壤的重要工程措施。

世界各国的灌溉排水实践证明,科学的灌排能使作物产量成倍增长,在相应的农业技术措施配合下可以改良土壤,不断地提高土壤肥力。但是,不合理的灌排也会引起土地恶化,甚至产生一些不利的生态环境问题。

第二节 我国灌溉排水事业的发展

灌溉排水工程是水利工程大类之一,其基本任务是通过各种工程技术措施,调节和改变农田水分状况及与其有关的地区水利条件,以促进农业生产和生态环境的健康发展。

农业是国民经济的基础。搞好农业是关系到我国社会主义经济建设高速发展的全局性问题,是全面实现小康社会的一个重要基础。实践证明,只有农业得到了发展,国民经济的其他部门才具备最基本的发展条件。

我国疆域辽阔,各地自然特点不同,发展农业的水利条件也有差异。秦岭山脉和淮河以南,通称南方,年降雨量为800~2000 mm,故又称水分充足地区,无霜期一般为220~300 d,作物以稻、麦为主,一年至少两熟。其中,南岭山脉以南的华南地区,年降雨量为1400~2000 mm,终年很少见霜,一年可三熟。南方雨量虽较丰沛,但由于降雨的时程分配与作物的田间需水要求不够适应,经常出现不同程度的春旱或秋旱,故仍需灌溉。长江中下游平原低洼地区、太湖流域河网地区以及珠江三角洲等地,汛期外河水位经常高于地面,内水不能自流外排,洪水和渍涝威胁比较严重。

淮河以北,通称北方,年降雨量一般少于800 mm,属于干旱或半干旱地区。其中,属于干旱地区的有新疆、甘肃、宁夏、陕西北部、内蒙古的北部和西部地区以及青藏高原的部分地区。干旱地区降雨量稀少、蒸发强烈,绝大部分地区的年降雨量为100~200 mm,有

的地方几乎终年无雨,而年蒸发量的平均值为 1 500 ~ 2 000 mm,远远超过降雨量,因而造成严重的干旱和土壤盐碱化现象。干旱地区主要是农牧兼作区,种植的主要作物有棉花、小麦和杂粮等,灌溉在农业生产中占极其重要的地位,牧草也需要进行灌溉,大部分地区没有灌溉就很难保证农、牧生产的进行。半干旱地区的主要作物有棉花、小麦、玉米和豆类,水稻也有一些,其降雨量虽然基本上可以满足作物的大部分需要,但由于年际变差大和年内分布不均,经常出现干旱年份和干旱季节,水源主要是河川径流和地下水。这些地区农业生产的突出问题是由于降雨量在时间上分布不均、水资源与土地资源不相适应等原因而形成的旱涝灾害问题。以华北地区为例,常常春旱秋涝,涝中有旱,涝后又旱,其他地区也有类似的情况。此外,有些排水不良的半干旱地区,地下水位较高、地下水矿化度大,土壤盐碱化威胁较严重。东北平原的部分沼泽地、黄河中游的黄土高原存在严重的水土流失现象。

因此,兴修水利,大力开展防洪、除涝、灌溉、治碱等水利工作,战胜洪涝、干旱、盐碱和水土流失等自然灾害,对发展我国农业生产具有十分重要的意义。

数千年来,我们的祖先在发展农业生产的同时,一直和水旱灾害进行不懈的斗争,写下了光辉灿烂的灌溉排水史。我国的灌溉排水可以追溯到很古老的年代。相传夏商时期,黄河流域就已出现了“沟洫”,即古代兼作灌溉排水的渠道。公元前 6 世纪,楚国人民兴建了芍陂(今安徽省寿县城南),利用洼地构筑成长约 50 km 的水库,引蓄淝河的水进行灌溉,这是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程。公元前 4 世纪,魏国的西门豹治邺(今河北省临漳)时,创建了引漳十二渠,这是早期较大的引水灌溉工程。此后,战国时秦昭襄王(公元前 3 世纪)令蜀守李冰在四川兴建了我国古代最大的灌溉工程——都江堰,这项工程不仅具有完善的渠首枢纽,而且开辟了许多灌溉渠道,灌溉了川西平原,为秦始皇统一中国奠定了物质基础。2 000 多年来,都江堰工程在农业生产中始终发挥着巨大作用。此外,秦汉时期较大的田间灌溉工程还有陕西的郑国渠、白渠和龙首渠,宁夏的秦渠、汉渠和唐徕渠,浙江的鉴湖灌溉工程等。隋、唐、宋时期,中国灌溉排水进入巩固发展的时期。太湖下游兴修圩田、水网,黄河中下游地区大面积放淤。同时,水利法规渐趋完备,唐有《水部式》,宋有《灌溉排水约束》等。元、明、清时期,长江、珠江流域,特别是两湖、两广地区,灌溉排水得到了进一步发展。明天启年间《农政全书》问世,书中记载了中国灌溉排水史,《泰西水法》是我国介绍西方水利技术的最早著述。19 世纪末,西方灌溉、排水科学技术开始在我国应用。20 世纪 30 年代,陕西省建成泾惠、渭惠、梅惠等大型自流灌区。

如今,随着我国水利建设的不断发展,在辽阔的土地上,已出现了许多宏伟的灌溉排水工程,如有灌溉面积超过 73.3 万 hm^2 的四川省都江堰灌区、安徽省淠史杭灌区和内蒙古自治区的河套灌区,装机容量超过 4 万 kW 的江苏省江都排灌站,总扬程高达 700 m 以上的甘肃省景泰川二期抽灌站,以及流量超过 15 m^3/s 、净扬程达 50 m 的湖北省青山水轮泵站等。此外,还新建了规模巨大的引黄济青、引滦入津、引大入秦、引黄入卫等调水工程,江苏省的江水北调工程也已基本建成。我国跨世纪的最大引水工程——南水北调工程正在紧锣密鼓地建设之中,预计 2015 年,南水北调东线、中线工程将先后建成运行。

综上所述,我国的灌溉排水历史悠久,历代劳动人民总结了很多宝贵的治水经验,在我国水利史上闪耀着灿烂的光辉。但是漫长的封建社会压抑着劳动人民的积极性和创造

性,严重阻碍了我国农业生产的发展,灌溉排水建设进展缓慢。新中国的成立,为我国灌溉排水事业的发展开创了无限广阔的前景。

新中国成立 60 年来,我国灌溉排水事业得到了巨大发展,主要江河都得到了不同程度的治理,黄河扭转了过去经常决口的险恶局面,淮河流域基本改变了“大雨大灾、小雨小灾、无雨旱灾”的多灾现象,海河流域减轻了洪、涝、旱、碱四大灾害的严重威胁。

《2008 年全国水利发展统计公报》数据显示,截至 2008 年年底,全国设计灌溉面积在 666.7 hm^2 以上的灌区共 6 414 处,农田有效灌溉面积 $29\,440 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。其中,设计灌溉面积在 $33.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 以上的灌区 149 处,农田有效灌溉面积 $11\,207 \times 10^3 \text{ hm}^2$; $20 \times 10^3 \sim 33.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 的大型灌区 298 处,农田有效灌溉面积 $5\,517 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。全国工程节水灌溉面积达到 $24\,436 \times 10^3 \text{ hm}^2$,占全国农田有效灌溉面积的 41.8%。在全部工程节水灌溉面积中,渠道防渗节灌面积 $10\,448 \times 10^3 \text{ hm}^2$,低压管灌面积 $5\,873 \times 10^3 \text{ hm}^2$,喷、微灌面积 $4\,071 \times 10^3 \text{ hm}^2$,其他工程节水灌溉面积 $4\,044 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。 666.7 hm^2 以上灌区固定渠道防渗长度所占比例为 18.6%,其中干支渠防渗长度所占比例为 35.1%。

截至 2008 年年底,全国农田有效灌溉面积达到 $58\,472 \times 10^3 \text{ hm}^2$,占全国总耕地面积 48.0%的灌溉土地却生产了约占全国总产量 70%的粮食。因此,灌溉排水工程建设不仅是我国农业生产的物质基础,也是我国国民经济的基础产业。

我国灌溉排水建设的蓬勃发展创造和积累了许多有益的经验,主要经验有三点:一是在大力发展灌溉的同时,要充分重视排水,做到灌排并重、蓄泄兼顾;二是充分利用水资源、节约水资源;三是因地制宜,针对不同地区的具体情况,采取不同的治理措施。例如,在山区、丘陵区的规划治理方面,各地的经验是要在管好、用好大中型水库的同时,大力整修塘堰和小水库,充分利用当地径流,建立蓄水、引水、提水联合运行的长藤结瓜水利系统;在渠系配套改建、防止山洪、改造冷浸田,以及整治沟壑和修建梯田梯地等方面,也都取得了不少经验。南方圩区的经验是在保证防洪安全的前提下,搞好灌溉除涝,控制地下水位。该区采取了内外水分开、高低水分开、灌排系统分开、水旱作物分开及控制地下水位和内河水位的“四分开、二控制”的措施。另外,各地圩区在有计划分洪蓄洪的基础上,还采取了联圩并垸、撇洪改河和留湖滞涝的措施。北方平原成功地发展了旱、涝、碱综合治理的经验;大多数灌区实现了井渠结合灌溉,提高了灌溉用水保证率,也有利于维持灌区地下水平衡和土壤盐碱化的防治。特别是进入 21 世纪以来,现代灌溉排水新技术在我国有了较大发展,如喷灌技术、滴灌技术、低压管道输水灌溉技术、竖井排水技术和暗管排水技术均得到了不同程度的推广应用;电子计算机、遥测、遥控等自动化管理技术和系统工程优化技术也已开始应用于灌排工程;而在田间灌排基本理论的研究方面,如土壤水、盐运动规律和大气—植物—土壤连续体中水分传输规律的研究,灌排工程系统分析和灌排工程经济的研究,作物需水规律和各种节水灌溉方法的理论研究等也都取得了较大的进展。

总之,新中国成立 60 年来,我国的灌溉排水工程建设取得了很大成绩,对抗御旱涝灾害、改良土壤、发展农业和林业等生产起了重大作用。但是,我国水资源并不丰富,特别是北方地区水资源紧缺,供需矛盾突出;灌排工程有的配套不全,有的老化失修,抗旱除涝标准较低,效益不高,远不能适应今后农业生产和国民经济发展的需要。因此,大力发展

灌溉排水仍是今后的长期任务,不仅要求继续提高抗御水旱灾害的能力,而且要提高科学管理的水平、改进技术装备,进一步扩大灌溉、除涝、排渍、治碱的工程经济效益。实现灌溉排水现代化,把灌溉排水事业推向新的高度,应是我们肩负的重要使命。

第三节 课程特点、教学要求与学习方法

一、课程特点

灌溉排水工程技术是水利工程专业、农业水利技术专业的必修核心专业课程,也是其他相近专业如水务工程、水土保持技术等专业的一门重要专业课。其主要任务是使学生掌握灌溉排水的基础理论与基本原理、灌排技术、灌排工程规划设计的方法,了解灌排工程对水环境的影响及其评价,重视灌排管理工作,了解灌排工程管理中的现代化技术,掌握灌排工程的经济评价等基本知识及技能。

二、教学要求与学习方法

根据本课程特点,要求在教学中始终贯彻从实践中来,到实践中去的认识过程,要根据每一章节的具体内容确定教学方法,尽可能地结合典型工程组织教学,充分发挥电化教学手段的作用,通过剖析典型灌区灌排工程的规划布置引导学生自行归纳、总结灌排渠系的布置原则。在教学中,要培养学生理论联系实际、因地制宜和灵活应用知识的能力。在教学实施过程中,应从深入理解课程教学大纲入手,组织好讲课的体系,掌握各章节的重点、难点及疑点,有的放矢地组织教学活动,并要密切关注灌溉排水学科的发展动态,不断充实和改进教学内容。

对学生学习方法的要求:认真听讲,独立思考;提倡主动学习,即课前预习,课后复习和总结,通过独立完成课后布置的作业来检验对知识的掌握程度。通过教师的引导,逐渐培养学生分析问题和解决问题的能力,培养学生动手操作的能力,以及自我获取知识的可持续发展能力。

能力训练

1. 灌溉排水工程技术的研究对象及基本内容是什么?
2. 简述我国灌溉排水事业的发展方向及特点。

第一篇 渠道灌溉工程技术

第一章 农田水分状况与灌溉用水量

学习目标

通过学习农田水分状况及作物需水量、灌溉制度、灌水率的确定方法,能够合理确定灌溉用水量及灌溉用水量。

学习任务

1. 理解农田水分状况对作物生长的影响及土壤水分的有效范围,会进行土壤含水率各种表示方法的转换。
2. 掌握需水量的计算方法,能够确定各种作物的需水量。
3. 掌握用水量平衡方程式确定水稻及早作物灌溉制度的方法,能够合理地制定水稻和旱作物在充分灌溉条件下的灌溉制度。
4. 学会绘制和修正灌水率图,并能够确定灌溉用水量及灌溉用水量。

第一节 农田水分状况

一、农田水分存在的形式

农田水分存在三种基本形式,即地面水、土壤水和地下水,而土壤水是与作物生长关系最密切的水分存在形式。

土壤水按其形态不同可分为固态水、气态水、液态水三种。固态水是土壤水冻结时形成的冰晶;气态水是存在于土壤孔隙中的水汽,有利于微生物的活动,故对植物根系有利,由于数量很少,在计算时常略而不计;液态水是蓄存在土壤中的液态水分,是土壤水分存在的主要形态,对农业生产意义最大。在一定条件下,土壤水可由一种形态转化为另一种形态。液态水按其受力和运动特性可分为吸着水、毛管水、重力水三种类型。

(一) 吸着水

吸着水包括吸湿水和膜状水。吸湿水是土壤孔隙中的水汽在土粒分子的吸引力作用下,被吸附于土粒表面的水分。它被紧束于土粒表面,不能呈液态流动,也不能被植物吸收利用,是土壤中的无效含水量。当空气相对湿度接近饱和时,吸湿水达到最大,此时的

土壤含水率称为吸湿系数。不同质地土壤的吸湿系数不同,吸湿系数一般为 0.034% ~ 6.5% (以占干土质量的百分数计)。

当土壤含水率达到吸湿系数后,土粒分子的引力已不能再从空气中吸附水分子,但土粒表面仍有剩余的分子引力。这时,若再遇到土壤孔隙中的液态水,就会继续吸附并在吸湿水外围形成水膜,这层水叫膜状水。膜状水吸附于吸湿水外部,只能沿土粒表面进行速度极小的移动,只有少部分能被植物吸收利用。通常在膜状水没有完全被消耗之前,植物已呈凋萎状态。作物下部叶子开始萎蔫时的土壤含水率,叫做初期凋萎系数,若补水充分,作物的叶子又会舒展开来。植物产生永久性凋萎时的土壤含水率,叫做凋萎系数。它包括全部吸湿水和部分膜状水,是可利用水的下限。凋萎系数不仅取决于土壤性质,而且与土壤溶液浓度、根毛细胞液的渗透压力、作物种类和生育期有关。凋萎系数难以实际测定,一般取吸湿系数的 1.5 ~ 2 倍作为凋萎系数的近似值。膜状水达到最大时的土壤含水率,称为土壤的最大分子持水率。它是土壤借分子吸附力所能保持的最大土壤含水率,它包括全部的吸湿水和膜状水,其值为吸湿系数的 2 ~ 4 倍。

(二) 毛管水

土壤借毛管力作用而保持在土壤孔隙中的水叫做毛管水,即在重力作用下不易排除的水分中超出吸着水的部分。毛管水能溶解养分和各种溶质,较易移动,是植物吸收利用的主要水源。依其补给条件的不同,可分为悬着毛管水和上升毛管水。

悬着毛管水是指不受地下水补给时,由于降雨或灌溉渗入土壤并在毛管力作用下保持在上部土层毛管孔隙中的水。悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为田间持水率,它代表在良好排水条件下,灌溉后土壤所能保持的最高含水率。在数量上它包括全部吸湿水、膜状水和悬着毛管水。灌水或降雨超过田间持水率时,多余的水便向下渗漏掉,因此田间持水率是有效水分的上限。生产实践中,常将灌水两天后土壤所能保持的含水率作为田间持水率。

上升毛管水是指地下水沿土壤毛细管上升的水分,毛管水上升的高度和速度与土壤的质地、结构和排列层次有关,上升毛管水的最大含量称为毛管持水量。土壤黏重,毛管水上升高,但速度慢;质地轻的土壤,毛管水上升低,但速度快。不同土壤的毛管水最大上升高度见表 1-1。

表 1-1 毛管水最大上升高度

(单位:m)

土壤种类	毛管水最大上升高度	土壤种类	毛管水最大上升高度
黏土	2 ~ 4	砂土	0.5 ~ 1
黏壤土	1.5 ~ 3	泥炭土	1.2 ~ 1.5
砂壤土	1 ~ 1.5	碱土或盐土	1.2

(三) 重力水

当土壤水分超过田间持水率后,多余的水分将在重力作用下沿着非毛管孔隙向下层移动,这部分水分叫做重力水。重力水在土壤中通过时能被植物吸收利用,只是不能为土壤所保持。当土壤全部孔隙为水分所充满时土壤便处于水分饱和状态,这时土壤的含水率称为饱和含水率或全持水率。重力水渗到下层较干燥土壤时,一部分转化为其他形态

的水(如毛管水),另一部分继续下渗,但水量逐渐减少,最后完全停止下渗。如果重力水下渗到地下水水面,就会转化为地下水并抬高地下水位。

二、土壤含水率的测定和表示方法

(一)土壤含水率的测定方法

土壤含水率(亦称含水量)是衡量土壤含水多少的数量指标。为了掌握土壤水分状况及其变化规律,用以指导农田灌溉和排水,经常需要测定土壤含水率。

测定土壤含水率的方法很多,如称重法(包括烘干法、酒精燃烧法、红外线法)、负压计法、时域反射仪(TDR)法、核物理法(γ 射线法、中子散射法)等。下面介绍常用的几种方法。

1. 烘干法

将采集的土样称得湿重后,放在 105 ~ 110 $^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘烤 8 h,然后称重,水重与干土重的比值为土壤含水率。

烘干法是最基本的直接测定土壤含水率的方法,其缺点是土样受到破坏,且不能连续观测某处的土壤含水率。

2. 负压计法

土壤水分是靠土壤吸力(基质势)的作用而存在于土壤中的。在同一土壤内含水率越小,土壤吸力越大;含水率越大,土壤吸力越小。当含水率达到饱和时,土壤吸力等于零。负压计就是测量土壤吸力的仪器。只要事先按不同土壤建立率定的土壤吸力与土壤含水率的关系曲线,即土壤水分特征曲线(可通过同时测定负压计读数和用烘干法测定土壤含水率来建立),而后用负压计测得土壤吸力,再查已建立的土壤水分特征曲线即得土壤含水率。

负压计主要由多孔陶土头、连接管和负压表组成,如图 1-1 所示。陶土头是整个仪器的感应部件,它具有许多均匀的细孔,能够透水。当陶土头内充水后,其孔隙全部饱和,与空气接触面上形成水膜。在一定的压力范围内,水膜不被击穿,使得空气不能进入陶土头内。

使用时,负压计内全部充水,并保证不留剩余空气,把负压计陶土头埋入土壤中需测定的位置上,并使土壤与陶土头表面充分接触。陶土头最初放入土壤时,负压计中的水处于标准大气压状态中,吸力等于零。而一般土壤吸力大于零,由于吸力不等,负压计中的水就从陶土头外壁渗透出来,直至吸力平衡。这时负压计中出现的负压值(即吸力值)便由真空表指示出来。当土壤水由降雨或灌溉得到补充时,其吸力急剧降低,负压计中的吸力因大于土壤吸力,从土壤中吸得水分,负压计上真空表的读数也随之降低。稳定后,真空表的指示值即为土壤吸力。

负压计结构简单,能定量连续观测土壤含水率,如果分层埋设,可以及时掌握土壤水分运动情况,也可在不同测点多处埋设,配合自动观测设备,同时测得多点的土壤含水率

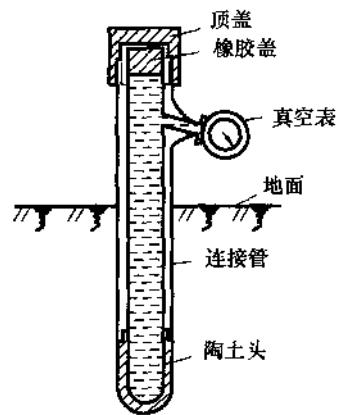


图 1-1 负压计

及其变化过程。

3. 时域反射仪法(也称 TDR 法)

时域反射仪法(Time Domain Reflectometry)是根据探测器发出的电磁波在不同介电常数物质中的传输时间的不同,计算出被测物的含水率。从探测器发射出的电磁波沿同轴电缆一直传递到电极末端并反射回来,在电极(长度 L)中往复的电磁波的传播速度(v)与电极周围介质的介电常数有关,从而可以获得介电常数与传播速度的关系,如当电磁波的频率在1 MHz~1 GHz时呈如下关系

$$\xi = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{ct}{2L}\right)^2 \quad (1-1)$$

式中 ξ ——介电常数;

c ——光速, 3×10^8 m/s;

t ——电磁波的传输时间,s。

电磁波在各点的反射很明确,可以很准确地计测出 t ,从而用式(1-1)计算出 ξ ,其结构示意图如图1-2所示。

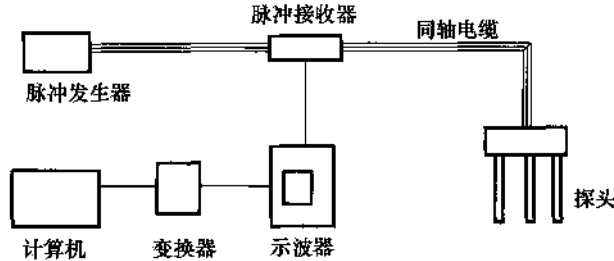


图1-2 时域反射仪示意图

运用TDR方法进行土壤含水率测定时,首先计测的是介电常数 ξ ,然后通过介电常数 ξ 与含水率 β 之间的标定曲线计算土壤含水率。TDR法与其他的土壤水分计测方法相比,具有测定范围广泛、不破坏土壤结构、测定方法简单、对人体无伤害、能随时捕捉含水率随时间的迅速变化、可实现自动化观测等优点。

(二) 土壤含水率的表示方法

土壤含水率常用的表示方法有以下几种:

(1) 以土壤水分质量占干土质量的百分数表示

$$\beta_{重} = \frac{G_{水}}{G_{干土}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 $\beta_{重}$ ——土壤含水率(占干土质量的百分数,%);

$G_{水}$ ——土壤中含有的水质量,为原湿土质量与烘干土质量的差,kg;

$G_{干土}$ ——烘干土质量,kg。

(2) 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示

$$\beta_{体} = \frac{V_{水}}{V_{土}} \times 100\% = \beta_{重} \frac{\rho_{干土}}{\rho_{水}} \quad (1-3)$$

式中 $\beta_{体}$ ——土壤含水率(占土壤体积的百分数,%);