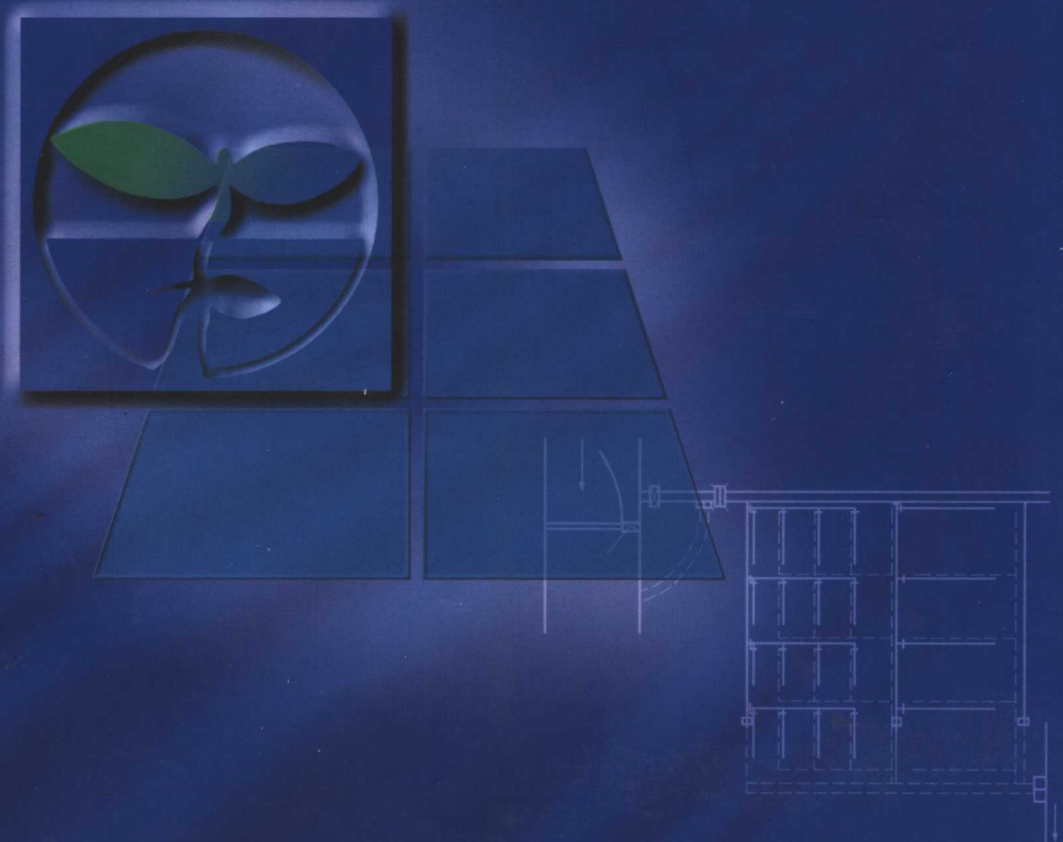


全国水利水电类高职高专统编教材

农田水利学

樊惠芳 主编

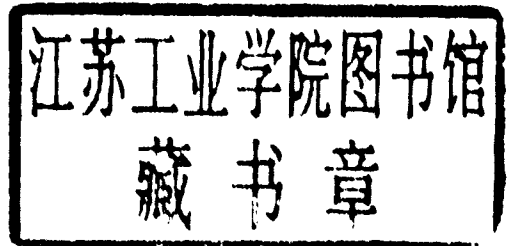


黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

农田水利学

樊惠芳 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《农田水利学》课程教学大纲编写完成的。本书共分9章,主要内容包括:农田水分状况与灌溉用水量、地面灌水技术、灌溉水源与取水方式、灌溉渠道系统规划、井灌井排、田间排水系统、骨干排水系统、分区水利问题及其治理等。本书是针对高职高专学生的特点及培养目标而编写的,突出技能培养,实用性强,并充分反映了近年来在农田水利科学技术方面所取得的新理论、新技术、新经验、新成就。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校等农业水利技术专业、灌溉自动化专业及相关专业教学使用,也可供从事农田水利规划、设计、管理工作的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

农田水利学/樊惠芳主编. —郑州:黄河水利出版社,
2003.1
全国水利水电类高职高专统编教材
ISBN 7-80621-652-9

I. 农… II. 樊… III. 农业水利-高等学校:技
术学校-教材 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 000871 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail: yrcp@public2.zz.ha.cn

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:13.75

字数:320 千字

印数:1—4 100

版次:2003 年 1 月第 1 版

印次:2003 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-652-9/S·47

定价:23.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本书充分反映了近年来农田水利科学技术方面的新理论、新技术、新经验、新成就,重点结合高职高专学生的特点及培养目标,具有一定的针对性,实用性强,基本理论阐述完整、够用,并突出能力培养。

本书主要介绍了灌溉、排水方面的基础知识、基本理论及规划、设计方法。

参加本书编写的有:杨凌职业技术学院樊惠芳(第一章、第二章、第六章第一节),安徽水利水电职业技术学院唐祥胜(第三章,第六章第二、三、四节,第九章),山西水利职业技术学院李永平(第四章、第五章),长沙电力学院水利水电学院梅其勇(第七章、第八章)。全书由樊惠芳主编,山东水利职业学院于纪玉主审。

本书在编写过程中,得到全国水利水电高职教研会农业水利专业组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!

由于水平所限,书中难免有错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 5 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 农田水利在我国农业发展中的作用	(1)
第二节 我国农田水利事业的发展	(2)
第三节 农田水利学的研究对象和基本内容	(4)
第二章 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	(22)
第四节 灌溉用水量	(37)
第三章 地面灌水技术	(44)
第一节 灌水技术综述	(44)
第二节 传统地面灌水技术	(49)
第三节 改进型地面灌水技术	(54)
第四章 灌溉水源与取水方式	(62)
第一节 灌溉水源	(62)
第二节 灌溉取水方式	(66)
第三节 引水灌溉工程的水利计算	(69)
第五章 灌溉渠道系统规划	(77)
第一节 灌溉渠系规划布置	(77)
第二节 渠系建筑物规划布置	(81)
第三节 田间工程规划	(84)
第四节 灌溉渠道流量推求	(89)
第五节 渠道纵横断面的设计	(99)
第六节 渠道防渗	(116)
第六章 井灌井排	(120)
第一节 地下水资源评价	(120)
第二节 单井设计	(125)
第三节 水井出水量计算	(136)
第四节 井灌区规划	(141)
第五节 竖井排水	(145)
第七章 田间排水系统	(152)
第一节 农田对排水的要求	(152)

第二节	田间排水沟的深度和间距·····	(158)
第三节	田间排水系统的布置·····	(166)
第八章	骨干排水系统 ·····	(176)
第一节	骨干排水系统的规划布置·····	(176)
第二节	排水沟的设计流量·····	(179)
第三节	排水沟的设计水位·····	(186)
第四节	排水沟断面设计·····	(188)
第五节	容泄区整治·····	(194)
第九章	分区水利问题及其治理 ·····	(196)
第一节	山区丘陵地区的规划治理·····	(196)
第二节	南方平原圩区的规划治理·····	(204)
第三节	北方平原地区的综合治理·····	(209)
参考文献	·····	(213)

第一章 绪 论

第一节 农田水利在我国农业发展中的作用

我国是一个农业大国,又是一个水资源不足、降水时空分布很不均衡、旱涝灾害频繁的国家。因此,以灌溉排水为主要内容的农田水利对我国农业生产具有十分重要的作用。

国以民为本,民以食为天。农业是国民经济的基础产业,搞好农业是关系到我国改革开放和社会主义现代化建设全局的重大问题,是全面建设小康社会的一个重要方面。因此,只有大力发展农业生产,才能使我国近 13 亿人口的温饱问题得到解决,才能使整个国民经济持续、稳定、协调发展。“水利是农业的命脉”科学地概括了水利与农业的关系,因此,要发展农业,首先必须发展农田水利事业,只有这样,才能改善农业生产条件,达到高产稳产。

在我国,发展农业生产具有一定的物质基础和有利条件。首先,我国地处欧亚大陆的东部,属于北温带和亚热带,气候适宜,光热资源充足,水稻、小麦、大豆、玉米等粮食作物和棉、麻、油、糖等经济作物都可种植,不少作物可一年两熟或三熟。我国地势西高东低,长江、黄河、淮河、珠江、辽河、松花江等大江大河分布其中,既为灌溉提供了水源,又为排水提供了出路。另外,我国人民勤劳勇敢,农业生产历史悠久,经验丰富,并具备了一定的利用自然、改造自然的基本技能和利用科技发展农业生产的基本知识。

但是,我国人多地少,降水资源时空分布不均,自然灾害频繁,又给我国农业生产的发展带来了很大困难和不利影响。

据国家土地管理局最近一次调查,我国现有耕地面积 19.51 亿亩,为全球耕地总量的 9%,而人口占世界人口的 22%,人均耕地面积约为 1.5 亩,远低于世界平均水平。

我国年平均降水总量为 61 889 亿 m^3 ,折合降水深 648 mm,既小于全球陆面年平均降水深 834 mm,也小于亚洲陆面年平均降水深 740 mm。我国年平均水资源总量居世界第六位,少于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印尼,人均占有量仅为世界人均占有量的 1/4。

降水量的地区分布不均。降水量分布的总趋势是由南向北递减:秦岭、淮河以南通称南方,年降水量一般在 800 ~ 2 000 mm,属于湿润地区,其中南岭山脉以南的华南地区,年降水量为 1 400 ~ 2 000 mm。淮河以北通称北方,年降水量一般少于 800 mm,属于干旱半干旱地区。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,以及青藏和云贵高原的部分地区。干旱地区降雨稀少,蒸发强烈,绝大部分地区的年降水量为 100 ~ 200 mm,有的地方几乎终年无雨,而年水面蒸发量的平均值一般为 1 500 ~ 2 000 mm,远远超过降水量。

年降水量和年内分配不均。南方最大年降水量一般是最小年降水量的 2 ~ 4 倍,北方一般是 3 ~ 6 倍,且常有连续丰水年和连续枯水年出现。我国多数地区的雨季为 4 个月,

南方多在4~7月,4个月的降水量占年降水量的50%~60%;北方多在6~9月,4个月的降水量占年降水量的70%~80%,最大与最小月降水量的比值一般可达十几倍或几十倍。

径流量时空分布也不均匀。因降水是我国径流形成的主要来源,所以,河川径流量的时空分布和降水量的时空分布有着基本一致的特征和规律。南方最大年径流量一般为最小年径流量的2~4倍;北方一般为3~8倍。多数地区连续4个月的最大径流量一般占全年径流量的60%~80%。

水资源的地区分布与人口和耕地分布很不适应。水资源分布形成东南有余,西北不足的局面,影响和制约着农业的布局和发展。长江及其以南各河流域,年径流量占全国径流总量的82%,但耕地面积只占全国耕地面积的38%;而黄、淮、海三大河流,年径流量只占全国径流总量的6.6%,但耕地面积却占全国总耕地面积的40%。我国华北和东北南部地区水资源紧缺,供求矛盾日益突出。西北地区水资源贫乏,已成为制约农业发展的主要因素。长江流域及其以南地区,水资源比较丰富,由于调节控制工程不足,也有一些地区供水不足。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,内水不能外排,洪、涝、渍威胁比较严重。

水旱灾害频繁制约着农业生产的发展。水资源的时空分布不均造成水旱灾害的根本原因。据统计,新中国成立后的50年中,每年水旱灾害受灾面积4亿多亩,占耕地面积的近30%,成灾面积2亿多亩,占耕地面积的10%以上。受灾面积超过4亿亩的严重旱灾平均每4年发生一次,其中松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地以及云贵高原等地旱灾次数最多,灾情较为严重,全国约有70%的受灾面积分布在这些地区。我国每年水灾面积1亿多亩,成灾面积近亿亩,主要发生在东部大江大河的中下游地区,其中以黄淮海地区及长江中下游地区最为严重,受灾面积占全国水灾面积的3/4以上。

由上可见,发展我国农业生产,一方面具有较好的自然条件,但另一方面也程度不同地存在各种不利因素。因此,兴修农田水利,加强灌溉排水,根除水旱灾害,是保证农业发展的根本措施。实际上,我国的农田水利工程在抗御水旱灾害、促进农业发展方面已发挥了巨大的作用,取得了显著的效果。我国在占耕地面积不到一半的灌溉土地上,生产的粮食和棉花分别占全国总产量的2/3和3/4,许多灌区已发展成为我国商品粮的重要基地,为解决全国人民的温饱问题和满足国民经济发展的需要做出了巨大贡献。

第二节 我国农田水利事业的发展

我国的农田水利事业有着悠久的发展历史。几千年来,农田水利一直是人类与水旱灾害作斗争、变水害为水利、发展农业生产的主要措施。早在公元前6世纪,楚国人就兴建了芍陂,即今安徽省寿县境内的安丰塘,它是利用洼地构筑成周长60 km,总库容1.71亿 m^3 的大型水库,也是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程。战国时期的李冰父子率领民工兴建了我国古代最大的无坝引水灌溉工程——都江堰。这项工程,有完善的渠首枢纽,从岷江引水,开辟了许多灌溉渠道,灌溉了川西平原,使成都平原成为“水旱从人,不知饥馑”的“天府之国”。这项工程合理的规划、精巧的设计、完善的管理,都具有较高的科

学性和创造性,充分显示了我国古代劳动人民的聪明才智,为我国农田水利的发展史谱写了不朽的篇章。除此之外,我国古代较大的农田灌溉工程还有陕西的郑国渠、白渠和龙首渠,宁夏的秦渠、汉渠和唐徕渠等。隋、唐、宋时期,我国农田水利进入巩固发展时期,太湖下游兴修圩田、水网;黄河中下游地区大面积放淤。其他如遍布南方地区的塘坝工程,北方地区的水井、水车,西北地区的风车、天车等,在过去都曾经为我国劳动人民在与干旱作斗争中发挥了历史性的作用。19世纪末,西方灌溉、排水科学技术开始在中国应用。20世纪30年代,我国近代著名水利专家李仪祉在陕西省主持兴建了泾惠渠、洛惠渠和渭惠渠等大型灌区,积累了一套灌区建设和管理的经验,为农田水利发展史谱写了新篇章。

综上所述,我国的农田水利有着悠久的历史,历代劳动人民创造了很多宝贵的治水经验,在我国历史上放射着灿烂的光辉。但是漫长的封建社会,压抑着劳动人民的积极性和创造性,严重地阻碍了我国农业生产的发展,农田水利建设进展缓慢。新中国成立50年来,我国农田水利事业得到了巨大的发展,主要江河都得到不同程度的治理,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。到2000年,我国已兴修水库8.5万余座,总库容4900亿 m^3 ,有效灌溉面积达到8.2亿亩,其中井灌区面积2.2亿亩。发展节水灌溉面积4005万亩,进行渠道防渗13万 km ,埋设低压管道近6万 km ,发展喷灌面积1005万亩。

随着我国水利建设的不断发展,在辽阔的土地上,我国已建成许多宏伟的农田水利工程,如有灌溉面积超过1000万亩的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提灌站等。此外,还新建了一些规模巨大的调水工程如引黄济青、引滦入津、引大入秦等,南水北调工程也已开工建设。

新时期,农田水利又面临着新的挑战,水资源的短缺已成为制约国民经济和社会发展的严重因素,而节水的关键在农业,因为农业用水量占总用水量的69%左右。因此,今后农田水利的发展,要从节水上下工夫,大力推广节水技术,提高水的有效利用率,发展节水农业。水利部“十五”计划和十年规划明确提出,“十五”期间,在全国农田灌溉总用水量不增加的情况下,净增灌溉面积3000万亩,使全国有效灌溉面积达到8.5亿亩。新增工程节水灌溉面积1.0亿亩,农业灌溉水有效利用系数再提高3~5个百分点,多数地区达到0.45,全国平均综合毛灌溉定额较现状减少15~20 m^3 /亩。到2010年,在全国总灌溉用水量基本稳定的情况下,再净增农田有效灌溉面积2000万亩,有效灌溉面积发展到8.7亿亩,再新增节水灌溉面积3亿亩,全国节水灌溉面积占总灌溉面积的比重提高到55%以上,农业灌溉水有效利用系数争取达到0.50左右,全国平均综合毛灌溉定额在2005年的基础上再减少20~30 m^3 /亩。只有这样,才能使我国的农业生产持续稳定地发展,这是一项十分艰巨的任务,任重而道远。

总之,新中国成立50年来,我国的农田水利事业取得了很大的成绩,对抗御旱涝灾害、改良土壤、发展农业生产等起到了重大作用。但是另一方面,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

展农田水利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。推广节水灌溉,发展节水农业,提高水的利用效率,实现农田水利现代化,把农田水利事业推向新的高度。

第三节 农田水利学的研究对象和基本内容

农田水利学是一门研究农田水分状况和地区水情变化规律及其调节措施、消除水旱灾害,充分利用水资源,为发展农业生产和创造良好的农业生态环境而服务的科学。农田水利学的研究对象主要包括以下两方面。

一、调节农田水分状况

农田水分状况一般是指农田中的土壤水、地面水、地下水的状况及其相关的土壤养分、通气、热状况等。农田水分不足或过多,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是灌溉与排水措施。灌溉措施即按照作物的需要,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,使农田处于适宜的水分状况。

在调节农田水分状况方面主要研究的问题是:

(1)溶质迁移规律及其调控机制。主要研究土壤—植物—大气连续体(SPAC系统)的水分运移规律,把水分运移规律与养分、水热、化学物运移结合起来,为提高水分、养分利用效率提供理论基础。研究局部灌溉和不同农业耕作条件下的养分运移规律,不同灌溉条件下的土壤水分、水热、水肥及光合作用规律,为发展节水农业奠定良好基础。

(2)水分胁迫对作物的影响及其提高水分生产效率的机理。研究作物水分生产函数及其分布特征,经济作物水分生产函数,作物不同阶段水分敏感性与根系生长、叶面气孔效应、蒸腾速率、光合速率、光合产物的分配关系,探讨作物缺水敏感指数的变化规律;研究作物水肥生产函数,探索水分亏缺对作物光合作用、生长和产量构成等因素的影响关系;水分过多对作物的影响;作物耐旱、耐盐、耐渍涝的定量标准;作物水分状况的定量诊断方法,以确定有限灌溉条件下非充分灌溉的理论和方法。

(3)灌溉、排水技术及其理论。研究各种灌溉技术膜上灌、波涌灌、长畦短灌等节水灌溉技术及其最佳技术组合,喷灌、微灌、渗灌技术的改进与提高,地下灌排、明沟排水等技术措施。

(4)农业综合水肥高效利用技术。研究不同灌溉技术条件所适宜的水肥耦合技术,包括节水地面灌溉条件下水肥耦合技术,喷灌条件下水肥管理技术,滴灌条件下适宜的施肥灌溉模式;提高农田水分利用效率的耕作栽培技术,覆盖保墒及节水灌溉配套技术,节水、高产、高效的综合农业配套技术。

(5)灌排工程建设技术和新材料的开发。研究渠道及其建筑物的优化设计理论,建筑物新型结构与施工,新型建筑材料的研究与开发,防渗工程措施的研究。

(6)不同地区灌排系统的合理布置,做到山、水、田、林、路综合治理,既便于灌排和控制地下水位,又适应机耕。研究地下排灌理论,发展灌排新技术,寻求合适的管材和降低费用等。

(7)灌排工程施工机械化。灌排工程是面广量大的水利工程,实现机械化施工,对加速灌排工程的兴建与配套具有重要的意义。

(8)灌溉用水管理与信息技术的应用。研究用水管理,渠道量水,渠道水位水量和土壤墒情监控,水源水量预测和预报,优化配水技术和动态用水计划管理;研究灌溉用水专家系统及利用3S系统、计算机控制系统,精细准确调整灌水施肥的精准灌溉技术,为最大限度优化各项农业投入,充分挖掘田间水肥差异性所隐含的增产潜力创造条件。

二、改变和调节地区水情

地区水情主要是指地区水资源的数量、分布情况及其变化规律。我国幅员辽阔,水资源在不同地区以及不同年份和季节分配不均匀,供水和需水在时间和空间上亦不一致,时旱、时涝或旱涝交替出现,这是影响农业高产稳产的一个主要原因。因此,发展农田水利,首先要根据水土资源条件,通过各种工程措施,改变和调节地区水情。

改变和调节地区水情的措施主要有以下两种:

(1)蓄水保水措施。通过修建水库、河网和控制利用湖泊、地下水库并进行大面积的水土保持,采取田间蓄水措施,拦蓄当地径流和河流来水,改变水量在时间上和地区上的分布状况;通过蓄水措施可以减少汛期洪水流量,增加枯水时期河水流量及干旱年份地区水量储备。

(2)调水、排水措施。调水排水措施主要通过引水渠道,使地区之间的水量相互调剂,从而改变水量在地区上的分布状况。用水时期借引水渠道及取水设备,自水源引水,以供地区用水。某一地区水源缺乏时,可借人工河道自水源充足地区调配水量。我国已建成的引滦入津工程、引黄济青工程和已开工建设的南水北调工程,都是调水工程的典型例子。在汛期,当某地区水量过剩时,可通过排水渠道将多余的水量调配到其他缺水地区或调送到地区内部的蓄水设施存蓄。

据统计,全国江河正常年径流量有26 140亿 m^3 ,而已建工程可控制的地表水资源量的比例很小,不少地区的地下水尚待开发,故水资源开发的潜力还很大。但是另一方面,为全面建设小康社会,灌溉、发电、航运、养殖、工矿企业等各部门所需要的工农业用水以及生活用水量也日益增长。因此,研究最有效利用水资源的科学理论,合理调配水资源,最大限度地保证各部门用水要求,同时解决好洪涝等灾害,便成为我国水资源工程现代化的一个重要内容。在这方面需要研究以下一些问题:

(1)研究区域水资源形成与水循环过程及调控理论与技术,区域水资源优化配置,制定地区长远的水资源规划及水土资源平衡措施。

(2)研究当地地面水、地下水和外来水的统一开发及联合运用,应用系统工程的理论与方法,寻求水资源系统的最优规划、扩建和运行方案。

(3)研究洪涝规律,采取有效措施,消除洪涝威胁,并同水资源开发利用结合起来统一规划,做到洪涝旱碱综合治理。

(4)研究水资源开发、利用和保护等方面的经济效益、生态环境效益和社会福利问题,探求符合社会主义市场经济原则的水资源系统规划、管理的经济论证方法。

总之,无论是调节农田水分状况或是地区水情,都要认识自然规律,总结水利建设的经验,坚持科学态度,讲究经济效益,并从理论上和技术上解决农田水利现代化建设中出现的新问题,把农田水利科学技术不断推向前进。

第二章 农田水分状况与灌溉用水量

灌溉用水量及其年内变化过程,是灌区水利计算的基本内容之一,并为灌溉工程的规划设计和用水管理以及水资源的合理开发利用提供重要依据。本章通过对农田水分状况的分析,确定各种作物的适宜水分范围,并介绍作物需水量、灌溉制度、灌水率及灌溉用水量的含义及有关原理和计算方法。

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、汽态水、液态水三种。固态水是土壤水冻结时形成的冰晶;汽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变为另一种形态。液态水按其受力和运动特性可分为三种类型:

1. 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,吸湿系数一般在 0.034% ~ 6.5% (占干土重的%计)之间。

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,如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。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。凋萎系数不仅决定于土壤性质,而且还与土壤溶液浓度、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,其值一般为吸湿系数的 2 ~ 4 倍。

2. 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。亦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。依其补给条件不同,可分为上升毛管水和悬着毛管水。

悬着毛管水系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。

上升毛管水系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。土壤粘重,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。不同土壤的毛管水上升高度见表 2-1。

表 2-1 毛管水最大上升高度

土壤种类	毛管水最大上升高度(m)	土壤种类	毛管水最大上升高度(m)
粘土	2~4	沙土	0.5~1
粘壤土	1.5~3	泥炭土	1.2~1.5
沙壤土	1~1.5	碱土或盐土	1.2

3. 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。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、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℃ 的烘箱中烘干至恒重,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,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、连接管和真空表组成,如图 2-1 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。

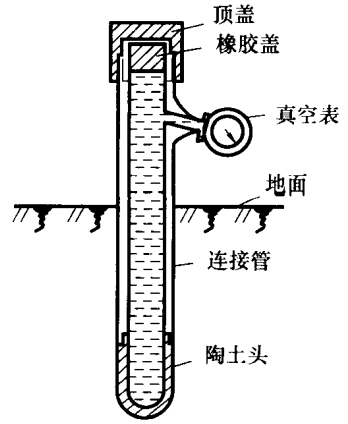


图 2-1 负压计

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,直至吸力平衡为止。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理设,配合自动观测设备,同时测得多点的土壤含水率及其变化过程。

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

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

式中 ξ ——介电常数;

c ——光速, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$;

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 ,从而用上式计算出 ξ ,其结构的示意图如图 2-2。

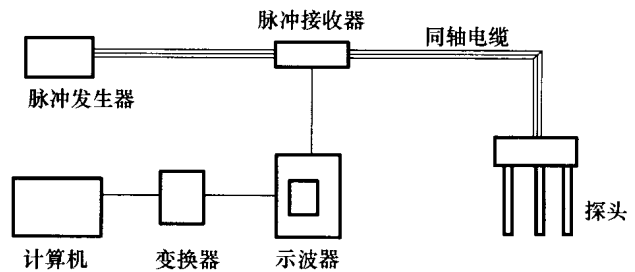


图 2-2 时域反射仪示意图

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

土壤含水率的表示方法除前面介绍的用重量表示含水率的方法外,常用的表示方法还有以下几种:

(1) 以土壤水分重量占干土重的百分数表示

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

式中 $\beta_{\text{重}}$ ——土壤含水率(占干土重的%) ;

$G_{\text{水}}$ ——土壤中含有的水重,为原湿土重与烘干土重的差,kg ;

$G_{\text{干土}}$ ——烘干土重,kg。

(2) 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示

$$\beta_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{土}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}}} \quad (2-3)$$

式中 $\beta_{\text{体}}$ ——土壤含水率(占土壤体积的%) ;

$V_{\text{水}}$ ——土壤水分体积, m^3 ;

$V_{\text{土}}$ ——土壤体积, m^3 ;

$\rho_{\text{干土}}$ ——土壤干密度, kg/m^3 ;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, kg/m^3 。

这种表示方法便于根据土壤体积直接计算土壤中所含水分的体积,或根据预定的含水率指标直接计算出需要向土壤中灌溉的水量。由于土壤水分体积在田间难以测定,生产实践中常用含水率的重量百分数换算为体积百分数。

(3) 以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示

$$\beta_{\text{孔}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{孔}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}} \cdot n} \quad (2-4)$$

式中 $\beta_{\text{孔}}$ ——土壤含水率(占土壤孔隙体积的%) ;

$V_{\text{孔}}$ ——土壤中孔隙体积, m^3 ;

n ——土壤孔隙率(%)。

其余符号意义同前。

这种方法能清楚地表明土壤水分占据土壤孔隙的程度,便于直接了解土壤中水、气之间的关系。

(4) 以土壤实际含水率占田间持水率的百分数表示。这是以相对概念表示土壤含水率的方法,即

$$\beta_{\text{相对}} = \frac{\beta_{\text{实}}}{\beta_{\text{田}}} \times 100\% \quad (2-5)$$

式中 $\beta_{\text{相对}}$ 、 $\beta_{\text{实}}$ 、 $\beta_{\text{田}}$ ——土壤的相对含水率、实际含水率和田间持水率,均以百分数表示。

这种表示方法便于直接判断土壤水分状况是否适宜,以制定相应的灌溉排水措施。

(5)以水层厚度表示。它是将某一土层所含的水量折算成水层厚度来表示土壤的含水率,以 mm 为单位。1 m³/亩的水量相当于田面建立 1.5 mm 的水层厚度。这种方法便于将土壤含水量与降雨量、灌水量和排水量进行比较。

三、旱作地区的农田水分状况

旱作区的地面水和地下水必须适时适量地转化成为作物根系吸水层(可供根系吸水的土层,略大于根系集中层)中的土壤水,才能被作物吸收利用。通常地面不允许积水,以免造成涝灾,危害作物。地下水位一般不允许上升至作物根系吸水层以内,以免造成渍害,只能通过毛细管作用上升至作物根系吸水层,供作物利用。故地下水必须维持在根系吸水层以下一定距离处。

在不同条件下,地面水和地下水补给土壤水的过程是不同的,现分别说明如下:

(1)当地下水位埋深较大和土壤上层干燥时,如果降雨(或灌水),地面水逐渐向土壤中入渗,在入渗过程中土壤水分的动态大致如图 2-3 所示。从图中可以看出,降雨(或灌水)开始时,水自地面进入表层土壤,使其接近饱和,但其下层土壤含水率仍未增加,此时含水率的分布如曲线 1;降雨停止时土壤含水率分布如图中曲线 2;雨停后,达到土层田间持水率后的多余水量,则将在重力(主要的)及毛管力的作用下,逐渐向下移动,经过一定时期后,各层土壤含水率分布的变化情况如曲线 3;再过一定时期,在土层中水分向下移动趋于缓慢,此时,水分分布情况如曲线 4,上部各土层中含水率均接近于田间持水率。在土壤水分重新分布的过程中,由于植物根系吸水和土壤蒸发,表层土壤水分逐渐减少,变化情况如图 2-3 中曲线 5 及曲线 6 所示。

(2)当地下水位埋深较小,作物根系吸水层上面受地面水补给,而下面又受上升毛管水的影响时,土层中含水率的分布及随时间的变化情况如图 2-4 所示。

图 2-4(a)中曲线 0 是还未受到地面水补给的情况,当有地面水补给土壤时,首先在土壤上层出现悬着毛管水,如曲线 1、2、3 所示。

地面水补给量愈大,则入渗的水量所达到的深度愈大,直至与地下水面以上的上升毛管水衔接,如曲线 4。当地面水补给土壤的数量超过了原地下水位以上土层的田间持水能力时,即将造成地下水位的上升,如图 2-4(b)所示。在上升毛管水能够进入作物根系吸水层的情况下,地下水位的高低便直接影响着根系吸水层的含水率,如图 2-5 所示。在地表积水较久时,入渗的水量将使地下水位升高到地表与地面水连接。

作物根系吸水层中的土壤水,以毛管水最容易被旱作物吸收,是对旱作物生长最有价

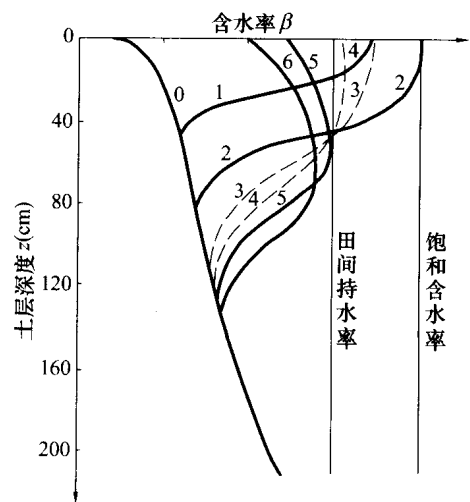


图 2-3 降雨(或灌水)后不同深度土层的湿润过程示意图