



高等学校教材

农田水利学

第三版

武汉水利电力大学 郭元裕 主编



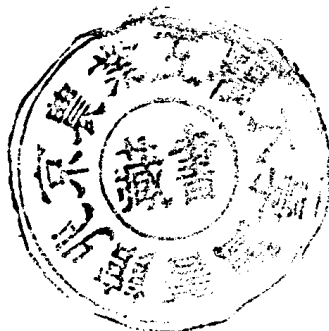
高等学校教材

ND22/37

农田水利学

(第三版)

武汉水利电力大学 郭元裕 主编



400106

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是高等院校农田水利工程专业的通用教材，也可作为其它水利工程专业的教材和从事农田水利工作的工程师、技术员的参考书。

本书除绪论外，共分十章。其内容包括农田水分状况和土壤水分运动、作物需水量和灌溉用水量、灌水方法、灌溉渠道系统、灌溉管道系统、灌溉水源与取水方式、田间排水、排水沟道系统、分区水利问题及其治理、灌溉排水管理与环境等。书中着重阐述了农田灌溉和地区水利规划的基本原理以及我国农田水利建设的基本经验，并介绍了有关新技术在农田水利中的应用。

图书在版编目 (CIP) 数据

农田水利学/郭元裕主编. —北京: 中国水利水电出版社, 1997

高等学校教材

ISBN 7-80124-350-1

I. 农… I. 郭… III. 农田水利-高等学校-教材 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00421 号

书 名	高等学校教材 农田水利学 (第三版)
作 者	武汉水利电力大学 郭元裕 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 20 印张 465 千字
版 次	1980 年 12 月第一版 1986 年 12 月第二版 1997 年 10 月第三版 1997 年 10 月北京第七次印刷
印 数	43161—48160 册
定 价	19.50 元

第三版前言

本书是根据 1990~1995 年高等学校水利水电专业本科教材规划要求, 在 1986 年出版的《农田水利学》(第二版) 教材基础上修订的。

《农田水利学》是农田水利工程专业的一门专业课。在修订过程中, 本着继承与发展相结合的原则, 保留过去比较成熟的教学内容, 吸取近年来国内外农田水利建设中的新成就以及教学实践中的经验, 坚持加强基本理论, 力求少而精和便于教学, 对原教材从体系到内容进行了修改。考虑到我国幅员辽阔, 自然条件十分复杂, 各地存在的农田水利问题和采取的治理措施有很大的差别, 因此, 本书根据面向全国、照顾地区的原则, 主要介绍农田水利基本内容如灌溉、除涝排水及其它水利改良土壤措施的规划和运行管理等。本书除绪论外, 共分十章, 其中第九章介绍了分区治理的经验, 对这部分内容, 各院校可根据实际需要加以取舍。

参加本次第三版修订工作的则有武汉水利电力大学张蔚榛(第一、七章及第九章第三节)、许志方(第二、十章)、郭元裕(绪论、第八章和第九章第二节)、刘肇伟和袁宏源(第六章及第九章第一节)、陈大雕(第三、五章)以及河海大学房宽厚(第四章)。全书由郭元裕主编。西北农业大学朱凤书教授主审。主审人认真审阅了修订稿, 提出了许多宝贵意见, 对此表示衷心的感谢。本书第三版修订大纲曾在 1992 年 9 月召开的全国农田水利教学组会议上, 提交讨论修改, 得到了与会代表的热情帮助, 在此一并表示谢意。

对于书中错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

编 者

1995 年 7 月

第一版前言

本书是根据1978年4月制定的高等学校《农田水利工程》专业教学计划及1978年至1981年高等学校水利电力类教材编审规划进行编写的。

《农田水利学》是农田水利工程专业的一门专业课。在编写过程中，我们充分注意了反映我国农田水利建设中的经验和学科发展的新成就，同时也尽可能地加强了基本理论的阐述。全书分为两篇，第一篇为灌溉排水，主要介绍灌溉排水的基本理论、灌排渠系的规划设计、灌排田间工程、灌水新技术以及灌区用水管理等，这是农田水利的基本内容，也是各地农田水利共同性的问题。第二篇为地区水利规划，主要介绍山区丘陵地区、南方圩区和北方平原地区这三大类地区的规划治理措施及其有关的基本理论。其中，对于山丘区重点介绍了山丘区灌溉系统的特点及其规划方法；对于南方圩区介绍了防洪、除涝、排渍和灌溉等措施及其规划设计的理论与方法；对于北方平原地区介绍了旱涝碱综合治理的经验和地下水运动的理论与井灌、井排的计算等；最后简要地介绍了水资源系统最优规划的理论与方法，强调了水利工作中技术经济论证的重要性。第二篇也是农田水利的重要内容，但由于我国地域辽阔，自然条件十分复杂，各地区存在的农田水利问题和采取的措施有很大差别，因此各院校讲授时可根据实际情况对本书第二篇的内容作适当的取舍。

参加本书编写的有武汉水利电力学院郭元裕(绪论和第三、五、六、十等章)、李恩羊(第一章)、沈佩君(第二章)、许志方(第四章)、陈大雕、董文楚(第七章)、茆智(第八章)、刘肇祎、马文正(第九章)、白宪台、雷声隆(第十章)、袁宏源(第一、二、九、十二等章)以及华北水利水电学院田园、武汉水利电力学院沈荣开(第十一章)等。参加本书有关章节编写和修改定稿的还有陈学敏、黄德玖和魏永曜同志。全书由郭元裕主编，袁宏源参加了统编工作，张蔚榛教授提出了许多宝贵意见。初稿完成后，由朱凤书、许永嘉和许益科等同志进行了审阅，并由主审单位——西北农学院水利系召开了审稿会议，参加审稿会议的有西北农学院、华东水利学院、华北水利水电学院、合肥工业大学、成都科技大学、新疆八一农学院等单位的代表。在本书编写过程中，还得到许多生产单位和兄弟院校的积极支持和热情指导，在此一并表示衷心的感谢。

对于书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1980年1月

第二版前言

本书是根据1983年3月制定的高等学校“农田水利工程”专业教学计划及教学大纲(试行),在1980年出版的《农田水利学》教材基础上修订的。

《农田水利学》是农田水利工程专业的一门专业课。在修订过程中,我们充分注意了反映我国农田水利建设中的经验和科学发展的新成就,尽可能地加强基本理论的阐述,同时本着少而精和便于教学的原则,对原教材从体系到内容进行了较多的修改和精简。考虑到我国幅员辽阔,自然条件十分复杂,各地区存在的农田水利问题和采取的治理措施有很大差别,因此,本书将根据面向全国、照顾地区的原则,主要介绍农田水利基本内容如灌溉、除涝排水及其它水利改良土壤措施的规划设计、运行管理以及经济分析方法等。本书除绪论外,共分十二章,其中第十章介绍了分区治理的经验,对这部分内容,各院校可根据实际需要加以取舍。

参加本书初版编写的有武汉水利电力学院郭元裕(绪论和第三、五、六、十等章)、李恩羊(第一章)、沈佩君(第二章)、许志方(第四章)、陈大雕、董文楚(第七章)、茆智(第八章)、刘肇祯、马文正(第九章)、白宪台、雷声隆(第十章)、袁宏源(第一、二、九、十二等章)、华北水利水电学院田园、武汉水利电力学院沈荣开(第十一章)以及陈学敏、黄德玖和魏永曜同志。

参加这次修订工作的则有张蔚榛(第一、七、八章及第十章第三节)、许志方(第二、三、四章及十一章第一、二、三节)、刘肇祯(第五章及第十章第一节)和郭元裕(绪论、第六、九、十二章,第十章第二节及十一章第四节)。全书由郭元裕主编。安徽合肥工业大学许益科同志任主审,并主持召开了审稿会议。参加审稿的同志有华东水利学院许永嘉,华北水利水电学院朱光大,合肥工业大学何灵甫,西北农学院朱凤书、王鸣周,陕西机械学院王云涛以及河北农学院张增圻等同志。审稿同志认真审阅了修订稿,提出了宝贵意见,对此我们表示衷心的感谢。在本书编写和修订过程中,还得到许多生产单位和兄弟院校的积极支持,在此一并表示谢意。

对于书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1985年7月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
绪 论	1
第一章 农田水分状况和土壤水分运动	8
第一节 农田水分状况	8
第二节 土壤水分运动	13
第三节 土壤—作物—大气连续体水分运动的概念	26
第二章 作物需水量和灌溉用水量	29
第一节 作物需水量	29
第二节 作物灌溉制度	33
第三节 灌溉用水量	47
第四节 灌水率	51
第三章 灌水方法	54
第一节 灌水方法的评价标准、分类及适用条件	54
第二节 地面灌溉	57
第三节 喷灌	62
第四节 滴灌	74
第五节 微喷灌	83
第六节 渗灌	86
第四章 灌溉渠道系统	87
第一节 灌溉渠系规划	87
第二节 田间工程规划	94
第三节 灌溉渠道流量推算	97
第四节 灌溉渠道纵横断面设计	107
第五节 渠道防渗	122
第五章 灌溉管道系统	133
第一节 灌溉管道系统的组成与分类	133
第二节 灌溉管道系统的规划布置	136
第三节 管道的种类及其规格	141
第四节 管道附件	146
第五节 管道系统的工作制度	149
第六节 管道灌溉系统的流量与压力推算	150

第七节	灌溉管道系统的结构设计	153
第六章	灌溉水源和取水方式	155
第一节	灌溉水源	155
第二节	灌溉取水方式	164
第三节	引水灌溉工程的水利计算	170
第四节	地下水资源评价及开发利用	177
第七章	田间排水	189
第一节	农作物对农田排水的要求	189
第二节	排除地面水的水平排水系统	193
第三节	控制地下水位的水平排水系统	195
第四节	田间排水系统的布置与结构	208
第五节	竖井排水	220
第八章	排水沟道系统	226
第一节	排水沟道系统的规划布置	226
第二节	除涝设计标准	228
第三节	排水流量计算	231
第四节	设计内、外水位的选择	238
第五节	排水沟的设计水位和排水沟断面设计	240
第六节	承泄区整治	246
第九章	分区水利问题及其治理	248
第一节	山区、丘陵地区的治理	248
第二节	南方平原圩区的治理	260
第三节	北方平原地区的综合治理	274
第十章	灌溉排水管理与环境	290
第一节	灌溉用水管理	290
第二节	排水管理	296
第三节	灌排试验	296
第四节	灌溉排水系统管理现代化	302
第五节	灌区环境	306
参考文献		310

绪 论

一、我国的农田水利事业

农田水利是水利工程类别之一，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其有关的地区水利条件，以促进农业生产的发展。

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度发展的全局性问题，是实现四个现代化的一个重要方面。实践证明，只有农业得到了发展，国民经济的其它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 800~2000mm，故又称水分充足地区，无霜期一般为 220~300 天，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 1400~2000mm，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 800mm，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和云贵高原的部分地区。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 100~200mm，有的地方几乎终年无雨，而年蒸发量的平均值约为 1500~2000mm，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，灌溉在农业生产上占极重要的地位，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。这些地区的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。这一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、水利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，其它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，土壤盐碱化威胁较重。在东北平原还有部分沼泽地，在黄河中游的黄土高原，存在严重的水土流失现象。

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着各种不利因素。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，写下了光辉灿烂的农田水利史。我国的农田水利，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),利用洼地构筑成约长 100 里的水库,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,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。两千多年来,都江堰工程在农业生产中始终发挥着巨大作用。现经改建、扩建,到 1981 年灌溉面积已达 1100 多万亩,这一工程充分显示了我国劳动人民的无穷智慧和伟大的创造力。除此以外,秦汉时期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,浙江的鉴湖灌溉工程等。隋、唐、宋时期,中国农田水利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《农田水利约束》等。元、明、清时期,长江、珠江流域,特别是两湖、两广地区,农田水利得到了进一步发展。明天启年间《农政全书》问世,书中记载了中国农田水利史;《泰西水法》为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中国应用。20 世纪 30 年代,陕西省建成泾惠、渭惠、梅惠等大型自流灌区。其他各省也相继兴建了一些不同类型的农田水利工程。与此同时,从南方的广东、江苏到北方的陕西、宁夏等地,先后开展了一些灌溉、排水的科学研究工作。

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,在我国水利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,严重阻碍了我国农业生产的发展,农田水利建设进展缓慢。社会主义新中国的建立,为我国农田水利事业的发展开创了无限广阔的前景。建国四十多年来,我国农田水利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。水利资源也得到初步开发,截至 1990 年为止,全国建成了大中小型水库 83387 多座,总蓄水库容 4660 亿 m^3 ;全国机井已建成 273 多万眼;机电排灌动力从解放初的 6.7 万 kW,增长到 6805 万 kW。全国现有灌溉面积为 7.2 亿亩,居世界首位,比 1949 年的 2.4 亿亩增加了两倍;其中 30 万亩以上的灌区有 144 处,万亩以上的灌区有 5198 处。全国推广管道输水的灌溉面积已达 5000 余万亩,实行井渠结合灌溉的面积达到 3000 余万亩,喷灌面积 1000 余万亩。全国 3.5 亿亩低洼易涝耕地中,约有 2.78 亿亩得到了治理;得到改良利用的盐碱地面积达到 7493 万亩,约占全国盐碱化耕地面积的 66%。此外,还改善和开发了牧区 11.0 万 km^2 的缺水草场。由于进行了这些工作,在占全国总耕地 2/5 的灌溉土地上,生产着约占全国总产量 2/3 的粮食。农田水利建设不仅为中国农业生产的物质基础,也是我国国民经济建设的基础产业。

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农田水利工程,如有灌溉面积超过一千万亩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,装机容量超过四万千瓦的江苏省江都排灌站;总扬程高达 700m 以上的甘肃省景泰川二期抽灌站;以及流量超过 $15\text{m}^3/\text{s}$ 、净扬程达 50m 的湖北省青山水轮泵站等等。此外,还新建了一些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。

我国农田水利建设的蓬勃发展,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,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,还发展了联圩并垸,撇洪改河和留湖滞涝的经验。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,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。特别是近年来,灌溉排水新技术在我国有了较大发展,如喷、滴灌技术,暗管排水和低压管道输水,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;而在农田灌排基本理论的研究方面,例如土壤水、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,建国四十多年来,我国的农田水利建设取得了很大成绩,对抗御旱涝灾害,改良土壤、发展农业和林牧业等生产起了重大作用。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。实现农田水利现代化,把农田水利事业推向新的高度,是我们面临的重要任务。

二、世界灌溉与排水的发展概况

农田水利这一古老工程技术可以远溯至新石器时代。从世界范围而言,有文字记载的最早的灌溉工程,是公元前3400年左右美尼斯王朝修建在埃及孟菲斯城附近截引尼罗河洪水的淤灌工程。约公元前2200年巴比伦在底格里斯和幼发拉底河河谷建造了当时世界上规模最大的奈赫赖万灌溉渠道。中国、印度、古罗马、古波斯等国的灌溉,起源也都很早。公元前2500年左右,印度就有引洪淤灌,到20世纪30年代,印度开始应用现代工程技术修建大型自流灌溉工程,同时发展小型提水灌溉与井灌。伊朗、叙利亚、意大利等国的灌溉,也有几千年的历史,其中伊朗和亚美尼亚等国,且以坎儿井众多闻名。19世纪中叶,在美国西部大盐湖河谷地带,开始了移民垦殖,发展灌溉。20世纪初,美国联邦政府开始在西部17州进行以灌溉为主的水利综合开发,1985年全美喷灌面积达1.34亿亩,占其总灌溉面积(3.64亿亩)的37%。前苏联的灌溉农业也有较长的历史,公元前6世纪阿姆河和锡尔河流域就开始了灌溉,十月革命后,灌溉事业有了较大的发展,主要灌区集中在中亚细亚。

全世界灌溉面积1950年为9600万公顷,1985年为2.2亿公顷,增加1.2倍。灌溉面

积占耕地面积的比例由 1950 年的 7% 增加到 1985 年 16%，灌溉农田的农产品产值约占全部农产品产值的一半。世界上灌溉面积最多的国家为中国，其次为印度、美国、苏联和巴基斯坦（见表 0-1）。欧洲西部一些国家，因雨量较丰沛，且分布较均匀，灌溉设施一般较少。据预测，全世界人口到 21 世纪中叶，将增加 47%，而耕地只能增加 4%，为满足未来对粮食的需求，主要靠提高单位面积产量，因此，发展灌溉仍将是今后发展农业的重要措施之一。今后世界灌溉发展的趋势是：①灌溉方法仍将以地面灌溉为主，喷、微灌面积会有较大的发展；②为提高灌溉水的利用系数，缓解水资源紧缺程度，衬砌渠道、管道输水和非充分灌溉等节水灌溉技术将日益发展；③改进灌溉管理，提高自动化程度。电子计算机，激光、红外线遥测、遥控等新技术将广泛地得到应用。

关于国外排水事业，在公元前 5 世纪中叶，希腊历史学家希罗多德曾记载了尼罗谷的排水工程。荷兰的农田排水历史悠久，在世界上享有盛名，它是与围海造地联系在一起的。荷兰低于海平面的面积，约占国土的 1/4，排除渍水和控制地下水位是荷兰农田排水的主要任务，其暗管排水技术在世界上处于领先地位。英国的排水，始于 13 世纪，17 世纪初首先使用鼠道式暗管，19 世纪中叶，发明了挖沟机等。近一百年来，世界上不少国家由于灌区急剧发生土壤次生盐碱化问题，进一步推动了排水事业的步伐。埃及于 1909 年后，大力发展深沟排水，解决了棉田的盐碱化问题。美国于 1849~1850 年建立了沼泽地法案，广泛开展了农田排水，到 1960 年，排水面积达 4100 万公顷。日本大规模地发展排水事业，起始于 20 世纪 50 年代初期；到 80 年代中期，暗管排水面积已达水田排水面积的 1/3，农田排水工程施工基本上已实现了机械化，大部分排水系统的闸、站建筑物，都实现了管理自动化，做到了雨量、水位、流量和水质等遥测和遥控。在其它工业发达的国家里，目前也多实现了排水工程的施工和管理的现代化。

三、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有关地区水情的变化规律及其调节措施、消除水旱灾害和利用水资源为发展农业生产而服务的科学。农田水利在英、美等国称之为灌溉排水，原苏联称之为水利土壤改良。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。农田水分的不足或过多，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有：

（1）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；

（2）排水措施 即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。在易涝易碱地区，排水系统还有控制地下水位和排盐作用。控制地下水位对增产的重要性，近年来已越来越被人们所认识和重视。

在调节农田水分状况方面需要研究的问题是：

1) 研究农田水、盐运动规律，探求土壤、作物和水分、盐分之间的内在联系，以指导排灌和改造中、低产田（包括盐碱地和冷浸田等），控制适宜的土壤水分和地下水位，促进

农业高产、优质、高效。

表 0-1 世界部分国家的灌溉面积统计表 (1990 年数字)

国 家	项目	耕地面积(万亩)	灌溉面积(万亩)	灌溉面积占耕地(%)
印 度		248100	64575	26.0
美 国		281821.5	35652	12.6
前 苏 联		337650	31822.5	9.4
巴基斯坦		30450	24750	81.3
印度尼西亚		24000	11400	47.5
伊 朗		21150	8625	40.8
墨 西 哥		34725	7770	22.4
泰 国		28500	6450	22.6
西 班 牙		23340	5055	21.7
罗马尼亚		14175	4824	34.0
意 大 利		13647	4680	34.3
孟 加 拉		13279.5	4399.5	33.1
日 本		6181.5	4270.5	69.1
阿 富 汗		11865	4140	34.9
巴 西		75600	4050	5.4
伊 拉 克		7875	3825	48.6
土 耳 其		37320	3555	9.5
埃 及		3495	3495	100.0
苏 丹		19245	2850	14.8
澳大利亚		77111.5	2850	3.7
越 南		8535	2760	32.3
阿 根 廷		37500	2520	6.7
菲 律 宾		6825	2340	34.3
朝 鲜		2550	2310	83.5
韩 国		2925	2032.5	69.4
摩 洛 哥		13069.5	1905	14.6
智 利		6405	1897.5	29.6
保加利亚		5784	1894.5	32.8
秘 鲁		5100	1890	37.0
希 腊		4306.5	1800	41.8
法 国		26983.5	1755	6.5
南 非		18540	1692	9.1
緬 甸		14350.5	1500	10.4

注 本表数据主要摘自联合国粮农组织 1991 年生产年鉴,美国灌溉面积采用美国《灌溉杂志》上 1991 年的数据。

2) 研究节水灌溉的技术和理论。灌溉节水是充分利用水资源、提高灌溉效益,促进农业进一步发展的重要措施,在水资源并不丰富的我国,特别是严重缺水的北方,对此已得

到了普遍重视,并已开展了以下各种节水灌溉技术的试验研究和实施推广,如渠道防渗、低压管道输水、喷灌、滴灌、微灌、膜上灌、节水灌溉制度、井渠结合灌溉、以及工程节水与农业节水相结合的措施等。但是各种节水灌溉措施都有一定的适用条件,在不同地区和不同情况下应采取哪种或哪些措施,还缺乏深入研究;而且每一种节水灌溉技术和节水灌溉理论,例如非充分灌溉(又称限额灌溉)的节水理论、高产省水的作物需水规律和作物水分生产函数等,都有待进一步开展试验研究加以充实提高。

3) 研究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。目前国外灌排系统的发展趋势是地下管道化。暗管排水和低压管道输水在我国有些地区也有一定的发展,但地下排灌面积还不到耕地面积的5%。因此如何进一步提高地下排灌理论,发展灌排新技术、寻求合适的管材和降低费用等,亟待研究。

4) 研究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。目前我国主要依靠人力施工,与技术先进的国家相比,差距很大,今后应在发展运输、浇筑、凿岩和机电排灌等机械的同时,研究发展开沟、衬砌、铺管等各种专用机械,以逐步实现农田水利施工机械化。

5) 研究灌排系统管理。加强灌排系统管理工作是当前首要任务之一,管理好坏直接影响灌排工程效益的发挥,因此必须针对当前灌排系统实际存在的问题,改革管理体制,研究切实的工程管理和用水管理措施,做到适时适量灌水、及时排水和控制地下水位、减少渠道渗漏,防止次生盐碱化,充分发挥工程效益。除少数试点外,我国目前尚无完善的自动化灌排系统。今后须加强遥测,遥控等自动化管理新技术的研究,实现灌排管理现代化。

6) 研究系统工程和电子计算技术在灌排水方面的应用,提高灌排工程规划设计和运行管理的技术水平。

(二) 改变和调节地区水情

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,农田水利措施不仅限于改变和调节农田本身的水分状况,而且要求改变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。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,供水与需水在时间和空间上亦常不一致,时旱、时涝或涝旱交替出现。这是影响农业高产稳产的一个重要原因,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,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,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)的分布状况,通过蓄水措施可以减少汛期洪水流量,避免暴雨径流向低地汇集,可以增加枯水时期河水流量以及干旱年份地区水量贮备。

(2) 调水、排水措施 调水排水措施主要是通过引水渠道,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。用水时期借引水渠道及取水设备,自水源(河流、水库、河网、地下含水层等)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和引黄济青工程及拟建的长江水北调工程等，都是调水工程的典型例子。汛期某一地区水量过多时，则可通过排水河道将多余水量调送至地区内部的蓄水设施存蓄，或调送至水量较少的其他地区，我国许多减河和分洪工程，即属此类。

据统计，全国江河正常年径流量有 26140 亿 m^3 ，而已建工程可控制的地表水占地面水资源总量的比例很小，不少地区的地下水尚待开发，故水资源的潜力还很大。但是另一方面，为实现四个现代化，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，研究最有效地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) 在深入调查水量供、需情况的基础上，研究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，解除洪涝威胁，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，都是要认识自然规律，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和技术上解决农田水利现代化中出现的新问题，把农田水利科学技术不断推向前进。

第一章 农田水分状况和土壤水分运动

农田水分状况系指农田地面水、土壤水和地下水的多少及其在时间上的变化。一切农田水利措施，归根结底都是为了调节和控制农田水分状况，以改善土壤中的气、热和养分状况，并给农田小气候以有利的影响，达到促进农业增产的目的。因此，研究农田水分状况对于农田水利的规划、设计及管理工作的意义。

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汽态水、吸着水、毛管水和重力水等。

(1) 汽态水 系存在于土壤空隙中的水汽，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。

(2) 吸着水 包括吸湿水和薄膜水两种形式：吸湿水被紧束于土粒表面，不能在重力和毛管力的作用下自由移动；吸湿水达到最大时的土壤含水率称为吸湿系数。薄膜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；薄膜水达到最大时的土壤含水率，称为土壤的最大分子持水率。

(3) 毛管水 毛管水是在毛管作用下土壤中所能保持的那部分水分，亦即在重力作用下不易排除的水分中超出吸着水的部分。分为上升毛管水及悬着毛管水，上升毛管水系指地下水沿土壤毛细管上升的水分。悬着毛管水系指不受地下水补给时，上层土壤由于毛细管作用所能保持的地面渗入的水分(来自降雨或灌水)。

(4) 重力水 土壤中超出毛管含水率的水分在重力作用下很容易排出，这种水称为重力水。

在这几种土壤水分形式之间并无严格的分界线，其所占比重视土壤质地、结构、有机质含量和温度等而异。可以假想在地下水面以上有一个很高(无限长)的土柱，如果地下水位长期保持稳定，地表也不发生蒸发入渗，则经过很长的时间以后，地下水面以上将会形成一个稳定的土壤水分分布曲线。这个曲线反映了土壤负压和土壤含水率的关系，亦即是土壤水分特征曲线(见图 1-1)，这一曲线可通过一定试验设备确定。在土壤吸水 and 脱水过程中取得的水分特征曲线是不同的，这种现象常称为滞后现象。曲线表示吸力(负压)随着土壤水分的增大而减少的过程。在曲线中并不能反映水分形态的严格的界限。

根据水分对作物的有效性，土壤水也可分为无效水、有效水和过剩水(重力水)。吸着水紧缚于土粒的表面，一般不能为作物所利用。低于土壤吸着水(最大分子持水率)的水分为无效水。当土壤含水率降低至吸湿系数的 1.5~2.0 倍时，就会使植物发生永久性凋萎现

象。这时的含水率称为凋萎系数。不同土质，其永久凋萎点含水率是不相同的。相应的土壤负压变化于 $7 \sim 40 \times 10^5 \text{Pa}$ ($10^5 \text{Pa} = 1 \text{巴} = 0.987 \text{大气压}$) 之间，一般取为 $15 \times 10^5 \text{Pa}$ 。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。重力水在无地下水顶托的情况下，很快排出根系层；在地下水位高的地区，重力水停留在根系层内时，会影响土壤正常的通气状况，这部分水分有时称为过剩水。在重力水和无效水之间的毛管水，容易为作物吸收利用，属于有效水。一般常将田间持水率作为重力水和毛管水以及有效水分和过剩水分的分界线。在生产实践中，常将灌水两天后土壤所能保持的含水率叫做田间持水率。相应的土壤负压约为 $0.1 \sim 0.3 \times 10^5 \text{Pa}$ 。由于土质不同，排水的速度不同，因此排除重力水所需要的时间也不同。灌

水两天后的土壤含水率，并不能完全代表停止重力排水时的含水率。特别是随着土壤水分运动理论的发展和观测设备精度的提高，人们认识到灌水后相当长时间内土壤含水率在重力作用下是不断减少的。虽然变化速率较小，但在长时间内仍可达到相当数量。因此，田间持水率并不是一个稳定的数值，而是一个时间的函数，田间持水率在农田水利实践中无疑是一个十分重要的指标，但以灌水后某一时间的含水率作为田间持水率，只能是一个相对的概念。

二、旱作地区农田水分状况

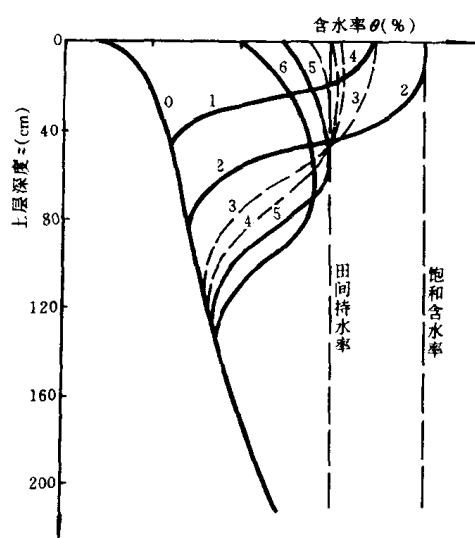


图 1-2 降雨(或灌水)后不同深度土层的湿润过程示意图

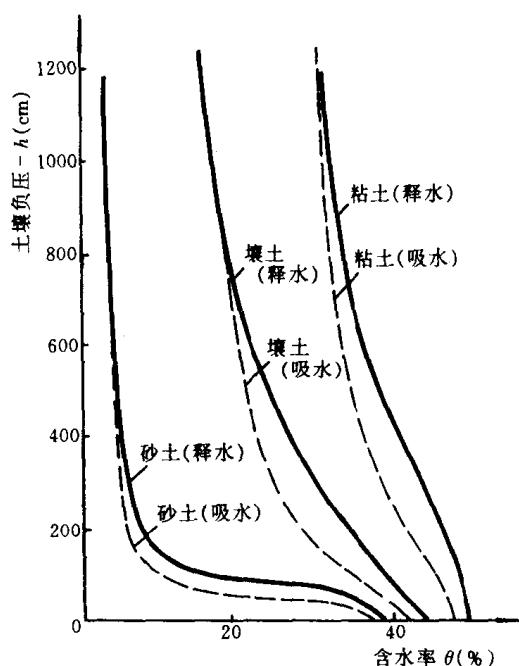


图 1-1 土壤水分特征曲线示意图

旱作地区的各种形式的水分，并非全部能被作物所直接利用。如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。通常地面不允许积聚水量，以免造成淹涝，危害作物。地下水一般不允许上升至根系吸水层以内，以免造成渍害，因此，地下水只应通过毛细管作用上升至根系吸水层，供作物利用。这样，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)，地面水逐渐向土中入渗，在入渗过程中，土壤水分的动态约如图 1-2 所示。从