



普通高等教育“十二五”规划教材

# 农田水利学

主 编 王春堂

副主编 王光辉 董 涛 刘 腾



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

# 农田水利学

主 编 王春堂

副主编 王光辉 董 涛 刘 腾



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材,除绪论外,共分十章,其内容包括:农田水分状况与土壤水分运动,作物需水量和灌溉用水量,灌水方法,地面灌溉,喷灌,局部灌溉,低压管道输水灌溉,田间排水,排水沟道系统,灌排系统等。本书除包含农田水利工程的基础理论外,还加入了近年来国内外的最新研究成果,如节水灌溉理论技术与应用等。

本书可作为高等学校水利水电工程、农业水利工程、农业水土工程和水文学与水资源工程等专业的教学教材,同时也可供同类专业工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

农田水利学 / 王春堂主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014.5  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-2010-3

I. ①农… II. ①王… III. ①农田水利—高等学校—教材 IV. ①S27

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第098865号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 <b>农田水利学</b>
作 者	主编 王春堂 副主编 王光辉 董涛 刘腾
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
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 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	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 21.25印张 504千字
版 次	2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>42.00元</b>

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

# 前言

本教材根据普通高等教育“十二五”规划教材编写要求编写，编写过程中，本着继承发扬的原则，充分注意反映我国农田水利建设中的经验、学科发展成就和发展前景，尽可能地反映本学科的新知识、新技术、相关技术要求与国家规范、行业标准，并结合面向新时代课程体系和教学内容的改革，突出理论知识与工程实践的结合，针对我国水资源极其短缺的严峻形势，应大力推广节水灌溉技术，增加了土壤含水率及其测定方法、作物需水规律、喷灌、微灌、低压管道输水灌溉、波涌流灌溉、覆膜灌溉技术等内容，工程的规划设计以及有关内容，按最新规范、行业标准编写，注重学生的综合素质与应用能力的培养，力求体现理论依据充分、基础扎实、方法实用等特色，方便问题的分析研究。

在2011年中央一号文件中，中央首次系统部署水利改革发展全面工作决定，社会经济建设急需大力发展水利，我国水利事业方兴未艾。本教材具有较强的针对性和使用性，可作为水利水电工程、水利工程、农业水利工程、农业水土工程、水文水资源工程等专业学生的教材，也可以作为水利类专业人员的培训教材。

全书共十章，主要介绍农田水分状况与土壤水分运动、作物需水量和灌溉用水量、灌水方法、地面灌溉工程技术、喷灌工程技术、微灌工程技术、低压管道输水灌溉工程技术、田间排水、排水沟道系统等内容。全书以灌溉排水理论及其工程规划设计为主线，系统地阐述相关知识的基本原理、基本方法。

参加本书编写的有王春堂（绪论、第二、四、五、六、七、九章），王光辉（第三、四、八章），董涛（第五、六、十章），刘腾（第一、四、九章），马向前（第一、二章），刘向坤（第三、十章），孙庆磊（第六、八章），潘保存（绪论、第七章）。全书由王春堂主编，并负责统稿，由王光辉、董涛、刘腾担任副主编。

在编写过程中，参考借鉴了有关教材、资料 and 科技文献，得到了有关院校和生产单位的热情协助，在此一并表示感谢。

由于本课程涉及知识面广，限于编者水平和时间紧迫，书中错误和不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2013年10月

# 目 录

前言	
绪论	1
第一节 我国的农田水利事业	1
第二节 农田水利学的研究对象和基本内容	7
第一章 农田水分状况与土壤水分运动	14
第一节 农田水分状况	14
第二节 土壤水分运动	23
第三节 土壤—作物—大气连续体水分运动的概念	36
第二章 作物需水量和灌溉用水量	39
第一节 作物需水量	39
第二节 作物充分灌溉制度	58
第三节 作物非充分灌溉制度	77
第四节 灌水率及灌溉用水量	85
第三章 灌水方法	94
第一节 灌水方法分类及适用条件	94
第二节 对灌水方法的要求	97
第四章 地面灌溉	99
第一节 地面灌溉及其灌水质量指标	99
第二节 畦灌	106
第三节 沟灌	118
第四节 波涌流灌溉	126
第五节 格田灌溉	137
第六节 灌溉渠道系统	137
第五章 喷灌	184
第一节 概述	184
第二节 喷灌系统的组成与分类	185
第三节 喷灌的主要技术指标	189
第四节 喷头的种类及工作原理	193

第五节	喷头的结构参数及工作参数	196
第六节	喷灌系统规划设计	199
<b>第六章</b>	<b>局部灌溉</b>	<b>209</b>
第一节	微灌	209
第二节	渗灌	225
第三节	覆膜灌溉	227
<b>第七章</b>	<b>低压管道输水灌溉</b>	<b>240</b>
<b>第八章</b>	<b>田间排水</b>	<b>264</b>
第一节	农田渍涝原因、排水标准与方法	264
第二节	田间排水工程规划	271
<b>第九章</b>	<b>排水沟道系统</b>	<b>293</b>
第一节	排水沟道系统的规划布置	293
第二节	排水流量计算	298
第三节	设计内、外水位的选择	306
第四节	排水沟断面设计	309
第五节	承泄区整治	314
<b>第十章</b>	<b>灌排系统管理</b>	<b>316</b>
第一节	灌溉用水管理	317
第二节	灌区信息化	325
第三节	排水管理	330
<b>参考文献</b>		<b>332</b>

# 绪 论

## 第一节 我国的农田水利事业

### 一、我国水资源概况

水是生命之源、生产之要和生态之基。兴水利、除水害，事关人类生存、经济发展以及社会进步，历来是治国安邦的大事。水资源是维系生态与环境可持续发展的控制性要素，实现水资源的可持续利用，保障社会经济的可持续发展，是世界各国共同面临的重要问题。

我国位于亚欧大陆东侧，濒临太平洋，国土面积 960 万  $\text{km}^2$ ，耕地面积为 18.24 亿亩。我国地域广阔、地形复杂、气候多样。人均占有水土资源量远远低于世界平均水平。我国是一个水资源短缺、水旱灾害频繁发生的国家。根据全国水资源评价报告：我国可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均年水资源总量为 2.7 万亿  $\text{m}^3$ ，居世界第 6 位。但按 2002 年人口统计，我国人均水资源占有量只有 2200 $\text{m}^3$ ，仅为世界平均水平的 1/4 左右，大约是美国的 1/5，加拿大的 1/50，居世界第 109 位，被列为世界 13 个贫水国家之一。而且受季风气候和地形条件的影响，水资源时空分布极不均衡。全国大部分地区每年汛期连续 2~4 个月的降雨量占全年的 60%~80%，往往造成汛期洪水成灾，其他月份往往形成干旱。

由于各地自然特点不同，发展农业的水利条件也有较大差异。中国南方水多，北方水少。秦岭山脉和淮河以南，通称南方，年降雨量一般为 800~2000mm，无霜期一般为 220~300d，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。干旱地区年降雨量少，仅为 100~200mm，有的地方几乎终年无雨，而年均蒸发量为 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。

目前在农田水利方面突出的问题是水土资源组合的不平衡性，例如：全国有 45% 的土地面积处于降水量少于 400mm 的干旱少水地带；全国河川径流量，直接注入海洋的外流河水系占 95.8%，内陆河水系占 4.2%，而内陆水系面积占全国总面积的 36%；长江流域和长江以南水系的径流量占全国的 82%，但耕地面积只占全国耕地面积的 36%；黄、淮、海三大流域，年径流量占全国的 6.6%，但耕地面积却占全国耕地面积的 38.6%，水土资源分布相差悬殊。由于降水量在年内及年间分配不均，以及水土资源组合不平衡等，造成我国水旱灾害出现频繁和农业生产不稳定。人多水少，水资源时空分布不均，水土资源与经济社会发展布局不相匹配，干旱缺水、洪涝灾害等是我国需要面对和解决的严重问题。但我国一些地区，一方面水资源贫乏，另一方面对现有水资源的利用率不高、保护不够、浪费严重的现象又普遍存在。水资源短缺是许多地区发展长期面对的问题，已成为影响国民经济发展的突出问题。

随着经济发展、人口增加、城市化发展，农田水利事业面临着严重的挑战：

(1) 洪涝灾害依然是中华民族的心腹之患。我国有大约 42% 的人口、30% 的耕地，数百座城市以及大量的重要基础设施和工矿企业都分布在主要江河的中下游地区，受到洪水威胁。

(2) 干旱频繁，水资源短缺突出。我国北方还普遍存在不同程度的地下水超采问题。

(3) 工业和城市用水增长较快，挤占灌溉用水趋势加剧。

(4) 水土流失严重。导致土地退化、生态恶化；造成河道、湖泊泥沙淤积，加剧了江河下游地区的洪涝灾害，牧区草原沙化严重。

(5) 水污染尚未得到有效控制，相当一部分水源污染，水质不达标，影响人民群众的生命健康。

近年来，我国频繁发生的严重水旱灾害，造成了重大的生命财产损失，暴露出农田水利等基础设施十分薄弱，必须大力加强水利建设。科学地合理的水资源开发利用规划，促进经济长期平稳较快发展和社会和谐稳定，夺取全面建设小康社会新胜利，必须下决心加快水利发展，切实增强水利支撑保障能力，实现水资源可持续利用。

## 二、我国的农田水利事业

农田水利是水利工程类别之一，农田水利是直接为农业生产服务的，是农田基本建设的重要组成部分。它的基本任务是研究农田水分状态及其变化规律，通过各种工程及管理措施来调节和改变农田水分状况及其地区的水利条件，合理利用水土资源，消除水旱灾害，为发展农业生产服务的科学。

特定的自然条件决定了防洪、灌溉和排水等水利工作在中国经济社会发展、生态和环境保护中有着十分重要的地位和作用。农业是国民经济的基础，水利是农业的命脉，农业是安天下、稳民心的战略产业。搞好农业是关系到我国经济建设高速发展的全局性问题。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。几千年

来,中国的农业发展史,也就是发展农田水利、克服旱涝灾害的斗争史,中华民族灿烂悠久的文明史,就是一部除水害、兴水利的历史。正是由于我们的祖先与水旱等自然灾害的不懈斗争,才使中华民族获得了基本的生存条件,为古老的中华文明发展奠定了物质基础。

中国治水的历史源远流长,“治国必治水”,成为历代有识之士的共识。广为传颂的大禹治水的故事,反映古人靠自己的智慧、力量和不屈不挠的精神,与洪水进行顽强的抗争,并最终战胜了洪水。从大禹治水至今,我国农田水利事业的发展已有 5000 多年历史。早在夏商时期,黄河流域一带就有了一些比较原始的农田水利工程,并出现了拦截径流用于灌溉的“沟洫”。春秋战国时期已经有了规模较大的渠系工程,如公元前 6 世纪在今安徽寿县南面修建的我国最早的灌溉水库——芍陂(现名安丰塘);公元前 4 世纪在今河北临漳开挖的引漳十二渠;公元前 3 世纪在四川兴建的我国古代最大的灌溉工程都江堰,使成都平原从此“水旱从人,不知饥馑”,成为“天府之国”,经过历代修缮,至今仍发挥着巨大效益,成为世界著名的文化遗产。其规划思想、工程设施及管理措施都很符合现代科学理论,是我国古代最成功的农田水利工程。就其历史之悠久、技术水平之高、社会影响之大,已作为民族的骄傲闻名于世。公元前 246 年修建的郑国渠,它西引泾水东注洛水,长达 300 余里,灌溉面积号称 4 万顷。于公元前 214 年凿成通航的灵渠,是世界上最古老的运河之一,有着“世界古代水利建筑明珠”的美誉。都江堰、郑国渠、灵渠称为我国“秦代三个伟大水利工程”,有“世界奇观”之称。此外,京杭大运河、海塘工程等大批水利工程,其他如遍布南方地区的塘坝工程,北方地区的水井、水车,西北地区坎儿井、天车等,在历史上对于经济社会发展起到了至关重要的作用,有的至今仍在造福人民、发挥着效益。在过去都曾经为我国人民在与干旱作斗争中发挥了历史性的作用。

新中国建立 60 多年来,水利事业得到了国家高度重视,把水资源作为实现中国可持续发展的重要战略资源,采取一系列政策和措施来促进防洪和灌溉、排水事业的发展,进入了一个快速发展时期。新中国进行了三次大规模农田水利建设。第一次:1958 年前后到 20 世纪 60 年代中期。以兴建水库拦蓄地表水源、提高河道防洪能力、发展灌溉农田为主,建成了一大批水利工程,为新中国水利的发展打下了基础。灌溉面积从 1949 年的 2.4 亿亩增加到 1965 年的 4.8 亿亩,翻了一番,粮食产量从 1100 亿 kg 增加到 1900 亿 kg,上了一个大台阶。第二次:20 世纪 70 年代。北方地区打井开发利用地下水,发展井灌,南方地区依靠机电排灌技术,扩大灌溉面积,增加除涝面积。灌溉面积从 1965 年的 4.8 亿亩增加到 1980 年的 7.3 亿亩,粮食产量从 1965 年的 1900 亿 kg 增加到 1980 年的 3200 亿 kg,连续上了 3 个台阶,基本扭转了南粮北运的局面。第三次:20 世纪 90 年代。以大力推广节水灌溉为重点,对大型灌区进行以节水为中心的续建配套和改造,对中低产田进行农业综合开发改造,特点是从外延为主转向内涵为主,加强经营管理,提高用水效率。1999 年与 1990 年比,净增灌溉面积 8000 万亩,改善灌溉面积 6.6 亿亩,新增和改善除涝面积 1.5 亿亩,粮食产量从 4462 亿 kg 增加到 5000 多亿 kg。

截至 2012 年,我国已累计建成江河堤防近 30 万 km,水库 8.78 万座、总库容 7162 亿 m<sup>3</sup>,重点蓄滞洪区 94 处,初步形成了七大江河防洪工程体系。同时,对一大批病险水库进行了除险加固,防洪减灾能力明显提高;全国年供水能力超过 7000 亿 m<sup>3</sup>,其中,全

国城镇供水能力总计 4.2 亿  $\text{m}^3/\text{d}$ ，用水人口 7.26 亿人，管网长度 125.76 万 km，年供水总量 714 亿  $\text{m}^3$ ；农田有效灌溉面积达 9 亿亩，居世界首位，其中 667  $\text{hm}^2$  以上灌区达到 5800 处，有效灌溉面积 2551 万  $\text{hm}^2$ （含有效灌溉面积 2 万  $\text{hm}^2$  以上大型灌区 280 处，有效灌溉面积 1377 万  $\text{hm}^2$ ），节水灌溉面积已占有效灌溉面积的 37.6%。机电排灌面积达到 3733 万  $\text{hm}^2$ ，其中提灌面积 3320 万  $\text{hm}^2$ ；建成配套机电井 418 万眼，井灌面积 1640 万  $\text{hm}^2$ ；易涝耕地及盐碱耕地进一步得到治理，全国原有的易涝耕地 2447 万  $\text{hm}^2$ ，已有 2107 万  $\text{hm}^2$  得到不同程度的治理；农业灌溉水有效利用率提高到 50%，在占耕地面积一半的有效灌溉面积上，生产了占全国 75% 的粮食和 90% 以上的经济作物。我国以占世界 6% 的淡水资源、9% 的耕地，保障了约占全球 1/5 人口的吃饭问题，为世界粮食安全作出了突出贡献。

近 10 年，全国累计初步治理水土流失面积近 110 万  $\text{km}^2$ ，带动全国实施坡改梯面积近 500 万亩。全国有 1.5 亿群众从水土保持治理中直接受益，2000 多万山丘区群众的生计问题得以解决；城市污水处理率达 45%，预计到 2015 年将达到 85%；水电装机容量已经增加到 2.3 亿 kW。我国目前水情旱情监测预报能力已达到了较高水平，处于世界领先地位。目前全国有 2 万多处水文站点和 8000 多个报讯站点。同时微波、通信、光缆等通信手段也比以前发达了，开发了一系列先进的监测预报系统，开发的洪水预报模型、水库调度模型等各种模型也比较成熟和实用，精度较高。

多年来，我国的农田水利建设，创造和积累了丰富的建设经验。在农田水利科学技术研究与推广方面也取得了新的进展。

### 1. 学科领域扩大，应用基础理论研究更加深入

(1) 农田水利学科围绕着现代农业的发展，不断向节水、高效、环保的领域扩展，作物高効用水生理调控、作物水分信息采集与精量控用水、劣质水高効安全应用等技术成为新时期农田水利学科研究的热点。

(2) 应用基础理论研究不仅由单纯的土壤水分调控研究转向“土壤—植物—大气”连续体水分运移规律的研究，而且把水分运移规律与养分、水热、化学物质的运移结合起来进行研究，为提高水分养分利用效率提供了理论基础。

(3) 更加重视局部灌溉和不同农业耕作条件下的水分养分运移规律的研究。这些都为深入开展农业节水领域的研究由实验统计性质转变为具有较严谨理论体系和科学定量方法奠定了良好基础。

### 2. 研究和开发出成批节水新材料、新设备

研制完成多种节水节能灌溉新设备，多种产品实现产业化。在节水新材料的研究上，提出了适合“U”形渠道衬砌构件适宜的混凝土配合比，选用焦油塑料胶泥条和遇水膨胀橡胶止水条作为预制衬砌渠道伸缩缝材料，较好地解决了渠道接缝渗漏问题。

### 3. 农业节水新技术发展迅速

#### (1) 节水灌溉技术取得新进展。

1) 引黄高含沙水滴灌技术：研究提出工程技术措施与过滤系统相结合的过滤模式，结合抗堵塞性能强的平面迷宫式滴头和相应的大田粮食作物滴灌制度及运行管理技术，形成完整的引黄高含沙水滴灌技术体系。

2) 膜下滴灌技术: 滴灌与覆膜技术结合, 将水、肥、农药等通过滴灌设施直接作用于作物根系, 加上地膜覆盖, 减少棵间蒸发, 取得了显著的节水与经济效益。

3) 地面灌溉新技术: 开展了对激光控制土地精细平整技术的田间应用研究, 提出了水平畦田灌溉系统的设计方法、灌水设计参数及相应的田间工程布局模式; 对波涌流灌溉、覆膜灌溉技术进行了理论与技术要素的试验研究。另外, 在控制性分根交替灌溉技术方面也取得了新进展。

4) 田间灌溉自动化技术: 研究开发出智能式全自动喷灌系统、电子自控配水系统—新型智能 IC 卡控制阀、无人值守的全自动化灌溉技术等。

(2) 节水工程技术取得新进展。

1) 大型灌区是我国粮食安全的重要保障。从 1998 年起国家发展和改革委员会、水利部重点组织实施了大型灌区的续建配套节水改造项目。项目区的渠道基本没有跑、冒、滴、漏现象, 渠道输水能力、用水效率大幅度提高, 保证了灌区用水, 缓解了农业用水的紧张矛盾。

2) 在对不同形式和使用要求的刚性护面渠道冻胀破坏机理研究的基础上, 提出了渠道刚性衬砌防冻胀破坏的内力计算与结构设计方法, 并筛选出新型抗冻胀、防渗输水技术和先进实用的施工技术, 形成了渠道抗冻胀、防渗高效输水技术集成模式。

3) 低压管道输水田间闸管系统改进了材料配方, 实现原料国产化, 研制与低压管道输水配套的波涌波灌溉设备, 提出适于不同灌区的系列化产品。

4) 井渠结合灌区采取干支渠防渗衬砌, 斗农渠采用土渠输水加大汛期拦蓄降雨入渗量, 结合相应的畦田规格获得较好的引洪补源效果。

(3) 节水高效灌溉与非充分灌溉的水肥耦合技术研究取得新进展。

1) 在节水高效灌溉制度方面: 明确了冬小麦、夏玉米、棉花 3 种作物的节水高效灌溉决策模型, 提出了节水高效的灌溉模式、经济灌溉模式与调亏灌溉指标, 形成了调亏灌溉的成套技术(调亏时期、土壤含水量下限和调亏灌溉制度)。

2) 在节水灌溉与农业综合技术方面: 提出了不同节水灌溉条件下的水肥耦合及调配施肥技术, 间套作格式、耕作措施的优化与改进技术, 农田覆盖及配套灌水、施肥技术, 间套种植下不同灌水方式结合应用技术等。

(4) 节水管理技术与水资源的合理开发技术逐步提高。

1) 井灌区从加强雨洪利用入手, 制定地下水开发与保护策略, 形成了井灌区地下水采补平衡的水资源高效利用综合技术。

2) 水库灌区建立了流域水资源优化调度数学模型, 对灌区水资源进行合理配置, 优化调度, 有效提高了供水保证率。

3) 雨水汇集及坡地径流资源化综合小流域水资源综合调配, 形成了雨水汇集、引导、储存、合理利用的坡地径流资源化综合技术措施。

4) 在多灌溉水源地区, 实现了向农田供水分散水源的集中控制、统一调度, 实现有限水资源的高效利用, 提高了灌溉保证率。

5) 配水技术在墒情监测和灌溉实时预报模型手段上有了较大改进, 将随机方法及神经网络法用于源泉出流及作物蒸发蒸腾模型, 模型计算时间短, 预测精度大大提高。

#### 4. 农田生态保护、区域中低产田治理和南方的涝渍治理技术继续得到提高

以西部内陆河流域区农田生态保护为主要目标开展的“叶尔羌河平原绿洲四水转化关系研究”和“塔里木河干流整治及生态环境保护研究”开创了在内陆干旱区从水资源转化角度出发、以土壤水为中心研究水资源合理利用的先例，把水资源开发利用与生态平衡和环境保护紧密结合，对于内陆干旱区与类似地区水资源转化和配置利用规划具有重要的指导意义。国家攻关项目“黄淮海平原持续高效农业综合技术研究”，针对该区域中低产田水资源不足、农田肥力差、品种和栽培技术落后、水的利用效率和水分生产率低的特点，采取农水紧密结合的综合技术，对中低产田进行治理，取得了显著的增产增收效益。国家攻关项目“农业涝渍灾害防御技术研究”，针对农田排水工程建设中的关键技术，对涝渍兼治连续控制的动态排水指标、组合排水工程形式及其设计计算方法进行了深入研究，在国内外率先提出了涝渍兼治的连续控制的综合治理思路，建立了作物产量与涝渍综合排水指标的关系模型，在有一定代表性的淮北平原地区应用后取得明显的经济效益。

#### 5. 农业节水专题研究为国家提供宏观决策依据

从2001年开始，由中央农村工作领导小组办公室、水利部牵头，国家发展计划委员会、农业综合开发办公室等单位参加，对《农业节水的战略地位》、《农业用水与农业节水现状》、《21世纪初农业节水的目标与任务》、《农业节水的对策措施》及《国外农业节水发展的现状与启示》等5个专题进行了深入研究，完成了《全国农业节水发展纲要》。同时，《全国节水灌溉发展规划》、《全国灌溉发展规划》、《全国灌溉用水定额》、《21世纪初中国农村水利发展战略》及《大型灌区节水改造策略》等方面的研究也取得阶段性成果。这些研究均着眼全局、着眼长远，不但为农业节水的健康发展奠定了基础，而且为国家发展农业节水提供了可靠的决策依据。

#### 6. 农业节水科技成果示范推广应用取得了显著效益

通过国家攻关项目、国家重大科技产业示范工程项目，在全国开展农业节水工程示范，先后在甘肃、内蒙古、新疆、河北、陕西、北京等地建立了国家农业节水科技产业示范工程示范区和农业节水高科技示范园区。1998年以来，全国建设了600个农业节水增产重点县和1000多个节水灌溉示范项目，建立了近300个旱作节水农业示范基地，对208个大型灌区进行了以节水为中心的续建配套和技术改造。重点推广了渠道防渗、低压管道输水、小畦灌、波涌流灌溉、大田喷灌、滴灌、微喷灌、棉花膜下滴灌及膜上灌等灌溉节水技术，秸秆覆盖、地膜覆盖、旱地龙抗旱剂、保水剂、蒸腾抑制剂、抗旱种衣剂及优良耐旱品种等农业节水技术，有条件的地方发展集雨节灌工程，在南方水稻区，大力推广水稻“薄、浅、湿、晒”等节水栽培技术，探索出多种适合不同类型区的农业节水发展模式和技术体系。

#### 7. 农田水利学科国际科技合作研究进一步加强

2001年，受欧盟科学技术委员会、澳大利亚国际农业研究中心、福特基金会等组织的资助，武汉大学、中国灌溉排水发展中心等单位分别与国际水管理研究院、国际水稻研究所和美国、法国、荷兰、印度等国的大学和科研机构合作开展了“黄河流域节水灌溉策略研究”、“中国节水灌溉技术及其影响研究”、“提高灌区水分生产率研究”、“劣质水利用研究”、“中国灌溉水费政策研究”等，取得了丰硕成果。



近年来,我国按照科学发展观的要求,积极有效地开展了工作,努力保障防洪安全、供水安全和生态安全,水利事业取得了跨越性进展,突出表现在:有效地减轻了洪涝干旱等灾害的损失、水利基础设施建设迈上新的台阶、节水型社会建设取得初步成效以及水土保持和生态保护得到加强等4个方面。到2015年,全面完成水库除险加固任务;全面解决2.98亿农村人口和11.4万所农村学校的饮水安全问题,水利工程新增年供水能力400亿 $m^3$ ,新增农田有效灌溉面积4000万亩;农田灌溉水有效利用系数提高到0.50以上,重要江河湖泊水功能区水质达标率提高到60%以上;新增水土流失综合治理面积25万 $km^2$ ;建立和完善国家水权制度,基本健全水利工程良性运行与管护机制,初步建成有利于水利科学发展的制度体系。“十二五”期间突出加强农田水利建设。加强大中型灌区续建配套节水改造、大型灌溉排水泵站更新改造和小型农田水利建设,增加农田有效灌溉面积,强化农业节水。

## 第二节 农田水利学的研究对象和基本内容

### 一、农田水利学的研究对象

农田水利学是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。农田水利学科涉及水、土壤、作物、大气的相互关系以及工程设施、自然资源和生态环境的相互关系,是一门综合性的应用技术学科。其研究对象主要包括以下两个方面。

#### 1. 调节农田水分状况

农田水分状况一般指大气水、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分输送和分配到田间,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,控制地下水位对作物增产具有重要作用。

调节农田水分状况,需要研究的问题主要有:

(1) 研究农田水分及盐分的运动规律。研究农作物需水、土壤水及其溶质的运动,探求水、土壤、作物和水分、盐分之间的相互关系,用以制定合理的灌排制度;控制适宜的土壤水分和地下水位,调节土壤的水、肥、气、热状况,改良土壤,促进农业高产、优质、高效。

(2) 研究不同类型灌排系统的合理布置。由于地形、水文、土壤、地质和灌溉水源等自然条件不同,农业发展对灌区提出的要求不同,因而各地区不同类型灌区的布置形式也不同。研究各类型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。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。因此,要进一步研究地下排灌理论,发展灌排新技术、寻求合适的管材和降低费用。

(3) 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,并开展了渠道防渗、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各种节水灌溉技术的试验研究和实施推广。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。

(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) 研究灌排系统的运行管理与维修养护。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,加强对水源工程、渠道工程、渠系建筑物等农田水利工程进行的调度、运行、检查、观测、养护维修的管理。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。今后还须加强遥测、遥控等自动化管理新技术的研究,实现灌排管理现代化。

(6) 研究系统工程和数字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。

(7) 农田水利工程项目的经济分析与评价。研究的目的是要以经济效益为指标,对灌排工程规划设计和运行管理等方面的各种方案进行比较和优选,它是研究工程是否可行的前提,也是从经济上选取最优方案的依据。

## 2. 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。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,通过蓄水保水措施可以减少汛期洪水流量,避免暴雨径流向低地汇集,可以增加枯水期河水流量以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、河网和地下水库)引水,以供地区用水。我国已建成的引黄济青、引

滦济津、南水北调等工程，都属于这种类型。在汛期，当某地区水量过剩时，可通过排水河渠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。但是，必须清醒地认识到，我国水资源总量短缺，靠修水库、建调水工程，不能从根本上解决水资源短缺问题，建设节水型社会才是解决我国干旱缺水问题最根本、最有效的战略举措。调水可以解决区域的部分水资源短缺问题，但如果不搞节水型社会建设，人们没有节约水资源的意识，就可能出现调水越多，浪费越严重的情形。

在改善和调节地区水情的措施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，研究制定流域或地区的水资源中长期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，随着水利技术的发展，我国的农田水利建设今后要树立系统全面开发的指导思想，建立按流域综合利用水资源和科学管理的完善体系。实现由工程水利到资源水利的转变，由传统水利向现代水利和可持续发展水利的转变。无论是调节农田水分状况，还是地区水情，坚持科学态度，讲究经济效益。要认识自然规律，总结水利建设的经验，并从理论和技术上解决农田水利现代化中出现的新问题，坚持人与自然和谐相处，进而实现以水资源的可持续利用，保障经济社会可持续发展的目标。推动整个社会走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。

### 二、农田水利学的基本内容

灌溉研究的主要内容有：农田（广义的农田包括粮食与经济作物、草场、园林、蔬菜等一切需要灌溉的农业用地）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）系统的规划布置及设计施工与管理等。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、管理的学科。

排水研究的主要内容有：产生农田水分过多的原因及相应的排水方法；田间排水工程的规划设计；排水输水沟道系统的规划设计、施工、管理和承纳排水系统排出水量的承泄区治理的学科。排水的对象一般有：

(1) 雨涝排水，是在降雨过多，地势低洼的地区形成地面积水，使作物受淹会引起减产时，需要排除地面水。

(2) 防渍排水，雨后地下水位高，土壤过湿，通气不良会引起渍害时，需要降低地下水位的排水。

(3) 沼泽地排水，它是在地下水溢出带，形成苇湖沼泽。进行垦殖前首先要排除地面水，然后还需降低地下水位的排水。

(4) 盐碱地排水，在干旱、半干旱地区，降雨量小，蒸发力强，当地下水位高，而且



矿化度高时，水分通过地表蒸发，盐分在表土层中积累，形成土壤盐渍化或盐碱化，盐碱对作物有害，盐碱地的产量很低。因此，为了防止灌溉土地盐碱化和改良盐碱地，需要降低地下水位的排水。

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。但是，在调节土壤水分状况的同时还可以起到调节农田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，进行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，在不合理的灌排条件下也会引起土地恶化，甚至产生一些不利的生态环境问题。

随着经济发展、人口增加、城市化发展及水资源的短缺，农业用水面临着严峻的挑战。农业用水量的90%用于种植业灌溉，其余用于林业、牧业、渔业以及农村人畜饮水等。尽管农业用水所占比重近年来明显下降，但农业仍是我国第一用水大户，占全国总用水量的70%以上，发展高效节水型农业是国家的基本战略。21世纪初期，我国农田水利科学技术应大力发展以下几方面。

### 1. 高效输配水技术

农业用水在输配水过程中的水量损失所占比重很大，对输水损失大、输水效率低的支渠及其以上渠道因地制宜应用渠道防渗技术，提倡井灌区、提水灌区固定渠道全部防渗；加强不同气候和土质条件下渠道防渗新材料、新工艺、新施工设备的研究，加强渠道防渗防冻胀技术的研究和产品开发；发展管道输水技术，改造较小流量渠道时优先采用低压管道输配水技术、在高扬程提水灌区和有发展自压管道输水条件的灌区，优先发展自压式管道输水系统；积极研究输水建筑物老化防治技术、病害诊断技术和防腐蚀、修复、堵漏技术；加快发展输水建筑物加固技术和产品的开发。

### 2. 现代节水灌溉技术的理论与设计方法研究应用

大力推广田间节水灌溉，进一步开展田间节水灌溉的节水增产机理研究，改进地面灌水技术。推广小畦灌溉、细流沟灌、波涌灌溉；科学控制入畦（沟）流量、水头、灌水定额、改水成数等灌水要素；大力推广稻田“薄、浅、湿、晒”等干湿交替灌溉技术为主的水管理技术。积极研究稻田适宜水层标准、土壤水分控制指标、晒田技术及相应的灌溉制度；因地制宜地发展和应用喷灌技术，鼓励发展微灌技术，积极研究和开发低成本、低能耗、使用方便的喷灌、微灌设备；鼓励应用精准控制灌溉技术，提倡适时适量灌溉。在干旱缺水地区大力发展各种非充分灌溉技术；研究和运用控制性分根交替灌溉技术。

### 3. 灌溉管理理论、农业用水优化配置技术

农业用水水源包括降水、地表水、地下水、土壤水以及经过处理符合水质标准的回用水、微咸水、再生水等。通过工程措施与非工程措施，优化配置多种水源，高效使用地表水，合理开采地下水，在时间上和空间上合理分配与使用水资源，发展“长藤结瓜”灌溉