



普通高等教育“十二五”规划教材

灌溉排水理论辅导 与实践指导书

主 编 王立洪 姚宝林 张旭贤
副主编 李发永 王 成 葛广华
参 编 王 龙



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

灌溉排水理论辅导 与实践指导书

主 编 王立洪 姚宝林 张旭贤
副主编 李发永 王 成 葛广华
参 编 王 龙



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是农业水利工程专业《灌溉排水工程学》和《节水灌溉》两门专业课的配套教材,同时也兼顾了其他灌溉排水工程学教材的内容体系,全书共分为四部分。第一部分为理论辅导与习题,第二部分为课程设计与示例(主要包括灌区渠系规划设计、滴灌工程设计、低压管道和喷灌工程设计示例),第三部分为实(试)验,第四部分为附录(主要包括农业水利工程常用规范、规范要求和专业名词汉英释义)。

本书可作为高等院校水利学科和农业学科学生的专业教材,同时可作为其他相关专业的教学用书及从事灌溉排水技术推广人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉排水理论辅导与实践指导书 / 王立洪, 姚宝林, 张旭贤主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2012.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9880-5

I. ①灌… II. ①王… ②姚… ③张… III. ①灌溉系
统一高等学校—教学参考资料②排灌工程—高等学校—教
学参考资料 IV. ①S274.2②S277

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第186134号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 灌溉排水理论辅导与实践指导书
作 者	主 编 王立洪 姚宝林 张旭贤 副主编 李发永 王 成 葛广华 参 编 王 龙
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	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 14.5印张 344千字
版 次	2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00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

前言

本书是农业水利工程专业《灌溉排水工程学》和《节水灌溉》两门专业课的配套教材，同时也兼顾了其他灌溉排水工程学教材的内容体系，本书既注重理论知识的讲解，同时又加入大量实用性设计示例和新疆盐碱地治理内容。可作为高等院校水利学科和农业学科学生的专业教材，同时可作为其他相关专业的教学用书及从事灌溉排水技术推广人员的培训教材。

本书分为四部分。第一部分为理论辅导与习题，第二部分为课程设计与示例（主要包括灌区渠系规划设计、滴灌工程设计、低压管道和喷灌工程设计示例），第三部分为实（试）验，第四部分为附录（主要包括农业水利工程常用规范、规范要求和专业名词汉英释义）。

本书第一部分由塔里木大学王立洪、姚宝林、张旭贤编写，第二部分由姚宝林、李发永和王成编写，第三部分和第四部分由王龙和王成编写。王立洪教授主审，全书由姚宝林统稿。

本书引用了大量的国内外研究成果，参考了许多已经出版和公开交流的相关著作和教材，在此表示感谢。

因作者水平有限，经验不足，书中不妥或错误之处难免，恳请读者批评指正。

编者

2012年7月

目 录

前言

第一部分 理论辅导与习题..... 1

第一章 绪论..... 1

第一节 我国灌溉排水事业..... 1

第二节 灌溉排水工程学的研究对象和基本内容..... 4

复习思考题与习题..... 5

第二章 农田水分状况与土壤水运动规律..... 7

第一节 农田水分状况..... 7

第二节 土壤水分运动..... 9

第三节 土壤—植物—大气连续体..... 10

复习思考题与习题..... 11

第三章 作物需水量与灌溉用水量..... 14

第一节 作物需水量..... 14

第二节 作物灌溉制度..... 16

第三节 灌溉用水量和灌溉用水量..... 21

复习思考题与习题..... 24

第四章 灌水方法..... 35

第一节 灌水方法的评价标准、分类及使用条件..... 35

第二节 地面灌水方法..... 37

第三节 喷灌技术..... 39

第四节 微灌技术与设施..... 47

复习思考题与习题..... 61

第五章 灌溉渠道系统..... 65

第一节 灌排渠系规划布置..... 65

第二节 田间工程规划..... 68

第三节 灌溉渠道系统设计..... 71

第四节 渠道纵横断面设计	73
第五节 渠道防渗	77
复习思考题与习题	78
第六章 灌溉水源与取水方式	85
第一节 灌溉水源	85
第二节 取水枢纽	86
第三节 灌溉取水方式	88
复习思考题与习题	90
第七章 田间排水	94
第一节 农田排水概述	94
第二节 农作物对农田排水的要求	94
第三节 农田排水沟对地面水及地下水位的调控原理	96
第四节 农田排水方式(技术)	97
复习思考题与习题	100
第八章 排水沟道系统规划	106
第一节 排水沟道系统规划布置	106
第二节 排水沟的设计流量	108
第三节 田间排水沟设计	108
第四节 骨干排水沟设计	110
复习思考题与习题	111
第九章 灌溉排水管理与环境	116
第一节 灌溉排水管理工作的意义和内容	116
第二节 计划用水管理	116
第三节 排水系统管理	117
第四节 灌排系统管理现代化技术	118
第五节 灌排试验	119
第六节 灌区环境	120
复习思考题与习题	121
第十章 新疆盐碱地改良与灌区内土壤次生盐碱化的防治	126
第一节 盐碱地冲洗	126
第二节 种稻改良	129
第三节 灌区内土壤次生盐碱化的防治	130
复习思考题与习题	131
第十一章 管道排水系统规划设计	133
第一节 暗管排水	133
第二节 鼠道排水	136

复习思考题与习题	136
第二部分 课程设计与示例	137
课设一 某灌区灌排系统规划设计	137
课设二 马清河灌区灌溉系统的规划设计	141
课设三 M农场灌溉渠系规划设计	145
课设四 灌区系统规划设计示例	149
课设五 农三师 51 团滴灌系统规划设计	151
课设六 老沙湾镇海子湾棉花滴灌系统规划设计	155
课设七 棉花膜下滴灌规划设计示例	158
课设八 大棚黄瓜滴灌工程设计示例	169
课设九 低压管道灌溉工程规划设计	173
课设十 低压管道规划设计示例	174
课设十一 喷灌工程规划设计	177
课设十二 喷灌工程规划设计示例	179
第三部分 实(试)验	185
实验一 非饱和土壤的入渗特性及渗吸速度试验	185
实验二 盐碱土冲洗试验	189
实验三 土壤容重和三相比试验	194
实验四 滴头流量偏差系数测试实验	195
实验五 单喷头水力性能测试实验	197
第四部分 附录	202
附录一 农业水利工程常用相关规范	202
附录二 灌溉与排水工程设计规范(GB50288—99) 摘选	202
附录三 灌溉排水工程汉英词汇释义	207
参考文献	219

第一部分 理论辅导与习题

第一章 绪 论

第一节 我国灌溉排水事业

一、灌溉、排水对我国农业生产的重要意义

灌溉排水工程是水利工程的类别之一。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有关地区水利条件,为农业的发展创造条件。

【农田水利(灌溉排水)】为防治干旱、渍、涝和盐碱灾害,对农田实施灌溉、排水等人工措施的总称。

【灌溉排水的作用】是为人工补充农田土壤的水分或排除农田多余的水分。

【灌溉排水的目的】是与农业技术措施相结合,共同为作物生长创造适宜的环境,促进和保证农业生产持续、高效的发展。

【灌溉排水的任务】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,以促进农业的发展。

1. 地球水储量的分布

地球表面积:5.1亿 km^2 ,水体总量:1.386亿 km^3 ;海洋面积:3.61亿 km^2 ,海洋水量:13.38亿 km^3 ,占地球总水量的96.5%;陆地面积:1.49亿 km^2 ,水量仅0.48亿 km^3 ,占地球总水量的3.5%。便于人类利用的仅为0.1065亿 km^3 ,占淡水量的30.4%。表明可供人类利用的水资源十分有限。

2. 中国水资源的主要特点

我国是一个农业大国,又是一个水资源不足、时空分布不均衡,旱涝灾害频繁的国家。

(1) 总量并不丰富,人均占有量更低。中国水资源总量居世界第六位,人均占有量为2240 m^3 ,约为世界人均的1/4,在世界银行连续统计的153个国家中居第88位。亩均为1800 m^3 ,是世界平均的4/5,被联合国列为13个贫水国之一。

(2) 地区分布不均,水土资源不相匹配。长江流域及其以南地区国土面积只占全国的36.5%,其水资源量占全国的81%;淮河流域及其以北地区的国土面积占全国的63.5%,其水资源量仅占全国水资源总量的19%。

根据不同地区及农作物对灌溉排水的不同要求,可按降雨量的大小把全国大致分为:

1) 常年灌溉地带 (多年平均年降雨量 $<400\text{mm}$)。

它处于干旱和半干旱地区, 由于缺乏足够的雨量淋洗, 此地区的土壤多属碱性, 常年灌溉是此地带发展农业的必要条件。其灌溉需要指数 (即灌溉水量与农作物需水量的比值) 一般均大于 $50\%\sim 60\%$ 。排水是由于灌溉和防治土壤盐碱化要求所致, 包括灌溉退水和降低灌区地下水位。

此地带可细分为两个亚区, I 西北内陆地区, 包括青海、新疆、甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善高原。II 黄河中上游地区, 包括陕西、甘肃、宁夏、山西及内蒙古大部分地区。

2) 不稳定灌溉地带 ($400\text{mm}<\text{年平均降雨量}<1000\text{mm}$)。

这主要包括黄淮海地区和东北地区。由于受季风的强烈影响, 降水时空变化很大, 农作物对灌溉排水的要求很不稳定。

此地带可细分为两个亚区, I 黄淮海地区, 包括河北、河南、山东、苏北、皖北和京、津二市。II 东北地区, 包括辽西、吉林、黑龙江及内蒙古东部地区。

3) 水稻灌溉地带 (年平均降雨量 $>1000\text{mm}$)。

这包括长江中下游地区, 珠江地区以及西南地区。

此地带可细分为三个亚区, I 长江中下游地区, 包括湖南、湖北、江西、浙江、上海及江苏、安徽的大部。II 珠江地区, 包括广东、广西、福建和海南。III 西南地区, 包括云南、贵州、四川和西藏。

我国降水量年内年际分配不匀, 旱涝灾害频繁。大部分地区年内连续四个月降水量占全年的 70% 以上, 连续丰水或连续枯水年较为常见。降水主要集中在夏秋的四三个月内, 而且又往往集中于几次连续性的大雨、暴雨。

东南沿海年降水量超过 1000mm 。

西北的荒漠地区降水量不到 200mm 。

长江以南多雨地区丰水年降水量为少水年的 $1.5\sim 2$ 倍, 多雨季节的 $4\sim 7$ 月间的降雨量约占全年的 $50\%\sim 60\%$ 。

华北地区和东北地区丰水年降水量一般为少水年的 $3\sim 5$ 倍, 正常年份多雨季节的 $6\sim 9$ 月间的降雨量约占全年的 $70\%\sim 80\%$ 。

就全国而言, 水资源南多北少, 东多西少。

就新疆而言, 水资源北多南少, 西多东少。

3. 新疆水资源的主要特点

新疆共有大小河流 570 余条, 山泉 272 处, 主要发源于天山、昆仑山和阿尔泰山等山脉, 河川径流总量 882亿 m^3 。其中, 国内产流 794亿 m^3 , 国外来水 88.0亿 m^3 。新疆出国、出省总水量 244亿 m^3 , 其中出国水量 240亿 m^3 , 流入青海省 4.0亿 m^3 。

新疆是我国著名干旱区, 年平均降水只有 147mm , 年平均蒸发 2000mm 左右。

新疆是“荒漠绿洲, 灌溉农业”, 农业用水占总用水量 97% 。

新疆是我国最重要的商品棉生产基地和石油化工基地。

随着经济的发展, 新疆工、农业生产用水、城市生活用水和地区生态用水矛盾日益尖锐。

4. 我国灌溉与排水历史发展的概况

夏商时期, 黄河流域就出现了“沟洫”, 即兼作灌溉排水的渠道。

公元前 6 世纪, 楚国人民兴建了芍坡, 利用洼地建筑了长约 50km 的水库。

公元前 4 世纪, 魏国西门豹治邺时, 创建了引漳十二渠。

公元前 3 世纪, 李冰在四川兴建了我国古代最大的灌溉工程——都江堰。

隋、唐、宋时期, 中国农田水利进入巩固发展时期。太湖下游兴建圩田、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, 农田水利进一步发展, 明天启年间, 《农政全书》问世, 书中记载了我国农田水利史; 《泰西水法》为我国介绍西方水利技术的最早述著。

19 世纪末, 西方灌溉与排水技术在中国开始应用, 20 世纪 30 年代, 陕西省建成泾惠、渭惠、梅惠等大型自流灌区。

5. 新中国农田水利建设成就

中华人民共和国成立后我国开展了大规模的水利建设, 兴建了大量的水利基础设施。至 2008 年, 中国大陆已建成各类水库 86353 座, 水库总库容 6924 亿 m^3 。累计加固新修堤防 27.87 万 km, 全部堤防保护耕地面积 65813 万亩, 初步形成了七大江河的防洪工程体系。

全国供水能力从 1000 多亿 m^3 增加到 5800 多亿 m^3 , 其中城市供水量达到 470 亿 m^3 , 供水普及率为 96.8%。

万亩以上灌区 5729 处, 万亩以上灌区有效灌溉面积 37866 万亩。农田有效灌溉面积从 2.4 亿亩发展到 83851 万亩, 节水灌溉面积 29164 万亩, 基本形成全国农田灌溉总体格局。水土流失治理面积 89.71 万 km^2 。

经过大规模的水利建设, 兴修了一大批水利工程, 对主要江河进行了初步治理和开发, 提高了防御水旱灾害的能力。水利建设发挥了防洪、除涝、灌溉、供水、发电、航运、渔业、改善生态环境等综合效益。以仅占全球约 6% 的可更新水资源、9% 的耕地, 养活了占世界 22% 的人口, 取得了举世瞩目的巨大成就。

6. 我国灌溉、排水事业发展中积累的经验和面临的任务

(1) 我国灌、排工程的建设和发展积累的经验和面临的任务。

1) 经验。①在大力发展灌溉的同时, 充分重视排水, 做到灌、排并重, 蓄泄兼顾; ②充分利用水资源, 节约水资源; ③因地制宜, 针对不同地区的具体情况, 采用不同的治理措施。

2) 面临的任务。水资源短缺, 供需矛盾突出, 现有耕地灌溉面积不到一半, 灌、排工程配套不全, 老化失修, 抗旱除涝标准低等。不能适应今后农业生产和国民经济发展需要。

(2) 节水灌溉的重要性及其目标。

1) 大力发展节水农业, 推广节水灌溉, 形成节水型社会是我国一项长期的基本国策。

2) 从开源与节流两方面入手, 解决水资源危机的问题。

3) 精量灌溉, 是节约灌溉的最高目标。

4) 借助现代化的电子测试手段、计算机技术与信息技术, 实时预测预报。

5) 三“S”技术在现代农业中的应用, 使精量灌溉及精确调控大田的生产过程与资源投入已具有现实的应用前景。信息技术的迅速发展及更新, 将对未来农业的发展产生不可估量的影响。

7. 存在问题

(1) 防洪能力低, 洪涝灾害严重。我国是世界上洪涝灾害最严重的国家之一, 全国70%的固定资产、44%的人口、1/3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位于大江大河的中下游地区, 受洪水威胁严重。现有防洪工程体系仍然较为薄弱, 江河防洪标准仍然偏低。拦蓄洪工程建设不足, 且有40%的水库带病运行, 非工程措施体系不健全, 蓄滞洪区安全建设严重滞后, 缺乏灵活运用的基本条件, 启用困难。

(2) 干旱缺水严重, 水资源供需矛盾尖锐。我国降雨时空分布不均, 人均占有水资源量少, 水资源分布与耕地、人口、经济布局不相匹配, 北方地区干旱缺水严重。由于投入不足、管理粗放等原因, 供水工程建设严重滞后, 部分地区水资源浪费与水污染严重, 水供需矛盾不断加剧。目前, 全国每年缺水量达400亿 m^3 。20世纪90年代以来, 平均每年因旱受灾的耕地面积达3.7亿亩, 年均减产粮食200多亿kg。2000年, 我国发生大面积干旱, 全国累计受旱耕地面积达6亿亩, 粮食减产约450亿kg。灌溉工程管理工作也比较薄弱, 重建轻管的问题尚未从根本上扭转, 管理粗放。部分工程配套不齐全, 有些工程老化失修严重, 灌溉效益衰减。

(3) 水土流失严重, 水环境不断恶化。全国水土流失面积367万 km^2 , 约占国土面积的38%。水土流失导致江河湖库淤积严重, 土地贫瘠, 生态环境恶化, 工程效益衰减, 加剧了洪涝干旱和风沙灾害。根据水质监测统计, 全国废污水年排放量达600多亿t, 其中近80%未经处理直接排入江河湖库水域。水污染加剧了水资源的紧缺; 全国地下水超采严重, 已形成了部分区域性地下水位下降漏斗, 导致部分地区地面沉降、海水入侵。

二、世界灌溉发展的趋势

- (1) 灌溉方法仍以地面灌溉为主, 高效节水灌溉面积会有较大发展。
- (2) 提高灌溉水利用系数, 缓解水资源紧缺程度, 渠道防渗, 管道输水和非充分灌溉等技术将日益发展。
- (3) 改进灌溉管理, 提高自动化程度。
- (4) 电子计算机、激光、红外线、遥感、遥控等新技术将广泛得到发展。

第二节 灌溉排水工程学的研究对象和基本内容

灌溉排水工程学是一门研究利用灌溉排水工程措施来调节农田水分状况及改变和调节地区水情, 以消除水旱灾害, 合理而科学地利用水资源, 为发展农业生产服务的科学。

一、灌溉排水工程的研究对象

1. 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应的养分、通气热状况。

(1) 灌溉措施：补充水分不足。

(2) 排水措施：控水，排盐。

需要研究的内容：①农田水盐运动规律；②节水灌溉理论与技术；③灌排系统布置；④灌排系统管理；⑤水环境影响和经济评价。

2. 改变和调节地区水情

地区水情主要指地区水资源的数量、分布情况及其动态。

(1) 蓄水、保水措施：工程蓄水，田间蓄水。

(2) 调水、排水措施：区域间，流域间。

需要研究的内容：①制定水土资源规划；②水资源合理配置；③洪涝规律；④工程经济。

二、本课程特点、教学要求与学习方法

1. 课程特点

灌溉排水工程学是农业水利工程专业的骨干必修专业课。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、灌排系统规划、设计的方法；了解灌排工程对环境的影响及其评价；重视灌排管理工作；了解灌排系统管理现代化技术等。

本课程的特点是知识面广、实践性强，受到各地区自然地理特征的制约。在学习时要实事求是，从实际出发，有针对性。

2. 教学要求与学习方法

(1) 教学方法：有教师根据每章节的具体内容确定教学方法。

(2) 学习方法：通过教师引导、启发及学生自学和独立思考，逐渐培养自我获取知识的能力和分析问题、解决问题的能力。

复习思考题与习题

一、名词解释

1. 灌溉排水工程学

2. 农田水分状况、地区水情

二、填空题

1. 位于安徽省寿县城南的_____是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程。

2. 战国时昭襄王令蜀守_____在四川主持兴建了我国古代最大的灌溉工程_____。

3. 灌溉排水工程学主要研究_____和_____的变化规律及其调节措施。

4. 农田水分状况一般是指农田中的_____和_____及_____的状况及与其相关的_____、_____和_____状况。
5. 调节农田水分状况的水利措施主要有_____和_____。
6. 地区水情主要是指地区水资源的_____、_____及其_____。
7. 调节和改变地区水情的措施，一般有_____和_____。

三、简述题及问答题

1. 试述我国水资源的特点。
2. 试论述灌溉排水在我国农业生产发展中的地位和作用。
3. 我国古代有哪些著名的灌溉工程？
4. 简述我国灌溉排水发展的历史。
5. 灌溉排水工程学的研究对象和基本内容是什么？
6. 调节农田水分状况的措施有哪些？
7. 调节和改变地区水情的措施有哪些？需要研究哪些问题？
8. 论述当前我国灌溉排水面临的问题及对策。
9. 灌溉排水工程学的任务是什么？

第二章 农田水分状况与土壤水运动规律

第一节 农田水分状况

农田水分状况是农田灌排系统规划、设计和管理的基础。

【农田水分】 农田中的地表水、土壤水和地下水。

【地表水】 地表积水。

【土壤水】 土壤包气带中的水分。与作物生长最密切的便是这种土壤水。

【地下水】 土壤饱水带中的水分（可自由流动的水体）。

一、土壤水

1. 土壤水分形态

土壤水又可分为吸着水、毛管水和重力水等几种水分形态。

(1) 吸着水。

1) 吸湿水。

分子力、紧紧束缚在土粒表面、不能移动、分子状态水。吸湿水达到最大时的土壤含水率称为吸湿系数。

2) 膜状水。

分子力、束缚在土粒表面、可沿表面移动但不能脱离土粒表面的液态水膜。膜状水达到最大时的土壤含水率称为最大分子持水率。

(2) 毛管水。对于单个土粒，只能依靠分子力吸附水分，但对于由许多土粒集合而成的土壤，其连续不断的孔隙相当于毛细管，因此还存在一种毛管力，依靠毛管力保持在土壤中的水分称为毛管水。按水分供给情况不同，分悬着毛管水和上升毛管水。

1) 悬着毛管水。

灌溉或降雨后，在毛管力作用下保持在上部土层中的水分。土壤储存水的主要形式。当悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为田间持水率。

2) 上升毛管水。

在地下水位以上附近土层中，由于毛细管作用所保持的水分。上升毛管水达到根系，则可被作物吸收利用，但地下水位不允许上升到根系，以防渍害。盐碱地区应严格控制地下水位，以防发生次生盐碱化。

从薄膜水到田间持水率的土壤含水量是作物容易利用的有效水。

(3) 重力水（无效水或称过剩水）。土壤中超过田间持水率的那部分水为重力水。重力水以深层渗漏的形式进入更下的土层，或地下水。旱地应避免深层渗漏，以防止水的浪费和肥料的流失。水田保持适宜的深层渗漏是有益的，会增加根部氧分，有利于根系发育。

2. 土壤水分的有效性

土壤对水分的吸力： $1000 \sim 0.0001\text{MPa}$ 。作物根系对水分的吸力 1.5MPa 左右。
($1\text{MPa}=9.87\text{ 大气压}=100\text{m 水柱}$)。

如果水分受土壤的吸力小于 1.5MPa ，作物可吸收利用；如水分受土壤的吸力大于 1.5MPa ，则作物不能吸收利用。 1.5MPa 是有效水和无效水的分界点。

3. 水对作物生理及环境影响

(1) 水是作物进行光合作用，制造有机物的原料。

(2) 水能保持作物处于正常而稳定的状态。

(3) 土壤中作物营养元素只有溶解在水中才能被作物根系吸收，各种矿物质元素和有机质也只有通过水溶液才能输送到作物的各个部位。

(4) 水分是作物细胞原生质的重要成分之一。

(5) 水分可调节作物体温。

二、农田水分状况

1. 旱田适宜的农田水分状况

土壤适宜含水率：凋萎系数 $\sim$ 田间持水率。凋萎系数一般为 $0.6\beta_{\text{田}}$ 。有盐碱威胁地区应严格控制地下水位以免发生盐碱化。

干旱：分大气干旱、作物生理干旱、土壤干旱。

大气干旱：由于大气温度过高和相对湿度过低，阳光过强或遇到干热风造成植物蒸腾耗水过大，使根系吸水速度不能满足蒸腾需要。

作物生理干旱：当植物根部从土壤中吸收的水分来不及补给叶面蒸腾时，植物体内水分不断减少，从而影响植物水分平衡和协调。

土壤干旱：土壤含水率过低，植物根系从土壤中所能吸取的水分难于满足叶面蒸腾的消耗而影响作物的生长，此现象称土壤干旱。

2. 水田适宜的农田水分状况

水稻是喜水作物，除适时晒田外，田面要经常维持一定的水层。但水层不能过深，否则会使根系缺氧，使根部发生无氧呼吸，有毒物质增加影响根系生长发育甚至烂根。目前多用浅水勤灌，适时晒田。缺水地区应推广控制灌溉技术。地下水位不宜过高，应保证一定的深层渗漏。适量的深层渗漏对水稻生长有利，可增加根部氧分。深层渗漏也不宜过大，会浪费水，流失肥料。

3. 农田水分状况的调节

农田水分状况并不是总处于适宜的水分状况，农田水分可能过多，也可能过少，水分过多和过少都对作物生长不利。下面分析农田水分过多的原因及调节措施。

(1) 农田水分过多的原因及措施。

1) 原因：降水量大；洪水泛滥；地下水位过高等。

2) 形成的灾害：

洪灾—河湖泛滥而形成的灾害。

涝灾—降水过多，积水难排，造成灾害。

渍害—土壤长期过湿，危害作物生长，造成灾害。

3) 措施：

防洪—整治排洪河道，兴修水库，加固堤防等。

防涝—开挖排水河道，修建排涝闸、站等。

防渍—开挖田间排水沟，防止过量灌溉等。

(2) 农田水分过少（不足）的原因及调节措施。

1) 原因：降雨少，土壤滞水能力差（山丘区）等。

2) 措施：

灌溉—主要措施。

疏松土层—切断毛细管，减少土壤蒸发。

地表覆盖—用麦秸、地膜覆盖，阻止土壤蒸发。

化学抗旱—减少叶面蒸腾。

第二节 土壤水分运动

土壤水分运动的两种途径：毛管理论、水势理论。

毛管理论仅适用于对一些简单的问题分析。

水势理论则是根据在土壤水势基础上推导出的扩散方程，研究土壤的水分运动。这种方法理论严谨，适用于各种边界条件，因而具有广阔的应有前景。

一、土壤水运动基本方程

在一般情况下，达西定律同样适用于非饱和土壤水分运动。根据达西定律和质量守恒原则，可推导出土壤水运动基本方程。

二、入渗条件下土壤水分运动

降雨和灌水入渗是补给农田水分的主要来源。入渗速度、一定时段内的累计入渗量、入渗后水分在土壤剖面上的分布是确定灌水定额、制定灌溉制度的依据。

教材中针对地面已形成薄水层情况，推导了如下基本公式：

$$\theta(z, t) = \theta_0 + \frac{\theta_s - \theta_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{z - Nt}{2\sqrt{Dt}} \right) + e^{\frac{Nz}{D}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z + Nt}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} \quad (1-2-1)$$

入渗速度公式为：

$$i = -K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \Big|_{z=0} = - \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right] \Big|_{z=0} \quad (1-2-2)$$

$$i = (\theta_s - \theta_0) \sqrt{\frac{D_t}{\pi}} + K_s \quad (1-2-3)$$

在时间 t 内入渗的总水量计算公式为：

$$I = 2(\theta_s - \theta_0) \sqrt{\frac{D_t}{\pi}} + K_s t \quad (1-2-4)$$

菲利普根据严格的数学推导,由一维土壤水运动方程,推导出了入渗速度的近似计算公式以及 t 时间内总入渗量计算公式为:

$$i = \frac{S}{2} t^{-\frac{1}{2}} + i_f \quad (1-2-5)$$

$$I = S t^{\frac{1}{2}} + i_f t \quad (1-2-6)$$

我国习惯采用考斯加可夫经验公式计算入渗速度和入渗水量:

$$i = i_1 t^{-\alpha} \quad (1-2-7)$$

$$I = \int_0^t i dt = \int_0^t \frac{i_1}{t^{\alpha}} dt = \frac{i_1}{1-\alpha} t^{1-\alpha} \quad (1-2-8)$$

第三节 土壤—植物—大气连续体

一、水势

在土壤中、植物体内和大气中水分与其他物质一样,具有能量,能量有动能和势能两种形式。水在土壤和作物体内运行的速度较慢,因此动能可忽略不计。水的势能简称为水势。

水分总是从水势高的地方向水势低的地方运动。土壤中的水分运动以及水分从土壤到作物,再从作物到大气的运行都是水势作用的结果。重力起的作用相对很小,因此产生水势主要原因是毛管力和分子力。土壤、作物和大气中及某时刻测得一棵小树的水势如表1-2-1及表1-2-2所示。

表 1-2-1 土壤、作物和大气中水分的水势大小

土 壤	作 物	大 气
-0.05~-1.5MPa	根系-0.2~-1.5MPa 茎每升高1m水势降低0.03~0.04MPa 叶-0.6~-2MPa	-10~-100MPa

表 1-2-2 某时刻测得一棵小树的水势

项 目	土壤	根	茎	叶	大气
水势 (MPa)	-0.05	-0.2	-0.5	-1.5	-100

二、土壤—作物—大气连续体

田间水分运动是在水势梯度的作用下产生的,各环节之间是相互作用和相互制约的,为了完整地解决农田水分运动问题,必须将土壤—植物—大气作为一个连续体统一考虑,这一连续统一体称为 SPAC (Soil - Plant - Atmosphere Continuum) 系统。

SPAC 系统是一个物质和能量连续的系统,在这个系统中,水分运动受势能支配,水流总是从水势高的地方,向水势低的地方运动。水分运动速度由两点间水势差及水流阻抗决定。即: $q = -\Delta\Phi/R$ 。