

高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材

灌溉排水工程学习题 与课程设计

主编 沈阳农业大学 迟道才
扬州大学 蔡守华

74.2
384



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

要 录 容 内

高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材

灌溉排水工程学习题 与课程设计

主编 沈阳农业大学 迟道才
扬州大学 蔡守华



1533592



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

1445614

内 容 提 要

本书是根据《灌溉排水工程学》(第四版)编写的配套教材,主要有6个方面的内容:学习辅导,包括各章的知识点和学习的基本要求;习题,包括名词解释、填空题、选择题、问答题和计算题等五种题型;参考资料,每章提供1~2个与教材内容相关的补充材料;课程设计,包括课程设计指导和代表不同气候、地形和作物等设计题目及其要求等;实验,共编入5个实验,涉及了本课程的主要实验内容;试题,包括两套本专业期末模拟试卷和一套硕士研究生入学考试模拟试卷。

本书除作为高等学校农业水利专业和水利水电工程专业的通用教材外,也可从事农业水利工作的工程技术人员作为学习参考书,更是农业水土工程专业硕士和博士考生的必备教材之一。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉排水工程学习题与课程设计 / 迟道才, 蔡守华
主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011.1
高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材
ISBN 978-7-5084-8305-4

I. ①灌… II. ①迟… ②蔡… III. ①灌溉系统—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(2011)第001853号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材 灌溉排水工程学习题与课程设计
作 者	主编 沈阳农业大学 迟道才 扬州大学 蔡守华
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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
刷 印	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 7.25印张 172千字
版 次	2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	14.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是水利学科专业规范核心课程“十一五”系列规划教材之一。本书是根据《灌溉排水工程学》(第四版)的内容编写的配套教材,同时也兼顾了其他灌溉排水工程学教材的内容体系。本书既注重理论的系统性,又体现实用性,可作为高等院校水利学科农业水利工程专业的教材,也可作为其他相关专业的教学用书及从事灌排技术推广人员的培训教材。

全书共分四个部分。第一部分:学习辅导与习题,包括各章内容导读、学习的基本要求、五种题型习题(名词解释、填空题、选择题、问答题和计算题)和课外阅读材料;第二部分:灌溉排水工程学课程设计,包括4个不同类型课程设计的基本资料、设计任务和设计步骤;第三部分:灌溉排水工程学实验,包括本课程的5个主要实验;第四部分:灌溉排水工程学模拟试卷,包括两套本科期末模拟试卷和一套硕士研究生入学考试模拟试卷。

参加本书编写工作的人员有:沈阳农业大学迟道才、夏桂敏,扬州大学蔡守华、徐英,云南农业大学邱元梅,太原理工大学肖娟,长春工程学院时述风。全书由迟道才和蔡守华主编,武汉大学黄介生主审。

本书引用了大量的国内外研究成果,参考了许多已经出版的相关著作和教材,在此一并表示诚挚的谢意。

因水平所限,书中难免有不妥之处,恳请广大师生以及其他读者批评指正。

编者

2010年12月

目 录

前言

第一部分 学习辅导与习题

绪 论	1
0.1 学习辅导	1
0.2 习题	2
第 1 章 农田水分状况和土壤水分运动	4
1.1 学习辅导	4
1.2 习题	5
第 2 章 作物需水量与灌溉用水量	9
2.1 学习辅导	9
2.2 习题	10
第 3 章 灌溉水源与取水方式	20
3.1 学习辅导	20
3.2 习题	21
第 4 章 灌溉渠道系统	25
4.1 学习辅导	25
4.2 习题	27
第 5 章 田间工程与地面灌溉	37
5.1 学习辅导	37
5.2 习题	39
第 6 章 灌溉管道系统	43
6.1 学习辅导	43
6.2 习题	45
第 7 章 田间排水系统	51
7.1 学习辅导	51
7.2 习题	52
第 8 章 排水沟道系统规划设计	56
8.1 学习辅导	56
8.2 习题	57
第 9 章 分区水利问题及治理	61
9.1 学习辅导	61

9.2 习题	62
第 10 章 灌溉排水管理	65
10.1 学习辅导	65
10.2 习题	66

第二部分 灌溉排水工程学课程设计

第 1 章 马清河灌区灌溉系统规划设计	69
1.1 基本资料	69
1.2 设计任务	73
1.3 设计步骤	73
第 2 章 岳家庄灌区灌排系统规划设计	76
2.1 基本资料	76
2.2 设计任务	79
2.3 设计步骤	80
第 3 章 某喷灌工程规划设计	81
3.1 基本资料	81
3.2 设计任务	82
3.3 设计步骤	82
第 4 章 白湖垸除涝排水系统规划设计	84
4.1 基本资料	84
4.2 设计任务	87
4.3 设计步骤	87

第三部分 灌溉排水工程学实验

实验 1 非饱和土壤渗吸速度试验	90
实验 2 沟灌条件下土壤水分运动规律试验	91
实验 3 喷头技术参数测试	94
实验 4 微灌演示及灌水器技术参数测试	96
实验 5 排水沟排水模拟试验	98

第四部分 灌溉排水工程学模拟试卷

灌溉排水工程学期末模拟试卷 (A)	100
灌溉排水工程学期末模拟试卷 (B)	103
灌溉排水工程学硕士研究生入学考试模拟试卷	106

第一部分 学习辅导与习题

绪 论

0.1 学习辅导

0.1.1 本章导读

农业是我国国民经济的基础，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。由于我国降水时空分布极不均匀，水旱灾害频繁，农业的发展离不开灌溉排水，灌溉排水是农业生产的基本保障。数千年来，我们的祖先在发展农业生产过程中，与水旱灾害进行了不懈的斗争，写下了光辉灿烂的灌溉排水历史。例如，2260多年前李冰主持修建的都江堰工程至今仍在在使用，灌溉着1000余万亩的良田，蜀地因此发生了天翻地覆的变化，成为“天府之国”。

灌溉排水工程学的研究对象是农田水分状况和地区水情，研究目的是防治水旱灾害，保障农业生产的发展。灌溉排水工程学的基本内容包括以下两个方面。

(1) 农田水分状况及其调节措施。农田水分状况是指农田土壤水、地面水和地下水的状况及其相关的养分、通气、热状况，调节措施主要是灌溉措施和排水措施，具体内容包括农田水分状况及其运动规律、作物需水规律、灌水方法、灌溉水源与水质、作物对农田排水的要求、灌溉排水系统规划设计、灌溉排水管理技术等。

(2) 地区水情及调节措施。地区水情主要指地区水资源的数量、分布情况及其动态，调节与改变地区水情的措施主要有蓄水保水措施（如修建水库和水土保持措施等）、引水和跨流域调水措施以及地区性的排水措施等。

灌溉排水工程学是一门应用性很强的课程，在学习本课程时，应加强理论联系实际。在新形势下，灌溉排水正面临着许多新的问题。由于城市及工业的发展，农业可用水量相对减少，农业用水短缺的矛盾越来越突出，不合理灌溉引起的水环境污染问题也比较严重，现有的灌溉工程严重老化，急需更新改造。在本课程学习过程中，除了熟练掌握课本知识，也需要关心这些新的问题，进行一些思考与探索研究，培养自身的社会责任感和创新精神。

0.1.2 基本要求

1. 了解我国水资源的特点以及灌溉排水在农业生产发展中的地位与作用。
2. 了解我国农田水利事业的发展历程及科学研究进展。
3. 理解灌溉排水工程学的研究对象和基本内容。
4. 了解我国灌溉排水面临的主要问题，认识学习本课程的必要性和重要性。
5. 认识本课程的特点，掌握本课程的学习方法。

0.2 习 题

0.2.1 名词解释

1. 灌溉排水工程学
2. 农田水分状况、地区水情

0.2.2 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_____在四川主持修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_____的状况以及与其相关的_____、_____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_____。

0.2.3 简述及论述题

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 and 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?
8. 论述当前我国灌溉排水面临的问题及对策。

0.2.4 课外阅读

1. 三个特大型灌区

(1) 都江堰灌区。都江堰是蜀郡守李冰于公元前 256 年秦昭襄王时期率领川西人民, 因地制宜、就地取材, 用竹、木、卵石等材料修建的。两千多年来, 都江堰一直在发挥着巨大的防洪和灌溉效益, 使成都平原“水旱从人、不知饥馑”, 被誉为“天府之国”。

都江堰渠首枢纽主要由鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口三大主体工程构成。三者有机配合, 相互制约, 协调运行, 引水灌田, 分洪减灾, 具有“分四六, 平潦旱”的神奇功效, 中外专家、学者和游人无不赞叹。都江堰灌区担负着四川盆地中西部地区 7 市(地) 37 县(市、区) 1026 万余亩农田的灌溉任务。

(2) 淠史杭灌区。淠史杭灌区位于安徽省中西部和河南省东南部, 横跨江淮两大流域, 是淠河、史河、杭埠河三个毗邻灌区的总称, 受益范围涉及安徽、河南两省 4 市 17 个县区, 设计灌溉面积 1198 万亩, 实灌面积 1000 万亩, 是 1949 年新中国成立后兴建的

全国最大灌区。

淠史杭灌区以其宏伟的灌排体系著称于世。灌区以五大水库（佛子岭、梅山、磨子潭、响洪甸、龙河口五大水库）、三大渠首、2.5万 km 七级固定渠道、6万多座各类渠系建筑物，以及1200多座中小型水库、21万多座塘堰组成的蓄、引、提相结合的“长藤结瓜式”的灌溉系统，纵横交错在岗峦起伏的江淮大地上，沟通淠河、史河、杭埠河三大水系，横跨江淮两大流域，实现了雨洪资源的科学利用和水资源的优化配置，使昔日赤地千里的贫瘠之地变成了今天的鱼米之乡，被誉为新中国治水历史上的一颗璀璨明珠。

(3) 河套灌区。河套灌区位于黄河上中游内蒙古段北岸的冲积平原，始于秦汉，兴起于清末年间，特别是新中国成立以来，经过几代人的不懈努力，各项事业得到了长足的发展，现已初步形成灌排配套的骨干工程体系，全灌区现有总干渠1条，干渠13条，分干渠48条，支、斗、农、毛渠8.6万多条，排水系统有总排干沟1条，干沟12条，分干沟59条，支、斗、农、毛沟1.7万多条，各类建筑物13.25万座。

河套灌区地处我国干旱的西北高原，降雨量少，蒸发量大，属于没有引水灌溉便没有农业的地区。河套灌区引黄控制面积1743万亩，现引黄有效灌溉面积861万亩，农业人口100余万，是亚洲最大的一首制灌区，也是国家和内蒙古自治区重要的商品粮、油生产基地。近年来灌区每年从黄河引水约50亿 m³，占黄河过境水量的1/7。

2. 南水北调工程

自1952年10月30日毛泽东主席提出“南方水多，北方水少，如有可能，借点水来也是可以的。”宏伟设想以来，在党中央、国务院的领导和关怀下，广大科技工作者持续进行了50年的南水北调研究论证工作，做了大量的野外勘查和测量工作，在分析比较50多种方案的基础上，形成了南水北调东线、中线和西线调水的基本方案，并获得了一大批富有价值的成果。

南水北调总体规划推荐东线、中线和西线三条调水线路。通过三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系，构成以“四横三纵”为主体的总体布局，以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局。

(1) 东线工程。利用江苏省已有的江水北调工程，逐步扩大调水规模并延长输水线路。东线工程从长江下游扬州抽引长江水，利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送，并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分两路输水：一路向北，在位山附近经隧洞穿过黄河，自流到天津；另一路向东，通过胶东地区输水干线经济南输水到烟台、威海。

(2) 中线工程。从加坝扩容后的丹江口水库陶岔渠首闸引水，沿唐白河流域西侧过长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口后，经黄淮海平原西部边缘，在郑州以西孤柏嘴处穿过黄河，继续沿京广铁路西侧北上，可基本自流到北京、天津。

(3) 西线工程。在长江上游通天河、支流雅砻江和大渡河上游筑坝建库，开凿穿过长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山的输水隧洞，调长江水入黄河上游。西线工程的供水目标主要是解决涉及青、甘、宁、内蒙古、陕、晋等6省（自治区）黄河上中游地区和渭河关中平原的缺水问题。结合兴建黄河干流上的骨干水利枢纽工程，还可以向邻近黄河流域的甘肃河西走廊地区供水，必要时也可向黄河下游补水。

规划的东线、中线和西线到 2050 年调水总规模为 448 亿 m^3 ，其中东线 148 亿 m^3 ，中线 130 亿 m^3 ，西线 170 亿 m^3 。总投资规模约为 5000 亿元。分期实施后可基本缓解黄淮海流域水资源严重短缺的状况，并逐步遏制因严重缺水而引发的生态环境日益恶化的局面。

第 1 章 农田水分状况和土壤水分运动

1.1 学习辅导

1.1.1 本章导读

农田水分状况直接影响作物的生长和产量，研究和调节农田水分状况是灌溉排水的基本任务，掌握农田水分状况及变化规律是做好农田灌溉排水工作的基础。农田水分存在的基本形式包括：地面水、土壤水和地下水。其中土壤水与作物生长关系最为密切，因此土壤水及其运动规律是本章的学习重点。

土壤水主要来源于天然降水和灌溉，大气中的水汽和地下水的上升也可能成为土壤水。土壤水按其形态可分为气态水、吸着水（又分吸湿水和薄膜水）、毛管水（又分上升毛管水和悬着毛管水）和重力水。气态水数量很少，一般可忽略不计。学习时应注意相关的土壤水分常数（如吸湿系数、最大分子持水率、凋萎系数、田间持水率等）、土壤水分有效性及其在指导作物灌溉实践中的应用价值。

对于旱作物来说，通常地表不允许积聚水量，以免受涝；另外，地下水也不允许上升至根系层，以免产生渍害。水稻属喜水作物，通常采用淹灌，但长期淹水或田间水层过深，也对水稻生长不利。总之，农田水分不足或过多，均不利于作物的生长。农田水分不足可引起旱灾；农田水分过多可引起涝灾或渍害；在半干旱、半湿润地区，地下水位过高则可能引起土壤盐害。若江河泛滥淹没农田，称为洪灾。学习时应注意洪灾、涝灾、渍害和土壤盐害在成因上的区别。灌溉和排水是解决农田水旱灾害的主要措施。

土壤中的水分并非静止不动的，在各种力的作用下，土壤水不断地进行着运动。研究土壤水的运行方式和运动规律，对于研究农田水分收支状况和采取有效的调控措施有着十分重要的意义。土壤中的水分有时是饱和的，有时是非饱和的。饱和土壤水分运动已在水力学中进行了论述，本章主要学习非饱和土壤水分运动规律。计算非饱和土壤水分入渗速度和入渗量的公式主要有菲利普近似公式和考斯加可夫经验公式，其中以后者在生产实践中更为常用。

“土壤—植物—大气连续体（SPAC）”理论及其应用是一个正在发展的、具有综合性和学科交叉性的新领域。这一理论认为传输水分的土壤、植物、大气各环节是相互衔接的连续体，可以应用统一的能量指标——“水势”来定量研究整个系统中各个环节水分的运动，并计算出水流通量。SPAC 理论的研究有利于进一步摸清连续体内的水分运移机理和水分运移规律以及水分调控机制，为灌溉水资源的高效利用创造条件。

1.1.2 基本要求

1. 了解农田水分存在的基本形式。

2. 理解土壤水分形态及相关的土壤水分常数。
3. 掌握土壤水分有效性及早作物灌溉的上下限指标。
4. 理解农田水分不足或过多的原因及调节措施。
5. 理解土壤水分运动基本方程的推导以及入渗条件下土壤水分运动基本方程的菲利普近似解, 掌握考斯加可夫公式及其在灌溉实践中的应用。
6. 了解土壤蒸发强度及蒸发总量计算的数学模型。
7. 了解土壤—植物—大气连续系统的概念及水分传送运移机理。

1.2 习 题

1.2.1 名词解释

1. 吸湿系数、最大分子持水率、凋萎系数、田间持水率
2. 土壤水分特征曲线
3. 干旱、大气干旱、土壤干旱、生理干旱
4. 涝灾、渍害、土壤盐害、洪灾
5. 土壤水扩散度、土壤临界含水率
6. SPAC 系统

1.2.2 选择题

1. 土壤水分中与作物生长关系最密切的是 ()。
 - A. 膜状水
 - B. 毛管水
 - C. 重力水
 - D. 吸湿水
2. 作物因缺水而产生永久性凋萎时的土壤含水率称为 ()。
 - A. 吸湿系数
 - B. 田间持水率
 - C. 最大分子持水率
 - D. 凋萎系数
3. 吸湿水达到最大时的土壤含水率称为 ()。
 - A. 吸湿系数
 - B. 田间持水率
 - C. 毛管持水率
 - D. 凋萎系数
4. 悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为 ()。
 - A. 最大分子持水率
 - B. 毛管持水量
 - C. 田间持水率
 - D. 饱和含水率
5. 受土壤吸力小于 () 的那部分水可被作物吸收利用, 称为有效水。
 - A. 1.5MPa
 - B. 2MPa
 - C. 2.5MPa
 - D. 3MPa
6. 由于降雨过大或降雨连绵造成地下水位抬高、土壤含水量过大, 形成的灾害称为 ()。
 - A. 洪灾
 - B. 涝灾
 - C. 渍害
 - D. 洪涝灾害
7. 农田土壤水分存在的基本形式可分固态、液态和气态三种形态。液态水按其运动特性又可分为 ()、() 和 () 三类。
 - A. 吸湿水、毛管水和重力水
 - B. 吸着水、毛管水点和重力水

C. 吸湿水、薄膜水和毛管水

D. 薄膜水、毛管水和重力水

8. 土壤若含黏粒多、颗粒细, 则土粒间的孔隙小, 土粒的表面积大, 对水分和养分的吸附就较 (), 保水、保肥能力就较 (), 但下雨时 () 积水。

A. 大, 弱, 易

B. 大, 强, 易

C. 小, 强, 不易

1.2.3 问答题

1. 农田水分存在的形式有哪些? 哪种形式与作物生长关系最为密切?
2. 土壤水按照形态不同可分为哪几种类型?
3. 常见的土壤水分常数有哪几种? 分别说明其含义。
4. 简述各类土壤水分形态的有效性。
5. 什么叫凋萎系数和田间持水率? 各有什么重要的应用价值?
6. 根据干旱产生的原因不同, 可分为哪几种类型? 分别说明其成因。
7. 土壤含水率的表示方法有哪些?
8. 什么是土壤水分特征曲线? 在实践中有何应用? 如何测定?
9. 作物吸收和运输水分的动力是什么? 影响根系吸水的因素有哪些?
10. 作物是通过什么途径进行蒸腾的? 气孔的开闭与水分状况的关系如何?
11. 旱作物根系层土壤的适宜含水率上、下限各是什么? 盐碱地又有什么要求?
12. 水稻为什么要晒田?
13. 简述农田水分不足或过多的原因及调节措施。
14. 如何推导非饱和和土壤水分运动方程式?
15. 考斯加可夫公式与菲利普公式的区别是什么? 在生产实践中哪种更为常用?
16. 决定土壤蒸发强度的两个因素是什么? 其大小取决于什么?
17. 土壤蒸发分为几个阶段? 各阶段蒸发特点是什么?
18. 简述 SPAC 系统中水流运动的运动机理。

1.2.4 计算题

1. 农田土壤有效含水量计算

【基本资料】

某农田土壤计划湿润层深度为 0.4m, 土壤质地为中壤土, 土壤容重为 $1.48\text{g}/\text{cm}^3$, 田间持水率为 25%, 凋萎系数为 10% (以上含水率均以占土壤重量的百分数表示)。

【要求】

(1) 计算土壤计划湿润层中有效含水量的上、下限 (分别用 $\text{m}^3/\text{亩}$ 和 mm 水深两种单位表示计算结果)。

(2) 计算土壤计划湿润层内的有效储水总量。

【提示】

单位换算关系如下: $1\text{m}^3/\text{亩}=1.5\text{mm}$, $1\text{mm}=2/3 (\text{m}^3/\text{亩})$ 。

【参考答案】

(1) $98.67\text{m}^3/\text{亩}$, $39.47\text{m}^3/\text{亩}$; 148.0mm , 59.2mm 。

(2) $59.2\text{m}^3/\text{亩}$, 88.8mm 。

2. 土壤含水率换算

【基本资料】

已知土壤质地为砂壤土，计划湿润层深为 0.5m，计划湿润层内以重量百分数表示的土壤含水率为 22%，土壤干容重为 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$ ，孔隙率为 48%。

【要求】

- (1) 计算以体积百分数表示的土壤含水率。
- (2) 计算以孔隙百分数表示的土壤含水率。

【提示】

以体积百分数表示的土壤含水率是指土壤中水的体积占土壤体积的百分数，以孔隙百分数表示的土壤含水率是指水的体积占土壤孔隙体积的百分数。先推导出含水率换算公式，再进行含水率换算。

【参考答案】

- (1) 31.9%。
- (2) 66.5%。

3. 土壤蒸发计算

【基本资料】

某均质土壤 1m 土层内初始含水率 $\theta_0=18\%$ （占土壤体积百分比，下同），小于临界含水率 θ_c ，土壤蒸发处于蒸发强度递减阶段。测得土壤风干含水率 $\theta_a=6\%$ ，饱和含水率 $\theta_s=49.2\%$ 。当 $\theta < 20\%$ 时，扩散率 $\bar{D}=0.0589\text{ (cm}^2/\text{min)}$ 。

【要求】

- (1) 计算不同时间 t 的蒸发强度 ϵ ，并绘制蒸发强度 ϵ 与时间 t 的关系曲线。
- (2) 计算 3d 后 1m 土层内的剩余水量。

【参考答案】

- (1) ϵ 与 t 的对应关系，见表 1-1-1。
- (2) 在 3d 后 1m 土层内的剩余水量为 15.84cm。

表 1-1-1 不同 t 值时的 ϵ 值计算结果表

t (min)	1	10	50	100	500	1000	10000
ϵ (cm/min)	0.0164	0.00519	0.00232	0.00164	0.00073	0.00052	0.00016

1.2.5 课外阅读

1. 土壤主要物理性质

(1) 土壤比重。土壤比重是指单位体积干燥土壤固体部分（不包括粒间孔隙所占据的体积）的重量与同体积水重之比。土壤的比重近似于它的矿物质部分的比重，变化并不很大，一般为 2.6~2.7，平均可取 2.65。

(2) 土壤容重。土壤容重是指单位体积自然状态（包括孔隙）的干土重量，也称干容重，以 g/cm^3 表示，可采用定容环刀法测定。各种土壤的容重见表 1-1-2。一般含矿物质多而结构差的土壤（如砂土）容重为 $1.4\sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$ ；含有机质多而结构好的土壤（如耕作土壤）土壤容重较小，为 $1.1\sim 1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(3) 土壤孔隙率。土壤固体部分的土粒与土粒之间所形成的各种形状的空间,叫做土壤孔隙。单位体积自然状态的土壤中,全部孔隙的体积占土壤总体积的百分数,叫做土壤孔隙率。其大小可按下式计算,即

$$\text{土壤孔隙率} = \left(1 - \frac{\text{土壤容重}}{\text{土壤比重}}\right) \times 100\%$$

土壤孔隙率经常受土壤质地、结构、有机质含量和耕作措施等的影响而变化。各种土壤的孔隙率:砂土为 33%~45%,壤土为 45%~52%,黏土为 45%~60%,结构好而有有机质多的土壤为 55%~65%,有的可高达 70%。

2. 凋萎系数和田间持水率的测定方法

(1) 土壤吸湿系数的测定。在空气湿度接近饱和的条件下,干燥土壤所能吸收的气态水分称为土壤最大吸湿水,此时土壤的含水率即为吸湿系数。

测定吸湿系数一般采用饱和硫酸钾(或 10%硫酸)构成相对湿度接近饱和的空气。称取通过 1mm 筛孔的风干土样 5~20g,放入已知质量的称量瓶中,平铺在称量瓶底。将称量瓶放入干燥器中,打开瓶盖。干燥器下部盛有饱和硫酸钾溶液(或 10%硫酸)。将干燥器盖好后,放置在温度较稳定的地方。在土壤开始吸湿后一星期左右,将称量瓶加盖从干燥器中取出,立即在天平上称量,然后重新放入干燥器中,使其继续吸水,以后每隔 2~3 天按前法称量一次,直至达到恒重或前后两次称量之差不超过 0.005g 为止。将最大吸湿水达到恒重的土样,置于 105℃ 的烘箱中烘干至恒重,按一般计算土壤含水量的方法,即可计算得土壤吸湿系数。

(2) 凋萎系数的测定。凋萎系数是作物有效水分的下限,它的测定对研究作物的灌溉管理具有重要意义。常用的测定方法有以下几种。

1) 指示作物法。根据指示作物(如小麦、大麦或燕麦)叶片失去膨压,呈稳定凋萎的现象,测定当时的土壤湿度。具体步骤是:把刚从田间分层取回的土样及时地分别装入小玻璃容器内,播下两粒已发芽的指示作物种子,并施入适量肥料溶液,在适宜的空气温度和湿度条件下,进行培育。幼苗出土后在容器内的土表铺上隔离层,以防止上表蒸发和土壤过热。每日观测该作物的发育期和植株状态。当已呈现凋萎的作物在阴暗条件下,于次晨任一叶片都没有恢复膨压,即说明该植株已呈永久性凋萎。此时,从栽培容器中倒出土样,迅速拣出作物根,测定该土样的湿度。一般可以分层测定,每一层设 3~4 个重复,求出算术平均值。此法较为准确。

2) 田间直接测定法。在干旱季节,于自然条件下田间作物出现永久凋萎时,分层测定田间土壤含水率。此法往往因土表蒸发使土壤过干,故表层测值常低于凋萎系数。

3) 间接测定法。利用凋萎系数与吸湿系数之间的关系间接测定凋萎系数。如根据最大吸湿量测定值乘上系数 1.5 求得。由于土壤及作物不同,此系数可在 1.3~2.5 之间变动。此外,有人证明凋萎系数与田间持水量之间有密切关系,则可用田间持水量的测定值求得凋萎系数。

(3) 田间持水率的测定。田间持水率的测定方法有田间法和室内法,一般尽可能采用田间法,但由于条件所限(如地下水位接近地表),也可采用室内法。田间法是指先灌水至土壤饱和,等重力水下渗移动大致停止时,测定土壤的含水率即为田间持水率。

无实测资料时，可参考表 1-1-2 确定田间持水率数值。

表 1-1-2 各种土壤的凋萎系数和田间持水率

土壤质地	容重 (g/cm^3)	凋萎系数 (%)	田间持水率 (%)
砂土	1.45~1.60	3~5	8~16
砂壤土、轻壤土	1.26~1.52	5~7	12~22
中壤土	1.40~1.55	8~9	20~28
重壤土	1.38~1.54	9~12	22~28
黏土	1.32~1.44	12~17	23~30

第 2 章 作物需水量与灌溉用水量

2.1 学习辅导

2.1.1 本章导读

在正常情况下，农田水分消耗的途径有植株蒸腾、株间蒸发和深层渗漏。植株蒸腾和株间蒸发合称为腾发，腾发消耗的水量称为腾发量，也称为作物田间需水量。对于淹灌水稻，不可避免地存在深层渗漏，因此需考虑深层渗漏耗水量。为有别于田间需水量的概念，将水稻的田间需水量和深层渗漏量之和称为田间耗水量。学习时应注意田间需水量和田间耗水量两个概念的区别与联系。

正确估算作物的田间需水量是计算灌溉用水量的基础。有条件情况下，可以通过试验方法测定作物的田间需水量。缺乏观测资料时，可采用某些计算方法确定作物需水量。应学习和掌握的计算方法有：以水面蒸发为参数的需水系数法；以产量为参数的需水系数法；以能量平衡原理为基础的彭曼法或彭曼-蒙特斯法。

为保证作物正常生长而实施的适时适量的灌水方案称灌溉制度。灌溉制度包括灌水次数、灌水日期、灌水定额（一次灌水单位面积上的灌水量）和灌溉定额（各次灌水定额之和）。确定灌溉制度的方法有三种：总结群众丰产灌水经验；进行灌溉试验；按水量平衡原理计算灌溉制度。在规划设计时，一般采用计算方法确定灌溉制度，但是需参考群众的丰产经验和灌溉试验资料。

计算水稻和旱作物的灌溉制度是本章的重点，应注意比较两类作物灌溉制度计算方法的相似之处和不同之处。计算水稻灌溉制度时，分泡田期和插秧后生育期，计算旱作物灌溉制度分播前灌水期和生育期。水稻泡田定额和旱作物播前灌水定额各有特定的计算公式。计算生育期灌溉制度以水量平衡方程为基础，水稻一般以水层深为变量，旱作物则以计划湿润层中的含水量为变量。对于淹灌水稻，水层深降低至适宜水层深下限时，需进行灌溉；以达到适宜水层深上限为控制条件，确定灌水定额。对于旱作物，计划湿润层内土

壤含水率降至适宜含水率下限（等于或略高于凋萎系数）时，需进行灌溉，并以适宜含水率上限为控制条件，确定灌水定额。

在水资源不足的情况下，不能充分满足作物的需水要求，因而只能实施非充分灌溉条件下的灌溉制度。在非充分灌溉条件下，需要在不同作物之间或同种作物不同生育阶段之间合理分配有限的灌溉水量，使有限的灌溉水量取得最佳的经济效益。

根据某年份灌区各种作物的种植面积、灌溉制度，可以计算出全年的灌溉用量和灌溉用水过程线。计算灌溉用水量可直接根据灌溉制度进行计算，也可先计算综合灌水定额，再根据综合灌水定额计算灌溉用水量。

在设计灌溉渠道时，为便于计算渠道的设计流量，往往需要先计算出灌水率，灌水率的计算是本章又一个重点，需要熟练掌握灌水率计算、灌水率图的绘制及修正方法。

2.1.2 基本要求

1. 了解田间水分消耗途径。
2. 理解作物需水量和田间耗水量的概念。
3. 掌握作物需水临界期的概念及应用价值。
4. 掌握计算作物需水量的 α 值法和 K 值法。
5. 了解计算作物需水量的修正彭曼法或彭曼—蒙特斯法。
6. 理解作物灌溉制度的概念。
7. 了解确定农作物灌溉制度的常用方法。
8. 掌握利用水量平衡原理确定水稻和旱作物灌溉制度的计算方法。
9. 了解非充分灌溉的概念及非充分灌溉制度的确定方法。
10. 了解我国主要农作物的灌溉制度。
11. 理解灌溉用水量的计算方法。
12. 掌握灌水率的概念、灌水率图的绘制与修正确定方法。

2.2 习 题

2.2.1 名词解释

1. 植株蒸腾、株间蒸发、深层渗漏
2. 作物需水量、需水量模比系数
3. 田间耗水量
4. 作物需水临界期
5. 参照作物需水量
6. 灌溉制度、灌水定额、灌溉定额
7. 土壤计划湿润层
8. 有效降雨量
9. 非充分灌溉
10. 作物水分生产函数

11. 综合净灌水定额、灌水率（灌水模数）

2.2.2 填空题

1. 田间水分消耗的途径包括_____、_____和_____。
2. _____和_____合称为腾发，两者消耗的水量称为腾发量，通常又把腾发量称为_____。
3. 对于水稻田，田间需水量与田间渗漏量之和，称为_____。
4. 目前计算作物需水量的方法可归纳为两类，一是_____，二是_____。
5. 充分灌溉条件下的灌溉制度的制定方法有_____、_____和_____。
6. 为了保证作物的正常生长，土壤含水率应控制在适宜的范围内，则旱作物土壤含水率应该在_____和_____范围内。
7. 典型年灌溉用水量的计算方法有_____和_____。
8. 水分生产函数是指在作物生长发育过程中，_____与_____之间的数量关系。国内外应用最普遍的作物生育阶段水分生产函数是_____。

2.2.3 选择题

1. 作物需水量是指（ ）。

A. 植株蒸腾量	B. 植株蒸腾量+深层渗漏量
C. 植株蒸腾量+棵间蒸发量	D. 植株蒸腾量+棵间蒸发量+深层渗漏量
2. 以水面蒸发量为参数的需水系数法一般适用于（ ）作物需水量的估算。

A. 小麦	B. 玉米	C. 水稻	D. 棉花
-------	-------	-------	-------
3. 以产量为参数的需水系数法一般适用于（ ）作物需水量的估算。

A. 土壤水分充足的小麦	B. 水稻
C. 土壤水分不足的玉米	D. 浅湿灌溉的早稻
4. 影响作物需水量的最主要的因素是（ ）。

A. 作物种类	B. 气象条件
C. 土壤特性	D. 耕作措施
5. 作物需水临界期是指（ ）。

A. 作物最需要灌水的生长时期	B. 作物生长最关键的生育阶段
C. 对作物产量影响最大的生长阶段	D. 水分亏缺对作物产量影响最敏感、最严重的时期
6. 作物需水的模比系数是指（ ）。

A. 作物各生育阶段需水量的大小	B. 作物全生育阶段需水量的大小
C. 作物各生育阶段的需水规律	D. 作物各生育阶段的需水量占全生育期总需水量的百分比
7. 土壤计划湿润层深度是指实施灌水时，计划调节和控制土壤水分状况的土层深度，生产实践中一般取（ ）。