



农业水土工程概论

康绍忠 主编

中国农业出版社



封面设计 陈 媛

ISBN 978-7-109-11095-3



9 787109 110953 >

定价：200.00 元

国家科学技术学术著作出版基金资助

农业水土工程概论

康绍忠 主编

中国农业出版社

中
一
t f
5
型

山
莫

r
72

图书在版编目 (CIP) 数据

农业水土工程概论 / 康绍忠主编. —北京: 中国农业出版社, 2007. 9

ISBN 978 - 7 - 109 - 11095 - 3

I. 农… II. 康… III. 水土保持—农业工程—概论
IV. S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 085118 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
责任编辑 王 凯 赵立山

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 60
字数: 1 383 千字 印数: 1~1 500 册
定价: 200.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编写人员

第一篇

第一章 康绍忠

第二篇

第二章 孙景生 康绍忠

第三章 胡田田 康绍忠

第四章 蔡焕杰

第五章 王仰仁

第六章 张富仓

第七章 李明思

第八章 吕宏兴 宋松柏

第三篇

第九章 康绍忠

第十章 马孝义

第十一章 冯绍元

第十二章 费良军

第十三章 李久生

第十四章 李光永

第十五章 杜太生 冯浩

第十六章 张正斌 张建华

第十七章 何武全

第十八章 吕宏兴

第四篇

第十九章 栗晓玲 康绍忠

第二十章 栗晓玲 康绍忠

第二十一章 吴普特 冯浩

第二十二章 黄冠华 徐应明

第二十三章 邵东国

第二十四章 汪志农

第二十五章 魏晓妹

第五篇

第二十六章 朱建强

第二十七章 郑粉莉 高学田

第二十八章 师延武 康绍忠

第六篇

第二十九章 宋松柏

第三十章 汪志农

第三十一章 王长德

第三十二章 宋松柏

前 言

水资源紧缺、洪涝灾害频繁、水污染严重、水土环境恶化已成为制约我国农业乃至整个国民经济可持续发展的瓶颈。农业水土工程学科正是瞄准解决上述这些不仅影响我国国民经济可持续发展和人类生存环境，而且倍受世界所关注的重大问题而逐渐发展起来的。

农业水土工程是农业工程一级学科中一个覆盖范围较广的二级学科，是以土壤学与作物学、水文气象学、水力学、工程力学为理论基础和技术基础的应用学科。它是研究水及相关的溶质运行规律与水土资源持续高效利用的理论与技术，创造良好的农业水土环境，为农业可持续发展服务的新兴边缘科学。其重点研究内容是农业节水理论、田间节水灌溉新技术与节水灌溉设备、中低产田改良的排水技术、水资源持续利用理论与工程技术、灌区用水管理、农业水土环境监测、修复与保育、农业高效用水的工程技术等方面的应用基础理论和新技术。其学科覆盖范围较广、交叉性很强。农业水土工程是由农田灌溉和农田水利工程学科发展起来的，并以水文水资源、水利水电工程、水土保持与荒漠化防治、环境工程等学科为相邻学科。

农业水土工程学科在我国的发展，经历了一个较长的阶段。大约从20世纪30年代起，在土木工程和水利工程学科中，一部分内容开始向以服务农业为目标的农业水利工程方向发展。到目前为止，农田水利学科仍以灌溉排水为主要内容，实际上只突出一个水字。而多年的农业生产和科学实践表明，水、土、植物之间有着密不可分的联系，科学地调控土壤水分，协调好土壤—植物—大气连续体的水分关系，是保证植物生长的基本条件；增加植被是涵养水源，减小土壤侵蚀，防止土壤水分、养分流失，搞好水土保持的重要手段；而合理施肥，改良土壤，以肥促水，又是提高作物水分利用效率的重要途径。揭示水、土、植物之间这种内在本质的联系，已成为农业水土工程科学研究的一个重要领域。特别是20世纪中叶以来，土壤物理学、植物生

理学、现代数学、信息技术、材料科学的迅速发展和向农业水土工程学科的渗透，多学科的交叉融合，极大地促进了农业水土工程学科理论体系的形成和技术创新，丰富了农业水土工程的科学内涵。正是在这种背景下，形成了研究水及相关的溶质运动规律，综合高效利用农业水土资源，为农业可持续发展服务的农业水土工程学科。

农业水土工程作为一个新的交叉性学科具有明显特点：同原有的农田水利工程学科比较，它的覆盖面已大大拓宽，包括灌溉排水、农田水土保持、土壤改良、农业水土资源与环境、农业水土工程建筑等；农业水土工程学科把水、土、植物紧密结合，把生物和工程措施相统一，成为农业工程的一个重要分支；农业水土工程是在农业和工程的交叉点上建立起来的一个新的学科。

目前，农业水土工程学科已得到了国内外的认同及重视。1998年开始，中国农业工程学会设立了农业水土工程专业委员会；1993年农业部批准在原西北农业大学建立了农业水土工程研究所；1996年农业部评估批准建立了农业水土工程重点开放实验室；2000年教育部评估批准建立了旱区农业水土工程重点实验室；2002年教育部还批准有农业水土工程国家重点学科。在《农业工程学报》中开设有农业水土工程专栏，其研究论文的数量大幅度增加。在国家自然科学基金委员会工程与材料科学部水利学科资助的领域中出现了“农田水利与水土工程”，而且“九五”以来，有关农业水土工程学科领域资助项目的数量和经费强度增加也较快，先后立项启动了多项重点项目。农业水土工程学科在我国农业和整个国民经济持续发展中的重要性和不可替代的作用已得到了社会的承认。

为了系统总结农业水土工程学科的发展历程和学术成就，探索农业水土工程学科的发展前景和方向，为发展节水农业和促进水土资源可持续利用，我们组织国内有关专家编写了《农业水土工程概论》一书。本书为我国该学科第一部以反映学科前沿进展和重要研究成果为主的学术专著，对中国农业水土工程学科体系的建立和发展将起到重要作用。

本书的编写有如下特点：一是带有专著性质；二是带有学科不同领域综述性质；三是要反映各个领域的发展方向和战略；四是具有一定的系统性。因此，作者站在学科发展的前沿，全面收集和阅读了国内外的相关文献，并从一定的高度进行分析和判断，使用的文献较新，基本反映了农业水土工程

学科不同领域的最新进展和发展趋势、最新理论与方法及其应用状况。每章的写作基本论述了各个领域的内涵、所研究的问题、基本的概念和方法、研究的进展、已达到的水平和存在的问题，解决问题的可能方法，未来不同领域的发展方向和可能的突破以及进一步研究的思路。力求为全面了解农业水土工程学科的最新进展提供帮助。

参加该书编写的都是近年活跃在农业水土工程学科科研一线的专家，主要包括中国农业大学中国农业水问题研究中心康绍忠、冯绍元、黄冠华、李光永、杜太生，西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室蔡焕杰、汪志农、魏晓妹、马孝义、吕宏兴、张富仓、栗晓玲、胡田田、宋松柏、何武全，中国水利水电科学研究院水利研究所李久生，国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心吴普特、冯浩，武汉大学王长德、邵东国，西安理工大学费良军，石河子大学李明思，长江大学朱建强，中国农业科学院农田灌溉研究所孙景生，中国科学院、水利部水土保持研究所郑粉莉、高学田，中国科学院石家庄农业现代化研究所张正斌，香港浸会大学张建华，农业部天津环境保护监测研究所徐应明，北京市水利科学研究所师延武，山西省水利科学研究所王仰仁等。该书由康绍忠教授主编，杜太生任本书编写组学术秘书，协助主编做了大量具体工作。由于编者水平、时间所限，对各自领域的最新进展的了解还不是十分全面，对有些问题的认识和判断还有待于更进一步深化，错误和不足之处亦必颇多，恳请同行专家指教。

编 者

2005年1月

目 录

前言

第一篇 总 论

第一章 农业水土工程学科的研究任务与未来发展趋势	3
第一节 农业水土工程学科的形成与发展	3
一、农业水土工程学科的形成	3
二、农业水土工程学科的体系与范畴	4
三、农业水土工程学科发展的新机遇与前景	6
第二节 农业水土工程学科的研究状况与发展趋势	9
一、我国农业水土工程学科取得的主要成就	9
二、我国农业水土工程研究领域存在的问题及与国际水平的差距	21
三、国内外农业水土工程学科领域的发展态势与热点问题	24
第三节 未来农业水土工程学科的任务与重要研究方向	37
一、农业水土工程学科的发展目标	37
二、未来农业水土工程学科的主要任务与研究方向	38
三、近期可能取得的突破性进展	39
第四节 农业水土工程学科发展的保障条件建设	41
参考文献	42

第二篇 农业水土工程应用基础理论篇

第二章 土壤—植物—大气连续体中的水流运动与热量交换	49
第一节 概述	49
一、土壤—植物—大气连续体的概念	49
二、SPAC中的水势分布与水流阻力的分布规律	51
三、SPAC中的水容	52
四、SPAC中的界面过程	53

五、SPAC 质能传输的动态模拟技术及其应用	58
第二节 SPAC 中的能量平衡与热量交换	59
一、SPAC 中的能量平衡方程	59
二、输入植物冠层的净辐射	60
三、蒸发蒸腾耗热与大气感热	65
四、土壤热特性与土壤热通量	66
五、能量平衡各分量的变化	70
第三节 植物根系吸水规律	71
一、植物根系吸水机制及影响因素	71
二、植物根系生长与根系密度分布	72
三、植物根系吸水模式	75
四、植物根系吸水特性的研究动态与发展趋势	81
第四节 农田水分循环与水量平衡方程	84
一、农田水量平衡方程及水量转化关系的影响因素	84
二、农田水量平衡方程在灌溉管理中的应用	86
三、农田“五水”相互转化的动力学模式及其应用	90
第五节 SPAC 水热运动模型	96
一、根区土壤水热运动模型	96
二、SPAC 系统水热动态综合模型	98
三、SPAC 水分传输动态的计算机仿真	100
参考文献	102
第三章 植物抗逆性与补偿效应新理论及应用	105
第一节 逆境对植物的伤害与植物抗逆性	105
一、植物的逆境	105
二、植物的抗逆性	105
三、逆境对植物的伤害	106
四、植物对逆境的适应	107
五、植物的交叉适应和整体抗逆性	109
六、植物的补偿效应	110
第二节 植物的抗旱性与补偿效应新理论	111
一、干旱与抗旱性评价指标	111
二、干旱对植物的伤害	112
三、植物对干旱的适应	112
四、植物抗旱性中的补偿效应	119
第三节 植物水分利用效率及其改进途径	122
一、植物水分利用效率	122
二、植物水分利用效率的遗传差异与改良	125

三、提高植物水分利用效率的其他途径	126
第四节 植物的抗涝性及其应用	129
一、渍涝对植物的伤害及其原因	129
二、植物对渍涝的适应	130
三、植物耐涝性评价指标	137
四、提高植物抗涝(缺氧)性的途径	138
第五节 植物的抗盐性及其应用	140
一、盐分过多对植物的伤害	140
二、植物对盐胁迫的适应	141
三、植物的耐盐能力及其鉴定	145
四、提高作物抗盐性的途径	150
参考文献	152
第四章 作物蒸发蒸腾量计算理论与方法	164
第一节 作物蒸发蒸腾量及其主要影响因素	164
一、作物蒸发蒸腾量	164
二、作物需水量的影响因素	165
第二节 作物蒸发蒸腾量的测定与蒸腾模型	165
一、蒸发蒸腾量测量方法	165
二、冠层尺度的蒸腾模型	168
第三节 参考作物蒸发蒸腾量的计算	169
一、布莱尼-克雷多(Blaney-Criddle)法	170
二、辐射法	170
三、蒸发皿法	170
四、Penman公式法	170
五、Penman-Monteith公式法	172
六、几种参考作物蒸发蒸腾量计算方法的比较	175
第四节 作物需水量计算方法	177
一、单作物系数方法	177
二、双作物系数的计算	178
三、水分胁迫条件下作物需水量估算方法	181
第五节 遥感方法估算区域蒸发蒸腾量	182
一、能量平衡方法	183
二、修正植被指数模型	184
三、双层阻力模型	184
四、卫星遥感基础上的模型	185
第六节 作物蒸发蒸腾量的应用与需要研究的问题	187
一、不同方法估算的作物蒸发蒸腾量的应用	187

二、作物蒸发蒸腾量计算需要进一步研究的问题	187
参考文献	189
第五章 作物水分生产函数与非充分灌溉理论	191
第一节 作物水分生产函数的形式与分类	191
一、作物水分生产函数的单因子模型	192
二、作物水盐生产函数与水肥生产函数	200
第二节 基于作物生长模型的作物水分生产函数	207
一、光合作用模拟	207
二、呼吸作用模拟	208
三、产量形成的模拟	208
四、蒸发蒸腾过程及水分亏缺对作物产量影响的模拟	210
五、养分亏缺对产量影响的模拟	211
第三节 作物水分生产函数建模及其检验	211
一、建模的主要过程	211
二、作物水分生产函数参数求解	212
第四节 我国主要农作物水分生产函数的研究	215
一、作物产量与全生育期蒸发蒸腾量关系的研究	215
二、作物产量与阶段蒸发蒸腾量关系的研究	216
三、利用专项试验研究作物水分生产函数	217
第五节 作物水分生产函数在灌溉制度优化中的应用	219
第六节 作物水分生产函数研究动态与展望	222
一、作物水分生产函数建模中的问题	222
二、作物水分生产函数应用中的问题	225
三、作物水分生产函数研究进展与展望	228
第七节 非充分灌溉及其理论依据	229
一、充分灌溉的基本概念	229
二、非充分灌溉基本概念	230
三、经济灌溉与有限灌溉	230
四、非充分灌溉研究目的与主要研究内容	231
五、非充分灌溉的理论依据	231
参考文献	233
第六章 溶质在多孔介质中迁移的新理论与数学模型	237
第一节 溶质在多孔介质中迁移理论的发展概况	237
一、溶质在多孔介质中迁移的理论问题	237
二、溶质在多孔介质中迁移理论的研究状况	240
第二节 多孔介质中溶质迁移的优先流理论	244

一、优先流的概念和分类	245
二、优先流的水流特征	246
三、优先流的研究进展	246
第三节 非水相流体 (NAPLs) 在土壤及多孔介质中的迁移理论	250
一、非水相流体 (NAPLs) 的基本特征	250
二、非水相流体 (NAPLs) 在土壤及多孔介质中迁移的迁移理论	251
第四节 溶质在土壤及多孔介质中迁移的数学模型	257
一、确定性模型	258
二、土壤溶质运移的随机模型	265
参考文献	268
第七章 明渠非恒定流理论与模拟及调控	276
第一节 非恒定流理论与应用的研究状况	276
一、明渠水流的不恒定性	276
二、地面灌水系统的水流不恒定性	276
三、明渠非恒定流理论在农业水土工程中的应用	277
第二节 圣维南方程及其求解	278
一、圣维南方程的推导	278
二、圣维南方程求解	281
第三节 渠系水量调控	289
一、渠系水量调控模型建立	289
二、非恒定流调控研究中存在的问题	291
第四节 明渠非恒定流理论在地面灌水理论中的应用	291
一、地面灌水理论的非恒定流模型	292
二、非恒定流模型求解	293
三、明渠非恒定流模型在地面灌溉理论应用中存在的问题	301
参考文献	301
第八章 挟沙水流与渠道泥沙输运理论	305
第一节 挟沙水流的概念	305
第二节 起动流速及泥沙的运动形式	306
一、泥沙的起动流速与起动切应力	306
二、泥沙的运动形式	312
第三节 挟沙水流的动床阻力	312
一、沙波现象	313
二、动床切力分割法 (恩格隆法)	314
三、水力半径分割法 (爱因斯坦法)	315
四、综合糙率法	317

第四节 水流的挟沙能力	318
一、挟沙能力的概念与定义	319
二、推移质输沙率	320
三、悬移质含沙量沿垂线分布规律	321
四、悬移质输沙率与挟沙能力的经验公式	323
参考文献	324
 第三篇 农业节水理论与新技术篇 	
第九章 现代农业节水理论与技术研究现状及发展趋势	329
第一节 农业节水的战略地位及技术体系	329
一、发展我国现代农业节水技术的战略地位	329
二、我国农业节水技术的发展成就	330
三、农业节水技术体系的应用效果与前景	331
四、现代农业节水研究是一个跨多学科的高科技问题	337
第二节 现代农业节水研究动态与发展趋势	338
一、国内外农业节水研究动态	338
二、农业节水研究的发展趋势	342
第三节 中国农业节水技术发展战略与对策	344
第四节 现代农业节水的理论创新及未来研究重点	348
一、现代农业节水需要新的科学理论作指导	348
二、我国农业节水领域应研究解决的几个重大基础理论问题	349
第五节 我国现代农业节水技术领域的重点研究内容	353
一、现代农业节水前沿技术	353
二、现代农业节水关键平台技术及新产品	354
三、现代农业节水技术集成示范工程与产业化	356
参考文献	356
第十章 作物水分信息采集与精量控制用水技术	358
第一节 用冠层温度诊断作物水分状况	358
一、用冠层温度诊断作物水分状况的理论基础	358
二、以冠层温度为基础的作物缺水评价方法及指标的研究概况	359
三、用冠层温度诊断作物水分状况存在问题及未来方向	363
第二节 利用植株茎直径变差监测作物水分状况	364
一、理论基础	364
二、以株茎直径变化为基础的作物缺水评价方法及指标的研究概况	364
三、利用植株茎直径变差监测作物水分状况存在的问题与未来方向	367

第三节 作物蒸腾过程快速测定技术	367
一、研究概况	367
二、热学法的几种类型	368
三、应用热脉冲法计算植物蒸腾量应注意的几个问题	369
四、利用热脉冲技术测定液流的应用前景、存在问题及未来方向	370
第四节 土壤水分动态快速测定与预报技术	371
一、土壤水分广义电磁测量的物理基础	371
二、国内外土壤水分广义电磁测量方法的研究进展	372
三、土壤水分电磁测量的几个理论问题	375
四、土壤水分电磁测量方法存在的问题及未来方向	377
五、区域土壤水分的监测与预报	378
第五节 作物精量控制灌溉技术及设备	378
一、精量控制灌溉技术体系框架	379
二、精量控制灌溉的未来模式	380
三、几种实施精量控制灌溉的设备	381
四、精量控制灌溉技术的应用状况及未来方向	384
参考文献	384
第十一章 不同灌溉条件下水肥耦合与调控技术	390
第一节 水肥耦合与调控基本原理	390
一、水肥耦合与调控的概念	390
二、以肥调水的机理	390
三、以水促肥的机理	391
第二节 地面灌溉条件下水肥耦合与调控技术	393
一、畦灌	393
二、沟灌	394
第三节 喷灌条件下水肥耦合与调控技术	395
一、喷灌冬小麦的水肥耦合效应	396
二、喷灌花生的水肥耦合效应	396
第四节 滴灌条件下水肥耦合与调控技术	397
一、滴灌施肥的主要特点	397
二、滴灌施肥系统中的注肥设施	398
三、滴灌施肥系统中的安全保护设施与安全施肥操作	400
四、滴灌施肥技术的应用	402
第五节 水肥耦合模型的建立及应用	403
一、直接耦合模型	403
二、转换耦合模型	404
参考文献	404

第十二章 地面节水灌溉理论与新技术研究进展	406
第一节 地面灌溉发展概论	406
一、水平畦灌技术	407
二、长畦分段短灌技术	407
三、细流沟灌技术	407
四、覆膜灌溉技术	408
第二节 地面灌溉理论简介	408
一、地面灌水田间试验	409
二、地面灌溉理论分析	409
三、地面灌溉质量评价	410
第三节 地面灌溉研究和发展态势	410
一、地面灌溉研究进展	410
二、提高地面灌溉水利用效率所遇到的关键问题	410
三、国外地面灌溉研究的热点问题	411
四、我国地面灌溉研究与国际领先水平的差距	411
第四节 波涌灌溉	412
一、波涌灌简介	412
二、国内外波涌灌溉的发展概况	412
三、波涌灌机理与入渗数学模型	414
四、波涌灌田面水流运动数学模型	415
五、波涌灌技术的适应性	418
六、存在问题和发展态势	419
第五节 覆膜灌溉	419
一、覆膜灌溉简介	419
二、膜孔灌理论与技术研究现状	420
三、存在问题与发展态势	423
第六节 激光控制土地平整技术	423
参考文献	425
第十三章 喷灌节水灌溉技术研究的新进展	427
第一节 喷灌技术的发展	427
一、喷灌技术的发展概况	427
二、喷灌发展影响因素分析	430
三、喷灌技术研究发展趋势	432
四、现阶段喷灌发展的重点	432
第二节 喷灌关键技术参数	433
一、喷灌强度	433

二、喷灌均匀度	434
三、水滴打击强度	435
第三节 喷洒水利用系数的研究进展	436
一、喷洒水利用系数的研究综述	436
二、旱风沙区喷洒水利用系数的研究	437
第四节 喷灌均匀系数设计标准的研究进展	441
一、作物冠层对喷灌水量分布的影响	441
二、喷灌均匀系数对土壤水分空间分布的影响	444
三、喷灌均匀系数对作物产量的影响	446
参考文献	448
第十四章 微灌原理与研究进展	452
第一节 国内外微灌发展历程与现状	452
第二节 微灌的类型与灌水特点	454
一、微灌的类型	454
二、微灌的灌水特点	455
第三节 微灌主要技术参数研究现状	456
一、微灌作物耗水量	456
二、微灌土壤湿润比	457
三、灌水均匀度	459
第四节 微灌土壤水分、溶质运移研究进展	462
一、微灌土壤水分入渗特点	462
二、微灌土壤水分运移研究进展	462
三、滴灌条件下溶质运移规律研究进展	465
第五节 地下滴灌技术的研究现状	466
一、对作物产量的影响	467
二、毛管深度与间距	467
三、灌溉频率与灌水量	468
四、灌水均匀度	468
第六节 微灌技术研究热点问题	469
参考文献	471
第十五章 化控节水理论与新产品研究进展	483
第一节 化控节水技术概述	483
第二节 保水剂的节水保水机理与应用研究	484
一、国内外保水剂产品研发及应用现状	484
二、保水剂的吸水机理	486
三、保水剂的种类与用途	487