

640457

514

高等学校教材

13121.7

农田水利学

武汉水利电力学院主编

水利出版社

514
1311;7

高等学校教材

农田水利学

武汉水利电力学院主编

水利出版社

°
°
t,
Kil
Ce
ty
put
yri
ro

内 容 提 要

本书是高等院校《农田水利工程》专业的通用教材，也可供从事农田水利工作的技术人员和干部参考。

本书分为两篇：第一篇为灌溉排水，内容包括农田水分状况及灌溉用水、灌溉水源及引水工程的水利计算、灌排渠沟系统的规划布置、田间工程规划、灌溉渠道设计、排水沟设计、灌水方法、灌区用水管理等八章；第二篇为地区水利规划，内容包括山区和丘陵地区的规划治理、南方平原圩区的规划治理、北方平原地区综合治理和地下水利用、水资源系统的最优规划等四章。书中着重阐述了农田灌排和地区规划的基本理论以及我国农田水利建设的基本经验，适当介绍了有关新技术在农田水利中的应用。

高等学校教材

农 田 水 利 学

武汉水利电力学院主编

*

水利出版社出版发行

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 27 $\frac{1}{4}$ 印张 620千字

1980年12月第一版 1982年5月北京第二次印刷

印数 6111—11900册 定价 2.80元

书号 15047·4096

前 言

本书是根据1978年四月制定的高等学校《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年元月

80.1.13

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	3
第一篇 灌 溉 排 水	
第一章 农田水分状况及灌溉用水	7
第一节 农田水分状况	7
第二节 作物田间需水量	14
第三节 水稻田的渗漏量	19
第四节 农作物的灌溉制度	20
第五节 灌溉用水量	30
第六节 灌水率	34
第二章 灌溉水源和引水工程的水利计算	37
第一节 灌溉水源和取水方式	37
第二节 引水灌溉工程的水利计算	42
第三章 灌排渠沟系统的规划布置	51
第一节 灌区类型及其灌排系统的典型布置形式	51
第二节 灌排系统布置的原则与选线步骤	56
第三节 灌溉渠道防洪规划	62
第四章 田间工程规划	67
第一节 概述	67
第二节 田间灌排渠系布置	74
第三节 除涝用的田间排水沟	78
第四节 控制地下水的田间排水沟	80
第五节 地下输水管道	88
第六节 田、塘、路、林、居民点的规划布置	97
第五章 灌溉渠道设计	102
第一节 灌溉渠道设计流量的计算	102
第二节 灌溉渠道纵横断面设计	116
第三节 渠道防渗	134
第四节 渠道滑坡的防治	144
第六章 排水沟设计	149
第一节 排水沟设计流量的确定	149
第二节 排水沟的设计水位	157

第三节	排水沟断面设计	158
第七章	灌水方法	167
第一节	各种灌水方法的优缺点及适用条件	167
第二节	畦灌	169
第三节	沟灌	170
第四节	渗灌	172
第五节	喷灌	173
第六节	滴灌	211
第八章	灌区用水管理	225
第一节	灌区计划用水	225
第二节	灌区量水	232
第三节	灌排试验	238

第二篇 地区水利规划

第九章	山区、丘陵地区的规划治理	257
第一节	概述	257
第二节	山区、丘陵地区的灌溉系统	258
第三节	山区、丘陵地区灌溉水资源的估算方法	263
第四节	水土保持	272
第十章	南方平原圩区的规划治理	283
第一节	平原圩区的防洪规划	283
第二节	河道(河网)洪水演算	290
第三节	平原圩区内部的除涝灌溉规划	312
第四节	排水闸和挡潮闸的规划计算	325
第十一章	北方平原地区综合治理和地下水利用	344
第一节	北方平原地区的特点	344
第二节	综合治理的原则与治理措施	346
第三节	可以开采利用的地下水资源的概念	350
第四节	地下水取水建筑物	358
第五节	井的水力学计算及水文地质参数的确定	364
第六节	地下水资源分析计算	382
第七节	地下水开发利用规划	391
第十二章	水资源系统的最优规划	395
第一节	概述	395
第二节	水资源系统的最优化技术	403
第三节	线性规划	406
第四节	动态规划	419
第五节	模拟技术	426
参考文献	428

绪 论

第一节 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和地区水利条件，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能具备最基本的发展条件。

我国地域广阔，气候适宜，水利资源丰沛，发展农业的自然条件是相当优越的。但是，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800~2000毫米，故又称水分充足地区，无霜期一般为220~300天，农作物以稻、麦为主，一年至少两熟；在南岭山脉以南的华南地区，年降雨量为1400~2000毫米，终年少见霜期，一年可三熟。南方降雨虽较丰沛，但由于降雨的时程分配与作物生长季节的田间需水不够适应，经常遭受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、太湖流域老河网地区及珠江三角洲等地，汛期外河水位经常高于地面，内水不能外排，洪水和渍涝威胁比较严重。

淮河以北，通称北方，年降雨量一般小于800毫米，属于旱和半干旱地区。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。这类地区降雨量稀少，而蒸发量大。绝大部分地区的年降雨量在100~200毫米之间，有的地方甚至终年无雨，而年蒸发量的平均值约为1500~2000毫米，超过降雨的几倍以至十几倍，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，大部分地区没有灌溉就很难保证农业生产的进行。至于半干旱地区，则包括华北平原、东北平原、淮北平原以及内蒙古的南部和东部地区等。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，但由于年变差大和年内分布不均，因而经常出现干旱年份和干旱季节。半干旱地区主要生产棉花、小麦、玉米和豆类，水稻种植也有一些，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，时常春旱秋涝，而且涝中有旱，涝后又旱，其它地区也有类似的情况。此外，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土地，在黄河中游的黄土地带，还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，我国劳动人民在发展农业生产的同时，一直和水旱灾害进行着不断地斗争，写下了光辉灿烂的农田水利史。农田水利的历史可以追溯到很古老的年代。相传夏商时期，在黄河流域就已出现了“沟洫”，即古代用作灌溉排水的渠道。公元前六世纪，楚国人民兴建了芍陂（今安徽省寿县南五十余里），它是利用原有的湖泊构筑成周长约100里的水库，引蓄淝河的水来进行灌溉，这是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程。公元前四世纪，魏国的西门豹发动人民在邺（今河北临漳）修建了十二条渠道，引漳水灌溉，这是早期较大的引水灌溉工程。此后，秦朝（公元前三世纪）李冰父子依靠广大劳动人民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，而且灌区有干、支渠道五百余条，总长1100余公里，在秦朝就灌溉了灌县、成都等十余个县。两千年来，都江堰水利工程一直为农业生产服务，现经改建、扩建，已能灌溉27个县市八百多万亩农田，它充分显示了我国古代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。至近代（二十世纪三十年代），我国水利专家李仪祉在陕西省创建了渭惠渠、泾惠渠和洛惠渠等大型灌区，这些灌区不仅进行了正规的规划设计，而且始终重视科学管理，至今积累了一套灌区建设和管理的经验，并发挥着巨大的工程效益。

在防洪除涝方面，唐代已有大规模的排水工程，如沧州无棣县的无棣沟，莫州任丘县的通利渠等。五代时期，在江苏太湖流域已形成浦塘制，即纵横交叉的河网，既可用以灌溉，又可进行除涝和综合利用。而江、浙沿海修筑防止海潮侵袭农田的巨大海塘工程，在汉朝就已有记载。

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，农田水利技术进步缓慢。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。建国三十年来，在中国共产党的领导下，我国农田水利建设取得了巨大成绩。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，淮河流域改变了“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”的多灾景象，海河流域摆脱了洪、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1979年夏季为止，全国建成了八万多座大中小型水库，修建了五千多处万亩以上的灌区；全国机井已建成二百多万眼；机电排灌动力从解放初的九万马力，增长到六千多万马力；全国的低洼易涝耕地，约有三分之二得到了初步治理；全国的盐碱耕地，有一半得到了不同程度的改良；全国的坡耕地，有四分之一改造成了梯田。由于进行了这些工作，全国耕地的灌溉面积已达七亿亩，比1949年的二亿四千万亩增加近两倍。其中并有一分之一的耕地，已建设成为旱涝保收、高产稳产农田。

随着农田水利建设的不断发展，在祖国辽阔的土地上，已涌现了许多先进典型。例如湖南韶山灌区1965年开始兴建，在较短时期内完成了引水枢纽和大部分骨干渠道的修建，

工程达到高标准，而且当年灌溉田地40多万亩。又如河南林县人民奋战十年，在太行山的悬崖陡壁上建成了规模宏伟总长1500公里的红旗渠，多快好省地兴建了许多就地取材的建筑物，改变了当地历史上“水贵如油”的局面。再如江苏省苏州地区多年来始终坚持治水改土，科学种田，发展地下排灌，大搞农田基本建设，使农田基本上能灌、能排、能控制地下水位，建成了一大批“吨粮田”。同时该地区大力发展社队企业和地方工业，为农田基本建设提供了资金、材料和设备，创造了自力更生，高速度发展农业的经验。其它还有不少先进典型，这里不再一一赘述。

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，例如：在山区、丘陵区的规划治理方面，各地共同的经验是要在管好用好大中型水库工程的同时，大力整修塘堰和小水库，充分利用当地径流，扩大灌溉水源，建成长藤结瓜式水利系统。在渠系配套改建方面，狠抓了开沟挖渠，即开排洪沟（又称撇洪渠），防止山洪、冷泉入田；开排水沟，降低地下水位，改造冷浸田；开灌溉渠，改串灌串排为合理灌溉。此外，在植树造林、整治沟壑、改坡地为水平梯田等水土保持措施方面，也都取得了不少经验。南方圩区的规划治理，在确保防洪安全前提下，搞好灌溉，排除渍涝，狠抓降低地下水位。在措施方面，江苏省总结了“四分开，二控制”的经验，即内外水分开，高低片分开，灌排系统分开，水旱作物分开及控制内河水位和控制地下水位。湖北省江汉平原在有计划地分洪蓄洪和垦殖的基础上发展了河流改道、撇洪入江等措施，改善了防洪除涝的条件。湖南省洞庭湖地区则有大搞园田化建设、开挖深沟大渠、合理留湖蓄渍的经验。广东珠江三角洲地区在大力整治排灌渠系和兴修撇洪渠的同时，开展了大联围的规划，为提高防洪除涝标准，降低地下水位，建设高产稳产农田创造了条件。北方平原地区，开挖和整修了一大批河道，加固了堤坊，打井修渠，平地深翻，使农业生产条件有了很大的改变。在井渠结合、深沟水网、引洪淤灌、打坝造地、综合治理旱涝碱等方面，都积累了丰富经验。近年来为了建设高产稳产基本农田和创造农业机械化耕作条件，园田化建设有了广泛的发展，标准不断提高，已由局部整修发展为大面积治理，由单纯治水发展为山、水、田、林、路全面规划、综合治理，由解决防洪、蓄水、合理排灌发展到控制地下水位。在灌排技术方面也不断创新，许多灌区的渠道已用各种材料进行了衬砌，有些地区的渠道已由明渠改为地下渠道，并采用了暗沟(管)排水。喷灌技术最近几年在我国发展也很快，目前各省、市、自治区都在进行喷灌机具与田间试验的研究工作，不少地区已开始大面积推广。我国农田水利事业虽然取得了很大成绩，但还远远不能适应新时期农业生产和国民经济高速度发展的需要。因此，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。

第二节 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利资源为发展农业生产而服务的科学。建国以来，我国农田水利建设取得了很大成绩，积累了丰富的经验。但是生产在前进，科学技术在发展，为了适应农业现代化

的需要，我们不仅需要总结我国自己的经验，同时也应学习和吸取国外一切有益的先进科学技术，使农田水利这门学科得到不断的充实与提高。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。农田水分不足，会出现干旱，影响作物正常生长所需水分和养分的输送，且会引起土壤温度和土壤溶液浓度超出作物所许可的范围；农田水分过多，又会出现涝渍，导致土壤通气不良，甚至田面作物受淹等。因此，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 即借修建排水系统将农田内多余的水分(包括地面水和地下水)排入承泄区(河流或湖泊等)，使农田保持适宜的水分、养料、通气和热状况，以适应农作物的生长。在平原低洼和易碱地区，排水系统还同时具有降低地下水位和排除盐分的作用。控制地下水位对于增产的重要性，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) 研究农田水分运动规律，探求土壤、作物和水分三者之间的内在关系，以指导合理排灌和改造低产田(包括盐碱地和冷浸田等)，控制适宜的土壤水分和地下水位，促进农业高产稳产。

2) 研究不同地区灌排系统的合理规划布置，做到山、水、田、林、路综合治理，既适应机耕，又便于灌排和控制地下水位。目前国外田间灌排系统的发展趋势是地下管道化。利用地下排灌，其优点是很多的，例如利用地下暗管进行灌溉、降低地下水位和排除有害盐类，不仅有效而且具有明沟难以比拟的优点。许多国家不仅地下灌排面积有了相当的发展，而且对不同的管材、不同的土壤类型和作物，做了地下排灌试验研究，取得了一定成果。地下排灌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百分之一。因此如何进一步提高地下排灌理论、发展新的技术、寻求合适的管材和降低费用等，极待研究。

3) 研究灌水新技术。灌水技术的基本要求是以最少的水量、最少的费用获得最高的产量。我国目前主要采用的是地面灌水技术，包括旱田作物的畦沟灌溉和水稻的格田灌溉。这是传统的灌水技术。国外多数国家目前也仍以地面灌水为主，但有发展成为喷灌为主的趋势。在1960年全世界喷灌面积约3759万亩，到七十年代就已经超过一亿亩。目前各国喷灌面积占总灌溉面积的比例不一样，一般达20~50%，有些国家已接近100%，成为灌溉蔬菜、果树、经济作物、牧草和麦类等的主要方法，有的已用于防霜冻、施化肥、施农药，降温等方面并实现了自动化。近年来，我国喷灌面积也有很大的发展。但喷灌机具和设备，有待研究改进，喷灌技术需要提高完善并应逐步现实自动化。至于根据大气、水、土、作物的动态及其内在关系，利用电子计算技术拟定最优灌水时期和最优灌水量并进行自动灌水的理论和技术，也应加强试验研究，迎头赶上。滴灌在不少国家已有发展，

可以达到高产、省水、省工和自动化要求，在我国目前还处于试验阶段。

4) 研究灌排工程施工机械化和自动化。灌排工程是面广量大的水利工程，实现机械化施工，可以大大提高劳动生产率，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，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，逐步研究发展开沟、衬砌、铺管等各种专用机械，以实现农田水利施工机械化。除个别单位试点外，我国目前尚无完善的自动化灌排系统。今后应加强研究、研制和生产有关设备，装备灌排工程，实现闸门启闭自动化、灌区量水自动化以及喷滴灌自动化等。

5) 研究加强灌排系统管理的措施。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，研究新的管理体制以及切实的工程管理和用水管理措施，做到适时适量灌水、及时排除涝水和控制地下水位，减少渠道渗漏，防止次生盐碱化，确保达到工程效益指标。

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也愈来愈广，就农田水利措施来讲，其内容也日益丰富。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的水利资源的数量、分布情况及其动态而言，它主要决定于该地区的自然条件，如气候、河流水文状况、水文地质条件等。不利的地区水情，往往是某一时地区因水量过多而引起洪涝灾害，或由于水量不足而发生干旱现象，影响农业生产。但是不利的地区水情可以通过人类活动加以改变和调节，创造适合于发展农业生产的有利环境，为改变和调节农田水分状况建立必要前提。但必须指出，在为农业目的而调节地区水情时，还应该考虑其它用水部门的要求，即对水利资源进行全面规划、综合利用，以期达到充分合理的应用。

我国幅员辽阔，水利资源丰富。但是，水在不同地区以及不同年分和季节间分配不均，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。发展农田水利，首先要解决水土资源平衡问题，通过各种工程措施，调节水量盈亏，在时间、空间上做到水量和水质的供需平衡，达到“遇早有水、遇涝排水”。

改变和调节地区水情的措施，一般可分为以下两种：

(1) 蓄水措施 主要是通过水库、河网、湖泊洼淀、地下水库以及大面积的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分地区水量的贮备。

(2) 引水、调水措施 引水、调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，我国即将修建的南水北调工程，就是调水

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运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。

以上两种基本措施，在农田水利工作中往往同时采用，但由于各地区具体条件不同，所解决的问题不同，因此各种措施所发挥的作用和在农田水利工作中所处的地位也有所不同，但所有这些调节地区水利资源的工程措施，一般统称为水资源工程。

据统计，全国江河正常年径流量有26140亿立米，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很大，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需要，同时解决好洪涝旱等灾害，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) 在广泛深入调查水量供、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) 采用先进的理论和计算技术研究当地地面水、地下水和外来水的统一开发及联合运用，寻求水资源系统的最优规划、扩建和运行方案。

3) 防洪、除涝是改变和调节地区水情也即水资源工程的重要任务之一，需要与水源的开发利用一并研究。

4) 研究水资源开发、利用、保护等方面的经济问题，探求符合社会主义经济原则的水资源系统规划的经济论证方法。

总之，农田水利学的研究任务，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，增强预见性，减少片面性，并从理论和技术上解决农田水利现代化中出现的新问题，以便更好地发挥农田水利工程的作用。

第一篇 灌溉排水

第一章 农田水分状况及灌溉用水

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，从而改善土壤的空气、热和养分状况，并给农田小气候以有利的影响，以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 作都有十分重要的意义。

本章将首先介绍一些农田水分状况的基本知识，然后再介绍灌溉用水的有关内容。

第一节 农田水分状况

一、农田水分存在的基本形式

农田水分存在三种基本形式，即地面水、土壤水和地下水。与作物生长有关的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，故对植物根系生长有利。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（在盐土中可能完全没有薄膜水），只能沿土粒表面进行速度极小（一般小于0.2~0.4毫米/小时）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 分为上升毛管水及悬着毛管水，上升毛管水系指地下水由土层下部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入渗水分（来自降雨或灌水）。

上升毛管水的最大毛管上升高度随着土粒机械组成、孔隙率、土壤结构等条件的不同而有很大的差异，须由实验确定。现将各种土壤最大毛管上升高度的大体范围列举于表1-1，以供参考。

在毛管最大上升高度范围以内，各不同高度处的水分分布是很不均匀的。离地下水面愈近处，毛管水愈多；离地下水面愈远，则水分愈少。如图1-1所示。

悬着毛管水在土层中的分布，通常是愈靠近地面含水率愈大。当土层含水率达到毛细管最大持水能力时，最大悬着毛管水的平均含水率，称为该土层的田间持水率。田间持水率的大小是与供水量的多少（如灌溉定额的大小等）、土壤质地、土壤中盐分和腐植质含量以及翻耕条件等因素有关，必须根据实测资料确定。当土壤质地不同时，田间持水率数

表 1-1

最大毛管上升高度

土 壤	最大毛管上升高度 (厘米)	土 壤	最大毛管上升高度 (厘米)
粘 土	200~400	砂 土	50~100
粘 壤 土	150~300	泥 炭 土	120~150
砂 壤 土	100~150	碱土或盐土	120

表 1-2

各种土壤的田间持水率

土 壤 类 别	空 隙 率 (体 积 %)	田 间 持 水 率	
		(占土体 %)	(占孔隙率 %)
砂 土	30~40	12~20	35~50
砂 壤 土	40~45	17~30	40~65
壤 土	45~50	24~35	50~70
粘 土	50~55	35~45	65~80
重 粘 土	55~65	45~55	75~85

值是不相同的，表1-2中所列数值可供参考。

(4) 重力水 当土层的下部不受地下水顶托，土壤含水率超过田间持水率时，过多的水分受重力作用向下移动，这种水称为重力水。如重力水下渗到地下水位时，就会转化为地下水，并抬高地下水位。

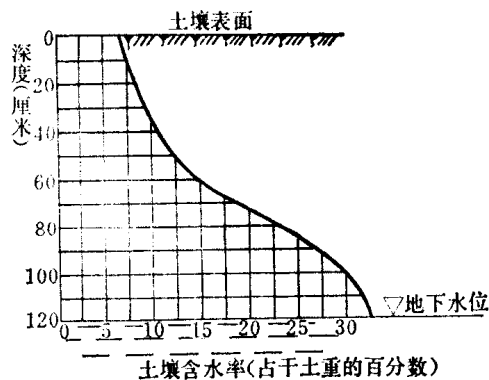


图 1-1 毛管湿润层内的水分分布

二、旱作地区农田水分状况

旱作地区各种形式的水分，并非全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。通常地面不允许集聚水量，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范围以内，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) 当地下水位距地面较深和土壤上层干燥时 降雨（或灌水）后，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。从图中可以看出，降雨开始时，水自地面进入表层土壤，使其接近饱和，但其下层土壤含水率仍未增加，此时含水率的分布如曲线 1。超过土层田间持水率的部分，则将在重力（主要的）及毛管力的作用

下，逐渐向下移动，经过一定时期后，各层土壤含水量分布的变化情况如曲线 2 及曲线 3。再过一定时期，在土层中水分不再受重力作用，向下移动趋于缓慢而达到暂时平衡状态，此时水分分布情况如曲线 4，即上部各土层中的含水率均达到田间持水率。

自降雨（或灌水）开始，至地面水消失，再至土层中水分的分布达到平衡，这一过程所需要的时间，随土壤性质和渗水量的大小等等而异。

土层中水分的分布达到平衡以后，又经过一定时期，由于植物根系吸水和土壤蒸发，土壤水自表层开始逐渐减少，其变化情况如曲线 5 及曲线 6 所示。

(2) 当作物根系吸水层上面受地面水补给，而下面又受上升毛管水的影响时 土层中含水率的分布和随时间的变化情况如图 1-3 所示。

图 1-3 中 (a) 是还未受到地面水补给的情况。当有地面水补给土壤时，首先在土壤上层出现悬着毛管水，如图 1-3 (b)。地面水补给量愈大，则悬着毛管水所达到的深度愈大，最后终

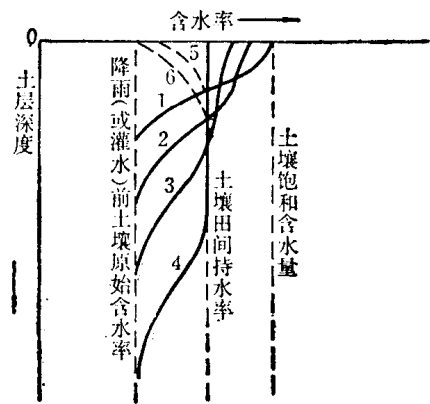


图 1-2 降雨（或灌水）后不同深度土层的湿润过程

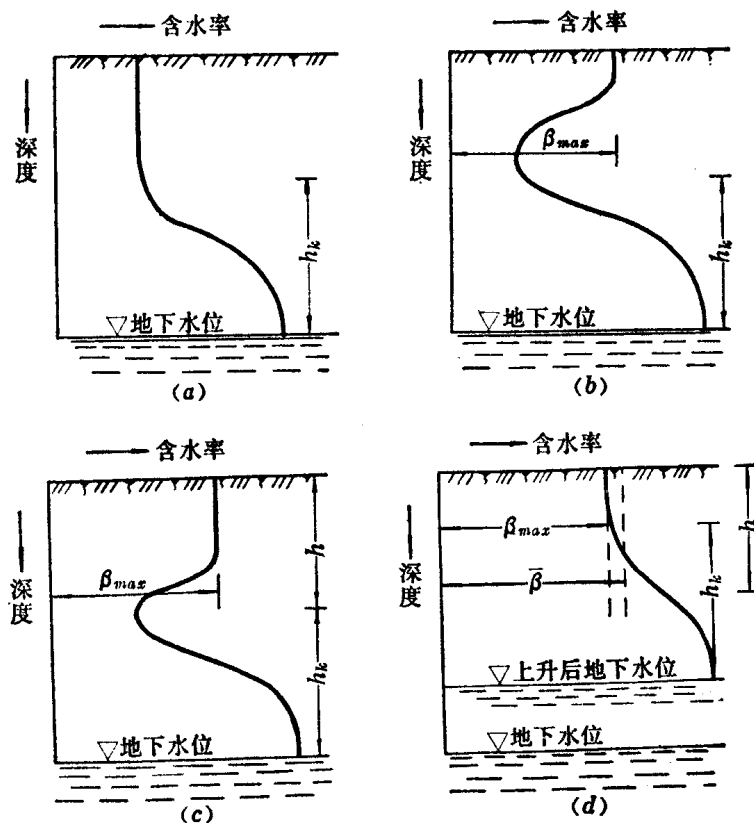


图 1-3 作物根系吸水层受地面水补给，且受上升毛管水影响时之土层含水率分布
 β_{max} —根系吸水层的最大含水率； $\bar{\beta}$ —根系吸水层中的平均含水率； h_k —毛管水上升高度； h —根系吸水层的深度

于与地下水位以上的上升毛管水衔接，如图 1-3 (c)。当地面水补给土壤的数量超过了原地下水位以上土层的田间持水率时，即将造成地下水位的上升，如图 1-3 (d)。在地表面积水较久时，便能使地下水位升高到地面高程而与地面水相连接。

(3) 当地下水位较高，而且上升毛管水能够进入作物根系吸水层的情况时，地下水位的高低便直接影响着根系吸水层中的含水率。在没有地面水补给的情况下，地下水位对根系吸水层内土壤含水率分布的影响如图 1-4 所示。

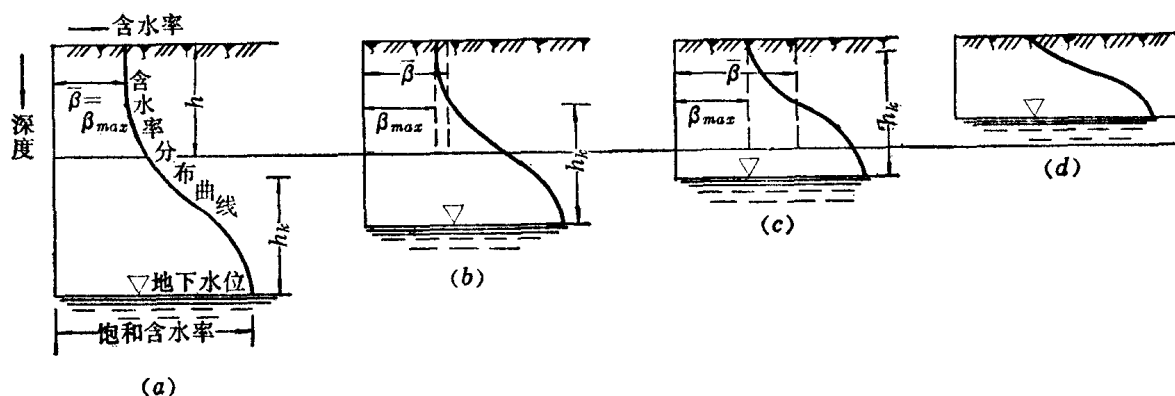


图 1-4 地下水位对作物根系吸水层内土壤含水率分布的影响示意图

由图中可以看出，地下水位愈高，根系集中层中的平均含水率也愈大。通常根系吸水层受地下水影响而有上升毛管水补给时，根系吸水层中的土壤含水率 β 大于悬着毛管水的最大含水率 β_{max} ，如图 1-3 及图 1-4 所示。因此在应用时必须判明有无地下水影响。

作物根系吸水层中的土壤水，以毛管水最容易被旱作物吸收，是对旱作物生长最有价值的水分形式。超过毛管水最大含水率的重力水，一般都下渗流失，不能为土壤所保存，因此，很少能被旱作物利用。同时，即使重力水能长期保存在土壤中，也会影响到土壤的通气状况（通气不良），对旱作物生长不利。所以，旱作物根系吸水层中允许的平均最大含水率，一般不超过根系吸水层中的田间持水率。

作物根系吸水层中的土壤水也并非全能被作物利用，其中吸湿水由于不能成液态水移动，根本不能被植物利用，因此，吸湿系数的高低，一般也表示无效含水率的高低。

一般土壤学中，认为根系吸水层的土壤含水率下降到吸湿系数的 1.5~2.0 倍时，就会使植物发生永久性的凋萎现象。这时的含水率称为凋萎系数，超过凋萎系数的部分薄膜水才开始能被植物根系吸收。然而凋萎系数不仅决定于土壤性质，而主要决定于土壤水的渗透压力和作物根毛细胞液的渗透压力。因此它还与土壤溶液浓度、作物种类和生育期有关。

当植物根部从土壤中吸收的水分来不及补给叶面蒸发时，便会使植物体的含水量不断减小，特别是叶子的含水量迅速降低。这种由于根系吸水不足以致破坏了植物体水分平衡和协调的现象，即谓之干旱。由于产生干旱的原因不同，可分大气干旱和土壤干旱两种情况。在农田水分尚不妨碍植物根系的吸收，但由于大气的温度过高和相对湿度过低，阳光过强，或遇到早风造成植物蒸腾耗水过大，都会使根系吸水速度不能满足蒸发需要，这种

情况谓之大气干旱。我国西北、华北均有大气干旱。大气干旱过久会造成植物生长停滞，甚至使作物因过热而死亡。若土壤含水率过低，植物根系从土壤中所能吸取的水量很少，无法补偿叶面蒸发的消耗，则形成所谓土壤干旱的情况。短期的土壤干旱，会使产量显著降低；干旱时间过长，即会造成植物的死亡，其危害性要比大气干旱更为严重。为了防止土壤干旱，最低的要求就是使土壤水的渗透压力不大于根毛细胞液的渗透压力，凋萎系数便是这样的土壤含水率临界值。若土壤含水率达到凋萎系数，作物便会发生永久凋萎。

假如土壤含水率减小，则土壤溶液浓度增大，从而引起土壤溶液渗透压力增加，因此，土壤根系吸水层的最低含水率，还必须能使土壤溶液浓度不超过作物在各个生育期所容许的最高值，以免发生凋萎。这对盐渍土地地区来说，更为重要。土壤水允许的含盐溶液浓度的最高值视盐类及作物的种类而定。按此条件，根系吸水层内土壤含水率应不小于

$$\beta_{min} = 100 \frac{S}{\lambda} \% \quad (1-1)$$

式中 β_{min} ——按盐类溶液浓度要求所规定的最小含水率（干土重的百分数）；

S ——根系吸水土层中易溶于水的盐类数量（干土重的百分数）；

λ ——允许的盐类溶液浓度（水重的百分数）。

目前农业上实行“多肥”增产措施，肥料数量大为增加，如果不相应地提高土壤最小含水率，也会由于养分浓度过高而影响到根系对土壤水分的吸收，甚至发生枯死现象。因此在确定最小含水率时还需考虑养分浓度的最大限度。

根据以上所述，旱作物田间（根系吸水层）允许平均最大含水率不应超过田间持水率，最小含水率不应小于凋萎系数。为了保证旱作物丰产所必须的含水率称为田间最适含水率，应在研究水分状况与其它生活要素之间的最适关系的基础上，总结实践经验，并与先进的农业增产措施相结合来加以确定。

三、水稻地区的农田水分状况

由于水稻的栽培技术和灌溉方法与旱作物不同，因此农田水分存在的形式也不相同。我国水稻灌水技术，传统采用田面建立一定水层的淹灌方法，故田面经常（除烤田外）有水层存在，并不断地向根系吸水层中入渗，供给水稻根部以必要的水分。根据地下水埋藏深度、不透水层位置、地下水出流情况（有无排水沟、天然河道、人工河网等）的不同，地面水层、土壤水与地下水之间的关系也不同。

当地下水位埋藏较浅，又无出流条件时，由于地面水不断下渗，使原地下水位至地面间土层的土壤空隙达到饱和，此时地下水便上升至地面并与地面水连成一体。

当地下水位埋藏较深，出流条件较好时，地面水虽然仍不断入渗，并补给地下水，但地下水位经常保持在地面下一定的深度。此时，地下水位至地面间土层的土壤空隙率不一定达到饱和。

水稻是喜水喜湿性作物，保持适宜的淹灌水层，能对稻作水分及养分的供应提供良好的条件；同时，还能调节和改善其他如温、热及气候状况。但过深的水层（不合理的灌溉或降雨过多造成的）对水稻生长也是不利的，特别是长期的深水淹浸，更会引起水稻减产，甚至死亡。因此，淹灌水层上下限的确定，具有重要的实际意义。通常与作物品种、