

高等学校教材

农田水利学

(第二版)

武汉水利电力学院 郭元裕 主编

水利电力出版社

高等学校教材

ND15/07

农田水利学

(第二版)

武汉水利电力学院 郭元裕 主编

水利电力出版社

高等学校教材
农田水利学
(第二版)

武汉水利电力学院 郭元裕 主编

*

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
建华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 18.25印张 412千字

1980年12月初版

1986年12月第二版 1986年12月北京第三次印刷

印数11901—21010册 定价3.00元

书号 15143·6173

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工程师和技术人员参考。

本书除绪论外，分为十二章，内容包括农田水分状况和土壤水分运动、作物需水量和灌溉用水量、地面灌水方法与田间渠系、喷灌和滴灌、灌溉水源和取水方式、灌溉渠道设计、井灌、田间排水、排水沟道设计、分区水利问题及其治理、灌溉排水管理和灌排工程经济分析等。书中着重阐述了农田灌排和地区水利规划的基本理论以及我国农田水利建设的基本经验，并介绍了有关新技术在农田水利中的应用。

前 言

本书是根据1983年三月制定的高等学校“农田水利工程”专业教学计划及教学大纲（试行），在1980年出版的《农田水利学》教材基础上修订的。

《农田水利学》是农田水利工程专业的专业基础课。在修订过程中，我们充分注意了反映我国农田水利建设中的经验和科学发展的新成就，尽可能地加强基本理论的阐述，同时本着少而精和便于教学的原则，对原教材从体系到内容进行了较多的修改和精简。考虑到我国幅员辽阔，自然条件十分复杂，各地区存在的农田水利问题和采取的治理措施有很大差别，因此，本书将根据面向全国、照顾地区的原则，主要介绍农田水利基本内容如灌溉、除涝排水及其它水利改良土壤措施的规划设计、运行管理以及经济分析方法等。本书除绪论外，共分十二章，其中第十章介绍了分区治理的经验，对这部分内容，各院校可根据实际需要加以取舍。

参加本书初版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、董文芝（第七章）、茆智（第八章）、刘肇祯、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）、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）以及陈学敏、黄德玖和魏永曜同志。

参加这次修订工作的则有张蔚榛（第一、七、八章及第十章第三节）、许志方（第二、三、四章及十一章第一、二、三节）、刘肇祯（第五章及第十章第一节）和郭元裕（绪论、第六、九、十二章，第十章第二节及十一章第四节）。全书由郭元裕主编。安徽合肥工业大学许益科同志任主审，并主持召开了审稿会议。参加审稿的同志有华东水利学院许永嘉，华北水利水电学院朱光大，合肥工业大学何灵甫，西北农学院朱凤书、王鸣周，陕西机械学院王云涛以及河北农学院张增圻等同志。审稿同志认真审阅了修订稿，提出了宝贵意见，对此我们表示衷心的感谢。在本书编写和修订过程中，还得到许多生产单位和兄弟院校的积极支持，在此一并表示谢意。

对于书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1985年7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	(3)
第一章 农田水分状况和土壤水分运动	(6)
第一节 农田水分状况	(6)
第二节 土壤水分运动	(11)
第二章 作物需水量和灌溉用水量	(24)
第一节 作物需水量	(24)
第二节 作物灌溉制度	(28)
第三节 灌溉用水量	(40)
第四节 灌水率	(43)
第三章 地面灌水方法和田间渠系	(47)
第一节 地面灌溉	(47)
第二节 田间灌溉渠系	(52)
第四章 喷灌和滴灌	(61)
第一节 喷灌	(61)
第二节 滴灌和渗灌	(80)
第三节 渗灌	(88)
第五章 灌溉水源和取水方式	(89)
第一节 灌溉水源	(89)
第二节 灌溉取水方式	(92)
第三节 引水灌溉工程的水利计算	(95)
第六章 灌溉渠道设计	(104)
第一节 灌溉渠道系统的规划布置	(104)
第二节 灌溉渠道设计流量的计算	(110)
第三节 灌溉渠道纵横断面设计	(123)
第四节 渠道防渗	(139)
第七章 井灌	(144)
第一节 地下水的主要类型及其资源的特点	(144)
第二节 地下水取水建筑物	(149)
第三节 井的水力学计算	(153)
第四节 井灌区规划	(159)
第八章 田间排水	(167)
第一节 农作物对农田排水的要求	(167)

第二节	排除地面水的水平排水系统·····	(171)
第三节	控制地下水的水平排水系统·····	(173)
第四节	田间排水系统的布置与结构·····	(182)
第五节	竖井排水·····	(187)
第九章	排水沟道系统·····	(193)
第一节	排水沟道系统的规划布置·····	(193)
第二节	除涝排水设计标准·····	(195)
第三节	排水流量计算·····	(197)
第四节	排水沟的设计水位和排水沟断面设计·····	(201)
第五节	承泄区整治·····	(207)
第十章	分区水利问题及其治理·····	(210)
第一节	山区丘陵地区的治理·····	(210)
第二节	南方平原圩区的治理·····	(222)
第三节	北方平原地区的综合治理·····	(240)
第十一章	灌溉排水管理·····	(256)
第一节	灌溉用水管理·····	(256)
第二节	排水管理·····	(262)
第三节	灌排试验·····	(263)
第四节	管理组织与现代化管理技术·····	(269)
第十二章	灌排工程经济分析·····	(273)
第一节	灌排工程的投资和年运行费用·····	(273)
第二节	灌排工程的效益计算·····	(275)
第三节	灌排工程经济分析的评价方法·····	(277)

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及其有关的地区水利条件，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具备最基本的发展条件。

我国疆域辽阔，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800~2000mm，故又称水分充足地区，无霜期一般为220天~300天，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的田间需水量要求不够适应，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。干旱地区降雨量稀少，蒸发强烈。绝大部份地区的年降雨量在100~200mm之间，有的地方几乎终年无雨，而年蒸发量的平均值约为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。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，其它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。

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，我们的祖先在发展农业生产的同时，一直和水旱灾害进行不懈的斗争，写下了光辉灿烂的农田水利史。我国的农田水利，可以追溯到很古老的年代。相传夏商时期，黄河流域就已出现了“沟洫”，即古代兼作灌溉排水的渠道。公元前六世纪，楚国人民兴建了芍陂（今安徽省寿县城南），利用洼地构筑长约长100里的水库，引蓄淝河的水进行灌溉，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，魏国的西门豹治邺（今河北临漳）时，创建了引漳十二渠，这是早期较大的引水灌溉工程。此后，战国时昭襄王（公元前三世纪）令蜀守李冰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，且开辟了许多灌溉渠道，灌溉了川西平原，为秦始皇统一中国奠定了物质基础。两千多年来，都江堰工程在农业生产中始终发挥着巨大作用。现经改建、扩建，到1981年灌溉面积已达1100多万亩，这一工程充分显示了我国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泾惠渠、渭惠渠和洛惠渠等大型灌区，这些灌区不仅有正规的规划设计，而且重视科学管理，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，郑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河网，既可用以灌溉，又可进行除涝和综合利用。长江流域的滨湖圩田在宋代以前就开始兴建，而江浙沿海为防止海潮侵袭农田的巨大海塘工程，在汉朝就有记载。

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，农田水利建设进展缓慢。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。建国三十多年来，我国农田水利事业得到了巨大发展，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，淮河流域基本改变了“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”的多灾现象，海河流域减轻了洪、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1981年为止，全国建成了大中小型水库86400多座，塘坝650万处，总蓄水库容4000亿 m^3 ，全国机井已建成220多万眼；机电排灌动力从解放初的6.7万kW，增长到5000多万kW；全国3.5亿亩低洼易涝耕地，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；全国喷灌面积已发展到1000万亩，滴灌面积达到15万亩。此外，还改善和开发了牧区11万 km^2 的缺水草场。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30万亩以上的大型灌区有150多处，万亩以上的中型灌区已达5200多处。

随着我国社会主义建设的不断发展，在辽阔的土地上，已出现了许多宏伟的农田水利工程，如有灌溉面积超过一千万亩的四川省都江堰灌区，安徽省淠史杭灌区和内蒙古自治区的后套灌区；装机容量超过四万千瓦的江苏省江都排灌站；总扬程高达700m以上的甘肃

省景泰川二期抽灌站；以及流量超过 $15\text{m}^3/\text{s}$ 、净扬程达 50m 的湖北省青山水轮泵站等等。此外，还新建了一些规模巨大的引黄济津、引滦济津等调水工程，长江水量北调东线方案也已开始实施。

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，也推动了灌溉排水科学技术的提高。例如：在山区、丘陵区规划治理方面，各地的经验是要在管好、用好大中型水库的同时，大力整修塘堰和小水库，充分利用当地径流，建立蓄水、引水、提水联合运行的长藤结瓜水利系统；此外，在渠系配套改建、防止山洪、改造冷浸田以及整治沟壑、修建梯田梯地等方面，也都取得了不少经验。南方圩区的经验是在保证防洪安全前提下，搞好灌溉除涝、控制地下水位；该区采取了内外水分开，高低水分开，灌排系统分开，水旱作物分开及控制地下水位和内河水位的“四分开、二控制”的措施。另外，各地圩区在有计划分洪蓄洪的基础上还发展了联圩并垸，撇洪改河和留湖滞涝的经验。北方平原成功地发展了旱、涝、碱综合治理的经验；大多数灌区，实现了井渠结合，提高了灌溉用水保证率，也有利于维持灌区地下水平衡和土壤盐碱化的防治。特别近年来，灌溉排水新技术在我国有了较大发展，如喷、滴灌技术、暗管排水和地下管道输水，均得到了不同程度的推广应用；电子计算机、遥测、遥控等自动化管理技术和系统工程优化技术也已开始应用于灌排工程；灌排工程经济分析，目前也在全国开展了起来。

总之，建国三十五年来，我国的农田水利建设取得了很大成绩，对抗御旱涝灾害、改良土壤、发展农业和林牧业等生产起了重大作用。但另一方面，全国水利化程度仍然不高，抗旱除涝标准较低，加上不少灌溉排水系统配套不全，管理不善，全国平均每年受灾面积仍达3亿亩，远远不能适应新时期农业生产和国民经济高速发展的需要。到2000年，我国灌溉面积要求发展到8亿亩，相应每年应新增灌溉面积600万亩，这是一项十分艰巨的任务。因此，大力发展农田水利仍是今后的长期任务，不仅要求继续提高抗御水旱灾的能力，而且要提高科学管理的水平，改进技术装备，进一步扩大灌溉、除涝、排渍、治碱的工程经济效益。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利资源为发展农业生产而服务的科学。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，通过灌溉系统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 即通过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联系，以指导排灌和改造低产田（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。目前国外田间灌排系统的发展趋势是地下管道化。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，发展灌排新技术、寻求合适的管材和降低费用等，亟待研究。

3）研究灌水新技术，灌水技术的基本要求是以最少的水量、能源和费用获得最佳的效益。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。国外多数国家目前仍以地面灌水为主，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1980年发展到三亿亩。目前各国喷灌面积占总灌溉面积的比例一般达20~50%，有些国家已接近100%，成为灌溉蔬菜、果树、经济作物和牧草等的主要灌水方法。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实现自动化。滴灌在不少国家已得到发展，在我国目前还处于开始应用阶段。至于根据水、土、大气、作物的动态及其内在联系，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，则亟需试验研究。

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）研究灌排系统管理。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，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。除少数试点外，我国目前尚无完善的自动化灌排系统。今后须加强遥测、遥控等自动化管理新技术的研究，实现灌排管理现代化。

6）研究系统工程和电子计算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。

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。我国幅员辽阔，水资源在不同地区以及不同年份和季节分配不均，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，因此，发展农田水利，首先要根据水土资源条件，通过各工程措施，改变和调节地区水情。

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，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) 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、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，我国已建成的引滦济津工程和正在修建长江水北调工程，都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。

据统计，全国江河正常年径流量有26140亿 m^3 ，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要求，同时解决好洪涝等灾害，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) 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) 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、保护等方面的经济效益和社会福利问题，探求符合社会主义经济原则的水资源系统规划、管理的经济论证方法。

总之，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，坚持科学态度，讲究经济效益并从理论和技术上解决农田水利现代化中出现的新问题，把农田水利科学技术提高到新的高度。

第一章 农田水分状况和土壤水分运动

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，以改善土壤中的气、热和养分状况，并给农田小气候以有利的影响，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。

第一节 农田水分状况

一、农田水分存在的形式

农田水分存在三种基本形式，即地面水、土壤水和地下水，而土壤水是与作物生长关系最密切的水分存在形式。

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，不能在重力和毛管力的作用下自由移动；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，只能沿土粒表面进行速度极小的移动；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 毛管水是在毛管作用下土壤中所能保持的那部分水分，亦即在重力作用下不易排除的水分中超出吸着水的部分。分为上升毛管水及悬着毛管水，上升毛管水系指地下水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渗入的水分（来自降雨或灌水）。

(4) 重力水 土壤中超出毛管含水率的水分在重力作用下很容易排出，这种水称为重力水。

在这几种土壤水分形式之间并无严格的分界线，其所占比重视土壤质地、结构、有机质含量和温度等而异。可以假想在地下水面以上有一个很高（无限长）的土柱，如果地下水位长期保持稳定，地表也不发生蒸发入渗，则经过很长的时间以后，地下水面以上将会形成一个稳定的土壤水分分布曲线。这个曲线反映了土壤负压和土壤含水率的关系，亦即是土壤水分特征曲线（见图1-1），这一曲线可通过一定试验设备确定。在土壤吸水 和脱水过程中取得的水分特征曲线是不同的，这种现象常称为滞后现象。曲线表示吸力（负压）随着土壤水分的增大而减少的过程。在曲线中并不能反映水分形态的严格的界限。

根据水分对作物的有效性，土壤水也可以分为无效水、有效水和过剩水（重力水）。吸着水紧缚于土粒的表面，一般不能为作物所利用。土壤吸着水的上限（最大分子持水率）

以下的水分为无效水。不同土质，其永久凋萎点含水率是不相同的。相应的土壤负压变化于 $(7\sim40)10^5\text{Pa}$ ($10^5\text{Pa}=1\text{巴}=0.987\text{大气压}$) 之间，一般取为 $15\times10^5\text{Pa}$ 。重力水在无地下水顶托的情况下，很快排出根系层；在地下水位高的地区，重力水停留在根系层内时，会影响土壤正常的通气状况，这部水分有时称为过剩水。在重力水和无效水之间的毛管水，容易为作物吸收利用，属于有效水。一般常将田间持水率作为重力水和毛管水以及有效水分和过剩水分的分界线。在生产实践中，常将灌水两天后土壤所能保持的含水率叫做田间持水率。由于土质不同，排水的速度不同，因此排除重力水所需要的时间也不同。灌水两天后的土壤含水率，并不能完全代表停止重力排水时的含水率。特别是

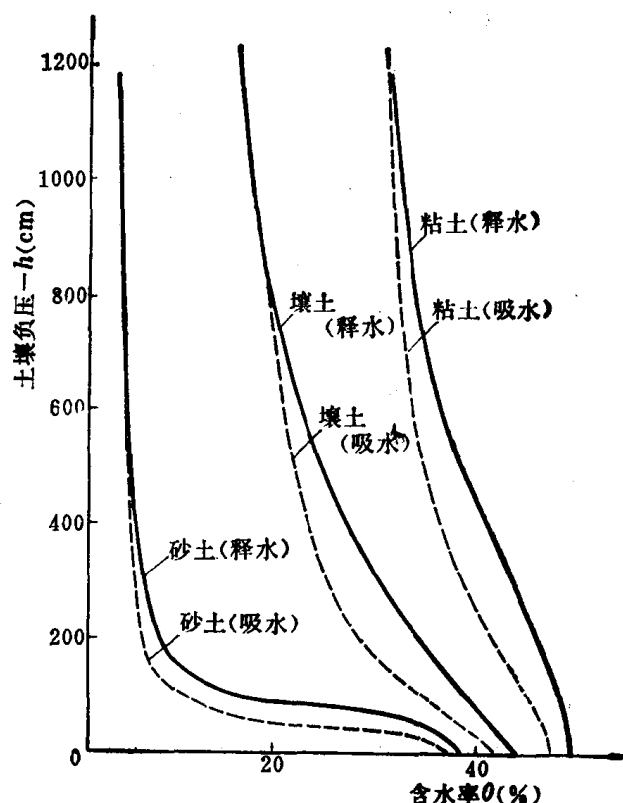


图 1-1 土壤水分特征曲线示意图

随着土壤水分运动理论的发展和观测设备精度的提高，人们认识到灌水后相当长时间内土壤含水率在重力作用下是不断减少的。虽然变化速率较小，但在长时间内仍可达到相当数量。因此，田间持水量并不是一个稳定的数值，而是一个时间的函数，田间持水率在农田水利实践中无疑是一个十分重要的指标，但以灌水后某一时间的含水率作为田间持水率，只能是一个相对的概念。

二、旱作地区农田水分状况

旱作地区的各种形式的水分，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。通常地面不允许积聚水量，以免造成淹涝，危害作物。地下水一般不允许上升至根系吸收层以内，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收层，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，如果降雨（或灌水），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；降雨停止时土壤含水率分布如图曲线2；雨停后，达到土层田间持水率后的多余水量，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3。再过一定时期，在土层中水分向下移动趋于缓慢，此时水分分布情况如曲线4，上部各土层中的含水率均接近于田间持水率。

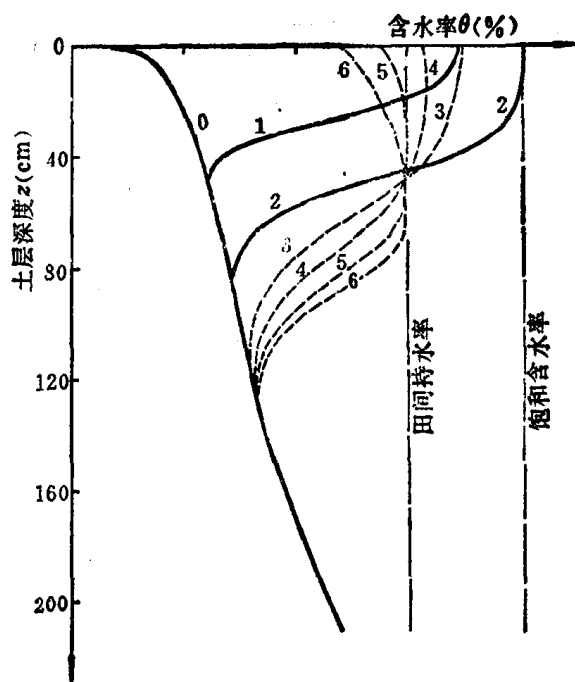


图 1-2 降雨（或灌水）后不同深度土层的湿润过程示意图

上升毛管水能够进入作物根系吸水层的情况下，地下水位的高低便直接影响着根系吸水层中的含水率，见图（1-4）。在地表积水较久时，入渗的水量便能使地下水位升高到地表面与地面水相连接。

在土壤水分重新分布的过程中，由于植物根系吸水和土壤蒸发，表层土壤水分逐渐减少，其变化情况如图1-2中曲线 5 及曲线 6 所示。

2) 当地下水位埋深较小，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 (a) 中曲线 0 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，如曲线 1、2、3 所示。地面水补给量愈大，则入渗的水量所达到的深度愈大，直至与地下水面以上的上升毛管水衔接，如曲线 4。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能力时，即将造成地下水位的上升，如图1-3 (b)。

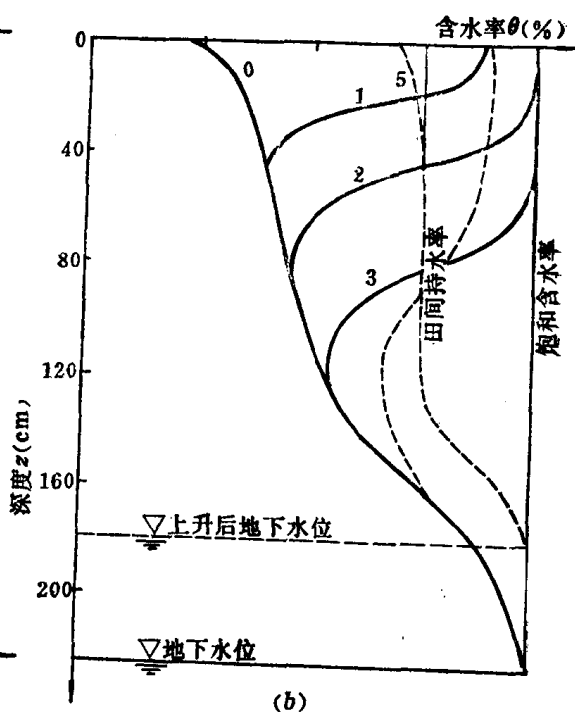
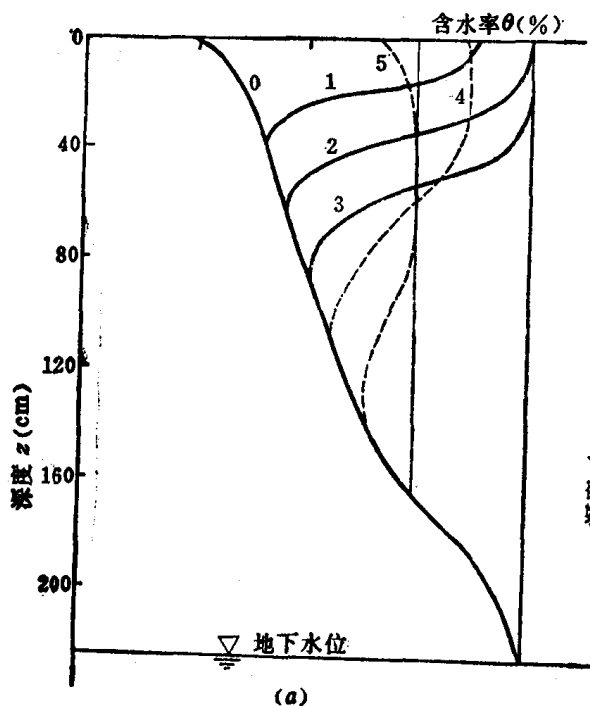


图 1-3 降雨（或灌水）后土壤含水率随时间变化示意图（地下水埋深较小时）

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，如果重力水长期保存在土壤中，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。

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。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。此外，它还与土壤溶液浓度、作物种类和生育期有关。

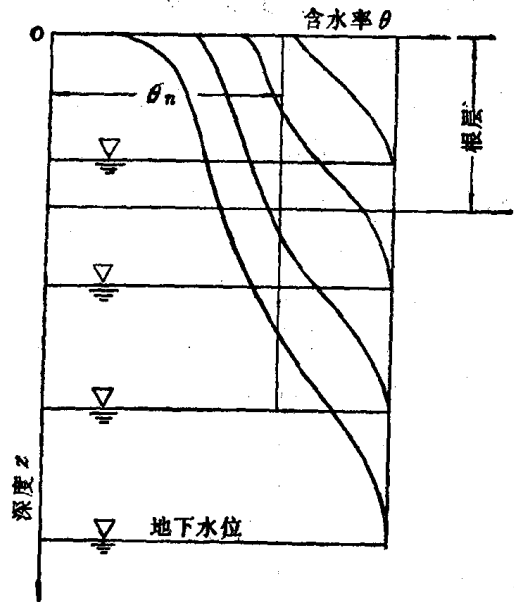


图 1-4 地下水位对作物根系吸水层内土壤含水率分布的影响示意图

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，或遇到旱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小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。

土壤含水率减小，使土壤溶液浓度增大，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

$$\theta_{m,n} = 100 \frac{S}{C} \% \quad (1-1)$$

式中 $\theta_{m,n}$ —— 按盐类溶液浓度要求所规定的最小含水率（占干土重的百分数）。

S —— 根系吸水土层中易溶于水的盐类数量（占干土重的百分数）。

C —— 允许的盐类溶液浓度（占水重的百分数）。

养分浓度过高也会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田间适宜含水率范围，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）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，还能调节和改善其它如温、热及气候等状况。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、发育阶段、自然环境及人为条件有关，应根据实践经验来确定。

四、农田水分状况的调节措施

在天然条件下，农田水分状况和作物需水要求通常是不相适应的。在某些年份或一年中某些时间，农田常会出现水分过多或水分不足的现象

农田水分过多的原因，不外以下几方面：

- 1) 降雨量过大；
- 2) 河流洪水泛滥，湖泊漫溢，海潮侵袭和坡地水进入农田；
- 3) 地形低洼，地下水汇流和地下水位上升；
- 4) 出流不畅等。

而农田水分不足的原因有：

- 1) 降雨量不足；
- 2) 降雨形成的地表径流大量流失；
- 3) 土壤保水能力差，水分大量渗漏；
- 4) 蒸发量过大等。

农田水分过多或不足的现象，可能是长期的也可能是短暂的，而且可能是前后交替的。同时，造成水分过多或不足的上述原因，在不同情况下可能是单独存在，也可能同时产生影响。