

高等学校教材

专科适用

农田水利学

河北水利专科学校 周志远 主编



ISBN 7-80124-515-6



9 787801 245151

0 1 >



ISBN 7-80124-515-6 / TV · 290

定价：20.10 元

高等学校教材

..... 专 科 适 用

农田水利学

河北水利专科学校 周志远 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本教材是结合高等专科学校的特点及培养目标编写的。其特点是针对性、实用性较强，基本理论阐述完整，并能反映近几年农田水利专业的新技术、新成果。全书主要内容为：农田水分状况和土壤水分运动，作物需水量与灌溉用水，灌水技术，灌溉水源与取水枢纽，灌溉渠系的规划设计，排水系统的规划设计，井灌井排，不同类型区的水利问题及其治理以及灌溉排水管理。

本书除作为高等专科学校农田水利专业教材外，还可供从事农田水利工作的同志参考。

高等学校教材

(专科适用)

农田水利学

河北水利专科学校 周志远 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 15.5印张 368千字

1993年6月第一版 2002年7月北京第三次印刷

印数 9001—12100册

ISBN 7-80124-515-6/TV·290

(原 ISBN 7-120-01734-9/TV·620)

定价 20.10元

前 言

《农田水利学》是根据水利部《一九九〇~一九九五年高等学校水利水电类专业专科教材选题和编审出版规划》组织编写的。

本教材是本着针对性、实用性强，基本理论阐述完整、够用，并能充分反映近年来农田水利科学技术方面的新经验、新成就的原则编写的，主要介绍灌溉、排水、除涝和防治盐、渍灾害的基础知识、基本理论及规划、设计方法。由于我国幅员辽阔，各地区的自然条件和农田水利方面存在的主要问题存有较大的差异，因此，本书着重介绍生产实践中常用的带有普遍性的内容，各校在进行《农田水利学》教学时，也可根据当地具体情况对本书内容作适当的取舍。

参加本书编写的有河北水利专科学校周志远（绪论和第一章、第四章、第五章第七节及第八章第三节），黄彭根（第二章、第三章），江苏水利专科学校陈珍平（第五章一至六节、第七章及第八章一、二节），黑龙江水利专科学校李桂贞（第六章、第九章）。全书由周志远主编，长春水利专科学校秦玉彬主审。

由于水平所限，书中难免有错误或不妥之处，请读者批评指正。

编 者

1991年10月

目 录

前言	
绪论	1
第一节 我国农田水利事业发展概况	1
第二节 我国农田水利事业的展望和科技发展趋势	2
第三节 农田水利学的研究对象和基本内容	4
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 作物需水量与灌溉用水	17
第一节 作物需水量	17
第二节 农作物灌溉制度	21
第三节 灌溉用水量	34
第三章 灌水技术	41
第一节 地面灌溉	41
第二节 喷灌	45
第三节 滴灌	61
第四节 地下灌溉	72
第四章 灌溉水源与取水枢纽	74
第一节 灌溉水源	74
第二节 增加灌溉水源的办法	80
第三节 取水枢纽	86
第五章 灌溉渠道的规划设计	98
第一节 灌溉渠道的规划布置	98
第二节 田间灌溉渠道	104
第三节 渠道建筑物的布置和选型	112
第四节 灌溉渠道设计流量的计算	115
第五节 灌溉渠道断面设计	126
第六节 渠道防渗	137
第七节 低压管道输水灌溉	139
第六章 排水系统规划设计	150
第一节 排水系统规划	150
第二节 田间排水系统规划	158
第三节 排水沟设计流量与设计水位确定	166

第四节	排水沟道结构设计	171
第五节	排水容泄区	176
第七章	井灌井排	178
第一节	水井的类型和结构	178
第二节	水井出水量计算	183
第三节	井灌区规划	188
第四节	竖井排水	191
第八章	不同类型地区的水利问题及其治理	197
第一节	山区丘陵地区的规划治理	197
第二节	南方平原圩区的规划治理	206
第三节	北方平原地区的综合治理	212
第九章	灌溉排水管理	222
第一节	灌溉用水管理	222
第二节	排水管理	230
第三节	灌溉排水试验	232
主要参考文献	240

绪 论

第一节 我国农田水利事业发展概况

农田水利是直接为农业生产服务的，是农田基本建设的重要组成部分。它的基本任务是通过各种工程措施，合理利用水土资源，改善对农业生产不利的条件，调节农田土壤水分状况和地区水情条件，并与其它农业增产措施相结合，不断提高土壤肥力，为农业高产稳产提供良好基础。

我国位于亚欧大陆东侧，濒临太平洋，南北跨纬度 50 度，东西跨经度 60 多度，国土面积 960 万 km^2 ，地域广阔、地形复杂、气候多样、江湖众多、资源丰富，但由于人口众多，如按人均占有水土资源计，却不算丰富。目前在农田水利方面突出的问题是水土资源的组合很不平衡，如：全国有 45% 的土地面积处于降水量少于 400mm 的干旱少水地带；全国河川径流量分配，直接注入海洋的外流河水系占 95.8%，不与海洋沟通的内陆河水系占 4.2%，而内陆水系面积占全国总面积的 36%；长江流域和长江以南水系的径流量占全国的 82%，但耕地只占全国耕地总面积的 36%；黄、淮、海三大流域，年径流量占全国的 6.6%，但耕地面积却占全国总耕地面积的 38.6%，水土资源分布相差悬殊。由于降水量在年内及年际间分配不均，以及水土资源组合不平衡等，造成我国水旱灾害出现频繁和农业生产不稳定。

此外，在我国北方温带干旱、半干旱地区以及东部半干旱、半湿润季风气候区域的内陆盆地、冲积平原和滨海平原原有 4 亿亩盐碱化和遭受渍害的土地，其中约 1 亿亩分布在农田，占我国耕地面积的 7% 左右，遍及 17 个省、市、自治区。在当前和今后开垦新的农田扩大耕地面积时，这些地区的开垦是很主要的。在我国的东北平原有部分沼泽地带，在西北黄土高原，江南红壤丘陵地区，华北土石山区，东北黑土地带等处共约有 100 多万 km^2 的面积上目前还存在着不同程度的水土流失现象，都需进行治理、改造。

我国农田水利事业的发展已有几千年历史，早在夏商时期，黄河流域一带就有了一些比较原始的农田水利工程，并出现了拦截径流用于灌溉的“沟洫”。春秋战国时期已经有了规模较大的渠系工程，如公元前六世纪在今安徽寿县南面修建的我国最早的灌溉水库——芍陂（现名安丰塘）；公元前四世纪在今河北临漳开挖的引漳十二渠；公元前三世纪在四川兴建的我国古代最大的灌溉工程都江堰等。特别是都江堰工程，其规划思想、工程设施及管理措施都很符合现代科学理论，是我国古代最成功的农田水利工程。此外，我国古代比较著名的农田水利工程还有郑国渠、灵渠、秦渠、汉渠、唐徕渠等。其它如遍布南方地区的塘坝工程，北方地区的水井、水车，西北地区的坎儿井、天车等，在过去都曾经为我国人民在与干旱作斗争中发挥了历史性的作用。

新中国成立后，亿万群众和广大水利工作者在中国共产党和各级人民政府的领导下，经过艰苦努力，农田水利建设有了飞速的发展。主要江河都得到了不同程度的治理，洪、涝、旱、碱四大灾害的威胁大大的减轻了，水利资源也得到了合理的开发与利用。截止到 1988

年底,全国已整修堤防 20 万 km,保护了 5 亿人口及 5 亿亩耕地;全国累计建成水库 82900 余座,塘坝 600 多万座,总库容达 4500 多亿 m^3 ,其中向城市供水的 500 亿 m^3 ;全国耕地的灌溉面积已由新中国成立前的 2.3 亿多亩增加到 7.2 亿亩,其中万亩以上灌区 5300 多处,此外,除农田灌溉面积外,还发展林地及果园灌溉 2100 多万亩;固定排灌站已建成 4.6 万多座,打机井 250 多万眼,建水轮泵站 2.1 万处,机电排灌动力逾 6400 万 kW,机电排灌的发展代替了绝大部分原来靠人、畜力提水灌溉的旧机具,机电提水灌溉面积达到了 4 亿亩;全国易涝面积 3.65 亿亩,已经初步治理 2.8 亿亩,其中有 1.7 亿亩达到五年一遇以上的除涝标准;我国耕地中有 1.14 亿亩盐碱地,已治理 7100 万亩,占 62%;全国有近 5 亿亩坡耕地,已有 1.1 亿亩改造成梯田;全国草原面积 42.9 亿亩,其中北方地区缺水草原 10 多亿亩,目前已建成了一批水源工程和供水设施,灌溉饲料基地和天然草场 980 多万亩;随着北方地区大量开采地下水,不同材质的管道有了较大的发展,截止到 1989 年上半年北方地区管道灌溉面积已发展到 3003 万亩,管道总长 11.4 万公里,喷灌、滴灌、微灌技术近些年来正从各种经济作物、果树、蔬菜等试点开始向面上推广,在 80 年代初期,全国喷灌面积约 1000 万亩,滴灌面积 15 万亩,近几年又有所增加,在喷、滴灌技术方面研制了多种成套设备,并发展了适合我国特点的一些喷、滴灌系统,技术上也有所创新。

随着我国社会主义建设的不断发展,除上述工程外,还新建和扩建了许多大型的农田水利工程,其中有设计灌溉面积超过 1000 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河套灌区等;装机容量超过 40000kW 的江苏省江都排灌站;设计流量 15.1 m^3/s 、净扬程达 50m 的湖南省青山水轮泵站等。此外还兴建了一些大的调水工程,如引黄济青(青岛市)、引滦济津(天津市)工程,长江水北调(南水北调)工程正在实施中。

总之,建国以来我国农田水利建设已取得了巨大的成就,并积累了丰富的建设经验。但是走过的道路是曲折的,既经历了大发展阶段,也经历了紧缩和停滞不前的时期,因而也总结了一些克服困难的办法。目前和新中国成立初期相比,抗御旱涝灾害、改良土壤的能力已经有了很大的提高。但是,全国水利化程度很不平衡,仍有不少地区抗旱除涝标准不高、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有 3 亿亩。尤其是有些已建工程老化、失修、效益衰减和北方水资源短缺这两大问题很突出。以上情况的存在,阻碍了农业生产的发展。因此,继续大力加强农田水利建设、提高抗御水旱灾害能力、提高科学管理水平、改进技术装备、进一步扩大灌溉、除涝、排渍、治碱的经济效益,把农田水利事业推向新的高度,是农田水利工作者面临的光荣而艰巨的任务。

第二节 我国农田水利事业的展望和科技发展趋势

农田水利建设是直接为农业增产服务的。中央初步规划到本世纪末在农村水利方面的奋斗目标是:争取新发展灌溉面积 8000 万亩,增加排水面积 4000 万亩,改良盐碱地和渍害低产田 5000 万亩,对大中型灌区输水渠道积极采取防渗措施,80%以上的井灌区采用管道输水或软管灌溉,喷灌、滴灌、微灌有一定的发展,解决农牧区人畜饮水困难。上述规划目标,除乡镇供水外,其余内容实际上就是 2000 年以前农田水利建设的发展目标与需完成的任务。

完成上述规划目标并不是轻而易举就可以实现的,为达此目的,不只要解决思想认识、科学管理、资金投入等一系列问题,还必须解决很多技术问题。根据国内外科技发展情况,近期内农田水利技术发展趋势,大致有以下几方面:

1. 节水技术 节水技术是国内外都很关注的问题,也是扩大灌溉面积的主要途径之一。由于当今世界上多数灌溉土地使用地面灌溉法,所以人们在改进地面灌水技术和提高管理水平方面进行了长期的研究,取得了不少行之有效的成果。间歇灌水法就是近年来新发展起来的一种新的灌水技术。其特点是通过间歇地向灌水沟送水,造成涌流状态,使沟内水流推进速度加快,并使水分沿程入渗均匀。间歇灌溉比一般连续水沟灌水省水30%~50%,在有风条件下,灌水效率比平移式喷灌提高10%~15%,由于灌水均匀,作物的产量和质量都有所提高。如河北省唐山市在小面积上试用间歇灌溉法,节水效果良好。美国、澳大利亚等国研究用水平地块灌水法代替传统的沟畦灌,每个地块30~240亩,应用激光控制平地,可使任何方向的高差小于2.5cm,田间灌溉水的有效利用率达70%~90%。我国近年来在地面灌溉节水技术方面有了很大的进展,例如在水稻、小麦、棉花等作物灌水方面研究出既能节水又能增产的科学灌溉制度,旱田地膜覆盖灌水技术,调整作物种植结构以充分利用天然雨水,渠道防渗技术等,在井灌区以管道输水代替明渠输水,畦灌中采取大面积水平畦灌溉等都有很好的节水效果。在喷灌方面,目前喷灌设备正处于再次更新阶段,高压中心支轴式喷灌机在美国、日本已逐渐被低压系统所代替,许多国家正在努力开发低耗能喷灌机械。滴灌方面,国内外在研制低造价管道系统和防止滴头堵塞等问题上已有了较大的进展,并已成功地试用微咸水滴灌。

2. 节能技术 节能和节水是息息相关的,所以国内外普遍注意在节水的同时达到节能的目的。低压喷、滴灌系统及太阳能、风能在农田水利方面的应用,是节约能源的主要措施之一。我国在喷、滴灌系统的创新与运用方面作了不少工作,但在开发利用太阳能和风力资源方面,尽管起步很早,但进展不快。因此,在日照充足、风力资源丰富地区加速发展风能及太阳能的利用是很必要的。我国排灌机械保有量600多万台,管理好、维修好这些设施,不断提高装置效率,对节能来讲具有重要意义。

3. 优化配水和自动化配水技术 该技术在美、日、法等国应用较广,有明显提高用水效率的作用,并有节水节能的效果。我国北方地区由于水资源紧缺,供需矛盾尖锐,近年来不少地方在灌溉水资源优化分配及调度方面的研究比较多,而且进展很快,不少成果已在推广应用,目前仍在发展中。田间自动化灌水技术,在日本和欧洲已试验多年,因投资大,直接经济效益不明显,尚未能进入大面积应用阶段。我国有些省、市,在一些小型泵站、机井灌区,已开始应用微机自动控制灌溉用水,如已建成的江苏省太仓县泰西村泵站、江苏省江阴县渭南村泵站、河南省开封市惠北试验站喷灌和微灌试区、天津市武清县下伍旗机井灌区等,效果都很好,但也因投资大,推广困难。

4. 农田排水技术 国内外在排水技术方面很重视暗管排水及竖井排水,认为田间排水明沟占用耕地,而且较深的排水明沟塌坡易淤的问题仍未很好的解决。目前主要研究造价低的塑料制品和裹滤料以及高效率施工机械。在井排方面主要研究提高井的出水量及延长使用年限措施。我国在排水暗管、暗沟、鼠道的应用方面,无论是在南方还是在北方都已得到较广泛的应用。南方低洼圩区、北方低洼易涝地区、沼泽地、内陆盐碱地和滨海盐碱

地，采用形式多样的暗管、暗沟排水，在排渍、排咸及改良土壤方面都获得较好的效果。

5. 灌排水质监测及控制技术 国外对灌溉水质非常重视。美、英、德国、日本等国都制定了国家标准，建立了完整的对灌排系统的水质监测制度，采用全自动分析设备。由于水资源短缺，美、英、德等国开展了污水处理工作，在 80 年代初，城市污水处理厂平均已达一万人一座的水平，利用土地处理系统净化污水，水质可达二、三级处理水平，可安全的用于灌溉。我国在这方面起步较晚，但进展较快。1979 年，国家颁布《中华人民共和国环境保护法》以后，又陆续发布了一些有关水资源保护、水污染防治等法规及规定，1979 年 12 月由中华人民共和国农业部编制了《农田灌溉水质标准》并颁布试行。与此同时水利部建立了水质监测试验中心。由于环境管理工作的加强和投资的增加，污染防治水平提高很快，但距离控制灌溉水源的污染还相差很远，目前仍有数千万亩农田被工业“三废”所污染。因此，大力开展水质监测管理和预报预测工作并进一步治理污染是十分必要的。

6. 调水技术 国外解决水资源不足的途径，除采取节水措施外，主要是搞调水。已实现的较大调水工程有：巴基斯坦的西水东调工程，年调水 150 亿~200 亿 m^3 ，美国加州北水南调工程，年调水 270 亿 m^3 。大规模调水工作，将灌溉工程技术、机电提水技术提高到一个新的水平，并促进了灌溉经济分析、灌溉生态环境等灌溉学科分支的发展。我国调水工作也已经开展起来，已完成的引黄济青（青岛）、引滦济津（天津）、引滦济唐（唐山）等工程都已完成，效果良好，并解决了一系列规划、设计、施工、提水、环境评价等技术问题。引长江水北调工程可望在近期实现。

上面只是梗概的介绍近期农田水利技术发展的趋势，但应特别指出的是：研究任何一项技术都必须充分考虑经济效益，以及当地在经济上的承受能力，否则只是空谈。此外，目前我国农田水利发展中面临三大问题即：水资源紧张，工程更新改造任务艰巨，资金短缺。为此，农田水利科学技术应紧密围绕上述问题，重点研究节水、节能、节约投资的技术措施，对现有工程挖潜改造，同时发展基础理论研究，在促进农业生产中取得较高的经济效益，将我国农田水利科学技术提到新的高度。

第三节 农田水利学的研究对象和基本内容

农田水利学是研究农田灌溉排水和土壤改良的原理、方法与设施的科学。农田水利学涉及水、土壤、作物的相互关系以及工程设施、自然资源和生态环境的相互关系，是一门综合性的应用技术学科。其研究内容很多，概括起来主要有两方面：

一、调节农田水分状况

农田水分状况一般系指农田土壤水、地表水和地下水的状况，以及与其相关的养分、通气和热状况。农田水分的不足或过多，都会影响作物正常发育及产量。调节农田水分状况的目的就是要为作物创造良好的生长环境，采取的主要水利措施是灌溉和排水。在易涝易碱地区调节农田水分状况，还有控制地下水位和排盐作用。

调节农田水分状况，需要研究的问题主要有：

1. 研究农田水分及盐分的运动规律 研究农作物需水、土壤水及其溶质的运动，探求水、土壤、作物之间的相互关系，用以制订合理的灌排制度，控制适宜的土壤水分和地下

水位、调节土壤的水、肥、气、热状况，改良土壤，以利作物的高产稳产。

2. 研究不同类型灌排系统的合理布置 由于地形、水文、土壤、地质和灌溉水源等自然条件不同，农业发展对灌区提出的要求不同，因而各地区不同类型灌区的布置形式也不同。研究各类型灌排系统的合理布置对农田水分状况的调节起关键性作用。

3. 研究灌溉排水技术及其设备 包括地面灌溉（沟灌、畦灌、格田灌）、喷灌、滴灌和地下灌溉以及明沟排水和地下排水等。

4. 农田水利工程 包括灌溉、排水、灌区防洪及水土保持等的水利工程措施，而以灌溉和排水工程为其主要部分。

5. 研究灌排系统的运行管理与维修养护 对水源工程、渠道工程、渠系建筑物等灌溉排水工程进行的调度、运行、检查、观测、养护维修的管理工作的研究。

6. 灌溉排水工程项目的经济分析与评价 研究的目的是要以经济效益为指标，对灌排工程规划和运行管理等方面的各种方案进行比较和优选。它是研究工程是否可行的前提，也是从经济上选取最优方案的依据。

二、改善和调节地区水情的措施

地区水情主要是指地区水资源的数量、分布情况及其动态。我国水资源在地区上的分布很不均匀，即便在同一地区，不同年份、不同季节水资源量也相差很多，致使供水和农业需水之间在时间和空间上很不协调。为了解决这一矛盾就需要通过工程措施对水资源进行再分配，以改善和调节地区水情。

改善和调节地区水情的措施，一般有以下两种：

1. 蓄水保水措施 主要通过修建水库、塘坝、坑塘等蓄水工程和利用原有的湖泊、洼淀、河道、排水干沟、河网，增设一些挡水、提水、引水工程，以及大面积的水土保持和田间蓄水措施等，用以拦蓄调节当地径流和河流来水，改变水量在时间上和地区上的分布状况。通过蓄水保水措施可以防止水土流失，减少洪涝灾害，增加地表水入渗补给地下水，避免或延缓暴雨径流向低地汇集，以增加河流枯水期水量及干旱年份（季节）地区水量的储备。

2. 引水调水措施 调水措施是通过修建引水河、渠使地区之间或流域之间的水量互相调剂，以改变水量在地区间的分布状况。水资源缺乏地区，可自水资源较多地区引取水量。我国已建成的引黄济青、引滦济津、引滦济唐，正在修建中的引长江水北调及引大（青海省大通河）入秦（甘肃省秦王川）工程，都属于这种类型。在汛期，当某地区水量过剩时，可通过排水河渠将多余的水量调配到其他缺水地区或调送到地区内部的蓄水设施存蓄。

总之，随着水利技术的发展，我国的农田水利建设今后要树立系统全面开发的指导思想，建立按流域综合开发利用水资源和科学管理的完善体系。进入 80 年代以后，我国在这方面已经作了大量的科学研究工作，并取得相当多的成果，在推广应用这些成果时又有新的发展。今后仍需加强水文分区、水旱灾害发生规律及对水土资源综合评价和利用等方面的研究工作，进一步提高我国灌溉排水科技水平。对水、土、作物、大气系统之间的内在联系以及地下水和土壤水运动等基础理论研究仍需加强，同时注意新技术、新设备、新材料的开发引用工作。

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、土壤水和地下水的数量和在时间上的变化。作物生长发育，要求有适宜的外界环境，同一种作物在不同的生长期，需要不同的外界环境条件。农作物在良好的生活环境下才能发育良好，否则发育不良会导致减产甚至绝产。作物所需要的生活条件，大致可以归纳为光、热、水、养料和空气五个基本因素。农田水分状况和土壤中的空气、热、养分有着密切的关系。一切农田水利措施，就是为了调节和控制农田水分状况，以改善土壤中的气、热、养分状况。研究农田水分状况对农田水利的规划、设计与管理工作都具有重要意义。

第一节 农田水分状况

一、农田水分存在的形式

农田水分的存在有三种基本形式，即地面水、土壤水和地下水。与作物生长最密切的是土壤水。土壤水可分为固态水、汽态水和液态水三种。固态水是土壤水冻结时形成的冰晶，汽态水存在于土壤未被水分占据的孔隙中，含量很少一般不超过土重的0.001%，液态水是蓄存在土壤中的液态水分，是土壤水分存在的主要形态，对农业生产意义最大。在一定条件下，土壤水可由一种形态变为另一种形态。我国目前常把土壤水，分为四种类型：

1. 吸湿水 由土粒的吸附力吸附空气中的水汽保持在土粒表面，不能呈液态流动，也不能被植物吸收利用，是土壤中的无效含水量。当室温（25℃）和大气相对湿度接近饱和值时，土壤吸湿水达最高值时相应的土壤含水量称为吸湿系数。

2. 膜状水 亦称薄膜水。由土粒的吸附力吸附周围的液态水，在土粒周围形成一层膜状的液态水即膜状水。膜状水的内层紧靠吸湿水，受吸附力强，随着水膜加厚逐渐减弱。膜状水能以缓慢的速度成液态转移，只有少部分能被植物吸收利用。通常在膜状水没有被完全消耗之前，植物已呈凋萎状态。当植物产生永久性凋萎时的土壤含水量，叫做凋萎系数。它包括全部吸湿水和部分膜状水，是可利用水的下限。凋萎系数难以实际测定，常以测定的吸湿系数除以0.68做为凋萎系数的近似值。膜状水达到最大时的土壤含水量叫做土壤的最大分子持水量，它是土壤借分子吸附力所能保持的最大土壤含水量，它包括吸附水汽加上液态水所形成的全部吸湿水和膜状水，其值约为吸湿系数的2~4倍。

3. 毛管水 由土粒间孔隙所表现的毛管力保持在土壤孔隙中的水叫做毛管水。毛管水能溶解养分和各种溶质，较易移动，是植物吸收利用的主要水源。依其补给条件不同，可分为悬着毛管水和上升毛管水。悬着毛管水是指土壤水分与地下水没有毛管联系，在降雨或灌溉后借毛管力保持在土壤上层的水分。土壤中保持最大悬着毛管水时的土壤含水量称为田间持水量，它代表在良好排水条件下灌溉后土壤所能保持的最高含水量。灌水或降雨超过田间持水量时，多余水便向下渗漏掉，因此常将田间持水量作为旱田土壤有效水分的

上限。上升毛管水是指地下水依靠毛管上升作用保持在毛管孔隙中的水分。毛管水的上升高度和速度，与土壤的质地、结构和排列层次有关。土壤粘重，毛管水上升高，但速度慢；质地轻的土壤，毛管水上升低但速度快。不同土壤的毛管水上升高度和强烈上升高度（土壤含水量达田间持水量的70%时该点距地下水面的高度）见表1-1。毛管水在土壤中存在的形态见图1-1。

表 1-1 土壤毛管水上升高度与强烈上升高度

土壤种类	毛管水上升高度 (m)	毛管水强烈上升高度 (m)
砂壤、轻壤	1.5~2.0	1.4~1.8
中壤	1.8~2.2	1.2~1.5
重壤、粘壤	2.0~3.0	0.8~1.2

4. 重力水 当土层的下部不受地下水顶托，土壤含水量超过田间持水量的那部分水量在重力作用下从土壤中垂直向下移动，这部分水叫做重力水。重力水在土壤中通过时能被植物吸收利用，只是不能为土壤所保持。

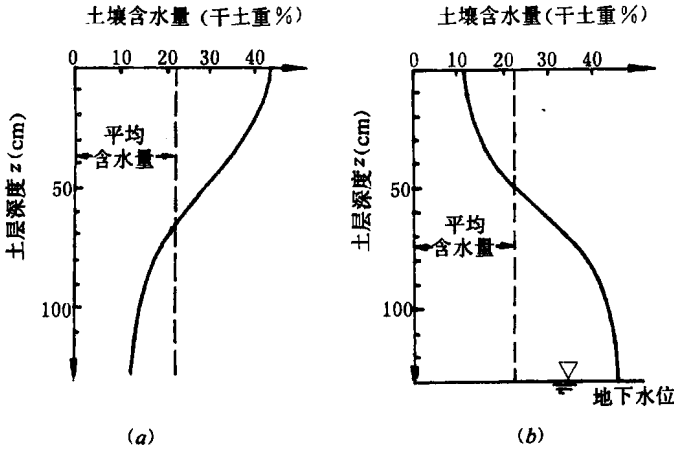


图 1-1 毛管水在土壤中存在形式
(a) 悬着毛管水；(b) 上升毛管水

重力水渗入到下层较干燥土壤时，一部分转化为其它形态的水，如毛管水，另一部分水继续下渗，但水量逐渐减少，最后完全停止下渗。重力水下渗到地下水面时就转化为地下水，并抬高地下水位。

土壤水分为有效水和无效水两部分。能被植物吸收利用的为有效水，它的范围从萎蔫点（凋萎系数）到田间持水量，重力水及低于萎蔫点的土壤水不能被土壤保持或不能为植物吸收利用，称为无效水。重力水在土壤中通过时虽然也能被植物吸收，但由于它在土壤中逗留的时间很短，因而利用率很低，加上不能为土壤保持，因此常将重力水列为无效水。

二、旱作区农田水分状况

旱作区的地面水和地下水必须转化成作物根系吸水层中的土壤水，才能被作物吸收利用。一般情况下，地面不允许积水地下水位不允许上升到根系层以内，以免造成淹涝或渍害。因此，田面积水必须及时排除，地下水只允许由毛细管作用上升到根系吸水层以供作物利用，故地下水位就必须控制在根系吸水层以下一定距离处。不同条件下，地面水和地下水补给土壤水的过程简介如下：

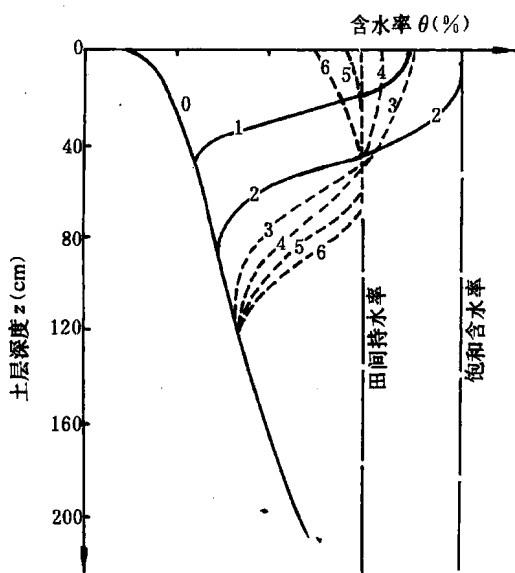


图 1-2 降雨（或灌水）后不同深度土层的湿润过程示意图

(1) 当地下水位距地面较深和土壤上层干燥的情况下，降雨或灌水后，地面水向土层入渗过程中，土壤水分的动态大致如图 1-2。

图 1-2 中，共有六条曲线，用以说明地表水入渗以后，土壤含水率的变化情况。曲线 0 是地表水补给前的土壤含水率分布曲线。曲线 1 系降雨或灌水开始时土壤含水率分布曲线；曲线 2 是降雨或灌水停止时的土壤含水率分布曲线；曲线 3 是降雨或灌水停止后，超过土层田间持水率后的多余水量，主要由于重力的作用逐渐向下移动，过一段时间后的土壤含水率分布曲线；曲线 4 说明再过一段时间后，土层中水分向下移动趋于缓慢时的水分分布情况；土壤水分重新分布时，因植物根系吸水和土壤蒸发，各层土壤水变化情况，见曲线 5、6。

(2) 当作物根系吸水层上面有地面水补给，下面又受上升毛管水影响时，土层中含水率的分布及随时间变化的情况如图 1-3 所示。

图 1-3 (a) 的曲线 0 是地表水补给前的情况。有地表水补给时，首先在土壤上层出现悬着毛管水，见曲线 1、2、3。地表水补给量不断加大，悬着毛管水所达深度也随之增加，直到和地下水面以上的上升毛管水相接，如曲线 4（虚线）所示。当地表水补给土壤的水量

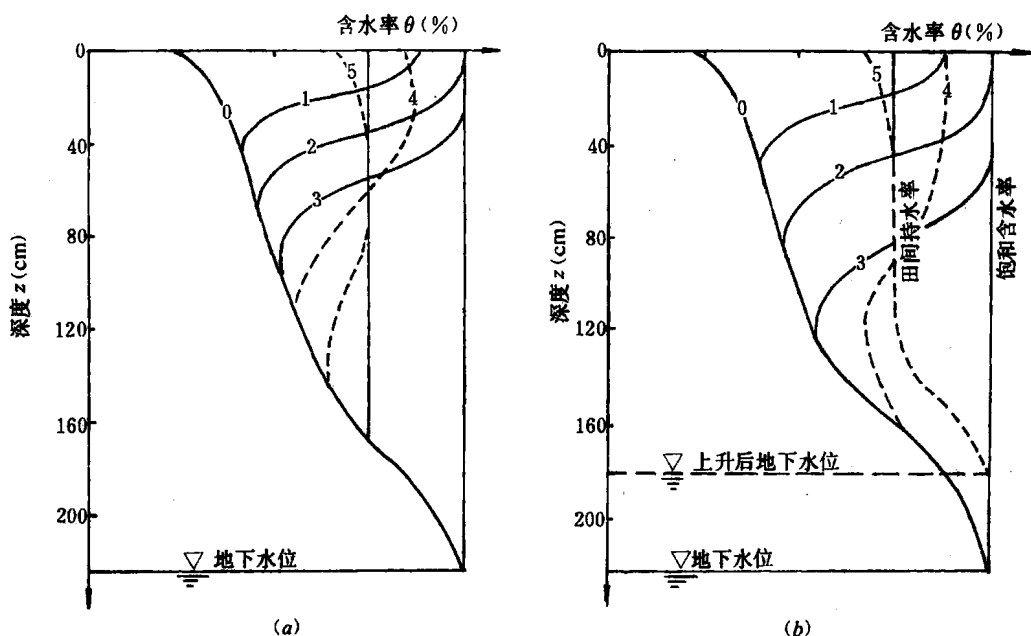


图 1-3 降雨（或灌水）后土壤含水率随时间变化示意图（地下水位埋深较小时）

(a) 地下水位上升以前；(b) 地下水位上升以后

超过地下水面以上的土层的田间持水能力时，地下水位就开始上升，如图 1-3 (b) 所示。

(3) 地下水位较高，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根系吸水层中的含水率。在没有地表水补给时，地下水位高低对根系吸水层内土壤含水率分布的影响。图 1-4 (a)、(b)、(c)、(d) 分别示出了不同地下水埋深时的土壤含水率分布情况。

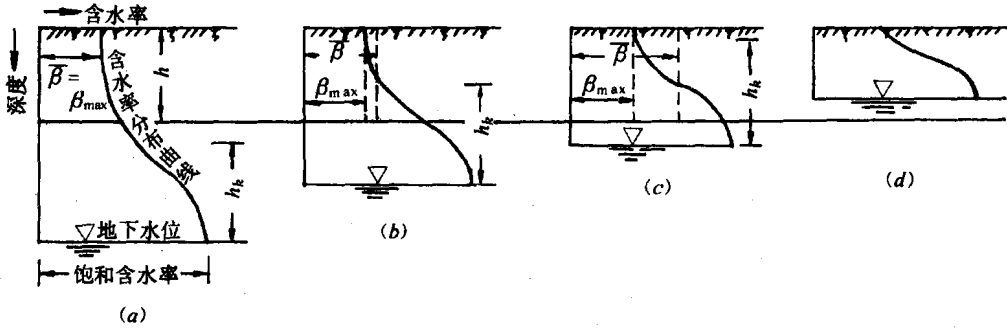


图 1-4 地下水位对作物根系吸水层内土壤含水率分布的影响示意图

β —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

从图 1-4 中可看出，地下水位愈高，根系吸水层中土壤平均含水率 $\bar{\beta}$ 愈大。当根系吸水层受地下水影响并有上升毛管水补给时，根系吸水层中的土壤含水率 $\bar{\beta}$ 常大于悬着毛管水的最大含水率 β_{max} 。因此在实践中应用时必须判明有无地下水影响。

综上所述，作物根系吸水层中的土壤水，以毛管水最易被旱作物吸收，超过毛管水最大含水率的重力水很少能被旱作物利用，即使重力水能长时间保存在土壤中，但也会使土壤通气状况变坏，对作物生长不利。因此，旱作物根系吸水层中允许的土壤平均最大含水率，一般应控制在田间持水率以下。所以农田灌溉中常以田间持水率作为土壤允许最大含水率。需要指出，目前在实践中，田间持水率、饱和含水率与田间持水量、饱和含水量，同属于常用名词，但应注意，田间持水率、饱和含水率应与土壤含水率结合使用，而田间持水量、饱和含水量应与土壤含水量结合使用。

当植物根部从土壤中吸取的水分来不及补给叶面蒸发时，植物体内含水量随之不断减少，特别是叶子的含水量迅速降低。这种由于植物耗水大于吸水，植物体内水分不足，甚至过度亏缺而受害的现象，叫做干旱。由于产生干旱的原因不同，可分为大气干旱、土壤干旱和生理干旱三种。

大气干旱是由于气温过高，大气相对湿度过低（一般在 10%~20% 之间），或由于热风所引起。这时即使农田土壤中尚有可供利用的水分，但因植物蒸腾耗水过大，根系吸水速度满足不了蒸发需要，而引起大气干旱。我国华北、西北均有大气干旱。一般大气干旱还不致引起植株死亡，但会抑制作物生长发育，降低产量。

土壤干旱是由于久旱不雨，又缺乏灌溉条件，土壤中可供植物根系吸收的水分很少，不能满足作物蒸腾和正常发育的需要而造成的。短期土壤干旱，会使作物产量明显降低，干旱时间过长会造成植株叶黄、萎蔫，直至枯死。