

全国水利水电类高职高专统编教材

JIESHUI JISHU GAILUN

节水技术概论

何晓科 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

节水技术概论

主 编	何晓科	
副主编	陈雅萍	徐光瑜
	邵正荣	乔 鹏
主 审	于纪玉	

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《节水技术概论》课程教学大纲编写完成的。本书主要内容包括灌溉节水技术、工业节水技术、城市生活节水技术、城市环境节水技术和节水技术管理等六个方面。

本书为水利类城市水利专业和水务管理专业高职高专教育使用的全国统编教材,也可供其他有关专业教学和生产与管理一线的读者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

节水技术概论/何晓科主编. —郑州:黄河水利出版社,
2008.9

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 978-7-80734-494-0

I. 节… II. 何… III. 节约用水—高等学校:技术
学校—教材 IV. TU991.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 134373 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:13.75

字数:320千字

版次:2008年9月第1版

印数:1—4 100

印次:2008年9月第1次印刷

定价:25.00元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,由全国水利水电高职教研会组织编写的水利水电类全国统编教材。

本书是为城市水利专业、水务管理专业高职高专教育编写的教材,是根据城市水利专业、水务管理专业高职高专教育的教学计划及《节水技术概论》课程教学大纲的基本要求,参照国家发展和改革委员会、科技部、水利部、建设部、农业部联合发布的《中国节水技术政策大纲》(2005 年 4 月 21 日)和《全国节水规划纲要》(2000~2010 年)等新规范、新标准编写完成的。

节水技术是城市水利、水务管理专业的一门专业技术应用课程,通过学习使学生了解和掌握实际工作中常用的节水技术原理、方法和管理方法,解决城市水利、水务管理工作中遇到的节水技术和管理问题。

节水技术是一门综合性和实践性很强的专业技术课程,不仅包括农业节水、工业节水,还含有城市生活节水、中水回用技术及市政环境节水技术等方面内容。学习中应注意理论联系实际,真正掌握实用的节水技术。

本书力求体现高等职业教育的特色,服务于高职培养技术应用型人才的目标,对基本理论的讲授以应用为目的,专业内容以必须够用为度,尽量做到语言精练、概念清楚、重点突出。

本书编写人员及编写分工如下:山东水利职业学院何晓科编写第一章、第四章,山东水利职业学院徐光瑜编写第二章,山西水利职业技术学院邵正荣编写第三章,山东水利职业学院乔鹏编写第五章,杨凌职业技术学院陈雅萍编写第六章。本书由何晓科担任主编并负责全书统稿,由陈雅萍、徐光瑜、邵正荣、乔鹏担任副主编,由山东水利职业学院于纪玉教授担任主审。另外,本书在编写过程中得到了有关教师的许多帮助,在此一并表示感谢。

限于编者的理论水平和实践经验,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 8 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 节水的基本概念及意义	(1)
第二节 节水技术发展状况	(3)
第三节 本课程的目的及特点	(7)
思考与练习	(8)
第二章 灌溉节水技术	(9)
第一节 土壤水分状况	(9)
第二节 高效输配水技术	(19)
第三节 喷灌技术	(27)
第四节 微灌技术	(46)
思考与练习	(72)
第三章 工业节水技术	(73)
第一节 概 述	(73)
第二节 冷却节水技术	(78)
第三节 生产工艺节水技术	(95)
第四节 工业水平衡测试及管理技术	(108)
思考与练习	(128)
第四章 城市生活节水技术	(129)
第一节 节水型器具设备	(129)
第二节 城市中水回用技术	(139)
第三节 城市供水管网的检漏技术	(150)
思考与练习	(164)
第五章 城市环境节水技术	(165)
第一节 城区景观用水及节水	(165)
第二节 城区雨水直接利用技术	(170)
思考与练习	(182)
第六章 节水技术管理	(184)
第一节 节水技术管理法规	(184)
第二节 节水信息管理技术	(184)
思考与练习	(198)
附 录 中国节水技术政策大纲	(199)
参考文献	(213)

第一章 绪 论

第一节 节水的基本概念及意义

一、节水的概念

(一) 节水及节水技术的含义

节水是指通过行政、经济等管理手段和相应的技术手段,加强用水管理,调整用水结构,改进用水工艺,实行计划用水,杜绝用水浪费,运用先进的科学技术建立科学的用水体系,有效地使用和保护水资源,适应国民经济建设持续发展需要的综合措施。节水技术是指可提高水利用效率和效益、减少水量损失、劣质水利用等技术的总称,包括直接节水技术和间接节水技术。

(二) 节水目标

为指导节水技术开发和推广应用,推动节水技术进步,提高用水效率和效益,促进水资源的可持续利用,2005年4月21日,国家发展和改革委员会、科技部、水利部、建设部、农业部联合发布《中国节水技术政策大纲》,提出我国节水总目标为:争取在2005~2010年间实现工业取水量“微增长”,农业用水量“零增长”,城市人均综合用水量实现逐步下降。

未来15年是我国节水型社会建设的关键时期,节水型社会建设的具体指标:到2010年,全社会自觉节水的机制初步形成,全民的节水意识明显增强,浪费水资源现象得到有效遏制;水资源利用效率和效益明显提高,万元GDP用水量年平均降低6%以上,农业灌溉用水实现零增长,工业用水量年平均增长率不超过1%,服务业用水效率接近同期国际先进水平;到2020年,我国将初步建成与小康社会相适应的节水型社会,实现经济社会发展用水零增长。

二、我国水资源概况

(一) 水资源短缺

我国的水资源总量较丰富,但人均较少。多年平均地表径流总量约为 $2.71 \times 10^{12} \text{ m}^3$,约占全球总量 $47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的5.8%,仅次于巴西、加拿大、美国和印尼,居世界第五位。而人均水资源占有量约为 2200 m^3 ,仅为世界人均占有量的1/4,美国人均占有量的1/5,印尼人均占有量的1/7,加拿大人均占有量的1/50,远远低于世界平均水平,是一个水资源短缺的国家。由于各地区处于不同的水文带,降水在时间和空间分布上极不均衡,水资源与土地、矿产资源分布和工农业用水结构不相适应。

(二) 水资源供需矛盾突出

全国正常年份缺水量约400亿 m^3 ,水危机严重制约我国经济社会的发展。由于水资

源短缺,部分地区工业与城市生活、农业生产及生态环境用水矛盾突出。部分地区江河断流,地下水位持续下降,生态环境日益恶化。近年来,城市缺水形势严峻,缺水性质从以工程型缺水为主向资源型缺水和水质型缺水为主转变。城市缺水有从地区性问题演化为全国性问题的趋势,一些城市由于缺水严重影响了城市的生活秩序,城市发展面临挑战。

(三) 用水结构需不断调整

2003 年农业用水(含林业、湿地等)占总用水量的比重已由 1980 年的 85% 下降到 66%,工业用水由 10% 提高到 22.1%,城镇生活用水由 2% 提高到 11.9%。由于我国各地经济社会发展水平和水资源条件不同,用水结构差异显著。随着城乡生活及工业用水的增加,用水结构将进一步调整,对供水水质和供水保障程度的要求将不断提高。

(四) 用水浪费现象严重

越来越严峻的水资源短缺问题将严重制约我国经济的可持续发展。尽管如此,水资源浪费现象仍然十分严重。目前,农业用水的漫灌方式仍然普遍存在,造成灌溉用水的大量浪费;工业用水绝大多数都是一次性使用,单位产品的耗水量高,工业工艺水平低,水的利用率和生产效率极低;城市居民节水意识淡薄,用水浪费现象普遍存在。

(五) 水资源污染严重

水利部有关资料表明,2002 年在全国七大流域中,太湖、淮河、黄河流域均有 70% 以上的河段受到污染,海河、松辽流域污染也相当严重,污染河段占 60% 以上。全国有 1/4 的人口饮用水不符合卫生标准,形成水质性缺水。近几年,国家尽管采取了“对污染严重的‘十五小’企业关、停、并、转,对排污大户限产限排”等措施,但收效甚微,工业废水处理能力仍旧很低,处理率仍然不高,技术手段滞后,处理费用高,大量未经处理的污废水直接排放,造成河流、湖泊等水域污染严重。另外,过量引用地表水导致河、湖干枯,过量抽取地下水导致地下水源枯竭,盲目围垦使湖泊面积和容积日益减少,不当的水利工程对区域水平衡的干扰等也引起水资源的破坏和水环境更加恶化。

三、节水的意义

(一) 节水的目的

水是生命、生活及生产必需的物资条件,节水的目的在于使水资源可持续利用,以保证人类社会文明进步的可持续发展。

(二) 节水的内容

节水的主要内容是指采取必要的现实可行的工程措施和非工程措施,以减少用水过程中不必要的损失和浪费,提高水的利用率,更加科学合理和高效的利用水资源。显然,节水的核心内容是提高用水效率和效益。目前,我国万元工业产值的用水量是发达国家的 5~10 倍甚至更多,我国灌溉水利用率仅为 40%~45%,距世界先进水平还有较大差距,节水潜力很大。从整体上讲,节水的内容主要包括两个方面,第一是对天然水资源进行有效保护和合理开发利用,第二是提高对已开发利用水资源(即供水量)的利用率和经济效益。按照水资源使用对象的不同,节水又可分为农业节水、工业节水、城市生活节水等几个方面。

(三) 节水的作用

(1) 不仅可缓解当前用水短缺的突出矛盾,更有利于维持水资源的可持续利用。

(2) 经济效益明显。通过节水可以减少水费开支,降低生产成本,扩大生产能力,提高生产单位的经济效益,促进国民经济的总体发展。

(3) 可减少污水排放,减少水体的污染,对维护河流生态平衡、避免地下水过量开采产生的环境问题以及野生生物、湿地和环境美化等方面都具有很好的环境效益。

(4) 可增强对干旱的预防能力。短期节水措施可收到立竿见影的效果,长期节水因大大降低了水资源的消耗量,从而提高了正常年份的干旱防备能力。

(5) 维持社会稳步持续发展。通过加大用水管理力度及其他措施,可调整用水差异,避免因用水不平衡及其他与用水相关的社会问题发生。

第二节 节水技术发展状况

一、国内外节水技术发展状况

(一) 国外节水技术发展状况

1. 依法治水,加强水资源的管理

节水管理先进的国家都很重视“依法治水”。以色列政府通过立法将水资源作为最重要的资源严格按计划使用,由国家水资源管理机构根据水资源管理法统一管理水的开发、分配、收费及污水处理、地下水开采、水源保护等。美国、英国、日本、意大利、匈牙利、罗马尼亚、法国、荷兰等发达国家也都制定了相应的水资源管理法规,并建立了全国性或地区性水资源管理机构,以加强水资源的管理,保障水资源利用的可持续性。

2. 开展水资源教育,提高人们的节水意识

为强调日益严重的水资源短缺问题,使人们真正提高节水意识,世界上很多国家采用各种方式宣传节约用水的重要性、迫切性,以提高国民节约用水的自觉性。如日本将6月1日定为“节水日”,在这一天,以市长为首的政府官员都到大街上,向市民宣传节约用水的重要性;以国际儿童节作为节水日,培养儿童的节水意识是保证子孙后代不为水所困的长久之计,还将节约用水内容编入了教学课本。美国洛杉矶市为了节水,曾动员100人做了188次节水报告,并让7万名中学生先后看了有关节水方面的电影,纽约市长在1981年水资源紧张时发出号召:委派全市儿童担任该市的“副市长”,监督他们的父母兄弟节约用水。新加坡的淡水主要从邻国进口,因此他们在中小学课本上都设置了节水的内容和相关的节水知识。此外,新加坡还有定期的“水危机演习”,全国停水一两天,让国民体会没水的滋味。韩国提出了“爱水就是爱国”的口号,从1990年就已经把每年的7月1日(1995年后改为3月22日)定为“水日”。通过这些活动,“水是宝贵的资源”已在各国深入人心。

3. 污、废水的资源化利用

污、废水的资源化利用,是解决水资源短缺、缓解供水量不足的一项有效措施,世界上许多国家如日本、美国、以色列、韩国等都对此进行了研究,并取得了令人满意的效果。

污、废水资源化利用的方法之一,是将建筑或建筑小区的污、废水就地处理后作为中水回用。日本研究、开发中水回用技术已有 40 多年的历史,其技术和设备居世界先进水平。

方法之二,是将城市污水集中处理后统一回用。如用于城市绿化。

方法之三,是进行雨水收集和利用。德国和日本等国在这方面做了许多研究和应用工作。

4. 采用节水型用水设备

随着世界经济的发展和科学技术的不断进步,近年来节水型用水设备的开发和应用也发展很快,极大地促进了节约用水工作的开展。

在农业上,以色列、美国、德国、日本、韩国等国家制造的各种节水型灌溉设备在世界上受到普遍欢迎。如美国和以色列生产的喷灌设备、微灌设备,德国生产的园林和庭院灌溉设备,韩国生产的微灌设备等,均性能良好,节水效果显著,且能起到增产作用,已经形成了较大的设备销售市场。

在城镇居民生活上,国外许多厂家已研制出多种节水装置,如用于厨房和浴室的汽水混合龙头、淋浴喷头等,一般可节约生活用水 20% 左右。在欧洲,节水型座便器的开发受到广泛重视。自 1975 年以来,在斯堪的纳维亚国家,座便器冲洗用水量一直是 6 L,而且瑞典在 20 世纪 80 年代就推出了每次冲洗水为 3 L 的座便器。日本各城市普遍推广使用节水阀芯,并可在一些城市水管部门或水厂免费得到,水龙头配上这种阀芯后,一般可节水 50% 以上;两挡便器冲洗水箱在日本广泛应用,即使是使用杂用水冲洗的座便器,使用的也是两挡水箱;日本还开发了多种浴室节水型淋浴器。

在工业上,节水型设备和水循环使用装置被广泛推广,使工业用水的生产效率和水的利用率得到大幅度提高,收到了较好的经济效益和社会效益。

5. 采用经济手段促进节水工作

当今世界许多国家已颁布了多种法规和条例,用经济手段调控用水量。美国的一项研究认为,通过计量和安装节水装置,家庭用水量可降低 11%,如果水价增加一倍,家庭用水可再降 25%。国外比较流行的水价计量方法是采用累进制水价和高峰用水价。日本东京采取了“抑制需要型”的收费方法,即东京都内一般用户水费分为“基本水费”和“超量水费”两种。供水管在 13~25 mm 内,每月耗水量不超过 10 m^3 时,只收“基本水费”800~1 320 日元;超过这一标准,增收“超量水费”,按每 10 m^3 为 1 单位递增,超量越大,收费标准越高。

(二) 我国节水技术发展状况

近年来,我国各行各业用水量呈逐年递增趋势,因此节约用水已引起了社会各界越来越广泛的关注。

在灌溉节水方面,全国约 70% 的粮食、80% 的棉花、90% 的蔬菜都产自于仅占全国耕地面积 1/2 以下的灌溉土地上,灌溉面积的巩固和发展愈来愈成为影响中国粮食安全的主要因素。灌溉用水是我国主要用水大户,1993 年全国总用水量为 $5\,198\text{ 亿 m}^3$,其中农业灌溉用水为 $3\,817\text{ 亿 m}^3$,占总用水量的 73.4%。党的十五届三中全会明确提出要“加快现有大中型灌区水利设施的维修和完善”,“把推广节水灌溉作为一项革命性措施来

抓,大幅度提高水的利用效率”。有些学者认为,“实行节水灌溉不仅关系着中国农业,而且也关系着中国经济与社会总体发展中迫切需要解决的重大水战略问题”。为了大幅度提高水的利用效率,国家从1996年开始,每年安排贷款50亿元左右,由中央和地方财政贴息,专门用于支持发展节水灌溉、打井、山区开发和种子工程建设。“九五”期间建设了第一批300个节水增产重点县,“十五”期间第二批300个节水增产重点县正在建设,以点带面,推动了全国节水灌溉的普及。截止到1998年底,全国节水灌溉工程面积已达到1 533.33万 hm^2 (2.3亿亩),其中进行渠道防渗的农田面积866.67万 hm^2 (1.3亿亩),管道输水灌溉面积513.33万 hm^2 (7 700万亩),喷灌、滴灌和微灌面积153.33万 hm^2 (2 300万亩)。另外,推广水稻节水灌溉、坐水种(穴灌)、膜上灌等非工程节水面积1 300万 hm^2 (约2亿亩)。

在工业节水方面,我国目前正在积极推广节水型设备和水循环使用装置,使工业用水的生产效率 and 水的利用率逐步得到提高,取得了一定的经济效益和社会效益。

在建筑节水方面,我国也采取了与国外类似的措施,如1998年我国颁布了《城市节约用水管理规定》。很多城市根据本市的实际情况制定了相关法规、条例,如北京市1998年颁布了《北京市建设项目节约用水设施与主体工程同时建设管理办法》,2000年12月20日起施行《北京市节约用水若干规定》等。目前,我国每年都举行节水宣传周活动,每年的5月15日所在的周为节水宣传周,通过各种媒体进行节水宣传;绝大多数住宅和公共建筑用水实现了按表计量的收费方式,取得了巨大的节水效果。近年来,节水型卫生器具新产品不断问世,为建筑节水工作的开展提供了一定的硬件环境。

我国很多地区根据当地的实际情况探索了中水回用的方法,如杭州市和四川省的一些高校把学生宿舍的盥洗废水经简单处理后用于下一层厕所的便器冲洗。北京市政府则强化了中水设施的建设和运转,1987年北京市颁发了《北京市中水设施建设管理试行办法》,规定了应建中水设施的建筑范围。

在生活节水方面,调整水费,计划用水。近年来我国各地对供水价格都做了不同程度的调整,如北京市自2000年至2003年1月间对水价进行了几次调整,居民用水价格从1.3元/ m^3 调整为现在的2.9元/ m^3 (含排污费),非居民用水根据行业性质也做了不同程度的调整,如旅游饭店从2.7元/ m^3 调整为4元/ m^3 (含排污费)。并已对非居民户实行了计划用水,超量加价收费,且正在制定对居民用水进行定额限制的实施办法。由于水资源的日益紧张,2000年夏季起我国的一些城市已实行居民定额用水,超量加价收费,超量部分的水价从10元/ m^3 到40元/ m^3 不等,有效地提高了人们的水资源意识和节水意识,缓解了供水紧张的局面。

我国的节水工作虽说取得了很大成绩,但节水工作发展并不平衡,一些基层用水单位并未很好地贯彻落实节水法规,对节水工作不够重视,管理缺乏力度,尤其是灌溉方面,浪费水的现象仍很严重。更应值得注意的是,很多单位和个人目前对节水仍然缺乏全面认识,严重制约了节水工作的开展。

二、节水的基本途径

节水的途径因行业不同而不同。总体上讲,要坚持科学的发展观,把节水放在更加突

出的位置;研究、开发与应用节水新技术、新工艺和重大装备;大力推行节约用水措施,发展节水型工业、农业和服务业,建设节水型城市、节水型社会;采取法律、经济、技术和工程等切实可行的综合措施,全面推进节水工作;节水工作实现“三个结合”,即工程措施与非工程措施相结合,先进技术与常规技术相结合,强制节水与效益引导相结合。

(一) 农业节水的基本途径

农业是我国第一用水大户,发展高效节水型农业是我国的基本战略。农业节水的基本途径主要有以下几方面。

1. 高效输配水技术

农业用水输配水过程中的水量损失所占比重很大,提高输水效率是农业节水的主要内容。具体途径主要有:

- (1)因地制宜应用渠道防渗技术。
 - (2)发展管道输水技术。
 - (3)推广采用经济适用的防渗材料。
 - (4)发展防渗渠道断面尺寸和结构优化设计技术。
- 高效输配水技术具体内容详见本教材第二章有关内容。

2. 田间灌水技术

田间灌水是提高灌溉水利用率的最后环节,改进田间灌水技术是农业节水的重点。具体途径主要有:

- (1)改进地面灌水技术。如小畦灌溉、细流沟灌、波涌灌溉。
- (2)喷灌技术。在经济作物种植区、城郊农业区、集中连片规模经营的地区应用喷灌技术;优先推广轻小型成套喷灌技术与设备;在山丘区或有自压条件的地区,积极发展自压喷灌技术。
- (3)微灌技术。在果树种植、设施农业、高效农业、创汇农业中大力推广微喷灌与滴灌技术;微灌技术与地膜覆盖、水肥同步供给等农艺技术有机结合;在山丘区利用地面自然坡降发展自压微喷灌、滴灌、小管出流等微灌技术;结合雨水集蓄利用工程,发展和应用低水头重力式微灌技术。

喷灌、微灌技术详见本教材第二章有关内容。

(二) 城市与工业节水的基本途径

由节水的含义可知,城市与工业节水途径和措施很多,归结起来有以下4个方面:

(1)开展宣传教育。宣传和教育均是对人们思想认识的正面引导,教育靠潜移默化的影响,宣传是教育的强化。要让人们认识到节约用水是解决水资源短缺问题的优先对策具有重要意义,十分必要,以此提高全民节水意识,使节约用水成为广大用水者的自觉行动,使全社会形成良好的节水习惯。

(2)加强科学管理。制定和实施城市与工业节水规划和计划,强化其行政、技术、经济及法制诸方面的具体管理,并研究引入节水激励机制和制约机制。加强各企业间的联系,进行排水的综合治理及利用,以提高水的利用率和降低水处理费用。节水管理详见本教材第六章内容。

(3)依靠科技进步。可以通过推广使用节水器具,对原有设备进行改造或重新开发

使用产品,达到节水的效果。在工业领域,可对生产工艺进行改革,加强冷却用水管理,可采用一水多用或污水净化,从而达到节水的目的。详见本教材书第三、四章有关内容。

(4)制定政策法规。节约用水法制建设,包括一系列政策、法规、规章、标准的建立与完善,对节约用水工作具有重要意义,要进一步完善节约用水管理的配套法规。可参见本书第六章。

另外,根据工业生产的特点,工业节水的基本途径可分为3类:

(1)系统节水。通过改变生产用水方式,提高生产用水系统的用水效率。系统节水一般可在生产工艺条件基本不变的情况下进行,故较易进行。

(2)管理节水。通过加强用水(节水)管理减少水的损失,或利用海水、苦咸水或其他低质水(如雨水等)、大气冷源、人工制冷等减少淡水或冷却水量,提高用水效率。

(3)工艺节水。通过实行清洁生产、改变生产工艺或生产技术进步,采用少水或无水生产工艺和合理进行工业生产布局,以减少水的需求,提高用水效率。工艺节水涉及工业生产原料、路线与政策,生产工艺方法、流程与设备,工业产品结构、生产规模、生产组织及生产布局等各个方面。因此,工艺节水是更为复杂、更加长远的根本节水途径。

第三节 本课程的目的及特点

一、课程的目的

节水技术是城市水利、水务管理专业的一门专业技术应用课程。其目的是为了学习实际工作中常用的节水技术原理、方法和管理知识,解决城市水利、水务管理工作中遇到的节水技术和管理问题。

二、课程的特点及学习要求

节水技术作为城市水利、水务管理专业的一门专业技术课程,具有很强的综合性和实践性。它是在学习水力学、水化学与微生物基础、水务工程概论、净水技术、工程水文与水利水电规划等的基础上开设的,同时还与并行开设的课程如城市水资源规划与管理、城市防洪、水政实务等有着密不可分的关系。因此,为了学好这门课程,学习时应注意以下几方面的具体问题:

(1)节水技术的实施应用是建立在水资源规划及其管理的基础上,必须理解和掌握水资源的概念、含义及特性和类型,尤其是城市水资源的特性。这就要求在学习本课程期间要结合水资源规划与管理、城市防洪和水政实务等课程,学习有关知识。

(2)节水技术是一门综合性和实践性很强的专业技术课程,不仅包括农业节水、工业节水,还含有城市生活节水、中水回用技术及市政环境节水技术等方面的内容。学习中应注意理论联系实际,真正掌握实用的节水技术。

(3)根据高职教育的特点,教材中大幅度减少了有关技术的原理和烦琐的公式推导过程。为了便于对实用技术的学习和掌握,进一步学习有关知识,可参考教材所列的参考书目及文献。

思考与练习

1. 节水技术的主要内容有哪些？
2. 我国节水技术存在的主要问题是什么？解决的主要途径有哪些？
3. 你如何学好这门课程？有何要求或建议？

第二章 灌溉节水技术

第一节 土壤水分状况

一、土壤水分存在的形态和基本类型

土壤水分系指地面水、土壤水和地下水在数量、分布及时空上的变化。土壤水是与植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固态水、气态水、液态水三种。固态水是土壤水冻结时形成的;气态水是存在于土壤孔隙中的水汽,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;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。液态水按其受力和运动特性可分为三种类型。

(一) 吸着水

吸着水包括吸湿水和膜状水。吸湿水是土壤孔隙中的水汽在土粒分子的吸引力作用下,被吸附于土粒表面的水分。它被紧束于土粒表面,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。当空气相对湿度接近饱和时,吸湿水达到最大时的土壤含水率称为吸湿系数。不同质地土壤的吸湿系数不同,吸湿系数一般为 $0.034\% \sim 6.5\%$ (占干土重的%计)。

当土壤含水率达到吸湿系数后,土粒分子的引力已不能再从空气中吸附水分子,但土粒表面仍有剩余的分子引力。这时,如再遇到土壤孔隙中的液态水,就会继续吸附并在吸湿水外围形成水膜,这层水叫膜状水。膜状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,只有少部分能被植物吸收利用。膜状水达到最大时的土壤含水率,称为土壤的最大分子持水率。它是土壤借分子吸附力所能保持的最大土壤含水率,它包括全部的吸湿水和膜状水,其值一般为吸湿系数的 $2 \sim 4$ 倍。通常在膜状水没有完全被消耗之前,植物已呈凋萎状态。植物产生永久性凋萎时的土壤含水率,叫做凋萎系数。它包括全部吸湿水和部分膜状水,是植物可利用水的下限。凋萎系数不仅决定于土壤性质,而且还与土壤溶液浓度、根毛细胞液的渗透压力、植物种类和生育期有关。凋萎系数难以实际测定,一般取吸湿系数的 $1.5 \sim 2$ 倍,作为凋萎系数的近似值。

(二) 毛管水

土壤借毛管力作用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。

悬着毛管水系指不受地下水补给时,由于降雨或灌溉渗入土壤并在毛管力作用下保持在上部土层毛管孔隙中的水。悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为田间持水率,

在数量上它包括全部吸湿水、膜状水和悬着毛管水。生产实践中,常将灌水或降雨两天后土壤所能保持的含水率作为田间持水率。灌水或降雨超过田间持水率时,多余的水便向下渗漏掉。因此,田间持水率是有效水分的上限。

上升毛管水系指地下水沿土壤毛细管上升的水分。毛管水上升的高度和速度,与土壤的质地、结构和排列层次有关。土壤黏重,毛管水上升高,但速度慢;土壤质地轻,毛管水上升低,但速度快。不同土壤的毛管水上升高度见表 2-1。

表 2-1 毛管水最大上升高度

土壤种类	毛管水最大上升高度(m)	土壤种类	毛管水最大上升高度(m)
黏土	2~4	沙土	0.5~1
黏壤土	1.5~3	泥炭土	1.2~1.5
沙壤土	1~1.5	碱土或盐土	1.2

(三)重力水

当土壤水分超过土壤田间持水率后,多余的水分将在重力作用下,沿着土壤孔隙向下层移动,这部分水分叫重力水。重力水在土壤中运动时能被植物吸收利用,只是不能为土壤所保持。重力水渗到下层较干燥土壤时,一部分转化为其他形态的水(如毛管水),另一部分继续下渗,但水量逐渐减少,最后完全停止下渗。如果重力水下渗到地下水面,就会转化为地下水并抬高地下水位。

二、土壤含水率的测定和表示方法

(一)土壤含水率的测定方法

土壤含水率(亦称含水量),是衡量土壤含水多少的数量指标。为了掌握土壤水分状况及其变化规律,用以指导灌溉和排水,经常需要测定土壤含水率。

测定土壤含水率的方法很多,如称重法(包括烘干法、酒精燃烧法、红外线法)、负压计法、TDR 法、核物理法(γ 射线法、中子散射法)等。下面介绍常用的几种方法。

1. 烘干法

将采集的土样称得湿重后,放在 105~110℃ 的烘箱中烘干至恒重,然后称重,水重与干土重的比值为土壤含水率。

烘干法是最基本的直接测定土壤含水率的方法,缺点是土样受到破坏,且不能连续观测某处的土壤含水率。

2. 负压计法

土壤水分是靠土壤吸力(基质势)的作用而存在于土壤中的。在同一土壤内,含水率越小,土壤吸力越大;含水率越大,土壤吸力越小。当含水率达到饱和时,土壤吸力等于零。负压计就是测量土壤吸力的仪器。只要事先按不同土壤建立率定的土壤吸力与土壤含水率的关系曲线即土壤水分特征曲线(可通过同时测定负压计读数和用烘干法测定土壤含水率来建立),而后用负压计测得土壤吸力,再查已建立的特征曲线即得土壤含水率。

负压计主要由多孔陶土头、连接管和真空表组成,如图 2-1 所示。陶土头是整个仪器

的感应部件,它具有许多均匀的细孔,能够透水。当陶土头内充水后,其孔隙全部饱和,与空气接触面上形成水膜。在一定的压力范围内,水膜不被击穿,使得空气不能进入陶土头内。

使用时,负压计内全部充水,并保证不留剩余空气,把负压计陶土头埋入土壤中需测定的位置上,并使土壤与陶土头表面充分接触。陶土头最初放入土壤时,负压计中的水处于标准大气压状态中,吸力等于零,而一般土壤吸力大于零,由于吸力不等,负压计中的水就从陶土头外壁渗透出来,直至吸力平衡为止。这时负压计中出现的负压值(即吸力值)便由真空表指示出来。当土壤水由降雨或灌溉得到补充时,其吸力急剧降低,负压计中的吸力因大于土壤吸力,从土壤中吸得水分,负压计上真空表的读数也随之降低。稳定后,真空表的指示值即为土壤吸力。

负压计结构简单,能定量连续观测土壤含水率,如果分层埋设,可以及时掌握土壤水分运动情况。也可在不同测点多处埋设,配合自动观测设备,同时测得多点的土壤含水率及其变化过程。

3. 时域反射仪法(也称 TDR 法)

时域反射仪(Time Domain Reflectometry)法是根据探测器发出的电磁波在不同介电常数物质中的传输时间的不同,计算出被测物的含水率。从探测器发射出的电磁波沿同轴电缆一直传递到电极末端并反射回来,在电极(长度 L)中往复的电磁波的传播速度(v)与电极周围介质的介电常数有关,从而可以获得介电常数与传播速度的关系,如当电磁波的频率在1 MHz~1 GHz 时呈如下关系

$$\xi = \left(\frac{c}{v} \right)^2 = \left(\frac{ct}{2L} \right)^2 \tag{2-1}$$

式中 ξ ——介电常数;

c ——光速, 3×10^8 m/s;

t ——电磁波的传输时间,s。

电磁波在各点的反射很明确,可以很准确地计测出 t ,从而用上式计算出 ξ ,其结构的示意图如图 2-2 所示。

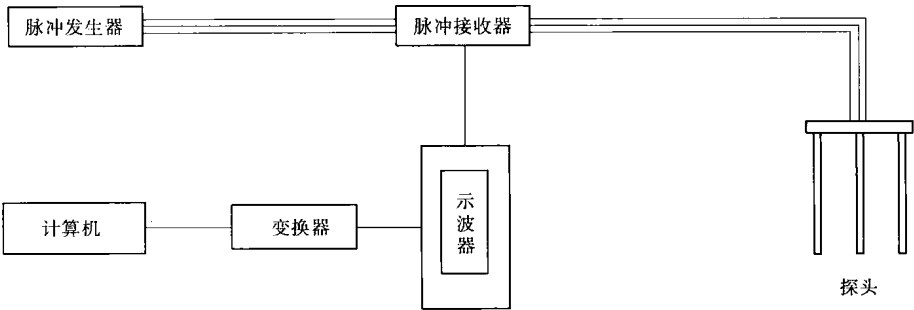


图 2-2 时域反射仪示意图

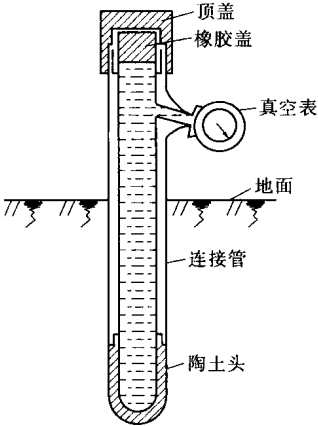


图 2-1 负压计

运用 TDR 方法进行土壤含水率测定时,首先计测的是介电常数 ξ ,然后通过介电常数 ξ 与含水率之间的标定曲线计算土壤含水率。TDR 法与其他的土壤水分计测方法相比,具有测定范围广泛、不破坏土壤结构、测定方法简单、对人体无伤害、能随时捕捉含水率随时间的迅速变化、可实现自动化观测等优点。

(二) 土壤含水率的表示方法

土壤含水率常用的表示方法有以下几种:

(1) 以土壤水分重量占干土重的百分数表示。公式为

$$\beta_{\text{重}} = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{干土}}} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 $\beta_{\text{重}}$ ——土壤含水率(占干土重的%);

$G_{\text{水}}$ ——土壤中含有的水重,为原湿土重与烘干土重的差,kg;

$G_{\text{干土}}$ ——烘干土重,kg。

(2) 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示。公式为

$$\beta_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{土}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}}} \quad (2-3)$$

式中 $\beta_{\text{体}}$ ——土壤含水率(占土壤体积的%);

$V_{\text{水}}$ ——土壤水分体积, m^3 ;

$V_{\text{土}}$ ——土壤体积, m^3 ;

$\rho_{\text{干土}}$ ——土壤干密度, kg/m^3 ;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, kg/m^3 。

这种表示方法便于根据土壤体积直接计算土壤中所含水分的体积,或根据预定的含水率指标直接计算出需要向土壤中灌溉的水量。由于土壤水分体积在田间难以测定,生产实践中常用含水率的重量百分数换算为体积百分数。

(3) 以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示。公式为

$$\beta_{\text{孔}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{孔}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}} \times n} \quad (2-4)$$

式中 $\beta_{\text{孔}}$ ——土壤含水率(占土壤孔隙体积的%);

$V_{\text{孔}}$ ——土壤中孔隙体积, m^3 ;

n ——土壤孔隙率(%);

其余符号意义同前。

这种方法能清楚地表明土壤水分占据土壤孔隙的程度,便于直接了解土壤中水、气之间的关系。

(4) 以土壤实际含水率占田间持水率的百分数表示。这是以相对概念表示土壤含水率的方法,即

$$\beta_{\text{相对}} = \frac{\beta_{\text{实}}}{\beta_{\text{田}}} \times 100\% \quad (2-5)$$

式中 $\beta_{\text{相对}}$ 、 $\beta_{\text{实}}$ 、 $\beta_{\text{田}}$ ——土壤的相对含水率、实际含水率和田间持水率,均以百分数表示。

这种表示方法便于直接判断土壤水分状况是否适宜,以制定相应的灌溉排水措施。