

高等学校教材

农业供水工程

武汉水利电力学院 魏永曜 合编
西北农业大学 林性粹



前 言

《农业供水工程》是1990~1995年高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题的编审出版规划中的选题之一，是根据编者在1976~1987年几次编写的讲义和教学实践的基础上，不断吸取国内外的一些研究成果，并逐步加以充实和提高而编写成的。

本书作为农田水利专业课程的一种补充教材，在下述三个方面作了内容丰富而深入的补充，以适应扩大知识面，提高为社会服务的能力，也为进一步研究、提高这一方面的理论，提供了系统的理论基础。

(1) 农村及小城镇的人、畜饮水工程，本书在需水量计算、水质处理、水厂结构及管网设计方面，提供了必要的设计知识。

(2) 在地面灌水技术方面，对现有的喷灌、微灌、低压管灌等作了精练的介绍，特别是对地面灌溉（沟、畦、淹灌）作了理论上的补充。包括灌水技术的评价方法，稳定流计算方法和非稳定流计算方法，以及波涌灌溉等新技术。

(3) 在渠系及压力管网的设计方面，不仅扼要地概括了一般的设计方法，而且提供了若干优化设计的数学模型和解算方法。这对降低工程造价，提高工程效益，具有巨大的经济效益，也有利于提高设计水平。

本书限于计划的篇幅，将着重于对原理的叙述，部分内容较深，涉及基础知识较多，因此在作选修课教材时，可分别对象选择部分内容讲解。目录中带*号的章节，供研究生及从事这一方面研究工作的工程技术人员参考。

本书第四、五、六章及第十章第五节由西北农业大学林性粹编写，其余各章由武汉水利电力学院魏永曜编写，并负责全书的统稿工作。全书由成都科技大学徐才洪审稿。

鉴于编著者水平所限，书中错误和不妥之处，恳请读者指正。

编著者

1991年12月

目 录

前 言

第一章	绪言	1
第一节	农业供水工程的重要性	1
第二节	农业供水工程课程的任务	3
第二章	设计用水量及对水质的要求	6
第一节	作物需水量及设计灌水量	6
第二节	城镇生活、生产及消防用水量	12
第三节	饲养业及乡镇企业用水量	16
第四节	水质	18
第三章	农业供水工程的总体规划	20
第一节	总体规划的原则与内容	20
第二节	灌水方式的优化选择	22
第四章	水源及其取水构筑物	26
第一节	水源的种类及其特征	26
第二节	水源的选择与卫生防护	27
第三节	取水方式与取水构筑物	30
第五章	水的净化	51
第一节	概述	51
第二节	混凝	51
第三节	沉淀	60
第四节	过滤	66
第五节	综合净水构筑物	76
第六节	消毒及特殊处理	79
第六章	水厂总体设计	86
第一节	厂址的选择及水厂的组成	86
第二节	净水工艺流程的选择与设计	87
第三节	水厂的平面布置与高程布置	92
第四节	辅助建筑物和水厂的其它设施	93
第五节	水厂工程实例	94
第七章	地面灌溉系统的常规设计方法	101
第一节	地面灌溉系统的分类及灌水过程	101
第二节	田间系统的评价	105
第三节	田间系统的设计	110

第四节	田间系统设计举例	116
第五节	波涌灌溉	126
*第八章	地面灌溉系统的非稳定流设计方法	128
第一节	设计的特点与分类	128
第二节	特征线法	129
第三节	欧拉积分法	135
第四节	零贯量模型	142
第九章	明渠输配水网的优化设计	149
第一节	明渠断面的设计方法	149
第二节	渠系的优化设计	167
第十章	田间有压灌溉系统的设计	171
第一节	多孔管的设计	171
第二节	管道式喷灌系统的设计	180
第三节	机组式喷灌系统的设计	186
第四节	微灌系统的设计	192
第五节	低压管道灌溉系统的设计	195
第十一章	输配水管网的水力平衡计算及其优化设计方法	201
第一节	水力平衡计算方法	201
第二节	树状网优化设计的方法	216
*第三节	环状网及混合管网的优化设计方法	241
主要参考文献		246

第一章 绪 言

第一节 农业供水工程的重要性

一、农业供水的资源概况

(一) 土地资源

地球表面约1/3是陆地, 2/3是水面。陆地约134.01亿ha。其中约11% (14.39亿ha) 为耕地, 21.5%为牧地, 29.7%为森林, 其余37.8%为未开垦地。在耕地中, 湿润、半湿润、半干旱、干旱地分别占40%、40%、15%、5%。其标准分别为年雨量大于1000mm、500~1000mm、250~500mm和小于250mm。耕地中灌溉面积约2.1亿ha, 占耕地15%。我国领土总面积约144亿亩, 据新华社1990年2月22日电讯报导, 其中耕地为14.34亿亩。总面积仅次于苏、美、印, 列世界第4位。但我国有11.119亿人口, 人均耕地面积仅1.289亩。我国又是一个多山的国家, 高原山区约占总面积59%, 丘陵占10%, 盆地占19%, 平地占12%。耕地中约有30%在山丘区, 约5亿亩, 其中仅有约1亿亩得到不同程度的灌溉。截止1989年底, 我国现有灌溉面积共6.711亿亩, 占世界第1位。

(二) 水资源

地球上的总水量13.66亿km³, 其中淡水仅占2.5%, 约3334万km³, 而淡水存在于地表及大气中的水仅占0.4%, 其余有12.3%及87.3%分别存于地下和呈结冰状态, 地表、大气中的水约为139220km³, 仅占地球上总水量的0.01%, 是全人类赖以生存的主要水源, 其中89.8%存于湖泊, 9.3%存于大气中, 而河水仅占0.9%。

据联合国统计, 世界陆地多年平均年径流量为47万亿m³, 按44亿人口计, 人均10700m³。我国多年平均径流量为2.6万亿m³, 仅次于巴西、苏联、加拿大、美国和印度尼西亚, 是世界第六位。但按人口平均仅约2700m³, 排序第88位, 人均水量只相当于世界人均值的1/4, 是美国的1/5, 苏联的1/7, 加拿大的1/50。按单位耕地面积径流量计算, 只相当世界平均值的1/2~1/3。我国多年平均年雨量为630mm。可见我国的水资源是较紧缺的。

又由于降雨及径流量在时空分布上的不均匀, 耕地和人口的分布亦不均衡, 更加剧了用水的矛盾。长江、珠江、浙闽及西南各省诸河流总水量占全国总水量的82.2%, 多年平均年降雨量达1500~2000mm。黄、淮、海、滦、辽、黑龙江及西北内陆诸河和地区总水量仅占17.7%, 西北干旱区年降雨量在200mm以下, 而这些地区的耕地占全国63.7%, 人口占46%。如黄、淮、海地区, 水量占全国水量约5%, 人口占30%, 耕地占37%。人均用水量为415m³, 仅为全国均值的1/6, 每亩耕地仅243m³水。尤其如河北省5300多万人, 1亿亩耕地, 人均径流量和亩均径流量分别相当于全国的1/8和1/10, 供需矛盾十分突出。

在用水量中, 80%~90%的水用于农业, 农业是耗水大户。由于工业及生活用水逐年

增加,迫使农业用水将逐年减少。据联合国教科文组织估计,到2000年工业用水比重将由1970年的20%上升至32%,农业用水比重则由73%下降至58%,农业用水的供需矛盾必须寻求相应的对策来解决。例如我国一方面进行规模宏大的南水北调工程,另一方面大力提倡节水型农业。

二、农业供水工程的历史

提到农业供水工程的历史,自然会想到世界文明的四大源流:尼罗河,美索不达米亚河,印度河及黄河。

(1) 尼罗河发源于埃塞俄比亚塔纳(Tana)湖的青尼罗河和维多利亚(Victoria)湖(乌干达、肯尼亚、坦桑尼亚)的白尼罗河,在苏丹首都喀土穆(Khartoum)合流后,流入埃及。青尼罗河水含有肥沃的石灰质淤泥的无机物,白尼罗河水含有来自沼泽密林的腐植质有机物,这对灌溉极为有利。尼罗河全长6648km,上游多雨的集水区约占全长的一半,年雨量1500mm左右,这对年雨量仅25mm的开罗,2mm的阿斯旺等极其干旱的地区来说,简直是神圣的。成为埃及文明的发祥之源。著名的阿斯旺水坝于1902年完成,经二次加坝,蓄水量由最初的10亿 m^3 增加到50亿 m^3 。从阿斯旺到开罗的900km内,河域宽约5~10km。

(2) 美索不达米亚(Mesopotamia),现在的土耳其东部库尔德斯坦(Kurdistan)高地及伊拉克西南山地降的雨、雪进入底格里斯河和幼发拉底河,流向伊拉克的东南方向干旱炎热的美索不达米亚平原。水源至平原2000多km,平原的河域宽约400~500km,巴格达下游的流速在0.5m/s以下。公元前2000年在巴比伦(第一)的Hammurabi王统治下,实行大规模的灌溉事业,灌溉面积达260万ha以上,养育1500~2000万人口。且兼顾航运、调节供水等多目标运用。

(3) 印度河流域在公元前2000年已有引洪灌溉,主要在旁遮普(Punjab)及下游的信德(Sind)地区。流域内还广泛地利用打井提取地下水灌溉旱田作物,除补足灌溉外,还减轻了盐害及内涝。

(4) 黄河流域在公元前20世纪前已有进行农业灌溉的记载。公元前20世纪前开始著名的大禹治水。公元前三世纪,李冰在四川兴建了都江堰,灌溉川西平原,沿用至今,灌溉面积已达1100多万亩,设计和运用都符合现代科学。公元前1120年渭河两岸已有大型水利工程。吴王在公元前486年挖邗沟,秦王在公元前247年开发泾河,汉武帝在公元前129~95年相继连结渭河,建昆明池,开挖白渠,灌水田7650顷。公元604~618年隋炀帝改建、扩建大运河,1280年元世祖拓宽大运河,1408年左右明朝永乐帝进一步延长、扩大了大运河,从北京经黄河到杭州,全长约1040km,水深1.8~2.1m,平均流速1.3m/s。20世纪30年代李仪祉在陕西创建了经惠渠、渭惠渠和洛惠渠等大型灌区。安徽的淠史杭灌区及内蒙古的后套灌区,灌溉面积均超过1000万亩。

以上可见人类最初的文明是由农业灌溉兴起的,而且最初是以洪水漫灌这一最简单的灌水方法进行的,灌溉的规模标志着一个民族的兴衰。

三、农业供水工程的展望

世界15%的灌溉面积上提供的农产品占农业产量的33%,到2000年,虽然耕地将扩大

较多,但灌溉面积的比重仍不应低于16%,而且它的产量应占总产的41%。估计世界上可能发展的灌溉面积为9.47亿ha,按平均年需水 $1\text{万m}^3/\text{ha}$ 计,则每年需灌溉水9.47万亿 m^3 。世界上可提供的发展灌溉的水资源总量约9亿 m^3 ,尚差4700亿 m^3 ,缺水严重,且分布不均,发展中国家集中的非洲和亚太地区尤为突出。

针对上述情况,今后农业发展面临两种战略,即水平发展和纵向发展,前者依靠增加耕地来增加产量,但受投资、居住、设施、生态等条件的限制,每年约递增1%。发展中国家要求到2000年粮食翻番,只依靠扩大耕地远不能实现这一目标。纵向发展又有二种方式,一是增加复种指数,另一种是提高单位面积的产量。据分析从1980年到2000年,在90个发展中国家的增产总量中,60%来源于提高单产,14%来源于提高复种指数。我国计划到2000年使农业产出比1980年翻一番,而该时人口预计为12.67亿,即较1980年增加25%。预测到2000年新增(水平发展)灌溉面积1.2亿亩(平均每年发展600万亩),主要增产措施还是依靠提高现有灌区的单产。从过去40年看,我国的灌溉发展速度与规模都居发展中国家的领先地位。从全局看,效益发挥较快,单产提高亦较快,但和发达国家相比仍有很大潜力。例如日本的水稻单产达 $6\text{t}/\text{ha}$,而我国约 $3.7\text{t}/\text{ha}$,欧洲国家的田间灌溉定额只有 $4000\sim 6000\text{m}^3/\text{ha}$,比发展中国家少一半。由此可见,我国既需要新的发展,更需要对大量现有灌区进行技术改造。

此外,工业用水亦将随工业发展而剧增,居民生活用水的标准亦在不断提高。如西德在50年代,年人均日用水85L,现在上升至240L。而我国城市居民的较高用水标准是90~160L。在水资源紧缺地区,首先保证生活用水和工业用水,其次才是农业用水,因此农业必须从开源、节流两方面提高水的利用率和效益,这是具有长远的战略意义的大事。

另外,第35届联大发起1981~1990年为国际饮水供应和环境卫生年,我国政府积极支持这一项活动,并制定了十年规划,积极采取措施,解决城镇普及自来水、农村饮用卫生水,改善水源污染状况,改善环境卫生状况。农村改水的重点是肠道传染病高发区、高氟水地区、苦咸水地区和缺水地区。有自来水的地方,要加强水源保护,增加水量,扩大管网,提高普及率,完善净水和消毒设备,加强水质监测,保证安全供水。要求城市自来水普及率由1983年的85.2%提高至100%,农村改变了近一半人口饮用水不符合卫生要求的状况。消灭了二号病的流行。

联大又发起今后十年为减灾十年,我国政府十分重视,制定了投资向农业倾斜的政策,农业供水工程也必将在今后有一个较大的发展。

· 第二节 农业供水工程课程的任务

一、农业供水工程的服务对象

农业供水工程以广阔田野的农作物的供水为主要服务对象,但有关农副业加工工业的供水,城、镇居民生活用水,消防用水亦应包括在内。由于其设计的基本知识类同,大城市给水系统的新建、扩建和改建亦可适用。

本书内容的选取,以农田水利工程专业大学本科生、研究生为主要对象。从加强理论

基础,扩大知识面和应用能力出发,利用原已具备的专业知识,补充了一些国内外研究的新成果,形成了一套农业供水工程的规划、设计和运行的新方法。本书亦可供环保专业、土地规划专业、工民建专业、机电排灌专业等相近专业的学生和研究生作参考读物。

农业供水工程一般由取水建筑物,水处理建筑物,调节水量建筑物(如水池、水塔)和输、配水网及用户分水或灌水系统组成。本课程只从规划的角度来谈建筑物,重点研究工程的总体布局,系统的最佳规划和设计。

二、农业供水工程的研究内容

(一)灌溉方法的研究

灌溉是作为作物根系活动层内土壤含水量的一种补足措施,使土壤含水量保持在作物适宜的含水量范围内。土壤内水分过多或过少都将产生对作物的危害。怎样灌溉才能使灌溉面积上的各处水量都均匀,怎样提高水的有效利用率,减少灌水过程中的损耗(如弃水、深层渗漏、输配水系统的渗漏损失等),以及达到灌溉的目的而使所耗的人力、物力最少,这就是研究灌溉方法要解决的核心问题。

灌溉方法大体上可分为重力灌溉和有压灌溉二类:

1.重力灌溉 如通常所说的地面灌溉方法(包括淹灌、畦灌、沟灌等),以及地下渗灌方法等,主要依靠水的重力作用来分配水量。后者因耗资较大,实灌的面积不多,而地面灌溉方法是目前各国的主要灌溉方法。近年来美国在地面灌溉的理论与实践方面作出了很大的努力,创造了对现有地面灌溉进行评价的指标和方法,以及用稳定流或非稳定流原理描述灌溉全过程,合理设计田间灌水系统的一套完整的理论。并将印度—巴基斯坦等国习惯采用的间歇灌溉方法上升到理论高度来分析,提出了构思新颖的波涌灌溉理论。在为沟、畦均匀配水的配水结构上,亦有许多创造。尤其是在运用先进的莱塞平地机后,创造了淹灌的良好条件,使淹灌成为省投资、省劳力、灌水均匀、水的利用率高的具有相当竞争力的现代科学灌水方法。

2.有压灌溉 如喷灌、微灌(包括滴灌和微喷灌)、低压管道灌溉等。喷灌与微灌的区别在于前者仍是全面积灌溉,而后者是作物周围的局部灌溉。滴灌和微喷灌的区别是前者通过滴头消能后,形成水滴状灌入作物根部。而后者则仍保持一定的压力形成喷雾状灌溉。低压管道灌溉是指用塑料薄膜管道替代沟、畦,在田块内部人工浇水,而水源如何送水至这种管道,则是另一回事了,可以是低压管网,或直接抽井水等。近年来,在山东、河北一带井灌区较为盛行这一灌水方法。如果仅用多孔塑料管代替末级输水沟向沟、畦放水,则已属于上面提到的地面灌溉系统。

有压灌溉在我国已具有相当的规模,这主要从成套设备的制造能力,品种规格的齐全程度,技术力量的储备状况,以及推广应用成功的经验等方面来说的。如农垦系统采用大型喷灌机(时针式、平移式、滚移式)的先进典型——黑龙江友谊二分场,内蒙古谢尔塔拉牧场,河北大曹庄农场等,采用大型喷灌机后,由历年亏损变为年年盈利。在固定式喷灌系统方面,有控制面积达7000亩的河南郟县恒压喷灌系统,已有一批千余亩以上的桔园喷灌系统分布于湖南、湖北一带。微灌在吉林最盛行,福建、湖南亦有规模较大的试点工程。

重力灌溉和有压灌溉都有各自的适用条件,前者限于地面坡度在3%以内,后者则对地形地貌有较强的适应力。当然还与作物的适应情况,财政和效益情况,劳动者的习惯和知识水平等因素有关。从面积的比例看,一般说重力灌溉仍占主要地位,但从发展的灌溉面积看,则山丘区的发展主要依靠有压灌溉。

(二) 输配水网设计和运行的研究

1. 明渠输配水网 这是农田水利学课程中所包含的重要内容之一。作为补充教材,本书只简单回顾了一般设计方法,较详细叙述了利用现代优化技术进行系统优化的方法。当然,迄今为止,这种优化设计方法,仍只能在布置方案已确定的情况下来进行,不同的布置方案可以得到不同的优化设计结果。目前还没有包括布置方案优化在内的,寻求一个绝对最优方案的方案。但已为方案比较择优创造了良好的条件,用电算可以迅速获得结果。

2. 压力管网

(1) 压力管网分级设计的理论(分用户管网与输配水管网,输配水管网中还可再分级),对大型管网系统是十分重要的(它同样可以适用于明渠系统)。使管网系统成为一种模块结构,使计算规模缩小,可以使用微机,便于设计,减少上机费用。

(2) 压力管网平差方法已有较大突破,从30年代的哈代-克罗斯法,演变为用现代图论方法,能够包含管网内控制、加压、安全元件在内的一套实用的平差计算方法。

(3) 管网优化设计理论有了新的发展。尤其对于树状网,优化设计分三步进行:第一步是通过路径的优化采用了最短路径法;第二步是设计流量采用了随机用水时的流量推算方法,适当减小总流量;第三步是对系统内各段管径采用经济管径。从这三方面使工程的投资比常规设计降低约10%~20%,这是有很大经济意义的。环状网优化设计中,则采用非线性规划方法与平差方法交叉迭代的方法,可以使环状网既符合水力平衡设计要求,又符合优化原则。或者干脆将平差要求的克希霍夫第一和第二定律纳入优化模型的约束中,直接进行优化设计。

(三) 人畜饮水工程的研究

为了在农村普及饮用卫生水,重点应放在简易的生产效率高、卫生效果好、省料、省钱的水质处理结构上,以及因地制宜的水厂布置等。当然,在具备了大规模的复杂的管网设计知识之后,即使是大中城市的给水管网设计,亦是不成问题的。将居民区的供水“节点化”后,便成为一般的管网设计问题。

第二章 设计用水量及对水质的要求

第一节 作物需水量及设计灌水量

研究作物需水量, 可以从不同的角度进行研究, 例如保证最高产量, 或者保证效益最大等。然而作物产量和水之间的关系相当复杂, 它与土壤、气候、农艺等多种因素有关, 包含了生物、生理、物理和化学机制等作用过程。因此要准确地表达作物需水量和产量之间的关系, 几乎是不可能的, 目前根据联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization of the United National简称FAO) 推荐的作物需水量的计算方法如下。

(1) 假设其它生长因素 (如水、肥、病虫) 没有任何限制, 确定仅受气候支配的某种作物, 确定其已经适应当地环境的高产的品种的最高产量。

(2) 当作物需水量通过有效供水全部得到满足时, 计算出作物最大腾发量。

(3) 考虑与作物的有效供水量有关的限制因素后, 确定出作物的实际腾发量。

(4) 根据作物需水量、供水量与产量的关系, 确定实际供水条件下的实际产量。

上述四点, 首尾二点是计算产量, 为了说明灌溉的效益, 在我国尚缺乏足够而可靠的试验资料, 工程实践中尚较少应用。中间二点是计算作物需水量, 是灌溉系统设计和运行中必不可少的数据。在我国, 过去有大量的试验资料, 但缺乏整理分析, 因此也难以应用。下面介绍FAO介绍的, 目前公认较好的由气象因素确定需水量的设计方法。

一、作物最大腾发量 ET_m 的计算

计算分三步进行: 第一步计算参考作物腾发量 ET_0 。所谓“参考作物腾发量”是指“一个完全被该作物覆盖的土地、不缺水、茁壮成长, 高8~15cm的绿草植被的蒸发水量”。例如苜蓿。 ET_0 反映了气候对作物蒸腾的影响。第二步确定实际作物与参考作物腾发量之间的比例关系, 称作物系数 K_e 。第三步求实际作物最大腾发量 ET_m , 即 $ET_m = K_e ET_0$ 。通常按月或旬为计算时段, 逐时段计算 ET_m 值。

(一) 参考作物腾发量 ET_0 的计算

FAO介绍了彭曼 (Penman) 法、辐射法及皿蒸法, 都是由气象因素来确定的。下面介绍一下彭曼法求 ET_0 的计算方法。

需要的气象资料是: 平均温度 $T(^{\circ}\text{C})$; 平均相对湿度 $HR(\%)$; 2m高处的风速 $v(\text{km/d})$; 平均实际日照时间 $n(\text{h/d})$, 或平均净辐射总量 R_n 的等效蒸发量 (mm/d) ; 同时还需所在地的纬度与高程

$$ET_0 = C[WR_n + (1-W) \cdot f(v) \cdot (e_s - e_a)] \quad (\text{mm/d}) \quad (2-1)$$

式中 $e_s - e_a$ ——平均温度下饱和水汽压 e_s 与实际水汽压 e_a 之差, e_s 可查表2-1, $e_a = e_s \cdot HR/100$;

表 2-1

饱和水汽压 e_s 与平均气温 T 的关系

$T(^{\circ}\text{C})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$e_s(\text{mPa})$	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.3	10.0	10.7	11.5
$T(^{\circ}\text{C})$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$e_s(\text{mPa})$	12.3	13.1	14.1	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6	22.0
$T(^{\circ}\text{C})$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$e_s(\text{mPa})$	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8	40.1
$T(^{\circ}\text{C})$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$e_s(\text{mPa})$	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

$f(v)$ ——风函数, $f(v)=0.27\left(1+\frac{v}{100}\right)$, v 为2m高处24h的风速[km/d], 如

所测风速是 Z_m 高处的, 应换算至2m高的风速, $v_z=v_z\left(\frac{2}{Z}\right)^{0.1}$;

W ——由温度与海拔高程决定的加权系数, 可查表2-2;

C ——考虑昼夜风速变化(v_z/v_z)对 $HR_{n,1}$ 和 R_n 影响的调整系数, 可查表2-3;

R_n ——每天净辐射总量(mm/d), 分为净长波辐射 $R_{n,1}$ 与净短波辐射 $R_{n,2}$ 。

$$R_n = R_{n,1} - R_{n,2}$$

$$= (1-\alpha)R_{n,1} - f(T) \cdot f(e_s) \cdot f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (2-2)$$

表 2-2

温度与高程对 ET 影响的加权系数 W 值

高 程 (m)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73
3000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75
4000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.76	0.78

高 程 (m)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)									
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3000	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89
4000	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.90

表 2-3

修正系数 C 值

v_s (m/s)	R_s (mm/d)											
	$HR_{max}=30\%$				$HR_{max}=60\%$				$HR_{max}=90\%$			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
$v_s/v_h=4$												
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.90	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
$v_s/v_h=3$												
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
$v_s/v_h=2$												
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
$v_s/v_h=1$												
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.01
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

$$R_s = \left(0.25 + 0.5 \frac{n}{N}\right) R_0$$

$$f(T) = \sigma \cdot T_s^4$$

$$f(e_s) = 0.34 - 0.044 \sqrt{e_s}$$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9 \frac{n}{N}$$

式中 α —— 太阳辐射的反射率, 多数作物为 20%~25%;

R_s —— 到达地面的太阳短波辐射能 (mm/d);

R_0 —— 大气顶层接受的太阳辐射能, 与纬度有关, 可查表 2-4, 以等效蒸发量 (mm/d) 计;

σ ——气象常数, 斯蒂芬—波尔兹曼常数, 其值为 $2 \times 10^{-8} \text{mm(d} \cdot \text{K}^4)$;

T_a ——以绝对温度表示的平均气温, $T_a = 273 + T(\text{K})$;

N ——计算时段内最大可能的日照小时数, 可查表2-5。

表 2-4 大气顶层接受的太阳辐射 R_0 [以等效水面蒸发量 (mm/d) 计]

纬度	北 半 球											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
50°	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48°	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46°	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44°	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42°	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40°	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38°	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36°	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34°	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32°	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30°	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28°	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26°	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24°	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22°	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20°	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18°	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16°	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14°	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12°	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10°	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8°	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6°	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4°	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2°	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

表 2-5 不同纬度各月的日平均最大日照小时 N

北 纬	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
50	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.6	11.1	9.8	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.3	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.2	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

(二) 作物系数 K_c 的选择

影响作物系数 K_c 值的主要因素是作物种类、种植时间、发育阶段、生长期长短以及气

候条件等。大田作物与蔬菜在生长期内 K_c 值的变化过程线如图 2-1 所示, 其绘制的过程如下。

确定作物全生育期各生长阶段的天数及起止日期; 确定初期及中期的 K_c 值, 并绘成水平线; 确定成熟或收割时的 K_c 值, 点绘在生长期末尾; 发展期和后期的 K_c 变化线是前后二线段或点的连线。

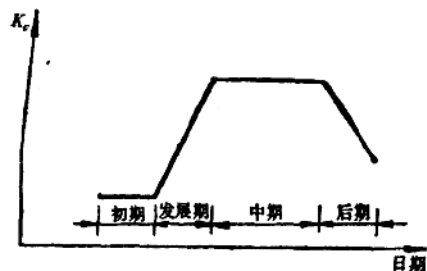


图 2-1 作物系数变化示意图

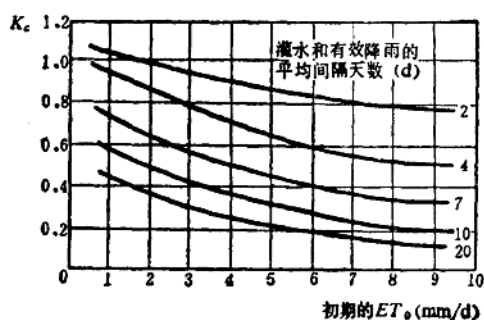


图 2-2 生长初期内的平均 K_c 值

生长阶段划分的标准为:

- (1) 初期: 包括出芽期和生长期, 地表覆盖率小于 10%。
- (2) 发展期: 从初期末到地表覆盖率达 70%~80%。
- (3) 中期: 从地表完全覆盖到开始成熟, 开始成熟的标志是叶子变色 (豆类) 或落叶 (棉花)。对于一年生作物, 此阶段应包括开花期。
- (4) 后期: 从开始成熟到完全成熟或收割。

表 2-6 列出了部分作物各生长阶段的大致天数, 可供参考。生长阶段的划分, 还应根据当地或气候条件相似地区的生产实践和试验资料确定。

表 2-6 部分作物生长阶段天数

作物	生 长 阶 段			
	初 期	发 展 期	中 期	后 期
小 麦	15~20	25~30	50~65	30~40
玉 米	15~30	30~45	30~45	10~30
高 粱	20~25	30~40	40~45	20~30
棉 花	20~30	40~50	50~60	40~55
大 豆	20~25	25~35	45~65	20~30
花 生	15~35	30~45	30~50	20~30
甘 蔗	10~30	150~350	70~200	50~70
甜 菜	25~30	35~60	50~70	30~50
菜豆(鲜)	15~20	15~20	20~30	5~20
(干)	15~20	15~20	25~45	20~25
蕃 茄	10~15	20~30	30~40	30~40
洋 葱	15~20	25~35	25~45	35~45

生长初期的 K_c 值, 可根据 ET_0 值与预计灌水和有效降雨的平均间隔天数, 从图 2-2 中

查得。

生长中期和成熟时的 K_e 值, 根据相对湿度和风速条件, 从表2-7查取 K_e 值, 当最小湿度界乎20%和70%之间时, 可内插。

表 2-7 部分作物生长中期的成熟时的 K_e 值

湿 度		$H_{min} > 70\%$				$H_{min} < 20\%$			
风 速 (m/s)		0~5		5~8		0~5		5~8	
作 物	生 长 阶 段	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV
小 麦		1.05	0.25	1.1	0.25	1.15	0.2	1.2	0.2
玉 米		1.05	0.55	1.1	0.55	1.15	0.6	1.2	0.6
高 粱		1.0	0.5	1.05	0.5	1.1	0.55	1.15	0.55
棉 花		1.05	0.65	1.15	0.65	1.2	0.65	1.25	0.7
大 豆		1.0	0.45	1.05	0.45	1.1	0.45	1.15	0.45
花 生		0.95	0.55	1.0	0.55	1.05	0.6	1.1	0.6
甘 蔗		1.05	0.6	1.1	0.6	1.15	0.7	1.2	0.7
甜 菜		1.05	0.6	1.1	0.6	1.15	0.6	1.2	0.6
菜豆(鲜)		0.95	0.85	0.35	0.85	1.0	0.9	1.05	0.9
(干)		1.05	0.3	1.1	0.3	1.15	0.25	1.2	0.25
蕃 茄		1.05	0.6	1.1	0.6	1.15	0.65	1.2	0.65
洋 葱		0.95	0.75	0.95	0.75	1.05	0.8	1.1	0.85

果树类的 K_e 值有逐月资料, 可查有关手册或专著。

(三) 作物需水量 ET_m

$$ET_m = K_e \cdot ET_0 \quad (\text{mm/d}) \quad (2-3)$$

在逐月或逐旬的计算资料中, 选择最大的 ET_m 值作为设计值, 称为作物最大腾发量。

当在一个轮灌区内, 有 n 种作物同时需水时, 则可按作物种植比例 α_i 求出加权后的综合需水量, 即

$$\Sigma(ET_m)_w = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot (ET_m)_i \quad (\text{mm/d}) \quad (2-4)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

二、设计灌水量

作物需水量在降雨或地下水补给不能满足时, 才需引入灌水量。通常在作物根系活动层的范围内, 确定一个计划湿润层, 然后用水量平衡原理来确定灌溉制度。轮灌区内各种作物灌溉制度确定后, 编制用水量过程线图, 或者单位面积灌水流量(即灌水率)图, 并进行错峰修正, 得到修正后的灌水率图, 作为选择设计流量、加大流量, 以及运行操作的依据。这一套方法已在农田水利学中详细地论述了。

现在可根据彭曼法求得的旬平均需水强度(mm/d)过程线, 变成逐旬的需水量过程线, 扣除旬有效降雨量 P_e 和地下水补给量 S_e , 得旬供水量 W_e 。

$$W_e = ET_m \cdot 10 - P_e - S_e \quad (\text{mm}) \quad (2-5)$$

获得旬供水量过程线后, 选出最大旬供水量作为设计流量的依据。并且从供水量过程

线中明显反映出亏水期。

需要说明三点：第一，当采用彭曼法计算 ET_m 时，如选用多年平均气象资料，或者选用典型年资料，就决定了计算结果所表达的含义。第二，所确定的设计供水量或设计流量是针对轮灌区以上的续灌渠（管）道的。轮灌区内，则应根据轮灌制度另行确定。在考虑轮灌时，则应结合土壤计划湿润层的容量来确定灌水定额及灌水周期。第三，有效降雨量 P ，不易确定。地下水补给量亦难以准确确定。

对于喷、微灌系统，目前我国的规模较小，几十亩至几千亩，尚少有万亩以上的系统。因此可简化设计，详见有关章节。

第二节 城镇生活、生产及消防用水量

一、用水量标准

（一）生活用水量

（1）居住区生活用水量按《室外给水设计规范》（TJ13-74）的规定，见表2-8。

表 2-8 居住区生活用水量标准 [L/(人·d)]

分 区	给 水 设 备 类 型								
	室内无给排水卫生设备， 从集中龙头取水			室内有给水龙头 但无卫生设备			室内有给排水卫生 设备，但无淋浴设备		
	最高日	平均日	时变化 系数	最高日	平均日	时变化 系数	最高日	平均日	时变化 系数
一	25~35	10~20	2.5~2	40~60	20~40	2.0~1.8	85~120	55~90	1.8~1.5
二	20~40	10~25	2.5~2	45~65	30~45	2.0~1.8	90~125	60~95	1.8~1.5
三	35~55	20~35	2.5~2	60~85	40~65	2.0~1.8	95~130	65~100	1.8~1.5
四	40~60	25~40	2.5~2	60~90	40~70	2.0~1.8	95~130	65~100	1.8~1.5
五	20~40	10~25	2.5~2	45~60	25~40	2.0~1.8	85~120	55~90	1.8~1.5

分 区	给 水 设 备 类 型					
	室内有给排水卫生设备和淋浴设备			室内有给排水卫生设备， 有淋浴及集中热水供应		
	最高日	平均日	时变化系数	最高日	平均日	时变化系数
一	130~170	90~125	1.7~1.4	170~200	130~170	1.5~1.3
二	140~180	100~140	1.7~1.4	180~210	140~180	1.5~1.3
三	140~180	110~150	1.7~1.4	185~215	145~185	1.5~1.3
四	150~190	120~160	1.7~1.4	190~220	150~190	1.5~1.3
五	140~180	100~140	1.7~1.4	180~210	140~180	1.5~1.3

第一分区：黑龙江、吉林、内蒙古全部，辽宁大部，河北、山西、陕西偏北的一小部分，宁夏偏东的一部分。

第二分区：北京、天津、河北、山东、山西、陕西的大部分，甘肃、宁夏、辽宁南部，河南北部，青海偏东，江苏偏北。

第三分区：上海、浙江全部，江西、安徽、江苏大部，福建北部，湖南、湖北东部，河南南部。

第四分区：广东、台湾全部，广西大部，福建、云南南部。

第五分区：贵州全部，四川、云南大部，湖南、湖北西部，陕西、甘肃秦岭以南地区，广西偏北小部。

生活饮用水管网上的最小水头(地面以上)应根据建筑层数确定,一层为10m,二层为12m,二层以上每增高一层增加4m。

(2)公共建筑内的生活用水量,应按《室内给水排水和热水供应设计规范》(TJ15-74)执行。

(3)浇洒道路和绿地用水量应按路面种类、绿化、气候和土壤等条件确定,一般为每平方米路面每次1~1.5L,每日浇洒2~3次。浇洒绿地用水量,采用每日每平方米1.5~2L。

(二)工业企业生产用水量

应根据生产工艺要求确定工业企业生产用水量、水质和水压。工业企业内工作人员的生活用水量应根据车间性质确定,一般车间25L/(人·班),高温车间35L/(人·班),小时变化系数为3~2.5。

工业企业内工作人员的淋浴用水量按表2-9规定,其延续时间为下班后一小时。

生产用水标准可参考表2-10。

表 2-9 淋 浴 用 水 量

分 级	车 间 卫 生 特 征			用 水 量
	有 毒 物 质	生 产 性 粉 尘	其 它	[L/(人·班)]
1 级	极易经皮肤吸收引起中毒的剧毒物质(如有机磷、三硝基甲苯、四乙基铅等)		处理传染性材料、动物原料(如皮、毛等)	60
2 级	易经皮肤吸收或有恶臭的物质,或高毒物质(如丙烯腈、吡啶、苯酚等)	严重污染全身或对皮肤有刺激的粉尘(如碳黑、玻璃棉等)	高温作业,井下作业	
3 级	其它毒物	一般粉尘(如棉尘)	重 作 业	40
4 级	不接触有毒物质及粉尘,不污染或轻度污染身体(如仪表、机械加工、金属冷加工等)。			

表 2-10 生 产 用 水 量 表

产 品 名 称	单 位	用水量(m³)	产 品 名 称	单 位	用水量(m³)
火力发电直流循环	1000kWh	150~300	水 泥	t	1~7
		8~10	玻 璃	t	12~24
轧 钢	t	200~250	造 纸	t	1000~2000
生 铁	t	65~220	纸 浆	t	200~300
氮 肥	t	35~100	皮 革	t	100~200
炼 油	m³	45	糖	t	15~30
硫酸(90%)	t	30~200	印 染	1000m	15~75
煤 气	1000m³	5~10	人造纤维	t	1200~2000
炼 焦	t	9~14	机器制造	t	5~10
			啤 酒	t	20~120

(三)消防用水量

消防用水量、水压及延续时间等按《建筑设计防火规范》执行。消防用水量按同时发