

灌溉原理 与应用

栗宗嵩
主 编

科学普及出版社

灌 溉 原 理 与 应 用

栗宗嵩 主编

科学普及出版社

2W59/14

灌溉原理与应用

粟宗嵩 主编

科学普及出版社（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京顺义李史山胶印厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：32 字数：795千字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：1—1000册 定价：26.90元

ISBN 7-110-01618-8/S·154

主编 粟宗嵩

撰稿人:

绪 论	粟宗嵩	姜 伟		
第一章	粟宗嵩	谢安周		
第二章	谢安周			
第三章	张 群	熊运章		
第四章	粟宗嵩			
第五章	朱忠德	粟宗嵩		
第六章	朱忠德			
第七章	粟宗嵩	姜 伟		
第八章	谢安周			
第九章	粟宗嵩	傅 琳	施均亮	粟文辉
第十章	朱忠德	粟宗嵩	粟启初	
第十一章	许志方			
第十二章	宋毅夫	粟宗嵩		
第十三章	粟宗嵩	李赋都		
第十四章	粟宗嵩			
第十五章	田 国			
第十六章	禹九年	粟宗嵩		
第十七章	司徒淞	张 薇		
第十八章	吴 忱	吴金祥		

编者的话

1979年在农业编辑出版方面有关同志的敦促之下,我们设想编写一套既有原理和应用技术又适应水利现代化战略决策要求的灌溉排水专著。几年来,已出版了《排水原理和应用》译文四卷,《农业水文学》一卷。近年正在编写的就是这本《灌溉原理和应用》。为了更好地总结建国以来各地的经验,也为了编好这本书,我们曾先后到所不熟悉的南方一些地区(韶山、溇史杭、太湖、江西、关中、汉中、都江堰等)参观,提高思想认识水平,然后组织力量,分头编写,经过多次修改,直到现在才定稿交付出版。原来设想的《水资源学》、《水管理》两本书,由于我们不具备条件,留待有志者续成。

我们编撰这本书的主导思想是明确的,主要体现在下列三方面:

1. 运用系统工程原理,把灌溉学的理论基础从现时的分散的单科单线联系纳入水-土-植-气系统,合纵连横,合一为网络联系;把灌溉的功能作用归纳为理顺这个系统内的内部关系。水、土、植、气四个元素构成一个系统整体,按框图的排列,形成以两对角线为分界的四个子系统;形成六条直线所表达的六对矛盾(或关系),每个子系统外围含3个元素和3对矛盾。在以某个元素为主导的特定情况下,该元素居另外3个元素所组成的小系统的中心。这样,在灌溉中任一元素任一直线关系的变动(自然的、人工的)都联动于其他的而把其影响传递于整体。例如,作物需水从属于以水为中心的地-植-气系统,盐碱地改良属于以土为中心的水-植-气系统。

2. 理顺水-土-植-气系统关系的核心在于稳定优选的水文循环,以改善自然水利环境,有了良好的自然水环境条件就有了良好的生态环境,在灌溉上才有可能发展生态农业。

这样,把灌溉学的理论基础扎根于一个系统、四个元素、六对关系的综合网络中。

3. 基于现代灌溉走向以单项工程为单元,在流域内形成流域系统,跨流域(跨国)形成区域体系的现实,中国的灌溉面积已达7亿多亩,遍及全国各地山区平原,今后主攻方向在改善这些面积、提高单产,保住稳产,以水为媒,提高对自然光热能的有效利用,在此基础上适当扩建一些新面积。两者都要本照流域治水这一基本原则,走流域开发、形成流域系统、灌溉农业与雨润农业(旱地农业)相结合的方向,达到水土资源合理开发利用,从灌溉上创造水资源综合利用的条件的双重目的,在以流域为单元的空间内实现前述要求,在流域内各个地段上使其落实。这样,用宏观来规范微观,从微观来体现宏观,全书就是贯彻这一观点。

编者认为:在中国旱涝不均、水资源不足的特定自然条件下,水利设施要立足于水情不稳的现实,落实到水资源这个根本,以水资源建设、规划来引导其走向现代化。在发展现代化稳产长效灌溉农业上,提出因势利导,因害设防,看水办事,应变制胜等基本原则及其相应的技术改革,赋予灌溉以一定的可因水制宜的伸缩灵活性,具有可适应水情多变的自我调节能力。改变过去那种以静应变,以一套“死”标准的设施来应付多变的作法和观点,在各章各专题中均从方略上进行探讨,对北方地区提出较系统化的具体方案性建议供探讨。

在编写方法上,上半本的内容着重于灌排原理的论述,并穿插一些实践的例子作论证;下半本着重于灌排治理技术的阐述。各章贯串在一起成为有系统的一本专著,各章分开又能

独自成篇,可供读者解决专项问题的参考。由于我们的水平所限,如有不当之处或错误的地方,还望读者提出宝贵意见,以便再版或改编时修正。

中国农业科学院 农田灌溉研究所 栗崇嵩
水利部

1989.

绪 论

灌溉是根据植物需水要求向农田供水,以防治水旱自然灾害,改善植物生活环境,为发展农业生产服务的水利技术措施。为了保证植物正常生长,获取高产稳产,必须保证植物充足的水分。在自然条件下,往往因降水量不足或地区分布不均,不能适时、适量满足植物需水要求。因此,人为地进行灌溉是不可缺少的。正如恩格斯所说:“如果没有灌溉,农业是不可能进行的。”(见恩格斯:“反杜林论”《马克思恩格斯选集》第三卷219页)

在我国,“灌溉”常是“农田水利”的简称,广义上具有农田水利的含义,涉及到与灌溉相联系的防洪、除涝、排水,水-土-植物的相互关系,以及自然资源、水利环境、生态环境的相互关系,并受社会经济条件的制约。

一、“灌溉”一词由来

灌溉作为一个多术语,大概出现于汉-晋之际,秦汉以前其词不一。

《诗·小雅·白桦》的“溉池北流,浸彼稻地”,说明早在二三千年前,今西安地方已有水稻灌溉了,但叫作“浸”。《礼记·月令》的“烧雉行水,利以杀草,如为热汤,可以粪田,可以美土疆”,则把兼有除草、肥田、改良土壤之利的水利设施概括为“行水”。《史记·河渠书》记郑国渠“用注填阡之水,溉泽卤之地”,汉武帝刘彻说:“……泉流浸灌,所以育五谷也……通沟渎,蓄陂泽,所以备旱也”,他们用了“溉”和“灌浸”。《后汉书·召信臣传》说,他“开通沟渎,以广溉灌”,同书张禹传有:“开水门,通行灌溉”,这时“溉灌”与“灌溉”通用。晋《华阳国志·蜀志》载都江堰“旱则引水浸润,雨则杜塞水门”,此时还有用“浸润”的。大抵西晋以后,灌溉一词渐见通用。北宋熙宁二年(公元1068年)王安石制《农田水利法》颁《农田利害约束》;徐光启著《农政全书》,有农田水利专章。农田水利一词沿用至今,为我国所独有。

二、灌溉的发展历史

人类从事农田灌溉的历史可以追溯到公元前2000年前后,中国、埃及、印度以及古代的巴比伦等国,已经有了修建灌溉排水系统的实践经验。

(一)我国灌溉的发展历史

我国在世界上可以说是一个有优良治水传统的“水利世家”之国。自流传大禹治水以来,商、周有井田沟洫之制;春秋战国以后楚修芍陂防旱;魏辟引漳十二渠放淤改碱;秦修郑国渠引用水沙资源发展灌溉;举世闻名的都江堰使成都平原成为“天府之国”。秦汉以后,新疆一带开挖的坎儿井,黄河流域的引黄渠灌和提水天车,南方河口地区的河网、海塘,丘陵地区的塘坝等,都是中国古代灌溉工程的精华。灌溉事业的发展,使我国成为农业古国、农业大国。

我国灌溉发展的历史大体上可划分以下几个阶段:

北方灌溉兴起期(春秋战国至两汉时期);

南方灌溉的兴起与发展(两晋至元、明时期);

水稻灌溉和提水灌溉的发展;

新中国的灌溉建设。

1. 北方灌溉兴起期(春秋战国至两汉时期) 经过商、周两代一千多年间的演进,到春秋战国时已具备沟通江、淮、黄航运和打通湘-漓水运的水工技术,灌溉上随着土地私有制的产生也大发展了一步,出现了一些具有一定科技水平的大型工程。公元前613~591年间楚国修芍陂蓄灌工程,利用至今,现成为淠河灌溉工程的组成部分。公元前4世纪中叶,智伯遏晋水攻晋阳,后人在此基础上建立坝上引水的智伯渠。公元前422年魏国西门豹开引漳十二渠,利用漳河水淤灌改良盐碱地。秦国于公元前256和246年,先后兴建都江堰和郑国渠。都江堰正确地利用了山前洪积冲积扇的地形水文地质条件,设计之巧,世所罕见,今天扩建成为灌田800万亩的现代化工程。关中地区继在两汉时期修建六辅渠、白渠、樊惠渠、龙首渠等大型工程,曹魏时期修建成国渠,从而成为当时中国的灌溉中心。根据边防需要,在西北地区开发黄河河套水利;在宁夏青铜峡口以导流坝引水,远引近浇,渠首配备防洪退沙水闸,建成了秦、汉、唐徕等渠系。这些工程可同为中国古灌溉的骄傲。当时新疆地区有了坎儿井,利用坎儿井的施工技术,打通龙首渠隧洞,这也是世界的一个首创。两汉还在河西走廊结合修长城,成功地开发了居延泽、休屠泽屯垦工程,但由于设施有欠当,造成沙漠化、盐碱化而俱失败。曹魏运河北接滦河,同时修建戾陵渠、车箱渠,引永定河水灌溉;运河南联长江,在淮北一带屯田,使灌溉水利向南方推广。

2. 南方灌溉的兴起与发展(两晋至元、明时期) 两晋、南北朝的三百多年间,北方多战乱,社会动荡,人口大举南迁,淮河以南农业经济因而兴旺起来,水利在前朝留下来的基础上迅速发展,取代了北方。淮河地区陂塘灌溉发达,史书说:“陂塘修筑坚固,蓄水高广,则下所灌田不以旱沴,无不厚收。”太湖地区曾是古吴越争霸之地,当时已利用湖泊水网,开通水运。三国时东吴在这里修建过一些小型灌溉设施。到唐、宋时期,这里出现了大型围田工程。北宋时范仲淹指出:“江南围田,每一围方数十里,中有渠,外有门闸,旱则开闸,引江水之利;涝则闭闸,拒江水之害,旱涝不及,为农美利。”他在唐朝工程基础上,修建了沿今天串场河的防潮堤,俗称范公堤。江浙沿海岸边在东晋南北朝时已开始筑有海塘以防潮浸,到唐朝时出现了石塘,后代不断改进加固,成为中国农业生产上的重要海防工程。

金、元两代,黄河先(公元1194年)后(公元1494年)分别在延津、兰考决口,南迁夺淮入海,淮北地区水害日以加重;而中南地区的两湖和珠江下游,由于水源充足,则得到新的发展。汉水流域的汉中、南阳盆地上承两汉时水利建设的余泽,得有渠灌之利,始兴于唐宋的江汉平原沿江滨湖地区的防洪、除涝、排渍、灌溉得到发展。明代张居正以洞庭湖分泄荆江洪水,保北岸的安全,无形中在湖区放淤,为后来围湖发展垸田提供了条件,但也为后代湖区乱与水争地,恶化湖、江关系埋下了基因,造成了江汉平原沦为背河洼地的后果。珠江下游也在宋代出现了大型基围,北江自清远以下,东江自东莞以下,西江自高要以下,发展到基围联片,并建成有如江南圩田的农田水利系统。潮区内的基围,涨潮时或启闸以引江水内灌,或以拒盐潮内侵;落潮时闭闸,或保蓄内水备用,或排内涝出江,水网纵横交错,因潮利用,独创一格。

3. 水稻灌溉和提水灌溉的发展 《天工开物·乃粒·水利》指出:“凡稻防旱,……天泽不降,则人力挽水以济”。水稻是中国的一个重要农作物。《前引》的“陂池北流,浸彼稻地”,说

明关中种稻由来已久。北宋何承矩在今河北北部保定至天津一带,结合边防,大规模发展稻田。南方则无处不种稻。水稻灌溉在南、北方都极重要。水稻不耐旱,无论丘陵水区或平原中水低地高之地,都需提水灌溉。中国古灌溉中的提水工具也品类齐备。《庄子》有关于桔槔的记载。但汉朝时的刘安说:“积壤而丘处,粪田而种谷,掘地而井饮,疏川而为利”,汉时灌溉还以渠为主,桔槔始于何时还待考。中国创用的提水工具有以人畜力运转的龙骨车(踏车、拔车、牛车),利用水力的筒车和利用风力的风车。在《天工开物》一书中,有这些提水工具的简明结构图说。如果说南方丘陵水区的水平梯田、陂塘和水车提水灌溉系统,是水田灌溉的一绝;那么,甘肃境内沿黄河岸边高架的筒车群,则是引黄灌溉的一大创举。

中国古灌溉的精华不是上述节略所能总括的,但也由此可略窥我国勤劳勇敢的劳动人民,在发展灌溉方面所表现的聪明才智和所取得的辉煌成就;从而看到中华民族在这方面世代努力不懈,数千年如一日的感人精神。只是由于清代统治二百多年间的闭关自锁,使科学技术的发展受到窒息,因而到了近代才落后于西方,到建国前夕仅留下低标准灌溉面积2亿多亩。尽管如此,这2亿多亩灌溉面积仍不失为中国古灌溉发达的历史见证,为建国以来的水利发展提供了物质基础,并起到了应有的先导作用。

4. 新中国灌溉事业的发展 1949年以来,党和政府十分重视发展灌溉农业,在全国范围内大兴水利,全面推进灌区的建设和灌溉科学研究工作。到1986年止,全国整修、新修江河堤防17万多km;修建大、中、小型水库8.6万多座,总库容4200亿 m^3 ;建成水闸2.5万座,蓄引水量年达4800亿 m^3 ;全国已有灌溉面积7.2亿亩。三十几年间,建成大型灌区204处(其中30~50万亩的10处,50~100万亩的54处,100万亩以上的48处)。扩建后的都江堰灌区和新建的淠史杭灌区的灌溉面积都已达到800多万亩,将发展成为千万亩的大灌区;内蒙古套引黄系统将发展为1500万亩的大灌区。在新疆石河子,成功地开垦了500万亩内陆荒漠盐碱地,使沉睡了亿万年的不毛之地变为绿洲。成千万亩的北大荒也贡献出其潜力,为国家生产出食粮,成为有现代灌溉的农产品商品基地。全国机电排灌工程有7876万马力的,北方有机井241万眼。全国低洼易涝农田3亿多亩的四分之三,北方盐碱耕地1亿多亩的三分之二,南方冷浸低产田的一半,都得到初步治理。此外,还初步解决了边远山区、沿海岛屿4000多万人口和2500多万头牲畜的饮水问题。

中国的灌溉事业,源虽古远,但现代灌溉则起步较晚,本世纪30年代中李仪祉倡建泾、洛、渭三渠,初开其端,新中国成立后才迎头赶上。

(二)国外灌溉的发展历史

1. 埃及灌溉 埃及境内尼罗河三角洲的灌溉历史,可以追溯到4000年以前。古埃及在公元前约3400年在尼罗河左岸筑堤防洪,公元前2000年左右辟中埃及摩雷湖分洪蓄水补源,为引洪放淤提供了条件。埃及的引洪放淤做法是,在大堤外以格堤围地成田,小者五六千亩,大者20万亩以上,由单块放淤发展为联块成大淤灌区。淤灌区沿河林立。各有远引近浇的渠系,每年在尼罗河汛期引浑水入田,进行动水放淤,视汛期长短,受水30~60天,田内水深1~2m。汛末清水退入尼罗河,利用渗入土壤的水分,种一季作物。淤灌,可水、肥、淤三得,河谷平原每百年可淤高1cm。埃及的引洪淤灌,其规模之大世所罕见。

这一古老法制沿用到1826年,尼罗河三角洲大闸建成后,开始向常年渠灌过渡,以适应种棉需要。但大规模改建始于本世纪初建成老阿斯旺水库之后。到1937年止,经先后两次扩

建老阿斯旺水库,兴建苏丹境内青、白尼罗河上的森纳和奥立亚山两水库,以及阿斯旺水库下游尼罗河六座拦河大坝,埃及、苏丹灌溉水源得到保证,埃及淤灌改建才得以顺利进行;到50年代中基本完成全部工程,使这一闻名于世界的古灌溉成为历史陈迹。为了扩大耕地和提高灌溉、供水能力,60年代末又建成高阿斯旺水库,总库容1640亿 m^3 (库址处多年平均行洪量840亿 m^3),死库容300亿 m^3 ;建成河口防潮闸,可控制尼罗河入海水量。为了增辟水源,除计划把农田排水用于灌溉外,又远在水源湖(维多利亚湖)出口处建成欧文坝,把水力电让给乌干达,换取湖水水权;对湖下游沼泽区计划整治河道,并支强干,减少蒸发损失,并在干、支流续建一些水库,相互结合,增辟水源。埃及—苏丹境内现有灌区,已在干支流沿河形成梯级开发的流域系统,以灌为主,兼有航运、水力电之利。在南部水源工程续成后,可预见尼罗河将以其独特的风格,为人类发展现代灌溉再建新功。近些年,在开罗—亚力山大之间一些沙漠洼地中,打了一些1000m深井,在灌区以井补渠获得成功。

2. 两河流域一带的灌溉 两河流域(底格里斯河和幼发拉底河)和尼罗河一样,最早也是引洪淤灌。大约公元前4000年前后,幼发拉底河下游即有灌溉之利。公元前2000年前后,古巴比伦时代灌溉面积达260万公顷以上,干渠用砖衬砌,以沥青填缝,干渠兼有航运及分洪功用。公元前1000年,在底格里斯河三角洲曾建牛母卢水库向两岸供水,至公元629年才被冲毁。约在公元前600~560年,新巴比伦王朝修建的空中花园,已采用喷洒灌溉,开近代喷灌之先河。公元前539年以后的波斯统治时代,灌溉衰落,直到637年阿拉伯人统治后才有恢复。13世纪蒙古兵摧毁渠堰,未再兴建。直到20世纪,伊拉克才兴建仓、坝,发展灌溉,60年代末,灌溉面积达400万公顷。两河流域的叙利亚和土耳其境内尚有古老渠道系统和一些灌溉工程的遗迹。土耳其现有灌溉面积约200万公顷,叙利亚约50万公顷。

两河流域的伊朗和伊拉克曾以其古灌溉孕育了古巴比伦文化。特别是伊朗境内地下水丰富,以坎儿井著名。公元前8世纪,亚美尼亚已有了坎儿井,公元前6世纪遍及波斯境内,并向东西方传播。今天,伊朗坎儿井总流量达560 m^3/s ,灌溉面积160万公顷,并向村镇城市供水,是伊朗水资源的生命线。阿富汗境内坎儿井灌溉面积也有几十万公顷。

3. 印度灌溉 据史料记载,公元前3150年,古印度已注意到筑坝引水灌溉问题。在雅利安人石刻吠陀中有涉及到水坝、渠道、水井的图案,公元前300年左右,有关于各地塘坝水渠的记述和灌溉管理章则的记述。南亚次大陆的水系,主要有西部由北向南入阿拉伯海的印度河,北部由西向东流的恒河和印度半岛上向东流的诸小河。古印度水利在上述各河流域分散发展。南部科佛里河古拦河堰堰高5m多,据考建于公元2世纪中。印度河、恒河干支的灌溉也发展较早,但在英国入侵之前多为小型工程,经19世纪英人大力开发,到1900年有灌溉面积1.7亿多亩,1948年独立时已达到3亿多亩,进入80年代已不下9亿亩。

4. 其他国家灌溉 日本、苏联中亚乌兹别克加盟共和国的阿姆河流域、斯里兰卡等国的灌溉大约始于公元前6~4世纪。日本、印度尼西亚种稻历史都较早。亚洲其他地区的灌溉则发展较晚。

欧洲古灌溉出现在地中海沿岸的意大利、西班牙等地。西欧、北欧地区年内降水比较平稳,对灌溉要求不高。北欧且偏湿,历来排水重于灌溉。一般,灌溉发展都是中世纪以后的事。

非洲的古灌溉限于地中海沿岸北非的几个地区。埃及灌溉一枝独秀。阿尔及利亚井灌历史悠久,罗马帝国统治期间,修坝引水,渠灌得到发展。突尼斯的灌溉史可追溯到公元前10世纪。其他地区古灌溉不发达,不少国家至今还没有灌溉。

在美洲,美国的新墨西哥、阿利桑那有公元800年前后印伽文化期间印第安人古灌溉工程遗迹,欧洲殖民主义者的到来,传入新灌溉技术,开办了一些渠灌工程,但整个美洲的近代灌溉,包括美国,都是在本世纪初大发展起来的。

(三)近代灌溉的发展

世界灌溉都发祥于北纬约 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间的干旱、半干旱、半湿润地区,如帕米尔高原以东的黄河下游、以南的印度河平原,以西的阿姆河流域一带;伊朗高原南侧的两河流域以及更西的地中海南北两岸的一些国家。其中埃及为干旱地区,赖有尼罗河补源,其余多系半湿润、半干旱地区,年内干湿两季分明,利于发展灌溉农业。水田灌溉则优先在雨水充沛的南亚一些地区发展起来。这是自然水文地理条件所决定的。

19世纪20年代,法国工程师设计的尼罗河三角洲大闸,英、法先后在其殖民地修建的一些灌溉工程,大多是有坝引水和大型水库蓄引结合的大型灌区。英国更领先一筹。以其在印度、埃及所取得的经验,指导了本世纪早期世界灌溉工程的规划设计。美国在30年代中建成当时世界最大的胡佛大坝。之后,世界各地高坝大库如雨后春笋般地拔地而起,灌溉面积迅速上升,大型工程规模越来越大。出现了一些流域梯级开发系统,如印度河的苏卡尔灌溉枢纽,控制灌溉面积达4000多万亩。出现了灌-电结合、跨流域调水的区域水利体系,如巴基斯坦西部印度河水调到东部各支流的西水东调工程,美国加利福尼亚州北水南调工程,秘鲁马赫斯跨流域引水工程,苏联从额尔齐斯河到努拉河调水工程等。

这一时期,井灌和小型工程同样得到发展;人工催云化雨技术在一些国家开始用于生产实践;海水用于灌溉取得一些试验性成果;田间灌溉走向机械化,灌水技术多样化,遥感自控技术已用于渠系配水。相应,排水也发展起来。随着科学技术的发展,近年来,特别重视灌溉原理的研究,把土壤-作物-大气看作一个连续体,为合理调节土壤水分,提高作物对光热的有效利用,促进能量的转化和物质循环,进行科学灌溉提供理论依据。随着可利用水资源的日趋紧张,节约灌溉用水已成为当前突出的问题。研究缺水条件下的灌溉方法和经济灌溉用水制度,日益受到重视。对地下水资源的开发利用进行了大量研究工作,包括对地下水资源的评价、规划、开发利用、取水建筑物的型式以及地下水管理等。随着现代灌溉的发展,在某些地区也发生了灌溉土壤次生盐碱化、沙漠化,破坏水土关系,恶化水利和生态环境,农田排水污染水源,用水浪费而加剧水情紧张等副作用,给灌溉提出解决这些问题的新课题,使灌溉更加密切地联系于利用自然、改造自然、保护自然和社会经济福利。

50年代以来,随着世界人口的增长,为了解决粮食问题,各国都比较重视农田灌溉和排水的发展,而且效果比较显著。目前世界灌溉面积有32亿多亩,约占世界耕地面积的六分之一,今后在世界上,灌溉农业的比重会愈益加大,发展灌溉已成为进一步提高农业生产的重要手段。

三、灌溉的类型与功能

(一)灌溉的功能与分类

植物赖雨露滋润而生长。农业生产上,风调雨顺则五谷丰登,雨阳失时则遇旱须灌溉,遇涝要排水。灌溉过程中也须以排水为辅来调节灌水过量。对旱作物,利用土壤蓄水能力,发

挥土壤水库的持水保墒作用,引水入田,蓄之于作物根系层内,补雨水之不足,并为之创造良好的水、肥、气、热环境条件和地面的良好小气候条件。对水生物,通过灌水,在田面上维持适宜的水层。这种以作物需水规律为依据,充分利用降水为基础的补墒(水)灌溉,称为作物灌溉或常规灌溉。用于改善土壤理化性质的压盐(洗盐)灌溉、放淤灌溉,以及施肥(药)灌溉、除草灌溉、助耕灌溉、“调温”灌溉、储水灌溉等,称为辅助灌溉。按功能,辅助灌溉的类型可分为:

1. 压盐(洗盐)灌溉 在盐碱上耕地上灌水压盐,在盐碱荒地开发中灌水洗盐,以改变土壤剖面内盐分的分布,达到改良盐碱地的目的。

2. 放淤灌溉 利用浑水河流的水沙资源,放淤肥田,以改良沙、碱土壤。放淤灌溉,可水肥两得。

3. 施肥(药)灌溉 为追肥,将化肥溶解于灌溉水中,灌入田间;或在根外施肥后,轻碾压肥。在进行喷、滴灌中,则将化肥或农药掺于水中施用。在北方旱田中,也可结合灌水杀蝼蛄之类的地下害虫。

4. 除草灌溉 利用稻田深水淹灌,以消灭某些杂草之害。

5. 助耕灌溉 改善土壤耕性,以利于农机耕作。但以水代耕则是不可取的。

6. 调温灌溉 利用喷灌水滴结冰放热来防霜冻,利用喷雾灌的水滴吸热防干旱风害。麦田适时灌冬水,可保护小麦安全进入越冬期。

7. 储水灌溉 利用冬春闲水灌白地,储水于地下,春旱冬防,或回注地下水。

(二)作物灌溉的时空性

作物灌溉的需要程度首先取决于其生长期内的降水是否及时和适量。中国疆域辽阔,年、季降水受季风控制,时空分布不匀不稳,变差大,且有长短不一的干湿周期,对灌溉的要求,既因地不同,在同一地区也因时不一。总的说来,由干旱地区到湿润地区,灌溉任务递减,防洪除涝要求则递增。但都要求排水作为灌溉的反调节。在地下水位较高、有发生次生盐碱化的地区,没有排水就不能保安全灌溉。大体说来,从大兴安岭起,向西南经张家口—榆林—兰州—玉树—拉萨附近的400mm等雨线为界,此线的西北片为内陆干旱区,可再以200mm等雨线为干旱、半干旱的分野线;此线的东南片为毗邻海洋的半湿润—湿润片,可以从济南经郑州—西安—成都平原西部—云南西北境至拉萨附近的800mm等雨线作为两者的分界线。在半干旱、干旱区内,没有灌溉就没有农业,要求全年灌、年年灌。在半湿润区,遇干旱周期要求全年灌或年年灌;遇湿润周期,雨水过于集中时,少数几次暴雨出现,无补益于防旱,反而增加涝害,仍需全年灌。湿润区以季节性灌溉为主,有的要求年年灌,有的某些年也要灌,在经济作物区灌溉常作为一种有备无患的保产措施。之所以产生这种灌溉上的不稳定,是因为降水的不稳定。半湿润区可向半干旱区或湿润区作年或季的转化,情况略如图1所示。还应指出,在半湿润地区内,由于微地形的不同,在同一水文年内可以存在高岗地患旱,低洼地患涝,涝旱同时并存的情况。

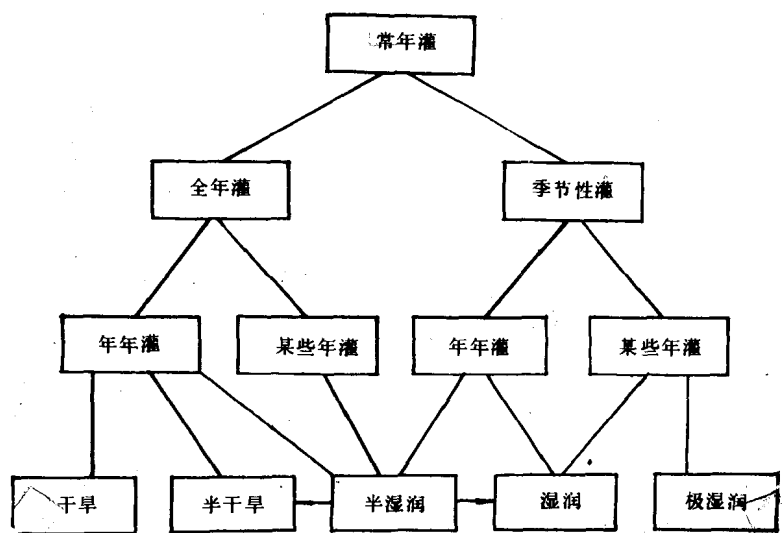


图1 作物灌溉时空关系示意图

(三)灌水方式与灌溉工程分类

1. 灌水方式分类 按向土壤或作物浇水的方式可分为(1)自空中喷洒水的喷灌、滴灌和喷雾灌,如把它们组织在渠系中从属于其他灌溉方式时,是灌水方法之一;而当其自有独立的水源工程时则成为独立的灌溉系统。(2)自地面供水的地面灌溉,即历史上沿用至今的以沟、畦灌为基础的灌溉方法(含放淤灌)。(3)自地面下管道向土壤渗水或自水面低于地平面的水沟中向土壤渗水的地下灌,或称壤中灌。三者各有其优缺点,当前,地面灌仍是主要的,有条件的国家向喷灌、滴灌和喷雾灌发展,地下灌处于萌芽期。

2. 灌溉工程分类 灌溉工程是实现灌溉的技术装备。灌溉工程一般由水源工程系统、输水工程系统和田间灌溉系统组成。水源工程系统包括水库、拦河水利枢纽及渠首闸(常合称渠首工程);输水系统包括送水到田边的输水、配水渠系(含建筑物);田间灌溉系统一般指农、毛渠以下的田间灌水技术装备。按水源条件和引水方式,灌溉工程可分类为:

(1)蓄水灌溉工程 以水库、陂塘调蓄河水、地面和地下水径流来提高河川的灌溉能力和保灌标准。水库有灌溉专用的,有灌溉、水力电等多种用途的。灌溉方式:山谷水库可在坝上游引水以发展坝下高地自流渠灌;可自坝下游引水以自流灌溉次高地;一般灌电结合,一水两用,利用所发水力电可在坝上游提水灌溉高山地,或提水越山、跨流域向邻区调水。陂塘用以拦蓄当地地面径流,发展自流灌溉。平原水库利用洼地建库或拦河建闸蓄水,为自流引灌或提水灌溉提供水源条件,或为跨流域调入的水资源开辟调蓄之地,一般与防洪、除涝、排水结合运用。

(2)引水灌溉工程 从河流引水自流灌溉。用拦河枢纽调控低水期水位以满足引水高程

要求,保证自流的为有坝引水,拦河枢纽同时起到水量调配和泥沙处理的作用。无拦河设施的为无坝引水,一般采用远引近浇,渠道水坡缓于渠线的地面坡降,到灌区时成为地上水,自流灌溉。渠首闸同时承担防洪任务。古老的导流引水灌溉实际上是介乎有坝与无坝之间的自流灌溉。

(3)提水灌溉工程 利用人力、畜力、水力、风力或机电动力,带动提水工具,提水浇灌高地的灌溉方式,又称“扬水灌溉”、“抽水灌溉”。按地形特点、水源条件,提水灌区可分为①北方平原井灌区;②南方沿江滨湖河网提水灌区,一般灌、排两用;③西北黄土高原高扬程或多级提水灌区;④跨流域提水工程灌区,如东线南水北调的长江至黄河段。陆上提水泵站和水上提水泵站都有固定站和流动站。目前中国单泵流量已超过 $30\text{m}^3/\text{s}$,高扬程灌区超过400m。

(4)井灌工程 利用人工井开采地下水作灌溉水源的灌溉方式。井灌工程的主要形式有:甲、垂直开孔的井为竖井,开采浅层无压水的井要提水灌溉。乙、开采深层承压水的井常为自流井,可自流灌。丙、多井联通则成为井群灌溉,采用地下管道网输水。超过地下水径流补给量的开采会产生地下水水位下降漏斗,起到有利于防治沼泽盐碱化的排水作用,一井可灌排两用。控制水位下降深度于一定限度内的下降漏斗,可作为地下水库以反调节地面水,充分利用地面雨涝弃水,形成蓄水井灌。井也成为回注地下水的工具之一。丁、平卧地下,引出地下水,发展自流灌溉的截水廊道叫坎儿井,简称坎井。坎儿井用于西北内陆干旱地区的山麓洪积冲积扇地带中,上游端的引水廊道楔入地下水含水层中,以较地下水比降为平缓的坡度,在灌区上缘流出地面,进行灌溉。戊、地下水在扇前洼地自然溢出成泉者用于灌溉为泉灌溉,如河南辉县的百泉,在历史上旺水时有几个 m^3/s ,曾灌田十余万亩。井、泉灌溉通称地下水灌溉。在一个地下水径流区内,蓄、引、提可以因地制宜的方式结合,有如地面水一样,有灌有排,形成地下水灌溉体系,这是可以预见到的。

(5)混合型灌溉工程 在丘陵山区可以形成群库汇流或长藤结瓜式灌溉系统;在平原可以出现井渠结合、蓄引结合的灌溉方式;在水上资源自然条件多变的灌区,可以大、中、小型结合。这种结合,可以各适其宜,各取其便,因势利导,不拘一格,使灌溉方式多样化。

(6)劣质水灌溉工程 用灌溉水质标准来区分灌溉,可分为劣质水灌溉和清水灌溉。劣质水指矿化度较高(中度以上的矿化度水)或含有毒物质的各类水源。灌溉上要因劣质水的理化性质及灌溉的目的而制宜,有不同于淡水灌溉的条件限制。北方平原地区内多有咸水分布,用于灌溉称咸水灌溉,目的在于补当地灌溉水源之不足。在有咸水分布的地区,应采取抽咸补淡措施,以改善水文地质条件,减轻咸水对土壤盐碱化的危害作用。劣质水灌溉也包括平原地区灌溉排水的再利用于灌溉,以减少含农药或化肥和盐碱的灌溉污水对河流的水污染之害,并补充灌溉水源之不足。两者均以不破坏土壤和损害作物正常生长发育为原则。用海水灌溉的称海水灌溉。用海水灌溉的应保证作物正常生长发育,要防止土壤积盐的副作用。利用城市生活废水、工业污水灌溉的统称污水灌溉,利用其有利于作物的水、肥成份,缓解其有害物质的毒害作用。污水灌溉时要防止污水对土壤、地下水资源的污染和对环境的不利影响,同时达到污水土地处理的要求。

对一个灌溉的实体来说,可具有上述型类的几个方面,因而常是具有几种不同性质的综合型的,即多性能的。

四、灌溉学与有关学科的关系

(一)灌溉学与有关环境要素的关系

一个地区的植物群落的自然景观,是在当地自然环境条件中的水-土-植-气环境要素相互综合影响作用下形成的,构成一个水-土-植-气关系的有机系统。其中“植”也以环境要素反作用于其他诸要素而改变这个系统的内部联系关系,影响于各要素本身的变化,轻者出现一定的量变,重者可引起质变。正是通过这一规律,地球上以水-土-植-气为表征的自然环境,历经地质过程中的不断演变而形成今天的景观;也正是运用这一规律,通过灌溉以改变这一系统中的水这一要素,而取得利用自然、改造自然,发展农业生产的可能。同样,根据灌溉设施是否得当,可以走向成功,也可能走向失利或失败。

水-土-植-气系统含有水-土-植、水-土-气、气-植-水、气-植-土四个子系统,构成全系统的四个环节;四个要素形成六对矛盾,每三对矛盾构成一个子系统。任一个环境要素的改变都通过相对应的矛盾影响于相关的环节,一个环节有变,引来各个环节的具变和整个系统面貌的改观。由此可见,在改造自然,利用自然,发展农业生产中,四个环境要素处于同等重要地位。发展灌溉农业是以水为中心,协调以水为主要矛盾方面的各内部矛盾,理顺各子系统内外部的关系,形成可能达到的优选的水-土-植-气整体关系。水通过土壤供水于植物,在可用上的气候要素条件配合下,完成能量的转化和物质的循环,再通过蒸散把水复还归于气,再降为雨水,重复上述过程,在不断完成和完善这一水文循环中来完成和完善农业生产过程,也从而取得改善水利环境、生态环境的效果(见图2、图3)。因而在灌溉的规划、设计、运行、科研中,可以从任一对矛盾出发,例如作物与水或水与土壤改良,都包含以这对矛盾的处理为起点,以相应的其他各对矛盾的转化作校核,取得全系统关系的协调为准。

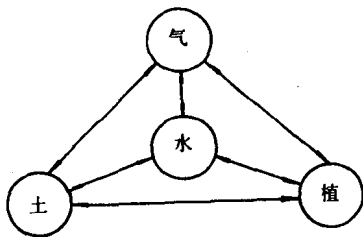


图2 水-土-植-气系统结构

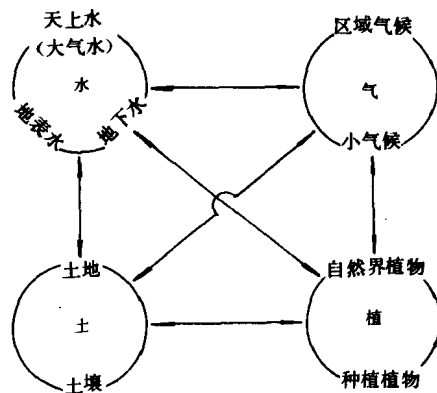


图3 水与土-植-气系统的内在联系

(二)灌溉学与有关基础学科的关系

1. 灌溉学与地学的联系 一定的地理环境产生一定的水-土-植-气关系,制约着那里的水-土-植关系,产生相应的水利灌溉问题。发展灌溉,无论是微观的田间灌溉或宏观的流域开发,都必须从当地的水文地理、土壤地理的实际出发,运用水文学、气象学、地貌学、土壤学、地质学、水文地质学的原理,把当地的大自然作为一个有机整体,综合评价作用和影响于灌溉的诸边界条件,判明问题发生及其解决的科学依据,指出正确的技术途径,明确指导思想来规范灌溉的规划、设计、施工和经营管理。

2. 灌溉学与数、理、化学的联系 在自然科学技术中无不依靠数、理、化学为之提供方法或依据。在灌溉中,同样不能离开数、理、化学所提供的有关原理和方法。特别是灌溉中的诸环境要素及其组合而成的水-土-植-气系统都不是静态的,对其动态要从基因上作出正确可靠的预测预报。明渠水力学、渗流水力学中的一些高深问题的探讨和认识,更不能不求助于数、理、化学,且往往在探求一定的问题中把三者融会贯通为一个组合整体,发挥三者联合攻关的作用。

3. 灌溉学与农学的联系 在农业生产领域内,灌溉学与农学体系中的作物学、植物生理学、耕作学、土壤学、农业工程学、农业生态学、农业经济学等直接配合,以其科学技术为国土整治、大区农业布局、土地利用和土壤改良、灌溉区划服务,为灌区的种植结构、耕作制度、灌溉排水、经营管理提供科学判据和技术指导。

(三)灌溉学与工程科学的联系

1. 灌溉学与水利工程科学的联系 灌溉学与河川(含冰川)水文学、湖泊水文学以及陆地水文学有着密切联系,与已具眉目的地下水(含土壤水)水文学也有直接联系。在水源工程建设中不能离开森林水文学、河工学、闸坝工程学,在灌电结合下联系于水能利用学。灌区建设中包含灌排工程学,力学体系中的结构力学、材料力学、岩土力学、水力学等是其理论基础。水资源学开始自水文学中分出,成为一独立分支,水的管理为水资源学的核心,灌溉管理学也向这个方向扩伸。水利经济学被广泛应用于灌溉建设的各个环节。灌溉的环境影响也是水利环境学的重要组成部分。

2. 灌溉与土木工程科学的联系 在灌溉建设中广泛运用测绘学、施工学;在机电灌排中应用有关的机电工程学。没有精心的优质施工,不能保证精心设计的实现,也就没有精心管理的物质基础。

(四)灌溉学与新技术科学的联系

同位素、电测技术广泛用于土壤水盐测量。遥测、遥感及自动化技术也已应用于灌溉系统的行水管理。人工造雨防雹技术使得调动大气水成为现实。卫星勘探监测技术为灌溉活动及时地提供有关信息和情报。激光照准平地机的应用,说明激光技术也开始进入灌溉。新材料的应用使灌溉工程技术不断革新,面貌日益改观。灌溉因其业务范围广泛,所以具有引用各类新技术为之服务的优越条件。

灌溉学从有关科学中吸收营养,加以同化,形成自己的各分支学科。例如,吸收水文气象、农业气象、陆地水文乃至森林水文、海洋水文之有关知识,形成农业水文学,着重解答灌

溉水文问题;集农业经济、水利经济、工程经济之有关部分,以解灌溉的经济问题;水文地质学与渗流理论的结合,将促使土壤水动力学的发展,并将与田间灌水技术水力学联成为田间灌溉水力学。可以说,今天的灌溉学已广泛地从有关基础学科中和应用科学中取材,打下自己的理论基础,得以以一门独立学科出现。

五、结 论

今天,灌溉讲的是用水于农业生产之法。灌溉不是目的,而是以水为资源,作手段,并利用其触媒作用,来以水争地(灌旱荒,改良土壤),与水争地(防洪涝,排沼泽),以水换产(水量换产量),以水改种(种植结构),以及以水治水,以水改水(调整水情动态、改善水文循环),达到治平水土、均旱涝,以利于发展持久农业的目的。“水则载舟,水则覆舟”。水有利、害的两重性,搞对了则为利,搞错了则为害,搞反了则成人祸。通常是利害并存,必须“在利思害”,利害统筹,正反两面兼顾,互为校核,相辅相成。

发展灌溉农业是百年之计,万年之计。在四化建设中,不反对急功近利,但必须远近结合,以近促远,以远规近,量力而行,留有余地,以质保量,作到功见于当时,泽被于后世,像都江堰那样。

对前人的哲理名言也要区别对待,不可泥古不化。《荀子·王制》提出:“从天而颂之,孰与制天命而用之?望时而待之,孰与应时而使之?”。在今天,歌颂自然造化之伟大,没有什么不好,懂得自然才可以按自然规律来制天命,认识事物运动的时间性而后可谈应时而动。灌溉以理顺水-土-植-气系统的关系为己任。影响灌溉的因素很多,环境复杂,情况多样,形势易变;水情更不稳定。因此必须在“因敌而变,应变制胜”的指导下,因势利导,因害设防,看水办事,以变应变,求得主观和客观的一致,以“巧”取胜,把水搞“活”。

应该指出:就灌溉的理论基础来说,中国古水利论著多有论及,但都是单因素的,欧美到本世纪30年代以工程学对待之;40~50年代中,苏联考斯恰可夫院士提出水利土壤改良原理(水肥气热关系论),一些欧美学者从气象因素探求作物需水以指导灌溉;60年代后树立土植-水关系的观点,根据逐渐走向多元化。在人口激增的压力下到处任意毁林垦荒,现代水利建设的副作用不断显现,导致水土资源的破坏,水文气象、水环境的恶化,70年代倡导发展农业生产要重视发展生态农业,促进生态环境的良性循环。作为指导灌溉的一条法则,我们在上面提出的是以完善水-土-植-气系统关系为依据的论点,树立环境水利的观点。