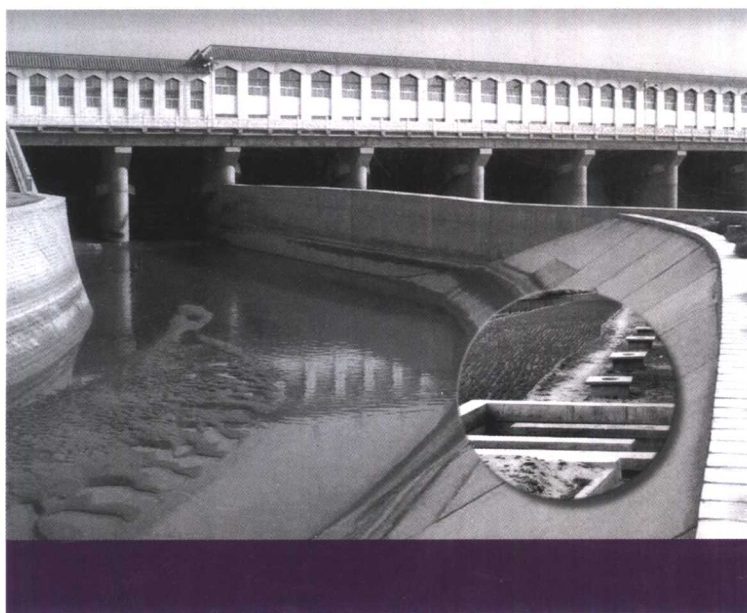


高前兆 李小雁 俎瑞平 编著

干旱区 供水集水保水技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

干旱区供水集水保水技术

高前兆 李小雁 俎瑞平 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

干旱区供水集水保水技术/高前兆, 李小雁, 俎瑞平
编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 12

ISBN 7-5025-6363-6

I. 干… II. ①高…②李…③俎… III. 干旱区-
水资源-资源利用 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 123572 号

干旱区供水集水保水技术

高前兆 李小雁 俎瑞平 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 李姿娇

责任校对: 李 林 靳 荣

封面设计: 张海峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 23 字数 442 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6363-6/X · 562

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

人类正面临着水资源危机。我国和印度两个世界人口最多的国家将成为亚洲的两个缺水大国，并且在其干旱、半干旱地区这种危机更为严重，有限的淡水资源已经成为当地人类生存和经济发展的“瓶颈”。如何面对这种局面，除了提高人们对水资源危机的紧迫感、增强对水资源基本特性的认识外，还需要采取保护并改善生态环境的措施来促进水资源的良性循环，通过防治污染和保护水源，保障有限的水资源为人类可持续利用，实施多种开源节流措施来缓解缺水问题。美国国家科学院在1972年出版了《干旱区集水保水技术》一书，距今已有三十多年了，该书对世界干旱区各国发展有希望的集水保水技术起到了促进作用，有些技术已经发挥了作用，创造了效益；有些技术得到了创新，拓展了领域，正在扩大规模和应用范围。我国在干旱地区供水、集水和保水技术方面也有许多成功的范例。

本书是根据我们多年来从事干旱、半干旱地区水文水资源研究，并承担有关的集水节水技术方面的工作，特别是在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态与农业试验站进行的中国科学院“西部之光”项目“荒山集雨绿化优化模式试验示范”（2001年），以及国家自然科学基金项目“微型集水区集雨系统及其生态效应研究”等课题支持下，充分利用前人研究成果，进行了技术方面的总结。但是，我们的意图并不仅仅限于干旱地区在供水开源与节流方面的技术总结，而是力求能对从事水利、农林、环保工作及研究的人员提出关注的技术课题，希望对我国新世纪的资源水利、干旱地区经济发展、缓解水资源紧缺问题起到一定作用。由于我国干旱、半干旱地区幅员辽阔，因而书中提到的技术规格和工艺只作为对现有标准的供水和管水方法的补充，并不是取而代之；有些技术和工艺还需要结合各地实际，经过进一步的研究和改进再推广应用；还有些方法仅局限在基本原理和试验研究上，需要在实践中不断完善才能发挥效益。

全书分为三篇二十三章，第一篇共八章，由高前兆研究员编写；第二篇共七章，由李小雁博士（现已在北京师范大学资源学院任职）编写；第三篇共八章，其中第十七章、第十八章、第二十章、第二十二章为俎瑞平博士编写，其余由高前兆编写。全稿由高前兆统编。

本书得以出版，要特别感谢化学工业出版社编辑和其他同志的真诚帮助，以

及中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的成六三、王睿等同志的帮助。由于本书涉及专业较多，知识面广，编写水平有限，难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2004年7月于中国科学院寒区旱区

环境与工程研究所

内 容 提 要

本书从改进干旱地区用水系统的增加供给、开辟水源、减少需水方面论述了水资源的合理开发利用，分供水开源技术、集水开源利用技术和保水节流技术三部分，叙述最适宜于干旱土地并有发展前景的技术。

全书共二十三章，以每一类技术为一章，从开源与节流两个途径叙述为干旱土地提供更多水分的技术原理、途径、方法、现存的问题以及进一步发展的方向。

本书对干旱地区开展资源水利工作和抗旱防旱工作具有一定参考价值。可供从事水利、农林、环保、化工、地学、生物学工作的技术干部和科研工作者阅读，也适合于在农村从事农业科学试验活动的研究人员和大专院校相关专业的学生参考之用。

目 录

引言	1
第一篇 供水开源技术	4
第一章 农业灌溉供水	4
第二章 乡镇供水	28
第三章 地下水开采利用	54
第四章 咸水灌溉利用	85
第五章 污水资源化	103
第六章 海、咸水淡化	124
第七章 人工增雨	137
第八章 其他水源开发	156
第二篇 集水开源利用技术	166
第九章 集水技术的发展及应用	166
第十章 集水面的产流特征	172
第十一章 集水区的设计及其地表处理技术	198
第十二章 雨水储存与净化技术	210
第十三章 集雨庭院经济技术	224
第十四章 旱作农田集雨补灌综合技术	242
第十五章 黄土高原荒山集雨绿化技术	259
第三篇 保水节流技术	272
第十六章 抑制水面蒸发	272
第十七章 渠、田防渗	282
第十八章 减少土壤水分蒸发	293
第十九章 微(滴)灌技术	315
第二十章 抑制植物蒸腾	324
第二十一章 选育抗旱作物与农田管理高效用水	334
第二十二章 环境控制农业——温室农业	342
第二十三章 其他有前景的水分保持技术	351
参考文献	360

引言

在现今的世界范围内，干旱地区，包括半干旱地区，正面临着比以往任何时候都更加困难的问题，水资源危机正威胁着越来越多的国家和当地的居民，我国和印度两个世界人口最多的国家将成为亚洲的两个缺水大国。同时，环境问题也在全世界蔓延，沙漠化自 20 世纪 70 年代提出以后，联合国有关组织及世界各国花费了大量人力、物力和财力，至今仍未得到遏制，从 20 世纪末到 21 世纪初，亚洲腹地被沙尘暴频频袭击，其范围之广、影响之深，使人们难以忘记。全球气候变暖和干旱化也正在加剧，干旱灾害使一些国家遭受到经济破坏的现象在 20 世纪中叶后的非洲大陆上已连续出现，目前还在中亚延续；工业化国家和发展中国家除了遭受经济损失外，目前还面临着地下水位下降和土壤盐分上升等问题。

然而，由于干旱、半干旱地区地域空间广阔，土地资源富足，地下还蕴藏着丰富的石油、天然气、稀有金属等矿产资源，因而至今其农业生产潜力还未充分发挥，人们还期望着在干旱土地上获得更多财富。要发挥这类地区的潜力，最好是依靠专门适用于干旱、半干旱地区的概念和方法。由于技术、环境、经济和文化等方面的差异，在湿润气候条件下发展起来的供水用水经验，对干旱地区就可能不太适用。为此，就需要采用新的供水用水技术，尤其需要专门适用于发展中国家及欠发达地区的工艺和方法。一些古代文明发源的干旱地区在干旱供水、集水和保水方面积累了许多经验和教训，但还需要我们在实践的基础上，同时吸取降水较多或供水较丰富地区的经验，来改进和创造适用于干旱地区的供水开源与节流技术。增加供水与有效供给尽管受到有限水资源的限制，但在干旱地区仍具有很大潜力；节约用水不论在通常的灌溉农业中，还是在工业生产和日常生活中，都有许多发挥作用的机会和余地，特别是在发展中国家，农业灌溉用水占有很大比例，不论是在传统的灌溉系统中，还是在大型灌区的现代化水分管理系统中，节流都存在着潜力。本书从讨论常规的农业灌溉和乡镇供水技术出发，为建设干旱地区现代化的水分管理系统，主要从增加用水系统有效供给、开辟供给水源、减少不必要的水量损失等方面作介绍，其中有些技术也可用于湿润和半湿润地区的旱地。本书重点论述了以下几个问题。

① 一些干旱地区增加水分的办法仅靠改善现有的供水系统，而不需要新的设施和装置，就可以获得较多的水分可供利用。例如，用封闭导管（如塑料管、水

泥管、金属管等)取代渠道和敞开水面的输水道来抑制水面蒸发;采用渠道衬砌也能防止渗漏损失;并可以发展到田间的地表覆盖,来增加作物的有效供水,改进现存的水分供给系统并使现有的水得到最大限度的利用。

② 改善农田用水管理可以节省大量的水。这是许多人经常忽视的一点,而且用水户往往养成因害怕缺水而尽可能多地拦截水、超量供水或近水楼台先得水的习惯;现有农田配水系统和排水系统的设计也有许多不足之处,如在水库和灌区,灌、排渠道及分水闸门都设计得很好,而田间的供水沟渠却大多不合格甚至没有,加上农田不平整及灌溉人员常常疏于管理,造成田间用水不当。

③ 设计新系统和改造老系统时,应满足用户的需求要求,保证用水户在预定时间得到适当的水量。由于在设计时没有充分考虑到供水和用水的条件,因此灌溉效益往往达不到设计要求;同时,设计的供水系统经常是只能以一种不变的方式来供水,而田间作物或种植结构经常调整,供水就不能适应需水的变化。

④ 在有地下水供给的地区,地表水、地下水的水源及其输送系统完全可以联合起来考虑,以达到最佳利用。特别是在干旱地区的盆地或流域内,地表水和地下水相互转化频繁,构成一个总体,如联合利用可以提高水资源的重复利用率。

⑤ 田间常过量灌溉,或输水系统、输水制度、水权法规和灌水习惯等常常鼓励这种超量灌水,不仅浪费宝贵的水资源,还导致农田肥料淋失、土壤水渍,长期造成地下水位上升,引起土壤次生盐碱化,并且污染下游河水和地下水的水质,严重地造成下游干旱缺水,土地沙漠化。

⑥ 干旱地区的灌溉工程设计、修建和有效运用常被简化,这些地区往往农民文化水平有限,经济条件相对落后,工程常年失修和超期服役,田间地形起伏、土质差,土地不平整,均匀灌水难度大,或地块小、效益低,因此需要大量投入,才能达到灌溉标准。

⑦ 水资源越缺,对节流技术和水源管理的技巧的要求就越高。从抑制水面蒸发、土壤蒸发和植物蒸腾,到减少水库、渠道和田间的渗漏损失,以至采用田间作物精量供水、控制环境农业,包括选育抗旱作物品种,已经开创了一条节水道路,许多新型的节水方法、材料、设备和技术正在涌现,并汇集成为一个节水体系。

⑧ 增辟更多水源,如收集雨水、咸水灌溉、海咸水淡化、污水资源化、人工增雨、跨流域调水等已经引起了重视。尽管开采这种资源要比现今利用地表水和浅层地下水昂贵,并且还有许多能源与环境问题需要解决,但是随着科学技术的进步,从技术原理到实践开发经验,已经或正在形成干旱地区的开源技术。

本书分三篇进行叙述。

第一篇主要对于旱、半干旱地区供水和开源的技术与经验进行总结。从技术

系统、技术原理、方法和规格来说明供水技术要点；从技术的实践、推广应用到效益发挥来说明其实用性；从技术应用和实践中出现的问题，结合现代技术发展的趋势来评价技术的发展阶段，并提出各项技术需要进一步研究和完善的要求，从而推动干旱、半干旱地区的下列主要供水开源技术的发展：农业灌溉供水、乡镇供水、地下水开采利用、咸水灌溉、污水资源化、盐水淡化、人工增雨和其他有开发前景的水源供水。

第二篇重点以半干旱向干旱过渡地区的集雨径流试验为基础，总结干旱、半干旱地区开辟降雨、集流水资源的试验和实践，促进集水开源利用技术的发展与应用。汇总了有关收集雨水的集水面的产流特征、集水面的处理、收集的雨水储存与净化、发展庭院经济、旱作农田集雨补灌和荒山集雨绿化等技术与经验，为提高雨水集流利用技术的科技含量，促进我国黄土高原和干旱山区的经济发展和生态环境的改善提供科学依据。

第三篇主要以干旱地区水分保持为主题，收集和总结有关的保水节流技术，评价现存技术的优缺点及存在的问题，从现代科学技术的发展趋势出发，结合我国对各项技术的发展和运用，提出今后的发展及研究方向，提供有关技术的研究成果与应用前景。主要的保水节流技术包括：抑制水面蒸发；渠、田防渗；减少土壤水分蒸发；微（滴）灌；抑制植物蒸腾；选育抗旱作物与农田管理高效用水；环境控制农业（如温室农业节水）；其他有前景的水分保持技术，如保水剂、土壤改良剂的利用，抗旱耕作和地下水回补等。

由于干旱区供水开源与节流是新世纪我国资源水利的主题，总结上述有关供水、集水和保水的技术涉及面很广，与许多领域有关，而且一些新技术、新材料、新方法也在不断出现，所以书中难免有所遗漏，有些地方可能带有片面性，希望广大科技工作者和在生产实践中的技术创造者、推广者、应用者以及广大读者批评指正，为缓解我国干旱、半干旱地区的水资源紧缺状况贡献出一份智慧和力量。

第一篇 供水开源技术

第一章 农业灌溉供水

一、灌溉的现状与目的

适宜可靠的灌溉水供应能够使农业生产取得巨大的进步，并保证该地区的经济活力。许多文明都依靠灌溉农业提供其社会基础，并提高人民的安全感。初步估计，在全世界的全部耕地中，仅有 15%~20% 的土地能得到灌溉，其贡献可高达农产品总产量的 30%~40%。我国人口占世界人口的 22%，耕地面积只占世界耕地的 10%，但灌溉面积却占全球灌溉面积的 21%，人均灌溉面积与世界水平相当。我国灌溉面积约 $5333 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占总耕地的 41%，生产了占总产量 70% 的棉花、90% 以上的蔬菜和 2/3 以上的粮食。当前我国农业用水效率仍很低，灌溉用水的利用率只有 0.3~0.4，与发达国家的 0.7~0.9 相比，相差 0.4~0.5；农作物水分生产率平均为 1.0 kg/m^3 左右，与发达国家的 2.0 kg/m^3 相比，相差 1 倍。提高灌溉用水效率，不仅对缓解农业水资源危机具有重要作用，而且对提高农业生产地位与保护生态环境具有重要的意义。

灌溉包括供水、排水、土壤改良和防治侵蚀，历史经验证明，当由于缺乏认识或规划忽视了其中的任何一种因素时，农业生产力都会下降。

现今，灌溉农业面临诸多难题，主要问题是用于灌溉的水总利用效率低。比较可靠的估计是，用于灌溉的水约有 40% 或以上在农田中由渗漏或地表径流而流失。当用区域概念讨论水的利用时，这些水可能没有被损失，因为回归水在其他地区成为可利用资源的一部分。但是，由于它们推迟了水到达下游引水处的时间，并且几乎都变为劣质水，所以常用来代表水的损失。在对水的其他需求（如城市用水和工业用水）增长的今天，水资源利用将赋予更高的价值。毫无疑问，现代灌溉将会最大限度地提高水利用的效率。

在世界干旱地区，灌溉必须满足两种农业生产的需要：①为植物生长提供水分，同时输送必要养分；②水流淋洗或稀释土壤中的盐分，使土壤和大气降温，创造更有利于植物生长的农田环境。

灌溉的方法、次数和持续时间都对作物产量和农场生产力有显著影响。例如，当地表淹水，使种床上形成结壳时，一年生作物可能不能萌发；或在出苗后，尤其是在临界期发生干旱，由于土壤水分不足常导致减产。灌溉最重要的目的是维持土壤水分的蓄积，如何实现这一目的是需要考虑的重要问题。灌溉技术涉及面广、比较复杂；而且，灌溉科学的范围不仅仅限于引水和输水系统，也不只限定在灌溉地上，更不局限于排水途径，它还涉及到许多技术的和非技术的学科系统，只有当所有组成部分都协调地结合在一起时，它才能高效而持久地发挥作用。

二、灌溉供水系统及其选择

灌溉供水系统分为三大类：加压配水、自流配水、排水水流配水。加压系统包括喷灌、滴灌及通过加压管道网完成向农田输水和配水的一系列类似的系统，现今已有许多具有特色的供水系统，如中心支轴式大型喷灌系统，移动式喷灌、滴灌系统等。自流系统是在田间通过一个自由面进行地表漫流的输水和配水系统，这些地面灌溉方法还可按照外形和运行特征进行细分。通过控制排水系统的灌溉（如地下灌溉）虽不常见，但在观念上较新颖。当较大量的灌溉水通过根层渗漏时，变为排水或地下水流。通过对地下水流控制，达到一个临界点，就有可能把地下水位提高到作物根系伸展到的范围，并可减少供水能源和降低水量损失。这些灌溉系统各有特色，具有各自的优点和特殊用途。这里主要讨论地面灌溉，根据灌溉设计，也会提到其他类型的灌溉供水系统。

灌溉系统常常设计成效率高、劳力和投资需要小的供水系统；有效的管理措施取决于灌溉供水系统的类型及其设计。例如，管理可能受自动化的应用，径流的控制、收集和再利用，田间土壤和地形的变化，量水和水流控制建筑物的存在和所处位置的影响。所有灌溉供水系统共同的问题为何时灌溉、灌多少水及效率能否提高等。在选择灌溉供水系统时必须考虑这些问题，还应考虑到这些问题会因地、因时、因作物、因农民的不同而有不同变化。一般按地区协调性，经济可行性，地形和土壤、作物特性等的适应性，以及社会限制因素的合理性等方面选择适宜的一些灌溉系统。

(1) 地区协调性 一块田或一个农场的灌溉系统必须与其他农场作业（如整地、中耕和收获）共同发挥作用。如使用大型机械化设备需要较长和较宽的田块，灌溉系统不能妨碍这些作业，因此可能需要的是移动式的或者主要在作物边界外运行的系统（即地面灌溉系统）；而小型设备或畜力耕作设备更适合于小田块和较固定的灌溉设施。

(2) 经济可行性 选用哪种灌溉系统是一项重要的经济决策。如一些加压系统的投资和运转费用高，但可能省力、省水，它们的利用主要面向价值高的作物；其他系统的建设和运转费用相对较少，但需劳力多。又如，一些灌溉系统受

农田的土壤类型或地形的限制，在选择时，还应考虑维护费用，更新的预期寿命及一系列如能源、水、折旧、整地、劳力和税金等的年度费用。

(3) 地形适应性 地形是影响灌溉尤其是地面灌溉的主要因素。一般来说，人们所关心的是与农田边界有关的供水位置和高度、农田的面积和形状、道路交通、公用事业设备线路（如煤气、电、水等）和迁徙畜群（包括野生和家养）。农田的坡度及其均匀性是最重要的两个地形因素。例如，地面灌溉系统要求有0~6%的均匀坡度。

(4) 土壤适应性 土壤的持水量、入渗速率和深度是进行灌溉系统类型选择的主要判断标准。沙质土壤的入渗速率大，土壤水分保持能力低，可能需要与入渗速率低、水分保持容量大的深厚黏土完全不同的灌溉策略。沙质土壤要求灌水次数多而水量小，而黏质土壤需要的灌水次数少，但可灌到较深的深度。其他重要的土壤性质也影响灌溉系统的选择，如土壤和水的物理、化学及生物相互作用也影响着水力学特征和土地的可耕性，土壤中掺入淤泥影响结壳和可侵蚀性，这些问题都应在每个设计中予以考虑。一块农田中土壤的分布情况如果变化很大，也可能成为一些灌水方法的重要限制因素。

(5) 供水适应性 水源的质量和数量对灌溉措施有十分重要的影响。生长季节作物对水分的需要是连续不断的，土壤水库可以满足这种连续不断的需要。具有较小流量的供水可在结合频繁灌水的灌溉系统中得到最好利用。这些系统每次的灌水深度比灌溉次数较少而流量较大的系统要浅。同样，水质也有影响，盐分是最重要的因素，其他元素（如硼或硒）也很重要，而利用劣质水灌溉应比利用优质水灌溉更频繁、灌水量更大。

(6) 作物特性 许多作物的产量受灌水方法与灌水量的影响很大。灌溉系统能创造不同的环境条件，例如湿度、温度和土壤通气性。灌溉水通过湿润植物的不同器官会对植物产生不同的影响，有时会造成各种不良后果，如叶烧病、果实变态或畸形、颈腐病等。相反，水稻却在淹水条件下生长旺盛。一些作物的经济价值高，可采用强化投资型措施。深根作物比浅根作物更适宜次数少、灌水量大的系统。

(7) 社会影响 除个别田块外，可以说，灌溉是一种社会事业。国家、集体和个人必须联合起来建设、管理和维护灌溉系统。一个典型的灌溉系统，可能涉及到三个层次的社会组织：参与农田耕作和第三级输水和配水系统的个人或单位；具有灌区的县、乡、村三级组织或农民集体，他们除了经营和维护灌溉系统外，还承担分配和裁决冲突的责任；在工程上负责配水和利用的水利部门及政府。灌溉系统的设计者应当意识到各社会层次、灌溉团体的最重要目标并保证其成员之间的平等权益，使灌溉系统正常运转。

灌溉技术总是在农业系统中不断革新和应用。新技术的出现意味着新的灌溉

系统和维护措施的运行，并要求社会不断适应其中的变化，这样，灌溉系统才能在实践中获得成功。

(8) 外部环境影响 农业领域外部环境条件也影响甚至控制灌溉系统类型的选择。例如，有关国家政策、地方经济发展或特定工业的影响，都可能导致特定灌溉系统的应用。

灌溉系统的设计、评价和管理等人员都应该意识到，还存在对灌溉农业发挥作用的更广泛的环境。在一定程度上，工程措施的一些问题除了与科学技术有关外，还与艺术有关，而且还需要经验和计算技能，同时需要在工程实践中不断检验和完善。

三、地面灌溉系统

(一) 定义

地面灌溉系统具有两个特征：①水流具有一个重力梯度的自由水面；②地面本身可以进行输水和配水。

一次地面灌溉过程如图 1-1 所示，它由 4 个阶段组成。当向农田供水时，水便在地面上向前推进，直至水扩展到整个地面为止，称为行水阶段。水可直接（或不直接）湿润整个地面，并使流经之处都填满，然后灌溉水从田间产生径流，或开始在地面上蓄水。推进结束和停止进水之间的阶段称为湿润（或蓄水）阶段。不再供水后，地面上水量开始减少，它或者从地面排走（径流）或者入渗到土壤中。为了描述地表水流的水力学特征，把排水期分为耗水阶段（垂直退水）和退水阶段（水平退水）。耗水阶段是指停止进水和下水的裸露土壤首次出现之间的间隔。退水阶段从该点开始，并持续到地面被排干。

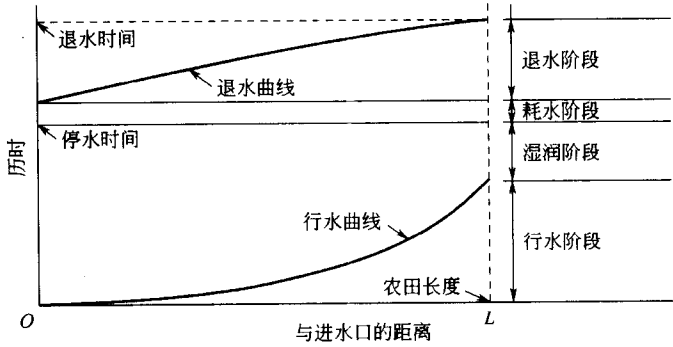


图 1-1 在地面灌溉期间的行水、湿润、耗水和退水阶段的时空轨迹线

图 1-1 中的时间和空间参照为相对标准，纵坐标历时表示灌溉开始后的累积时间，横坐标距离表示与田块进水口的距离。因此，行水曲线和退水曲线为地面水流推向前沿和后退到边缘的轨迹线，在任一距离上两条曲线间规定的时间便是

水在该地面上持续的时间，也就是水向土壤中入渗的时间。

地面灌溉时不一定总能观察到蓄水、耗水或退水阶段。例如，在淹灌中，由于水在整个农田中为垂直入渗，在停水后可能只有一个耗水阶段。同样，在灌溉水稻时，常常是向格田的积水中加水，这样既无行水阶段，也无退水阶段，仅存在湿润（或蓄水）阶段及部分耗水阶段。在沟灌系统中，沟中的水量常常是农田总供水量的一个小部分，而且可迅速排掉，实际上，可能不存在耗水阶段，退水阶段也可忽略不计。所以，地面灌溉可能以若干形式出现，并在几种状况下运行。

（二）地面灌溉系统范围

灌溉系统是由许多向农田分流供水和输水设施网络的一部分。图 1-2 体现的是一个典型灌溉系统的组成。它可分四个子系统：①供水；②输水或配水；③用水；④排水。为了使整个系统运转良好，每一部分都必须为促使达到最高农田产量而共同协调工作。历史上灌溉系统的各组成部分未能作为一个系统而充分发挥其作用，结果常常使灌溉效率很低。

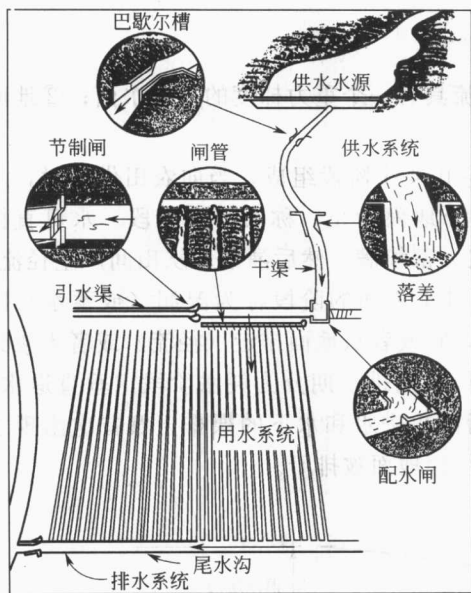


图 1-2 典型灌溉系统的组成

（根据 1967 年 USDASCS 中的插图修改而成）

地面灌溉工程的重点是单个灌溉田块的用水。就设计和评价来说，需要考虑输水或配水系统的要素，尤其是靠近农田的那些要素（如流量测定和控制）。

地面灌溉工程的重点是单个灌溉田块的用水。就设计和评价来说，需要考虑输水或配水系统的要素，尤其是靠近农田的那些要素（如流量测定和控制）。

（三）地面灌溉的发展

尽管地面灌溉具有几千年的历史，但是，最重要的进展是在近几十年内取得的。在发达的工业化国家，土地拥有量已经扩大到原来的 10~20 倍，而农户数量急剧减少。极大型农用机械代替了畜力播种、中耕和收获作业。激光控制的土地平整设备的出现，使播种前整地的精确度提高了一个数量级。同样，由于高技术及设备的应用，灌溉工程本身也建造得更好。

在发展中国家，土地的集约经营、机械化、较精密系统设计和作业的进展不很明显。大多数农民仅拥有和管理 1~10hm² 的农田，仅用 20~40L/s 的水量灌溉，仅依靠小型机具或畜力农具作业。在我国农村，虽经过合作化和水利化，但许多农民耕种的土地不到 1hm²，灌溉水量更小，且经过灌区配水来实现。目前，随着农业结构调整、专业户的经营，也出现了一些较大型的灌溉集约经营方式。

迄今为止,地面灌溉已取得长足的发展。自 20 世纪 50 年代以来,作物灌溉在理论上出现了如限水灌溉、非充分灌溉、局部灌溉、精量灌溉、调亏灌溉和交替灌溉的理念,主要根据作物生理需水与土壤供水相结合,达到减少供水、节能和作物有效利用的目的,这种灌溉理念特别适合在干旱地区应用与推广。在地面灌溉系统设计和管理上,微机和可编程序计算机不断发展和应用,70 年代末,高速运算微机技术开始出现,可快速、廉价地求出描述地表水流的基本方程,将这些方程准确的数值解应用于灌溉系统设计和灌溉管理中。同时,在灌区灌溉用水管理中,采用各种预测技术、优化技术、灌溉用水计算机管理系统,有的已经开始在我国灌区大面积应用,使灌区的灌溉用水实现由静态用水向动态用水的转变,为提高灌区水资源利用率提供了技术手段。为实现渠系优化配水的要求,基于计算机技术进行的渠道水量、流量实时调控研究也逐步兴起,灌溉供水、用水管理已转向与数据库、模型库、知识库和地理信息系统有机结合的灌区节水管理以及综合决策支持系统建设。

灌溉工程师和技术员利用微机和可编程序计算器,能对发生在地面及地下的重要水力学过程进行更全面处理,可以找到在众多条件下最佳的设计和管理措施。过去需要多人长时间才能完成的设计,现在几秒钟内即可完成。对现行措施或推荐措施的效果也可以预测,甚至可以在实时基础上达到控制系统运行、监测、调整的程度。

(四) 地面灌溉方法

灌溉方法的分类有多种。按照向田间输水的方式和湿润土壤的方式,可将灌溉方法分为地面灌溉、地下灌溉、喷灌和滴灌四大类。地面灌溉方法是指水在田面流动过程中借重力作用和土壤毛细管作用浸润土壤的灌溉方法。这种方法需要的设备很少、技术简单、节省能源,也是我国及大多数发展中国家应用最广泛的灌溉方法。地面灌溉可通过农田的坡度、大小、形状、末端条件和水流进入整个田面的方式来分类。此外,地面灌溉按其田间工程和湿润土壤方式的不同可分为淹灌、畦灌和沟灌。

1. 淹灌

淹灌是灌溉中最常见的形式,尤其是在分布有小田块的地区。如果一块地四面平坦,四周有土埂围住,该田块便称为格田。格田的形状有方形,也有各种不规则的形状。在山丘地区,因地形复杂、地面坡度大,多为梯田,格田面积较小,一般为 $0.067 \sim 0.2 \text{ hm}^2$; 在平原地区,地势平坦,格田规格整齐,田块较大,可为 $0.2 \sim 0.33 \text{ hm}^2$, 但也不宜太大,否则会增加平整土地工作量,不宜保持均匀的水层和施肥等田间管理。格田也可修有沟或浅沟,修筑有利于一些作物的垫高宽床,使进入这些田块中的水流不向一定方向流动(见图 1-3)。淹灌要求供水量较大,该流量与格田面积和土壤渗透速度有关。要使面积为 ω 的格田内形

成淹灌水层 h_0 ，则供给格田的流量 q 为：

$$q = (\omega/t)(h_0 + k_{t_1} \cdot t) \tag{1-1}$$

式中 k_{t_1} —— t_1 时间内的平均渗透速度，m/h；

q ——供给格田的流量， m^3/h 。

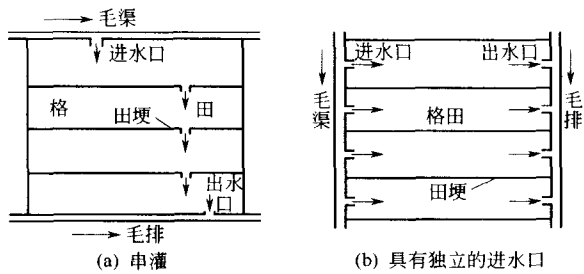


图 1-3 格田布置

水通过周边堤或毗邻的沟开口灌到格田中。一般水稻格田面积在 $0.2hm^2$ 以下，设有 1~2 个进水口； $0.2hm^2$ 以上的格田有 2~3 个进水口，进水流量达 8~12L/s。对水稻淹灌，淹灌水层对水稻植株还有避免低温、高温和大风危害的作用。为满足水稻在不同生育期对水分的需要，应建立完整的田间灌排系统。不适于淹灌的作物和土壤不多，但中等和缓慢入渗的土壤、深根及密植作物一般更适宜淹灌。对于淹灌敏感的作物和灌溉后形成硬结壳的土壤，可通过采用高宽垄床种植或开沟进行灌溉。用淹灌法很容易对盐碱土改良，且不需要采用地面径流排水措施。但是，当遇到暴雨或格田中积水过多时，仍需要采取地面排水措施。

不过，淹灌还有若干限制因素，这些因素与上述提到的土壤结壳和作物能否适应水流有关。另外，精确的土地平整对取得淹灌的高均匀度和高效率至关重要。许多格田太小，以至于大型精确设备不能有效工作。为了取得较高的灌水效率，可在不引起土壤侵蚀的条件下，尽可能加大单宽流量。这与设计小格田和垄沟灌及畦灌不一样，需要加大控制灌溉和泄水的建筑物容量。

2. 畦灌

畦灌可看作淹灌向较低的一端具有自由排水条件的矩形坡地或等高农田进行灌溉的延伸，典型的畦灌农田被分成多个倾斜畦田。水从人工挖的毛渠灌入每个畦田；当关闭进水口后，水便从高的一端流向低的一端。采用畦灌应根据当地的地面坡度、土壤质地、土地平整状况等条件，合理布置畦田，选定畦田规格，控制入畦流量和放水时间。畦田的规格影响到灌水的好坏、灌水效率的高低和土地平整工作量的大小，一般根据畦田宽度、长度和单宽流量来合理选定。

(1) 畦田宽度 畦田宽度主要根据作物行距、耕作机具的工作幅度和地面坡度等因素而定。对于小麦、谷子等作物，畦宽一般应和农机具的工作宽度相适