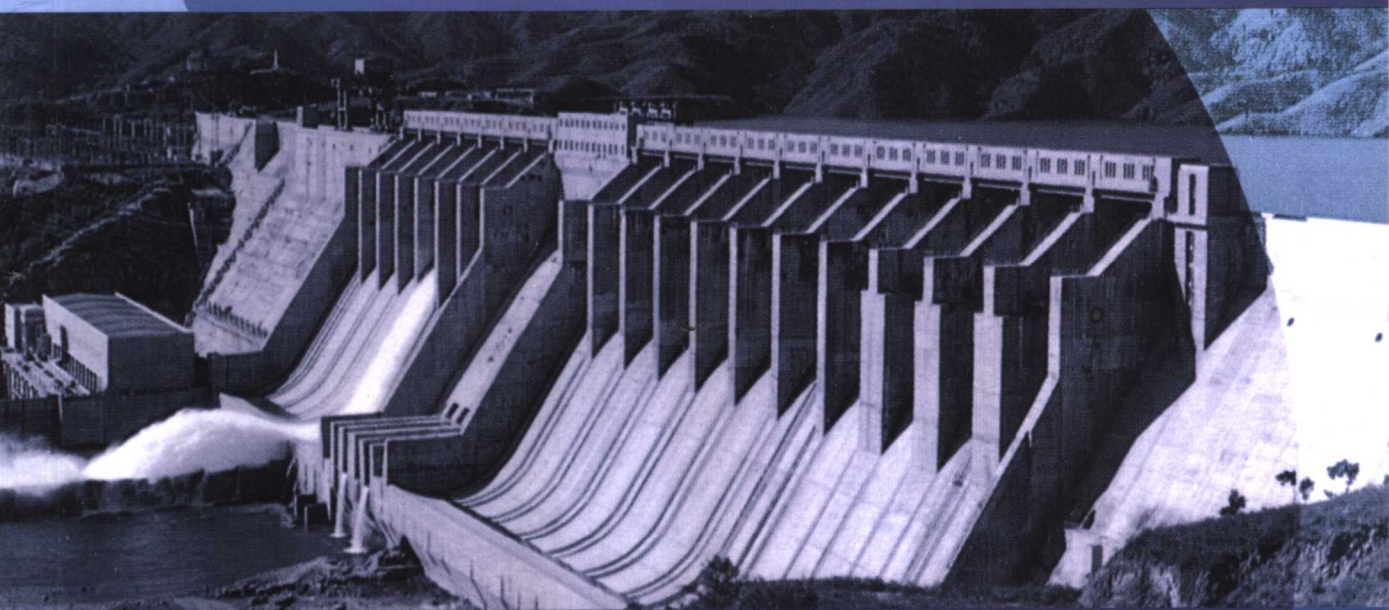


灌溉与 水工建筑物

——理论、设计和实践

Iqbal Ali 著

张宝瑞 杨海燕 孙养俊 等译



黄河水利出版社

灌溉与水工建筑物

——理论、设计和实践

Iqbal Ali 著

张宝瑞 杨海燕 孙养俊 等译

黄河水利出版社

内容提要

本书是巴基斯坦水资源技术委员会委员,原拉合尔工程技术大学教授,现任卡拉奇工程技术大学教授的 Iqbal Ali 博士根据多年的科研及工程经验,为灌溉工程专业的学生、设计人员编写的一本内容全面的综合性参考书。全面介绍了巴基斯坦现代灌溉系统工程设计的经验,较完整地反映了其灌溉设计水平,论述的范围包括灌溉系统基本理论、设计原理和工程实践。从灌溉水源和基本水文原理开始,论述了灌溉系统中的水工建筑物以及灌溉系统与农田管理等内容。在书的最后一章,从环境影响角度讨论了水涝、盐碱化及其应对措施。

本书可供水利工作者特别是从事农田水利和节水灌溉的科研、规划设计、施工管理人员使用,也可供高等院校和中等专业学校农业和灌溉工程专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉与水工建筑物:理论、设计和实践/(巴基)阿里(Ali, I.)著;张宝瑞等译. —郑州:黄河水利出版社, 2006. 2

书名原文: Irrigation and Hydraulic Structures: Theory, design and practice
ISBN 7-80734-023-1

I. 灌… II. ①阿… ②张… III. 灌溉系统-水工建筑物 IV. S274.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005852 号

©1993 and 2003 by Dr. Iqbal Ali

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

传真:0371-66022620

E-mail: yrcp@public. zz. ha. cn

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:21

字数:485 千字

印数:1—1 400

版次:2006 年 2 月第 1 版

印次:2006 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-023-1/S·76

定价:49.00 元

著作权合同登记号:图字 16-2006-06

译 序

《灌溉与水工建筑物》是巴基斯坦水资源技术委员会委员,原拉合尔工程技术大学教授,现任卡拉奇工程技术大学教授,Iqbal Ali 博士根据多年的科研及工程经验,为灌溉工程专业的学生、设计人员编写的一本内容全面的综合性参考书。1993 年出版了第 1 版。2003 年对 1993 年版本重新进行修订,出版了第二版。本译本系根据新版本译出。

本书比较完整地反映了巴基斯坦现代灌溉系统工程设计的技术水平。论述的范围包括灌溉系统基本理论、设计原理和工程实践。从灌溉水源和基本水文原理开始,论述了灌溉系统中的水工建筑物以及灌溉系统与农田管理等内容。随着社会的进步、科学的发展,环境影响评价已引起人们一定的重视,所以在最后一章,从环境影响角度讨论了水涝、盐碱化及其应对措施。书中给出了大量专业术语的概念,提供了一系列设计数据、计算公式和图表,具有很强的实用性。本书可供水利工作者,特别是从事农田水利和节水灌溉的科研、规划设计、施工管理人员使用,也可供高等院校和中等专业学校农业和灌溉工程专业的学生使用。

本书由中水北方勘测设计研究有限责任公司组织翻译。各章译校者如下:第一、三、十一章由张宝瑞译;第二、四章由杨海燕译;第五、六章由马延臣译;第七、十二章由金宏安译;第八、十章由孙养俊译;第九章由林德金译。全书由尹子泽、杨科特、丁秀霞校译,由张宝瑞统稿,由杜雷功统一审定。本书在翻译过程中得到了各方面的大力支持和真诚帮助,在此一并表示最衷心的感谢。

由于水平有限,书中的缺点、疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

译 者

2005 年 12 月 8 日

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 灌溉历史	(1)
1.2 定义	(2)
1.3 范围	(4)
2 灌溉水资源	(6)
2.1 前言	(6)
2.2 水资源	(6)
2.3 降雨	(8)
2.4 地表水	(9)
2.5 地下水	(9)
2.6 水质	(11)
2.7 水质表示法	(11)
2.8 盐度及其在灌溉水中的限度	(12)
2.9 印度河平原水质	(14)
2.10 水文	(16)
3 低水头引水坝(拦河闸)	(28)
3.1 前言	(28)
3.2 修建拦河闸的作用	(28)
3.3 拦河闸的组成	(28)
3.4 闸址的选择	(31)
3.5 拦河闸的设计	(32)
3.6 溢流	(33)
3.7 基础渗流	(41)
附录 I 拦河闸设计实例	(56)
第一部分 根据溢流条件设计拦河闸剖面	(56)
第二部分 拦河闸地下轮廓设计	(74)
附录 II 巴基斯坦国内拦河闸统计表	(79)
4 灌溉渠道	(80)
4.1 前言	(80)
4.2 衬砌渠道设计	(81)
4.3 非衬砌渠道设计	(83)
4.4 肯尼迪淤积理论	(84)

4.5	莱西动态平衡理论·····	(86)
4.6	动态平衡理论的发展·····	(92)
4.7	理论方法·····	(97)
4.8	推移质公式——杜波依(Duboy)公式·····	(97)
4.9	爱因斯坦推移质公式·····	(99)
4.10	悬移质函数·····	(100)
4.11	按上述公式进行渠道设计实例·····	(101)
4.12	最大允许流速设计法·····	(107)
4.13	按拖曳力的设计方法·····	(111)
4.14	水力设计准则(HDC)·····	(116)
4.15	穆尼尔(Munir)和库莱希(Quraishi)方法·····	(119)
4.16	渠道衬砌·····	(125)
4.17	确定灌渠流量的方法·····	(129)
	附录 I 山区河流的冲刷深度·····	(136)
5	灌溉渠道中的泥沙控制 ·····	(137)
5.1	前言·····	(137)
5.2	进水口排沙·····	(138)
5.3	排沙方法和泥沙适当分布·····	(143)
6	渠道跌水建筑物 ·····	(153)
6.1	前言·····	(153)
6.2	跌水位置·····	(153)
6.3	历史进展·····	(154)
6.4	跌水类型·····	(155)
6.5	垂直跌水·····	(156)
6.6	斜坡式跌水·····	(158)
6.7	消力池辅助消能工·····	(162)
	附录 I Montague 渠道跌水设计·····	(165)
	附录 II 旁遮普 C.D.O 型跌水设计·····	(171)
	附录 III Mushtaq 扩散底板型跌水设计·····	(174)
7	交叉排水建筑物 ·····	(177)
7.1	前言·····	(177)
7.2	渠道布置与交叉排水建筑物·····	(177)
7.3	交叉排水建筑物的类型·····	(178)
7.4	渡槽的设计程序·····	(181)
7.5	倒虹吸(渡槽或上通道)的水力设计·····	(184)
7.6	渐变段·····	(188)
7.7	渐变段类型·····	(189)
7.8	天然排水进口设计·····	(192)

附录 I 渡槽设计	(196)
8 灌溉分水口	(204)
8.1 前言	(204)
8.2 定义	(204)
8.3 分水口基本要求	(204)
8.4 分水口类型	(204)
8.5 分水口特征	(205)
8.6 管型或圆筒型分水口	(208)
8.7 Scratchley 分水口	(209)
8.8 半模型分水口	(210)
8.9 肯尼迪型计量分水口	(210)
8.10 明槽分水口	(211)
8.11 孔口半模型	(213)
8.12 模块模型分水口或刚性模型	(217)
8.13 Gibb 模型	(218)
8.14 Ghafoor 刚性槽模型	(221)
8.15 流量按比例分配的分水口设置	(222)
8.16 分水口类型选择	(224)
附录 I 附录中所用符号	(227)
附录 II Crump 明槽分水口设计	(228)
附录 III Crump 可调节比例模型	(230)
附录 IV 管口半模型分水口设计	(233)
9 大 坝	(238)
9.1 前言	(238)
9.2 大坝的分类	(238)
9.3 决定坝型的因素	(242)
9.4 重力坝设计步骤	(244)
9.5 需要考虑的力	(245)
9.6 稳定性分析——基底应力不均匀系数和稳定安全系数	(249)
9.7 利用稳定性分析使用分区法设计重力坝剖面	(250)
9.8 单区设计	(251)
9.9 拱坝设计	(251)
9.10 支墩坝设计	(255)
9.11 土坝设计	(256)
附录 I 重力坝设计范例	(265)
附录 II 拱坝设计范例	(272)
附录 III 土坝设计范例	(276)
附录 IV 巴基斯坦的主要大坝	(280)

附录 V 世界范围内高于 100ft 大坝分布	(281)
附录 VI 巴基斯坦的主要坝址	(282)
10 水井设计	(283)
10.1 前言	(283)
10.2 概述	(283)
10.3 水井设计中使用的技术术语	(286)
10.4 水井水力学	(288)
10.5 松散层中的水井设计	(292)
10.6 砾石滤层设计	(296)
11 灌溉系统	(303)
11.1 概述	(303)
11.2 利用水灌溉庄稼的机理	(303)
11.3 土壤湿度的形式	(304)
11.4 灌溉方法	(306)
11.5 喷灌	(309)
11.6 滴灌系统	(310)
12 灌溉的环境影响	(314)
12.1 前言	(314)
12.2 水涝定义	(315)
12.3 盐碱化	(315)
12.4 水涝环境影响	(315)
12.5 破坏机理	(316)
12.6 水涝起因	(316)
12.7 应对措施	(317)
12.8 排水设计	(319)
12.9 土地开发的生物农业法	(321)
12.10 环境影响评价(EIA)	(321)
常用单位换算	(326)

1 绪 论

1.1 灌溉历史

利用水进行土地灌溉的历史可以追溯到人类文明开始的时候。目前,世界上仍然在使用的最古老的渠道在埃及。这条古老的渠道是于公元前 1900 年在先知约瑟夫主持下建成的,当时约瑟夫是法老中的一位大元老。这条渠道位于开罗以南 80mile 的一个叫 Medinet-el-Faiyum 的地方,至今还灌溉着这个地区葱郁的果林。该渠道开始于尼罗河,长约 200mile, Fellahin 人称之为约瑟夫(Joseph)渠。《可兰经》中有一些关于埃及国王拉姆西斯二世(Ramse II)(公元前 1304-1237)继承渠道系统的描述。据说盛放幼年摩西的篮子就是经始于尼罗河的渠道漂到法老王宫皇家园林的。

埃及还号称拥有世界上最古老的水坝。这座古老的水坝长 355ft, 高 40ft, 大约建于 5 000 年以前, 用于蓄水饮用和灌溉。这座由美尼斯(Menes)国王(公元前 3100)修建的水坝位于孟斐斯(Menphis)附近的尼罗河上。大约公元前 3300 年在尼罗河上引进使用的格田灌溉, 在今天埃及的农业生产中仍然发挥着重要的作用。

伟大的穆斯林物理学家、数学家和天文学家 Alhazen(公元 965~1038)曾向埃及的哈里发哈吉姆(Caliph Hakim)提出在阿斯旺(Aswan)修建控制尼罗河的工程设计方案。然而由于缺乏专业技术知识, 工程未能实施。据说最近建成的阿斯旺大坝就位于 Alhazen 首次建议的坝址附近。

大约公元前 1800 年, 在美索不达米亚(Mesopotamia)国王汉穆拉比(Hammurabi)的一封信中包含有给当时负责 Lagesh 附近渠道工程的 Sid-Indiannam 人的命令:“召集沿 Damanum 渠道拥有土地的人, 清理 Damanum 渠道, 并在当月内完成 Damanum 渠道的开挖”。目前, 这封信保存在大英博物馆中。

在《可兰经》中提到也门赛伯伊(Saba)王国繁华社区被摧毁的情况:“他们走开了, 所以我们让大坝后的洪水降临在他们身上, 并且将他们的果园换成成长着苦果、怪柳和一些钝叶康达木的果园”。

上面提到的大坝为 Sadde Marib 坝(Marib 大坝)。该坝建于公元前 800 年, 距 Marib 的首府城市 3mile, 位于 Sana 以东 60mile 的地方。建这座大坝是为了拦截两山之间峡谷中的河水。据说这座大坝长 150ft, 宽 50ft, 设有 30 孔泄洪闸。水流首先汇集到下游的 1 个水池中, 左、右岸渠道, 该水池设有 2 个泄水闸门。灌区面积大约为 300mile²。在原来大坝上游 3mile 的地方修建了 1 座新 Marib 大坝, 这座大坝已于 1986 年由也门政府投入运行。

暗渠为拦截地下水的地下隧洞。地下水向下流向隧洞, 然后汇集起来, 被输送到田间。现在还没有确定暗渠建筑的起源。第一个用于灌溉的暗渠系统是于公元前 500 年由埃及海军上将 Scylax 建造的。Scylax 上将建造了 1 个贯穿砂岩地层, 可灌溉 1 800mile²

肥沃土地的范围广阔的暗渠系统。为了庆祝这个伟大工程的建成,埃及人在底比斯(Thebes)建了1座亚蒙神神庙,并且官方首次承认他们的征服者大流士一世(Darius I)为埃及法老。在过去这些世纪中,这些暗渠的出口都被堵塞了,而那些仍然流淌着的暗渠直到最近都被认为是泉水。然而,对古代铭文的翻译和探索已经揭开了暗渠的真正起源。据悉这些暗渠灌溉系统在连绵起伏的沙漠下向东延伸达100mile,以截取来自尼罗河的地下渗水。

德黑兰暗渠已有250多年的历史。在伊朗马赞达兰(Mazandran)省建有1条位于地表以下42ft的暗渠。暗渠长10500ft,每英里大约设有60口竖井。伊朗具有很古老的暗渠建造技术,而那些建造暗渠的人被称为穆卡尼(Mukanni)。

在斯里兰卡也有很古老的灌溉系统。世界上最古老的土坝之一,斯里兰卡帕达维尔(Padavil)坝建于公元前505年,该坝为1个池塘灌溉系统的一部分。历史学家特内(Tennet)曾对帕达维尔(Padavil)土坝做过描述。该坝长11mile,底宽200ft,顶宽30ft,坝高70ft,上游坝面采用砌石防护。

中国的灌溉历史与其文化一样历史悠久。著名的都江堰由春秋战国时期李冰父子修建,至今仍然发挥着作用,滋润着近50万acre的水稻田。

印度恒河平原也有令其自豪的古代灌溉系统。在Harappa, Moenjodaro和Kot Dijji的考古发掘中发现了以某种灌溉系统为基础的先进文化。在南亚次大陆的有记载历史中,灌溉可以追溯到公元8世纪,当时穆斯林统治者在征收土地税时将土地分为灌溉土地和非灌溉土地。

现存的别具匠心的西Jamuna灌渠系统被认为是在Feroze Shah Tughlaq最初修建的灌溉系统基础上建成的。在Shah Jahan统治时期,工程师Alie Mardan Khan是旁遮普省的总督,他修建了Hasli渠。这条渠道起始于Ravi河,而Ravi河则成为现在的上巴利Doab灌渠的核心部分。

在被英国人控制的19世纪中叶,巴基斯坦境内只有很少的漫灌渠道,灌溉面积大约为20万acre。到了19世纪末,每条河流上都开发了很多独立的漫灌系统,总灌溉面积增加到360万acre,而漫灌渠道的总长度达到了4340mile。在19世纪末,人们又试图修建堰坝控制的灌溉系统。当这些灌溉系统竣工时,漫灌系统就被融进了许多常年灌溉系统方案中。现在所有灌溉系统的补给水源都来自喀布尔河上的Warsak蓄水坝、吉拉姆河上的曼格拉蓄水坝、印度河上的塔贝拉蓄水坝以及17个分水闸和首部工程。巴基斯坦的常年灌溉系统居世界第三,灌溉面积约3500万acre,灌渠总长度43000mile,灌溉流量为230000ft³/s,见图1-1。除此之外,在20世纪60年代还修建了庞大的渠道连接系统,将印度河、吉拉姆河和Chenab等西部河流的河水调到以前由东部的Beas、Sutlej和Ravi河流供水的渠道中。一共有25座小坝灌溉 0.05×10^6 acre土地,另外还有26.4万口管井,向渠道中补水 37×10^6 acre·ft,以保证在旱季有充足的水源。

1.2 定 义

灌溉是一门在降雨不充沛的地区通过人工的方法将水输送到土地上,满足庄稼对水的需求的科学。除了为庄稼提供水分以有助于农作物的生长外,灌溉还具有如下作用:

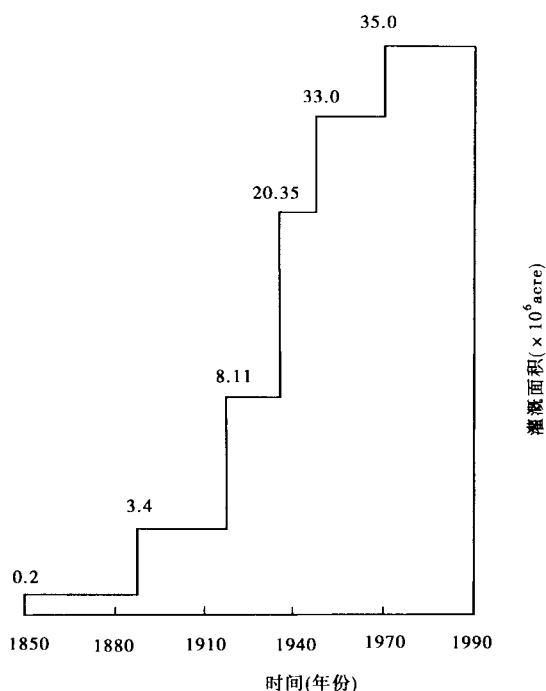


图 1-1 巴基斯坦灌区面积统计图

表 1-1 给出了 20 世纪世界范围内灌溉发展的历程。

洲名	1900 年	1940 年	1950 年	1960 年	1970 年	1985 年	2000 年
欧洲	8.60	19.80	24.70	37.10	51.87	74.10	111.20
亚洲	74.10	123.50	160.50	333.50	419.90	543.40	74.10
非洲	6.20	9.90	12.35	17.30	22.23	29.60	44.56
北美洲	9.90	22.20	32.10	42.00	61.75	79.00	86.50
南美洲	1.20	3.70	7.40	12.00	17.29	24.70	37.10
大洋洲	0	0.70	1.24	2.50	3.95	5.40	7.40

注:表中数字精确到小数点后第 2 位。

- (1)冷却土壤和空气,为庄稼生长创造有利环境;
- (2)稀释或冲走土壤中有害的盐分;
- (3)减小土壤的管涌危害。

灌溉工程包括以下 4 个阶段:

- (1)蓄水或分水;
- (2)灌溉水输送;
- (3)灌溉水的分配和使用;

(4) 多余水的排出。

降雨量等气候条件是确定是否需要灌溉的基本因素。对年平均降雨量小于 15in 的干旱地区,灌溉系统是必需的,而对于年平均降雨量在 15~30in 之间的半干旱地区,修建灌溉系统是比较合适的,对年平均降雨大于 30in 的湿润地区,有灌溉系统则是有利的。我们要牢记在心的一点是,如果在农作物生长期发生短期的干旱,在挽救农作物时,灌溉系统可能会变得非常必要。这种情况存在于孟加拉国,那里年平均降雨量很高,但是在农作物的生长期内会发生干旱。

1.3 范 围

在这个“人口爆炸”、人类需要更多食物的世界,灌溉科学变成了一门生存科学。地球上的大部分地区都位于干旱地区,即使位于湿润地区,降雨量分布也可能不平衡。只有通过人工灌溉才能耕种大面积的可耕种土地。

由于几乎整个中东地区以及印-巴次大陆的大部分地区都位于缺乏降雨的干旱地区,因而科学灌溉和灌溉工程就成为这些地区人类生存的必须手段。在巴基斯坦印度河、印度恒河、伊拉克幼发拉底河、阿富汗和伊朗的 Helmand 河、埃及尼罗河和约旦的约旦河冲积平原,灌溉工程包括河道整治工程和建在透水基础上的称为分水闸的引水建筑物。这些建筑物的主要作用就是抬高水位,并常年保持这一水位,增加灌溉面积。在冲积平原上建蓄水坝是不可能的,但是在河流上游山区适合建坝的地方则可以建坝。通过在平原上修建分水闸,在河系上进行蓄水调节,可以保证干旱季节灌区的用水。

冲积平原上的灌溉系统为自流系统,水流通过灌溉渠道从引水坝流到灌区。在印度河平原已经建成了流量达 $15\,000\text{ft}^3/\text{s}$ 的大型灌溉渠道,其中大部分为无衬砌渠道。如此规模的无衬砌渠道,无论对设计者还是建造者都是一个挑战。即使是在第一条无衬砌渠道设计成功 100 多年后的今天,为找到稳定的无衬砌断面,还在继续进行相关的研究。

自流灌溉系统包括渠道跌水建筑物、渡槽、渠道、渠首工程、桥梁、量水槽、排沙设施和出水口等水工建筑物。

一旦灌溉水从出水口流向田间,则灌溉和农业工程师就必须掌握灌溉方法方面的知识。灌溉方法很多,主要包括洪水控制、畦灌、沟灌、格田灌溉,如果没有能源限制的话,还包括喷灌和滴灌系统。除了需要掌握上述灌溉方法方面的知识外,还需要掌握农作物、农作物生长季节、耗水量、土壤类型、化肥和天然肥料,以及废料、土壤和农作物之间相互作用方面的知识。排水是灌溉系统中的最后一环,目的是排出作物根区多余的水分。可以使用排水明渠、瓦管排水沟或者管井来排水。管井具有双重作用:一是能够降低地下水位,二是增加灌溉供水量。印度河平原上的庞大灌溉系统灌溉效率很低,这是对灌溉科学研究提出的巨大挑战,同时也提出了灌溉研究的范围。灌溉效率低的情况也存在于埃及、印度、伊拉克等其他国家的灌溉系统中。工程师们用了 50 年的时间才能成功地在透水土壤上设计和修建安全的分水闸。以前根据不正确的基础理论修建的大多数建筑物都被冲毁了。E.W Lane 收集了大约 200 座引水坝和堰失事的案例,这些建筑物的失事原因是设计人员没有完全理解天然地基中的水流现象,并且根据错误的假设进行了设计。这仅仅是我们在灌溉工程中会遇到的许多问题的一个示例,所有这些问题只有通过合理的分

析和人类的智慧才能解决。

习题

1. 解释名词“灌溉”,并写一篇关于灌溉对环境影响的短文。
2. 巴基斯坦独立后建有哪些主要的灌溉工程?
3. 写一篇关于巴基斯坦灌溉系统发展史的短文。
4. 世界上有哪些主要河流在很早就修建了灌溉系统?
5. 简要论述无衬砌灌溉系统的利弊。
6. 比较自流灌溉和喷灌或滴灌系统。
7. 评论“印度河平原的泛灌系统被融进了许多常年灌溉系统方案中”这句话。

参 考 文 献

- [1] Keller W. The Bible as History. Hodder and Stoughton, London, 1961.
- [2] Houk I E. Irrigation Engineering. Vol. I, John Wiley and Sons, New York, 1951.
- [3] Hansen V E, Israelsen O W, Stringham G E. Irrigation Principles and Practices, 4th edition. John Wiley and Sons, New York, 1979.
- [4] West Pakistan Engineering Congress. A Hundred Years of P.W.D., Lahore, 1963.
- [5] Duryabadi A M. Translation and Commentary of Holy Quran. Vol. II, Taj Company Ltd., Karachi, 1957.
- [6] Rehman M H. Qasasul Quran. Nadwatul Mussanifeen Delhi, 1961.
- [7] Encyclopedia Britannica. Vol. XIX, 1962.
- [8] Planning Commission. The Sixth Five Year Plan. 1983~1988. Government of Pakistan, Islamabad, 1983.
- [9] Framji K K, Garg B C, Luthra S D L. Irrigation and Drainage in the World. International Commission on Irrigation & Drainage New Delhi, 3rd Edition. 1982.
- [10] Planning Commission. The Seventh Five Year Plan 1988~1993. Government of Pakistan Islamabad, 1988.

2 灌溉水资源

2.1 前 言

只有在了解了补给水源的情况下才能进行灌溉工程的建设。对有效灌溉水的正确评估是灌溉工程建设成功的前提条件。首先要评估水质和水量,然后再确定其用于灌溉的适宜性。除了农作物要求外,还要估算最大洪水流量,以保证水工设计的安全。本章对上述内容作了较为详细的介绍。虽然水文不在本书讨论范围之内,但是在本章末尾还是介绍了一些基本的水文概念和单位水文过程线法。

2.2 水资源

农业灌溉用水主要有 3 个来源,农作物区的降水、河流和蓄水池中的地表水、地下含水层中可利用的地下水。正常情况下自然降水只能维持很低水平的农业生产,在巴基斯坦半干旱的情况下更是如此。

在巴基斯坦乃至整个世界,灌溉水资源都在不断地减少。在下面的内容中将较详细地讨论巴基斯坦年水量平衡和从雨水、地表水及地下水中获取的可利用的灌溉水量,首先我们简要地看一下全球水资源情况。表 2-1 给出了全球淡水和咸水的分布情况。地球表面 70% 的面积被水覆盖,估计总水量为 $11.0 \times 10^{13} \text{ acre} \cdot \text{ft}$ ($1\,360 \times 10^6 \text{ km}^3$),其中将近 97.5% 的水为咸水(97.2% 为海洋水,0.3% 为地下水),2.5% 为淡水(0.31% 为地下水)。

表 2-1 全球淡水和咸水情况统计表

位置		水量($\times 10^6 \text{ m}^3$)	水量($\times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$)	占总水量的百分比(%)
淡水	冰川和冰盖	29.178 0	23.634×10^6	2.150 0
	地下	4.168 0	33.761×10^5	0.310 0
	土壤	0.667 0	54.027×10^4	0.005 0
	大气水	0.013 0	10.530×10^3	0.001 0
	淡水湖	0.125 0	10.125×10^4	0.009 0
	河流(平均)	0.001 2	97.20×10^2	0.000 1
	合计	34.152 2	$27.671\,87 \times 10^6$	2.475 1
咸水	合计咸水量(海洋水 + 地下水 + 湖泊水)	1 325.614 2	107.375×10^7	97.524 9
	总计	1 359.766 2	110.131×10^7	100 %

可利用淡水量的详细分解情况如图 2-1 所示。

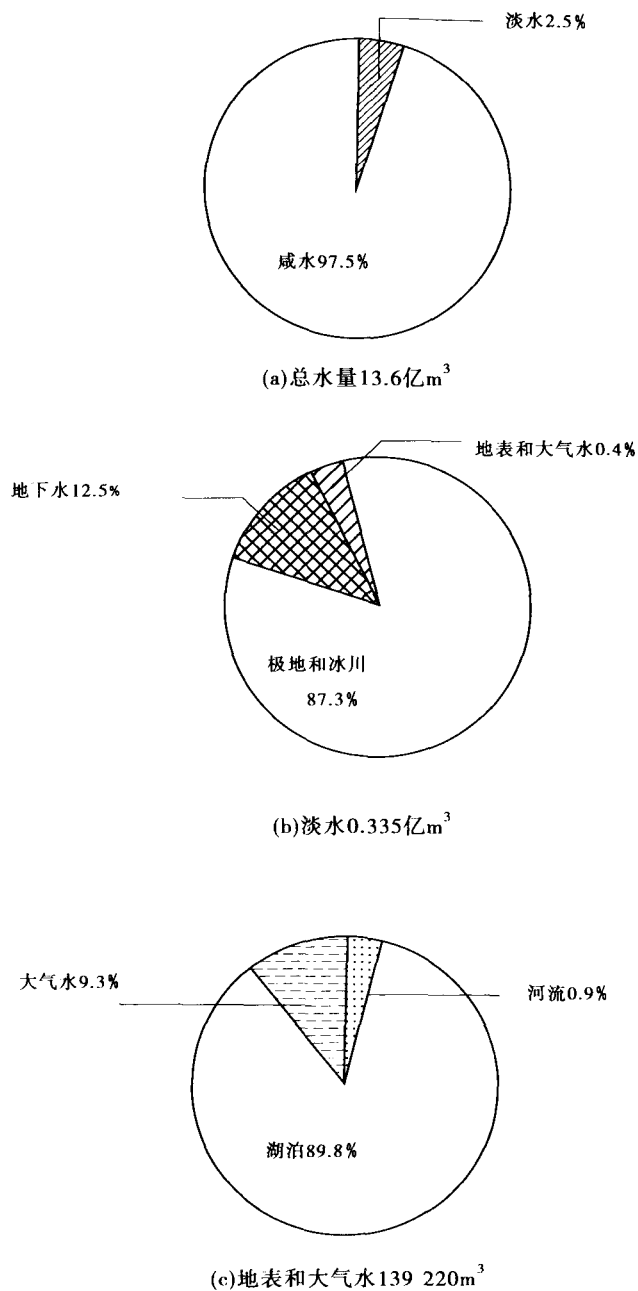


图 2-1 淡水量分解图

图 2-1 中的(c)所示为地表淡水的详细分解情况。地表水和浅层地下水都是未来人类生存的最重要的水资源,其中深层地下水是不可再生的,而地表水和浅层地下水是可再生的。

水资源的可再生部分大约为 $40\,500 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ ($50\,000 \text{ km}^3$),这一部分水常常从海洋

(86%)和陆地(14%)上蒸发,然后以降水(主要为降雨)的形式回到地球上。其中,大约有 $31\,590 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ ($390\,000 \text{ km}^3$) 落到了海洋中,而 $8\,910 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ ($110\,000 \text{ km}^3$) 则落到了陆地上。每年陆地上来自海洋的雨水量为 $3\,240 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ ($40\,000 \text{ km}^3$) ($1 \text{ km}^3 = 0.81 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$, $1 \text{ Mkm}^3 = 810\,000 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$)。

然而实际可使用的水量为 $1\,148 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft/a}$ ($14\,170 \text{ km}^3/\text{a}$),到 1972 年时,人类实际能够控制的水量只有 $2\,430 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft/a}$ ($30\,000 \text{ km}^3/\text{a}$),而其余部分要经过适当的处理,支出大量的费用使用一定的能源和先进技术才能开发使用。图 2-2 所示为目前巴基斯坦年水量平衡图。

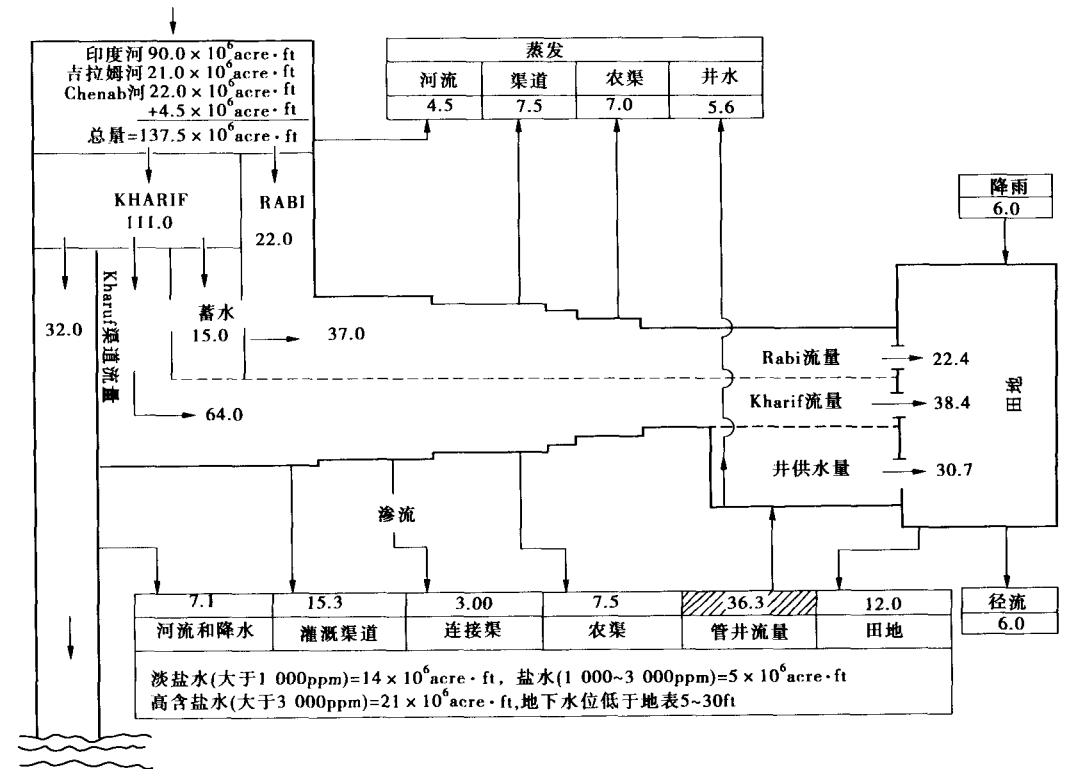


图 2-2 巴基斯坦水量平衡图

灌溉水主要有 3 个来源,即①直接降雨和融雪;②地表水(主要为河流);③地下水(淡水)。

2.3 降雨

降雨发生在农作物区可以直接用于灌溉,或者通过增加河流的径流,间接地用于灌溉。可以通过在下游修建挡水堰、分水闸或挡水坝等建筑物拦蓄径流水,或者补充地下含水层。这里我们先将注意力集中在第一点,然后再考虑第二点。适时的直接降雨对作物的生长最为有利,但不幸的是作为灌溉水源的雨水是不可靠的。降雨有年际变化,而且可能会有不降雨的情况。每一年中,甚至是同一个季节中降雨分布都不规则。特别是在巴

基斯坦,降雨常常发生在温度高、蒸发损失大的夏季,而且由于常常是暴雨,所以径流很大。虽然直接降雨有这些缺点,但它对农业发展仍然有很大的促进作用,因此无论降雨量多少,降雨都是必要的。进一步说,渠道中可利用水量最终要取决于所降雨雪量。在巴基斯坦,由于季风雨在秋季作物(4~9月)收割后并在春季作物(10月~次年3月)播种之前大约于10月/11月就结束了,所以对于那些没有渠道和完善灌溉系统的旱作物地区只能依赖降雨来促进春季作物的生长,而在渠道灌区,雨水则补充了灌溉水。

巴基斯坦年平均降雨量分布不均,在印度河下游部分地区,平均年降雨量小于4in,而在北部山麓平均年降雨量大于30in。在这些年降雨中,只有一小部分可用于灌溉或直接补给灌溉水。根据世界银行的咨询报告,这一数字在1~17in之间,其余的降雨则变成了地表径流或地下水,而还有一些则蒸发损失了。估计目前每年直接用于农作物灌溉的降雨量为 $6 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ 。

2.4 地表水

在干燥的月份,融雪给河流增加了大量的水。地表积雪所提供的蓄水量比任何人工水库的蓄水量要大得多,因为1ft积雪含有1~4in的水。降雪通常在山区很大范围内发生,这样就形成了一个地表水库。在夏季,地表水库中的水被释放出来。对灌溉工程师来说,弄清楚这么大量的水在什么时候,以多快的速度释放出来是非常重要的。在巴基斯坦,河流将北部山区的融雪和雨水输送到下游平原,灌溉那里的土地。从3月中旬~7月中旬(这时季风雨间歇),河道水流主要来自融雪;从7月中旬~9月底,雨水补充到河道水流中。

如图2-3所示,不同的河流有其各自的特点,但是所有的河流在7月或8月都会涨水。从11月~次年2月河水流量很小,大约占夏季流量的10%。巴基斯坦总的年平均河水流量为 $133 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ (1962~1982年间的平均数)。其中,大约有 $32 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ 流入大海,一些由于蒸发而损失,还有一些渗入到了地下含水层中。在巴基斯坦印度河平原上总的灌区(CCA)面积为 $39.60 \times 10^6 \text{ acre}$ 。如果要达到120%的灌溉强度就需要常年供水约 $202 \times 10^6 \text{ acre} \cdot \text{ft}$ 。很明显,即使是使用了所有的地表径流水也不能满足灌区(CCA)的用水要求。事实上,在这 $39.6 \times 10^6 \text{ acre}$ 灌区中只有 $25 \times 10^6 \text{ acre}$ 用地表水灌溉。其余部分主要位于印度河下游平原,被作为可耕种荒地。

从这些实际情况可以很明显地看出,对地表水的任何进一步开发都必须通过蓄水系统将夏季大量的河水拦蓄起来以便冬季使用。虽然在巴基斯坦建水库坝址条件相对较差,但是大坝仍然很重要。例如在印度河上的塔贝拉(Tarbela)大坝,尽管坝址条件较差,并存在问题,但还是于1975年建成了。其水库在稳定灌溉供水方面起了重大的作用。在塔贝拉(Tarbela)大坝下游100mile处拟建的Kalabagh大坝将会进一步使灌溉供水更加稳定。

2.5 地下水

地下水是仅次于降雨和地表水的重要灌溉水源。在山区,以泉水、自流井等形式出现的水源可能是当地仅有的水源。在很干燥多沙的地区也是这样,那里没有地表水,而降雨又很突然和不合时机,惟一的水源就是地下水。这些地区使用渗水廊道和地下隧洞截取