

世界大坝发展史

(中译本)



五洲传播出版社

A HISTORY OF DAMS

世界大坝发展史

(中译本)

NICHOLAS J. SCHNITTER

图书在版编目(CIP)数据

世界大坝发展史:张惠英等编译—北京:五洲传播出版社,
1999.12. ISBN 7—80113—667—5

I. 世…… II. 张…… III. ……世界大坝—发展史. IV. K.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1998)第 71650 号

出版:五洲传播出版社

印刷:廊坊东安印刷厂

发行:新华书店

开本:850×1168mm1/32

印张:7

版次:1999 年 12 月第一版,第一次印刷

印数:1—1500 册

书号:ISBN 7—80113—667—5

定价:38.00 元

序 言

高瞻远瞩寻觅着永恒与神明,将千古之谜流传至今,数千年来埃及金字塔一直被视为人类最伟大的建筑,不过,在持有刁难和世俗思想的古罗马人 S·J·弗龙蒂努斯(Sextus J·Frontinus-公元 35~104 年)的眼里,如果与他一直推崇的那些被赋予生命活力的古罗马水利工程杰作相比,这些金字塔丝毫没有实用价值。而且那些由人类历经数代建造起来的宏大战争防御性建筑物所遭受的批评和非难几乎与金字塔相提并论。这些宏伟壮观、堪称世界奇迹的建筑——其实不过是一些毫无用途的东西。有些建筑从未真正履行过它们的使命,留给后人的也许仅是一些现成的取料场。

人类建造起来的大坝却并非如此。很多大坝即使仅从规模上看就已大大超过了东西半球所建造的各类金字塔。例如 50 年前,仅建造大古力(Grand coulee)坝所使用的混凝土方量就足以建造三座基奥普斯(Cheops, 公元前 3~4 世纪埃及第四王朝法老)金字塔,德尔贝拉(Tarbela)坝的填筑方量差不多是其 56 倍之多,而且努列克(Nurek)坝和大狄克桑斯(Grand Dixence)坝的高度是其高度的两倍。与金字塔不同,在世界范围内,水坝的建造给人类带来了各种各样的效益,向总人口正在接近 60 亿的全人类注入了确实确实的活力。

建坝是为了蓄水,并根据不同用途将水输入渠道、隧道及涵管;建坝为了形成用于水力发电的水头;建坝为了保护下游平原不受洪水侵害。不过,除此之外,坝还可以提供用于水调控的有效库容,即:一方面调节天然流量间的平衡,另一方面则对通常的各种需水形式进行控制。根据水库规模的不同,这种调节功能可分为:日调节、周调节或年调节,甚至可以像圣经所描述的那样,在七个荒年中进行多年调节。国际大坝委员会(ICOLD)出版的《世界大坝登记》列出了目前全世界范围内的 36000 多座大坝。虽然这个数字已足以令人叹为观止,但如果将在该登记册上登记注册的 15 米以上的坝高标准降低 1 米,则其总数将会大幅度蹿升。在这些坝中,几乎所有均达到了预期的目标。它们可用来防汛抗旱;防止缺水造成干旱、停电、河床干涸、地下水位下降;以及防止来水过多过快,冲毁农田和家园造成毁灭性灾难。因此水库的综合效益令人叹服。

在世界范围内,水坝的主要功能是向总灌溉面积约为 270 万平方公里的土地中的绝大部分农田提供可靠的水源,依据联合国发展计划署(United Nations Development Programme)要求,为了满足今后十年内新增的 10 亿人口的粮食需求,灌溉面积的年增长率应保持在 3%。

防洪一直是世界各地建造水坝的最为重要的目的。因为在全球死于天灾的总人数中约有 40% 葬身于洪灾。许多实例表明,大型的多目标开发工程无论是著名的胡佛(Hoover)坝、田纳西流域管理局建造的大坝、还是中国近年在大江大河上已建或拟建的以防洪为主要目的的大坝,都在广袤的大地上获得了成功抵御洪水的效果。另外在其他许多实例中,防洪仅仅是造坝的次要功能。尤其对于其效益以水力发电为主的大坝来说,防洪是一种伴生性效益。

目前,世界年水力发电总量约 210 万 GWh,约占全球总耗电量的 20%,约占总能耗的 7%。即使以保守的估算,当前这种洁净且可再生的水能资源的可开发潜力至少可达现今已开发量的 6 倍以上,无疑,这对将来的开发是一种动力,而且对坝工技术的发展也是一种挑战。

水库是无数供水系统的源头,而且仍有许多水库将继续用于此目的。如今在供水方面付出的各种努力跟不上前所未有的人口增长的用水需求,在发展中国家尤为如此。那里,有许多人一直面临着严重的缺水或仍没有安全的饮用水水源。

加大河道流量以供航运、取水或改善水质、防止河床冲刷、促进旅游业与休闲娱乐业的开发、发展渔业、甚至于建立鸟类与野生动物保护区,这些都是众多大坝及水库的附加效益。

当今,在世界上由筑坝建库形成的蓄水量约为 55,000 亿立方米,其中 36,000 亿立方米水量可调节使用,这样就为全世界河川年径流增加了 25% 的稳定水量。这个数字差不多相当于现在每年 37,000 亿立方米的全球消耗性用水量,其中 68% 用于农作物灌溉,24% 用于工业,8% 用于城镇生活及小型工业。

这几个简单明了的数字表明,众多水坝与水库已经成为人类赖以生存的基础设施工程。与此同时,毫无疑问,当今世界人口令人生畏的增长速度,及其随之而来的用水量、食品及能源供应、防洪需求的增长,要求继续增加并保持蓄水量的持续稳定增长。在需要充分考虑环境与社会兼容

性的前提下,坝工建设向世界上的坝工工程师们提出了新的挑战。

面对这种挑战,我们具有的优势在于:有成熟的技术、博大的知识储备和已有的实践经验。坝工技术在其科技方面已取得了巨大成就,世界众多坝工工程师们仍在共同努力,使这门技术还在继续发展。在大量论述最新坝工技术的现状及其发展趋势的有关文献中,非常清楚地反映出这一点,这些均汇集在国际大坝委员会极为丰富的成果文献上。

不过,本书以研究过去的方式把主题移向了另一个完全不同的视角。它将向人们讲述大坝工程技术的演化过程,这个过程也正是所谓的“人类努力驾驭、控制并改造其生存环境的最主要的一个方面”(Smith, 1971)。

诚然,大约 85% 的大坝建造于 1950 年以后(自那时起,世界人口已经翻了一番多),而且大多数较古老的坝均建造于自工业革命后的 180 年间。但是坝工技术的起源却可以追溯到人类早期文明萌发之初,从诸如修造水坝和开凿运河等氏族公益性任务开始并随其发展并不断提高。

在第一次工业革命前这段坝工技术早期发展的漫长时期内,坝工技术不过处在一种完全凭经验发展的阶段,几乎未受到科学技术加速发展的影响。本书以五个层次分明的章节和大约三分之二篇幅涵盖了这一时期的不同阶段。这些章节介绍了大量很有价值的史料以及如下令人感叹的史实:

有可靠证据表明,目前所发现的最早的大坝建于 5000 年前的约旦,目的是向当时的贾瓦城供应饮用水,在亚美尼亚也许还有更早的类似工程。大约在公元前 1800 年,阿门内姆哈特三世法老(Pharao Amenemhet III)时期,埃及人修建了一座称为美利斯(Moeris)湖的水库,该水库至少运行了 3600 年,其库容后来增到了当时令人叹服的 2.75 亿立方米。与其类似,也门也建有高 20 米的马里卜(Marib)古坝。该坝建造于 2500 年前,据悉,在废弃之前它已运行了 1300 多年。至今,在一座才兴建数年但比其大得多的现代坝的下游,这座建有取水建筑物和溢洪道的坝的遗迹仍清晰可见。到了古罗马的时代,那些聪慧的工匠们——现代支墩坝、拱坝及连拱坝的建造先驱,在西班牙建造了至今仍在使用的普罗瑟派纳(Proserpina)和科尔纳勒沃(Cornalvo)两座填筑坝。

在中世纪,坝工技术的某些成就也足以令人惊叹,而且有些仅在二十世纪才被超越。比如大约在 1350 年由蒙古人在伊朗建造的 60 米高的库

里特(Kurit)拱坝;大约在1170年由僧伽罗国王在斯里兰卡督造起来的长13.6公里,填筑方量为460万立方米的波洛纳路瓦(Pollonaruwa)坝,以及大约在1570年后在中国建造的库容为130亿立方米的洪泽湖(水库)等等。一些建造年代稍接近近代的欧洲大坝也同样引人注目,如:1594年在西班牙建造的高46米的蒂维(Tibi)拱形重力坝,以及1675年建于法国的高36米的圪工心墙土坝——圣费雷奥尔(St.Ferreol)坝。

第六章涉及现代坝工技术的演化过程,占据了本书三分之一的篇幅。它介绍的仅是两个世纪中的一个时段,但正是在这个时段里,史无前例的科学技术以及势不可挡的施工机械的革新发展,诱发了一个在充荡着前所未闻的活力及投资热潮的经济环境里出现的一个令人瞠目的坝工技术发展的高潮。这个高潮循着建造各式各样的大坝的主线发展,广泛涉及了有关基础处理技术及溢洪道和泄水孔的设计思想,这些成就与那些伟大的工程师及象征着坝工技术发展里程碑的一些大坝的名字紧紧联在了一起。这些成就是一部延至今日的坝工技术发展的历史,叙述了基础理论与数理分析以及在研究方法和施工方法及其量测仪器和监测系统方面各种富有创造性的设想与不断进展。

本书最后对当今坝工技术最新现状与动向的评述,以及对其将来发展趋势的简要展望,正好弥补了人们早有所憾的有关文献的一个空白。的确,在这个领域中有许多专门的历史性著作,对有关时代、文明史、国家、地区、甚至各大洲的情况进行了研究。无可置疑,这些著作向本书作者提供了全面的必不可少的著书基础及很有价值的资料素材。但据本人所知,迄今为止,还没有一部完整阐述全球坝工技术发展史的著作。

本书作者填补了这一空白。作为国际上受人尊敬的成功建筑承包商、工程专家、大学教授及前国际大坝委员会副主席耶盖罗尔蒂·施尼特尔(Dr. h. c. Gerold Schnitter, 1900 ~ 1987)先生之子,本书作者N·J·施尼特尔(生于1927年)是在充满着坝工技术氛围的环境中成长起来的,他在苏黎世的瑞士联邦技术学院修完土木工程专业后即投身于坝工建设领域达36年之久。在一个很长的时期里,他一直作为一名高级管理者就职于瑞士巴登的莫托尔·哥伦布顾问工程师公司(Motor Columbus Consulting Engineers Ltd.)。他曾在一些大型工程的建设上发挥过重要作用,包括一些很高的拱坝,如瑞士的采夫赖拉(Zervreila)坝和埃莫松(Emosson)坝以及洪都

拉斯的埃尔卡洪 (El Cajon) 坝。作为一名工程专家, N·J 施尼特尔先生对历史也表现出了极其浓厚的兴趣, 并且借助于工作旅行的便利, 将这种兴趣完善升华至一种业余爱好。正是这种爱好使其知识更加渊博, 在长期积累的基础上, 终于完成这一专著。

大坝 5000 年的发展历程犹如一根编织出绚丽多彩大坝工程史的丝线, 使本书超出狭窄的专业范围, 吸引大量读者一睹为快。坝工工程师们也会由衷地感谢来自他们自己行列里的 N·J 施尼特尔先生为他们自己从事的技术与科学工作编撰出了这样一部精彩的史书。

国际大坝委员会主席
沃尔夫冈·皮尔切尔
(Dr. h. c Wolfgang Pircher)

目 录

序言	(1)
第一章 古代文明	
1.1 尼罗河流域	(1)
1.2 希腊	(4)
1.3 土耳其	(10)
1.4 伊拉克	(13)
1.5 西南亚沙漠	(15)
1.6 斯里兰卡	(26)
1.7 中国	(34)
1.8 哥伦布以前的中美洲	(37)
1.9 结语	(43)
第二章 罗马帝国	
2.1 概况	(47)
2.2 西部行省	(50)
2.3 北非	(58)
2.4 东部各行省	(61)
第三章 穆斯林世界	
3.1 阿拉伯半岛	(69)
3.2 西班牙东南部	(70)
3.3 西南亚	(72)
第四章 中世纪的东亚	
4.1 斯里兰卡	(81)
4.2 南印度	(82)
4.3 柬埔寨	(87)
4.4 中国	(88)
4.5 日本	(92)

第五章 中世纪与中世纪后的欧洲

5.1 动力用坝	(93)
5.2 鱼池	(106)
5.3 灌溉用坝	(109)
5.4 供水用坝	(116)
5.5 园林用坝	(120)
5.6 航运用坝	(122)
5.7 人造洪水及滞洪坝	(126)
5.8 欧洲技术向殖民地传播	(129)
5.9 结语	(134)

第六章 现代坝工技术的演变

6.1 填筑坝	(139)
6.2 重力坝	(152)
6.3 支墩坝	(160)
6.4 拱坝	(171)
6.5 基础处理	(184)
6.6 溢洪道	(188)
6.7 泄水孔	(198)

第七章 结论

7.1 现状与动向	(203)
7.2 展望	(206)

大坝发展史年表	(209)
---------------	-------

后记	(213)
----------	-------

第一章

古代文明

1.1 尼罗河流域

有史学之父称誉的希罗多德(Herodotos, 公元前 484 年—425 年)曾说过:尼罗河是大自然对埃及的一种馈赠(希罗多德)。事实上,仅是尼罗河每年 8~11 月的洪水就往往能使该地区的沙漠变为耕地(开罗年均降水量为 20 毫米)。

第一座水利工程

大约从公元前 5000 年至公元前 3000 年,农业耕作是在没有专门的灌溉系统下进行的。目前可以证明的灌溉工程最早出现于公元前 3100 年前后,但不包括大型引水堰或坝。

柯沙斯堤

尽管希罗多德曾提到过第一个王朝的缔造者—那摩(Nammer)(在希腊称为美尼斯(Menes)王,大约公元前 2900 年)曾在开罗以南 20 公里处的门菲斯(Memphis)首府附近的科舍伊施(Kosheish)修建了一座引水坝(希罗多德),但它更象是把尼罗河水引向东边以保护该城市免遭洪灾的一座导流堤。

1.1.1 萨德—卡法拉(Sadd-el-Kafara)坝

世界上的第一座大坝

用现代的眼光来看,在一百多年前才发现了位于孟菲斯对面加赖维(Garawi)河谷上的一座真正的挡水坝遗址。1982 年对该遗址进行了全面勘查(Garbrecht, 1985)。该坝建于公元前约 2600 年,即金字塔时代的初期。而且,其 14 米的坝高和 113 米的坝顶长度在当时已相当可观,时至今日它是世界上具有如此规模的最古老的水坝。其 50 万立方米库容拦蓄了峡谷中稀有但猛烈的洪水。可能由于缺乏经验,该坝坝体横断面设计过大,两个堆石外壳之间填筑的粉砂和砾石防渗心墙设计尤为如此(见

图 1),从而使坝体填筑体积高达 8.7 万立方米,建设工期长约 8 至 10 年。仅坝体上下游坝面使用的 17000 块护坡砌石(每块重 300 公斤)的加工制作和精心铺砌就非常耗费时间。

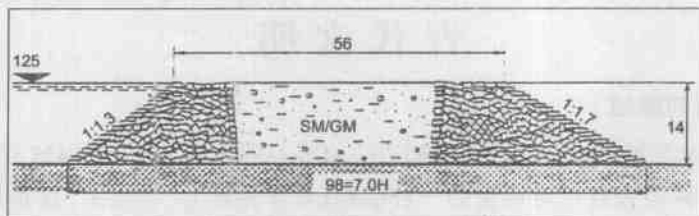


图 1 卡法拉坝的横剖面(Garbrecht 1985 年)

由于在如此长的工期内没有任何明渠或隧洞导流,因而大坝很可能在施工期被一次本打算加以控制的突发洪水完全冲毁,且失事的后果必然非常严重,以至埃及的工程师们在其后的大约八个世纪中没有建造任何大坝。

1.1.2 塞姆纳(Semna)和马拉(Mala'a)坝

公元前 19 世纪的美利斯坝

据报道,国王阿门内姆哈特三世(Amenemhet III)(在希腊,称为美利斯[Moeris]王,公元前 1842 年—1798/1795 年)曾下旨在开罗以南 950 公里塞姆纳(苏丹)附近的尼罗河上筑坝,以解决途经尼罗河上第二大急流时的航运困难。但现在人们对这座建筑物几乎一无所知(Vercoutter, 1980)。许多研究都致力于开罗以南 90 公里法尤姆(Faiyum)洼地的美利斯人工湖上了,这是公元前约 445 年希罗多德曾游览过的地方(希罗多德)。1988 年人们曾对希罗多德的报告及所有以后的报道进行了全面调查研究并作了广泛的现场勘查,这些工作为现今的推算奠定了基础(Garbrecht, 1990)。

法尤姆大型水库

美利斯湖是一灌溉系统的组成部分,该系统是重新将尼罗河 340 公里长的支流优素福河(Yuser)与法尤姆洼地相连而形成(见图 2)。水库座落在该洼地东南角,该坝的遗迹至今仍清晰可见。然而,这些遗迹却不能追溯到美利斯时代。它们更可能属于古埃及托勒密王朝(Ptolemaic——公

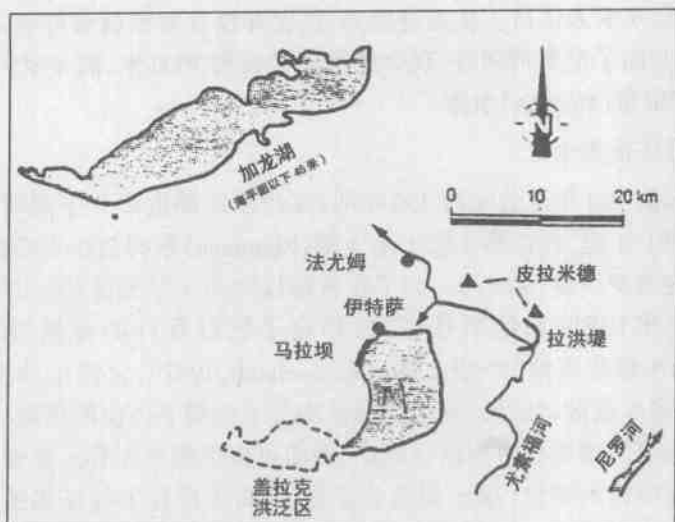


图 2 马拉(Mala)坝和拉洪(Lahun)堤坝位置图(Garbrecht, 1990)

元前三世纪)时代及其后来重建的产物。这座坝坝长 8000 多米,坝高达 7 米。它的结构和后来罗马工程师们经常采用的结构一样,由垂直圉工挡水墙、下游侧支墩、和(或)填筑体支墩构成。

公元前三世纪的重建

公元前三世纪,经过重建,马拉水库库容增至约 2.75 亿立方米。尼罗河汛期超量的来水可被溢入西部的盖拉克(Gharq)洼地。库内存水在来年之初可通过两个多级泄水孔灌溉二茬作物,而且在泄空了的库区仍可耕种。尽管在这座坝的最高部位有几处缺损,但马拉水库却一直运行到公元 18 世纪末,整整运行了 2000 多年,如果从美利斯时代算起,其历史就长达 3600 年,这的确堪称世界之最!

拉洪调节堤

尽管马拉水库的来水在法尤姆东南 5 公里处的尤素福支流上由导流堤来控制,但在公元前 1 世纪之前,在拉洪以东约 11 公里处还设置了另外一座调节建筑物,以便控制流入法尤姆洼地的总水量(图 2)。尽管从一开始,该建筑物就构成了抵御尼罗河洪水的部分堤防,但这种作用直到

公元 11 世纪才引人注目。从遗迹看来,该堤并没有遵循最短可能定线原则布置,却凸向了尼罗河河谷,现今测得该堤长约 5000 米,高 4 米。

1.1.3 麦罗伊蒂(Meroitic)水库

库什(Kush)降雨集水区

从公元前 920 年至公元约 350 年间,苏丹东北部由库什王国所统治,自公元前 591 年起,其首都位于喀土穆(Khartoum)东约 200 公里处的尼罗河畔上的麦罗埃城(Meroe)。为了在首都以南半干旱地区(平均年降水量约 150 毫米)开辟新的居住区,曾修建了数以百计的称做“哈菲尔(Hafirs)”的小型蓄水池(小型水库)(Kleinschroth, 1987),它们由填筑围堤构成,呈马蹄形或敞口圆形,其敞口部分均位于山脚下以便汇集顺山而下的径流。围堤的填筑材料均取自池底,因而可提供额外库容。然而,这也意味着只要用提水装置(现已知道公元前 1340 年就有了杠杆式提水斗,而在公元前 250 年就有了螺旋式、链斗式及水车等提水设备)就可取用地下水。那些地表以上的水则可直接通过围堤上的临时缺口流出,当蓄水池泄空后,即把该缺口堵复。

许多这样的哈菲尔水池均具相当规模,有几座围堤顶部的直径可达 250 米,其中最大的也是最为古老的一座(公元前 300 年—公元前 250 年)座落在地处喀土穆省东北 130 公里处的穆萨瓦拉特·埃斯·苏弗拉(Musawwarat es sufra)(图 3),其围堤长 800 米,高 15 米,上下游边坡坡度为 1:2 (垂直:水平),池底开挖深度也为 15 米,且向池底中心的开挖坡度为 1:6,开挖方量接近 25 万立方米,而蓄水量则可达 50 万立方米以上。堤顶设有几处无控制的溢水口集中下泄超标来水。尽管在围堤的所有坡面上均铺有一层石料保护层,但不久还是发生了相当严重的冲蚀。即使如此,这座水池在麦罗伊蒂统治时期也运行了近 600 年,随后在公元 600 年至 1500 年间,又运行了 900 年。在第二个运行时期,在围堤底部修建了一条长 60 米,高 1.0 米的泄水隧洞,洞壁为干砌石,洞顶盖有大块石板。

1.2 希腊

希腊的最早期文明,即古希腊后期的迈锡尼英雄们创造的文明,在水利工程方面也曾辉煌一时(Schnitter, 1984)。据说雅典建筑师——戴达勒

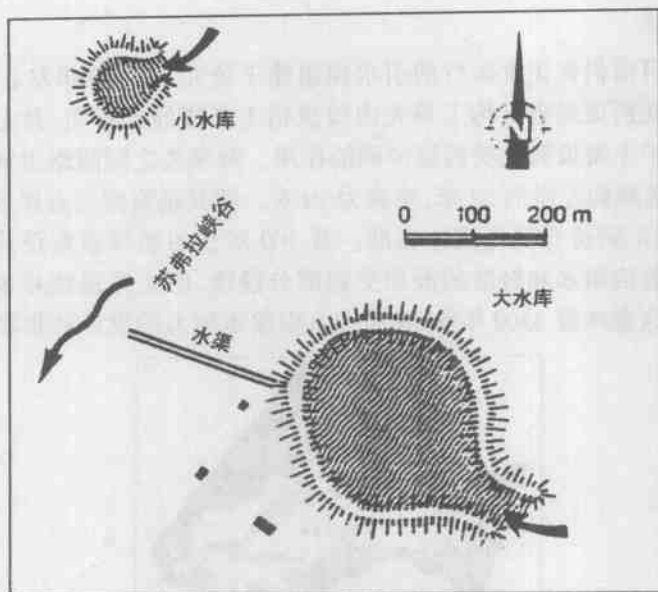


图3 在穆萨瓦拉(Musawwarat)处麦罗伊蒂(Meroitic)水库的平面图(Kleinschroth, 1937年)

斯(Daedalus, 公元前1500年左右)曾在克里特(Crete)岛上建造了著名的迷宫,他从该岛逃走以后,又在意大利的西西里岛修建了一座坝,他那活泼可爱的儿子艾卡卢斯为此付出了生命。

1.2.1 科菲尼(Kofini)引水坝

赫尔克里斯(Herakles)时期的河道引水

另一位古代英雄赫尔克里斯,(公元前1300年左右)是伯罗奔尼撒(Peloponnesus)地区梯林斯(Tiryns)国被废国王的儿子。传说邻国迈锡尼国新国王曾令他必须完成十二项著名的苦役,其中第五项便是清洗奥吉亚斯(Augeas)国王的牛棚。他引河水至牛棚成功地完成了这项清洗工作。但河道分流工程实际建在梯林斯以东4公里处,以保护该城免遭拉基萨(Lakissa)河洪水的袭击。在分流工程末端沿东南方向挖了一条3公里长的渠道。在老河道上筑坝以后,河水可导向该渠。在该渠渠尾以下,拉基萨河形成了新的河道,河水在城市安全距离以外从该城南面流过。

引水坝详述

这座目前仍在正常运行的引水坝始建于公元前 1260 年左右(图 5),它是一座在两道低砌石圪工坝壳内填筑粘土形成的土石坝,其上游坝壳还起着保护上游坡脚免受河流冲刷的作用。两坝壳之间间距由河谷右岸的 103 米递减到左岸的 57 米,坝高为 10 米。就其基宽而言右岸设计过于保守,而左岸则符合现代设计标准。其 100 米长的坝顶顶宽设计也是如此。坝顶曾因雨水和轻度的漫顶受到部分侵蚀,但这类侵蚀并未引发严重事故。这意味着 3300 年前,这条引水渠输水能力的设计就非常正确!



图 4 希腊古坝址位置示意图

1.2.2 迈锡尼人(Mycenean)建造的防洪和灌溉用坝

巧妙地开发利用渍涝谷地

伯罗奔尼撒半岛中部和雅典(Athens)西北部地区有几条河谷,它们仅靠其石灰质地层内的天然通道排水。因此,从每年十月雨季之初直到下一年的耕种期开始,这些河谷一直处于渍涝状态。作为一种改良治理措施,迈锡尼人通过筑坝将这些河谷分隔成了几段。全部或大部分地下出水口(有时出水口是由人工进行扩大而成的)所在的那段河谷用于耕种,而且为迅速排水配有相应的排水沟。而河谷的其它部分,则用于贮蓄雨

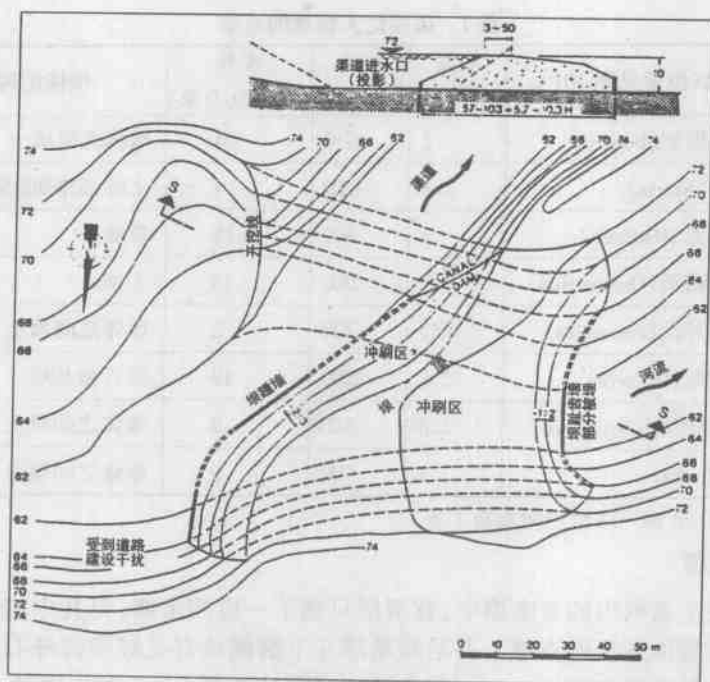


图5 在伯罗奔尼撒岛的科菲尼(Kofini)引水坝的平面布置图及剖面图(地形图由 Jantzon 提供, 1975)

水和溶雪径流,供旱季灌溉之用。最近人们查阅了自波斯尼亚斯(Pausanias 公元2世纪)时期的所有旅行家的游记,还进行了广泛的现场查勘,发现迈锡尼人曾修建了八座水库(见表1)(Knauss, 1990)。

迈锡尼人所筑大坝的结构

所有这些水库的坝都不高,且大多数既长又宽,有半数坝是用两边砌筑石墙中间填土的方式建成的,墙宽与墙高几乎相同。这些墙体外用巨型石块加以衬砌,而在内部,则是用粘土灰浆做成的毛石圬工。这样,即使墙体沉入坚硬的湖床,也不会透水(坝基通常建在湖床上)。此外,在坝基与墙体之间还铺了一层粘土砾石层。墙体间的填土厚度约为坝高的2至3倍。