



北方平原地区调水工程 施工防渗技术

张余涛 田海军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

北方平原地区调水工程 施工防渗技术

张余涛 田海军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书对我国北方平原水库、河堤护岸等工程存在的护坡冻胀、冰压力、风浪作用破坏问题及各类平原调水工程防渗技术进行了详细阐述。

本书可供广大水利水电工程施工、设计、科研及管理人员参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

北方平原地区调水工程施工防渗技术 / 张余涛, 田海军编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 6
ISBN 978-7-5170-4413-0

I. ①北… II. ①张… ②田… III. ①平原—调水工程—渗流控制—中国 IV. ①TV223.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第130911号

书 名	北方平原地区调水工程施工防渗技术
作 者	张余涛 田海军 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 3.5印张 70千字
版 次	2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷
定 价	18.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《北方平原地区调水工程施工防渗技术》

编委会

主 编	张余涛	田海军	
副 主 编	傅 裕	张英姿	梁发彪
参编人员	张余涛	田海军	傅 裕
	张英姿	梁发彪	张满利
	于瑞涛	李文龙	刘 洁
	贾玉玲	冯 春	刘忠良
	孟耀峰		

南水北调工程是举世瞩目的一项特大型跨流域调水工程，是我国优化水资源配置，解决黄淮海平原、胶东地区和黄河上游地区特别是华北地区缺水问题的一项可持续发展战略性举措，对保证和促进北方地区经济发展、环境改善和社会稳定都具有十分重要的意义。

河北省南水北调中线配套工程共计安排调蓄工程 29 座。其中规模较大（5000 万 m^3 以上）的 3 座，较小的 26 座；调蓄工程规划总库容近期 37950 万 m^3 ，远期 70650 万 m^3 ，围堤总长度达 130km。这些调蓄工程多坐落在低洼沼泽或滨海缺少砂石料的受水区，基础条件差，需研究解决利用当地粉细砂质土料筑堤技术，坝体、坝基防渗漏措施及解决风浪、冰胀情况下的围堤护坡设计问题。

应用粉细砂质土料筑堤技术可以开发利用北方平原地区富有且不适合筑堤的土料资源。结合海滨大道拆建海挡工程、骨干河道治理及海堤工程建设对各类护坡型式进行分析比较，总结分析适宜的护坡型式，以解决寒冷条件下风浪、冰胀情况下的围堤护坡设计问题。

本书对北方平原水库的基本特征及主要技术问题进行了详尽阐述，结合大洼三角洲平原对高含水率土料筑

堤技术及针对我国北方多数平原水库、河堤护岸等工程存在的护坡受冻胀、冰压力、风浪作用破坏问题，进行了分析，提出了修复措施和解决方案。

限于作者的水平有限，书中欠妥或谬误之处敬请读者批评指正。

作者

2016 年 4 月

前言

第1章 概述	1
1.1 我国平原水库存在的问题	2
1.2 平原水库的基本特征	4
1.3 平原水库基本特性及主要技术	5
1.4 背景及意义	10
第2章 高含水率土料筑堤技术	12
2.1 工程地质	12
2.2 土坝断面	14
2.3 坝体渗流分析及稳定计算	18
2.4 土坝填筑及土坝软基处理	20
第3章 调蓄池围堤护坡工程技术	41
3.1 围堤护坡防渗原则	41
3.2 围堤护坡防冻问题	41
3.3 围堤护坡型式	46
第4章 平原调水工程防渗技术	53
4.1 围堤防渗原则	53

4.2	水平防渗	54
4.3	垂直防渗	59
4.4	土工膜防渗	86
4.5	下排导渗技术	96
第5章 结论		99
参考文献		100

我国平原地区水库大多修建于 20 世纪 50—60 年代，一般为就地取材筑坝，坝型以均质土坝居多，坝高较低。由于历史原因，大坝填筑质量普遍较差。有的坝基处理不彻底，甚至未清基，直接在河床上填土筑坝。坝基存在深厚砂砾石层渗水通道。坝体裂缝、沉陷，坝基渗漏现象十分普遍。汛期高水位时，大坝下游地面极易产生渗、水、管涌险情，危及水库安全运行。随着混凝土防渗墙施工工具和工艺技术的不断发展和完善，将混凝土防渗墙技术应用于土坝防渗加固，已成为平原区水库大坝防渗加固的一项重要措施。

根据地质勘探资料分析，平原区均质土坝坝体普遍存在上坝土料选择要求不严格、筑坝土料分区不明显、碾压不充分、填筑质量差的问题。抽样检查结果表明，干密度小于 1.5t/m^3 的土样占总数的 60% 以上，同时坝基相对不透水层或透水系数较小的土层一般埋藏深度为 5~20m。为节约材料、降低成本，平原地区土坝混凝土防渗墙可以做得薄一些，受造孔机具限制，参考国内工程经验，平原区土坝混凝土防渗墙墙体厚度一般确定为 0.20~0.80m。

防渗墙施工过程中，造孔质量是保证防渗墙质量的

首要环节。同时,在防渗墙施工过程中,造孔时间占总工期的 $2/3$ 以上,是制约工期的关键环节。施工中应采取预防偏孔措施,有效地防止或减少偏孔,使孔斜控制在允许范围内。保证混凝土防渗墙施工质量和速度的关键在于开槽的连续性、浇筑的及时性。要把泥浆固壁作为一个重要的施工环节去对待。否则,一旦出现塌孔,将导致施工中断,而断开段的处理相当困难。因此,各工序必须严格按规定进行操作,控制进度和质量。同时加强机械设备的维修养护,保证完好率,确保混凝土防渗墙连续作业,达到保证混凝土防渗墙施工质量的目的。

实践表明,混凝土防渗墙技术应用于平原地区大坝除险加固工程,可有效解决坝体、坝基渗漏问题,且具有施工速度快、工程造价低、防渗效果好、可靠性高等特点,是水库大坝防渗加固较好的措施。随着混凝土防渗墙技术的迅速发展、施工机具的不断创新和完善、经济效益的不断提高,其用途将日益广泛。

1.1 我国平原水库存在的问题

洪泽湖是淮河中下游巨型平原水库,我国五大淡水湖之一,位于江苏省淮安市西南部,水库总库容 135 亿 m^3 ,正常蓄水位 13.0 m ,汛限水位 12.5 m ,滨湖圩区破圩蓄洪水位 14.5 m 。目前洪泽湖的防洪标准仅达 $40 \sim 50$ 年一遇,相当于 1954 年型洪水。洪泽湖及其周边圩区对淮河下游洪水起着重要的蓄洪调洪作用。经过 50

1.1 我国平原水库存在的问题

年的整修加固,洪泽湖大堤现状为:设计洪水位 16.0m,校核洪水位 17.0m,大堤堤顶高程 18.00~19.70m,顶宽为 8m,边坡为 1:2~1:5。整个大堤北起淮阴县码头镇,南至盱眙县张大庄,全长 67.25km,其中二河闸以北 27km,二河闸以南 40.25km。洪泽湖大堤全线标准不一,大堤局部堤段堤身单薄、不密实,渗水、漏水,存在险工段;西顺河、高涧段存在堤坡冲刷、护坡损毁现象;整个大堤码头镇段尚有 0.9km 未封闭;迎湖面防浪设施不全,现有的老石工墙仍存在错牙、臃肚、裂缝现象;张福河船闸等 8 座小型建筑物未加固。

山东省平原水库多位于黄河冲积平原,坝基一般为透水性较强的粉砂壤土和砂壤土,相对隔水层埋深大,坝型一般采用均质土坝,坝体、坝基的透水性较大,因此,整个水库的渗漏量较大。据不完全统计,未采取防渗措施的平原水库,年渗漏量约占调蓄库容的 20%~30%。从已建平原水库的运行情况看,这类水库较为普遍地存在着渗漏问题,有的坝后还出现了诸如砂沸、泉涌等渗透变形现象。因此一般采用上游坝面铺设复合土工膜和坝基垂直防渗措施进行防渗漏处理。

吉林省太平池水库,库容 2.0 亿 m^3 ,主坝长 3.2km,主要以防洪为主,保护农田 1.46 万 hm^2 ,灌溉 0.11 万 hm^2 ,于 1943 年修建,1958 年重建。筑坝土质为砂壤土,坝高 6.0m 左右。该地区冻深 1.5m,冰厚 0.8~1.1m,最低气温 -32°C ,冰压力 343kPa,水库重建后护坡多次翻修,曾采用阶梯式护坡模型,其

干砌石护坡厚度为 30cm，下设碎石垫层 40cm，基础为钢筋混凝土梁 30cm×80cm，于 1987 年重建。

护坡存在的问题具体表现为：

(1) 库面的冰体和护坡石冻结在一起，开化时或水库冰面发生塌落时，将块石拽出带走。

(2) 冰面上 2~3m 范围内隆起、出现裂缝，将冰体推移造成整体性破坏。上述两种情况如得不到及时修复，待开化后，在风浪作用下，土坝土体即会被淘刷，块石脱落，从而造成护坡大面积破坏，每年维修工程量很大，年年修，年年损坏。后期采用方条石护坡，其条石尺寸为 40cm×40cm×40cm，下设 40cm 砂石垫层，换填厚度为冻深的 53%，于 1986 年修建。该结构在冰推、冻胀、风浪的综合作用下有较好的抵抗能力，曾经冰壅 20~30m 没有出现问题，在冬季水位变化区没有出现凸起、剥蚀、淘刷等破坏现象，这是一种较好的防护型式，但造价很高。

1.2 平原水库的基本特征

通常所讲的水库是指在河道、山区、低洼地有水源或可以从另一河道（渠）引入水源的地方修建的挡水坝（闸）或堤堰而形成的蓄水场所；或在有隔水条件的地下透水层修建截水墙而形成的蓄水场所；或蓄水主要靠地表水下的岩隙或空间，则称地下水库。平原水库是相对山丘区水库而言的，其一般位于大江、大河下游冲积平原地区，如我国松嫩平原、辽河平原，黄河、淮河、

1.3 平原水库基本特性及主要技术

海河下游平原及内蒙古、新疆等地区就修筑有大量平原水库。这类地区地质的普遍特点是表层为黏土或亚黏土，下部为砂土。由于这些地区距离海岸较近，大部分为低洼易涝盐碱地。因地理位置、气候、区域地质等影响，平原水库相对于山丘区水库有其独有的特征。

由于没有有利的地形条件可以利用，所以需要修筑一个封闭的土坝，坝轴线多为圆形、椭圆形或折线形。同时，由于坝线较长，占地面积大，水面吹程长而造成的风浪爬坡引起的越浪问题难以解决，因而一般坝高为2~8m，超过10m坝高的平原水库工程很少见。平原水库大多坐落在滨海或低洼沼泽且缺少砂石料的地区，所修筑的土坝一般为均质土坝，迎水坡坡比一般为1:2.5~1:3.0，土坝断面较大。平原地区表层的黏土及亚黏土较薄，下部一般为渗透系数较大的粉细砂，其物理力学性能指标不满足筑坝要求，远距离取土花费很大。同时，由于基础存在的渗漏问题也不能把坝筑的很高，而且还要防止周围地区次生盐渍化。

1.3 平原水库基本特性及主要技术

1.3.1 筑坝材料的选择

平原水库一般为均质土坝，土料选用当地黏土或粉质黏土，但由于平原水库土坝设计断面较大，还需用大量的外运土。往往水库库区表层黏土或粉质黏土厚度较薄，下部为渗透系数较大的粉细砂，厚度较厚，因而上

部的黏土不能全部取走，否则粉细砂出露，水库易出现较为严重的渗漏问题。天然土壤是既复杂而又多种多样的材料，在大体积筑坝中，首选的是分布广且价格低廉的当地土料。但是，某些地方的土料全部或部分不符合筑坝的要求也是常见的。因此，设计者的责任在于针对坝址附近的土石料的性质进行合理设计，根据其特点可置于坝体的不同部位，必要时，也可采取一些工程措施，来解决某些方面的不足。也可以通过多种途径来改变土壤的性质，包括化学的、热力学的、机械的和其他的办法。但必须认识到每一种方法只能适用于某些种类的土壤。

许多工程根据其土料的实际情况，由过去采用纯细粒土做防渗料，走向以砾石土或软岩风化料做防渗料。一般来说用粉细砂修筑均质土坝，其渗透系数指标不满足工程渗漏稳定的要求，但是采用一些工程措施是可以达到设计要求的。粉细砂内摩擦角为 30° 左右，高于一般的黏性土，关键是如何提高其黏聚力。国外通过一些工程措施，对砂土进行改性后，甚至可以作为心墙土石坝的防渗心墙。如德国拜恩州东北部菲尔兹河上的1号心墙坝，坝高 31.6m，因菲尔兹坝区土料缺乏，心墙土料只能用基岩风化而成的残积粉砂（细颗粒含量较少，渗透系数为 1×10^{-4} cm/s）。粉砂作为防渗体渗透系数偏大，抗冲刷能力不强，即使心墙所承受的水力梯度不大，心墙两侧也要设置较厚的反滤层。但因土料不足，心墙只能采用较薄的断面，而且坝区附近反滤料也不足。总之，由于坝区附近的天然土石料不能满足坝体抗渗要求，

为加强心墙的防渗能力，而采用了水泥土心墙。

针对无黏性筑坝需要很缓的下游坝坡这一点，国内外也有许多专家对粉细砂土进行改性研究，上述的掺加水泥是一种方法，其他有掺加黏土、粉煤灰、石灰等。无论采用何种方法，都是弥补粉细砂料中粉粒组和黏粒组不足的问题，从而提高粉细砂的黏聚力。

1.3.2 防渗技术

水库渗漏不仅直接影响水库的正常运行，严重的将危及水库土坝的安全。由于平原水库位于江河中下游冲积平原，表层为黏土或亚黏土，厚度较薄，下部为粉细砂，渗透较大，厚度较厚。因此，平原水库易出现渗漏问题。解决平原水库渗漏问题，必须采取工程措施。一般说来，平原水库所在地区，不透水地基埋深较深，如采用封闭防渗工程措施造价高、施工难度大。一个较为有效的措施是采用增加渗径的方法，如采用高压喷射灌浆、垂直铺塑防渗、射水法地下连续墙等技术。

1.3.2.1 高压喷射灌浆

高压喷射灌浆技术是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一项地基处理技术，它可以加固软土地基，建造地下连续墙以达到防渗的目的。它是利用工程钻机造孔，将高压喷射灌浆管置于预计的地基加固深度，然后使浆管按设计要求慢慢上升或边升边转。管下端的高压水细流射流，对地下土层进行切割。与此同时，预先配制好的浆液，由喷浆嘴喷出，使被扰动的土体与浆液混合，凝聚固结。这种凝结的混合物被称为固结体。每孔所喷射

成的固结体的形状，可以是板状或圆柱状。每个孔的固结体相交，便形成地下连续墙。固结体的强度可达 $1 \sim 12 \text{ MPa}$ ，渗透系数可达 $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ，是理想的承载体或防渗体。高压喷射灌浆技术适用于平原水库地下渗流流速较低的情况，若水库蓄水后，水库渗流流速较大，用此方法进行防渗加固施工，其难度较大。这项技术在巴楚县小海子水库进水口工程、小海子水库除险加固工程、伽师县布哈拉枢纽水毁加固工程以及巴楚县民生渠渠首水毁工程中得到了应用。

1.3.2.2 垂直铺塑防渗

垂直铺塑技术（见图 1.1）主要是采用开沟造槽设备构筑地下连续沟槽，将防渗土工膜垂直铺入槽内形成连续或封闭的防渗结构，用以防止地基及水工建筑物产生流土、管涌等渗透破坏的一种施工技术。其具有应用前景广阔、防渗效果好、施工速度快、操作简便易行、造价低廉等优点。20 世纪 80 年代末 90 年代初，我国部分省市对该技术在水利工程上的应用都先后开展了一

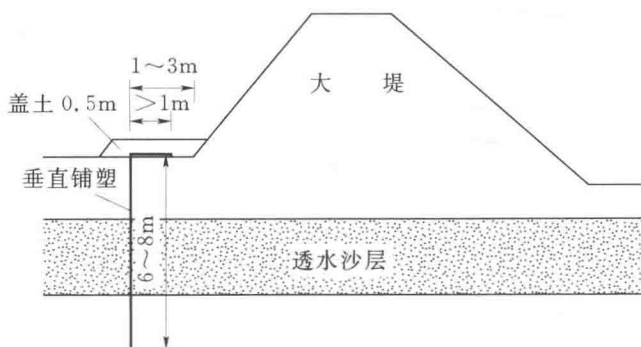


图 1.1 垂直铺塑示意图

些研究,研制并开发出各种形式的开沟造槽设备,如锯槽机、链条机、射水开槽机等,其工作方式有旋转式、往复式和压力式等。

国内许多平原水库进行了垂直铺塑防渗,如辽宁省的友邻水库、东风水库,山东省的青年水库、孤山水库、东邻水库,新疆维吾尔自治区的红旗水库等。

1.3.2.3 射水法地下连续墙技术

射水法建造地下连续墙技术是利用密集的高速水流将土石颗粒带出地面,并依靠一个特制的成型造孔装置将高速水射流冲积地基土壤,将其破碎成为悬浮的土块或颗粒后,依靠快速流动的水流将其带出地面,同时,一个特制的成型造孔装置将被高速水射流形成的不规则的孔洞切成所需要的形状,在所切成的孔洞中灌入事先配制好的防渗材料,如此一个个孔洞相互连接便成为连续地下防渗墙。

1.3.3 土坝护坡技术

我国北方地区的平原水库存在着土坝护坡受风浪、冰压力、冻胀作用破坏的问题。由于平原水库水面大、风速大、吹程长,风浪是造成护坡大面积破坏的直接原因;冰压力将护坡推移造成局面破坏是造成风浪作用下大面积破坏的先导;坝体的不均匀冻胀加剧了冰压力和风浪对护坡的破坏作用。据资料介绍,块石(干砌石或抛石)是最理想的护坡材料,在严寒地区护砌厚度一般应达到 $0.70\sim 0.95\text{m}$ 才能保证土坝护坡不遭到冰推破坏,如采用混凝土板,其厚度小于 0.2m 就难抵住