

防 淘 墙 工 程

FANGTAOQIANG GONGCHENG

◎赵献勇 饶和平 主编

世 界 面 板 第 一 坝 葛 洲 坝 人 展 雄 风

湖北科学技术出版社

防淘墙工程

主 编	赵献勇	饶和平			
副 主 编	宋玉才	焦家训	柳新根	蒯圣堂	胡卫东
主 审	余开云	付湘宁	谭界雄	肖爱民	
编撰人员	胡卫东	柳新根	梁 敏	汪四元	蒯圣堂
	张玉莉	赵献勇	张 沙	朱 红	李静希
	黎 刚	徐德辉	秦兆梅		

湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

防淘墙工程 / 赵献勇, 饶和平主编. — 武汉: 湖北科学技术出版社, 2009.1

ISBN 978-7-5352-4000-2

I. 防… II. ①赵…②饶… III. 护岸—墙 IV. U656.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 212229 号

责任编辑: 李海宁	责任校对: 蒋 静
	封面设计: 喻 杨
出版发行: 湖北科学技术出版社	电话: 027-87679468
地 址: 武汉市雄楚大街 268 号	邮编: 430070
(湖北出版文化城 B 座 12-13 层)	
网 址: http://www.hbstp.com.cn	
印 刷: 石首市印刷一厂	邮编: 434400
787 × 1092 1/16	10.25 印张 256 千字
2009 年 1 月第 1 版	2009 年 1 月第 1 次印刷
印数 1—1 000	定价: 28.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

内 容 提 要

防淘墙作为一种防冲设施,可广泛应用于水利水电工程的溢流坝、水闸、护岸工程以及桥梁基础等工程。本书较详细地阐述了防淘墙的基本概念、设计、施工及有关科学研究等内容。全书分为四个部分:概述部分对防淘墙工程的概念、目前的研究现状与实际应用以及有关研究进行了介绍;设计部分结合工程实例从防淘墙设计原则与设计内容进行了论述;施工部分介绍了防淘墙的施工方法与施工技术;最后是防淘墙的典型工程实例。

目前国内还未出版介绍防淘墙工程技术的专著,有关文献也不多见,为了总结、借鉴与推广防淘墙技术的先进经验,特编写本书供有关工程技术人员参考。

前 言

水资源是人类赖以生存的重要基础资源,是维系生态环境良性循环、支持经济社会可持续发展的重要因素。修建水利枢纽工程是开发水资源的最重要方式之一,而其泄水建筑物下游和岸边的冲刷和防护,一直是水利水电工程中的老大难问题,它涉及面广、后果严重却又常常未受到应有的重视,特别是大型枢纽工程的下游防护更是一个至今仍未能很好解决的课题。

岸坡冲刷来源于两个方面,首先是射流直接冲刷岸坡,使岸坡遭到冲刷后迅速坍塌,尤其是当岸边岩层走向与水舌方向相同时更为严重,将形成层层剥皮,短时期内即可使岸坡失去稳定。其次是回流冲刷,其主要形式为淘刷岸坡坡脚,使其失稳滑塌,在此类冲刷中以横向环流和平面回流合成的螺旋流结构对岸坡的危害最为剧烈。

防淘墙是一种在水利枢纽工程溢流坝下游采用的消能护固措施。在护岸工程中,也常采用防淘墙作为垂直防冲设施来保护岸坡。

防淘墙作为一种防冲设施,可广泛应用于水利水电工程的溢流坝、水闸、护岸以及桥梁基础等工程。葛洲坝集团基础工程有限公司通过湖北黄龙滩电站防淘墙工程、四川小江电站防淘墙工程、湖北水布垭水利枢纽防淘墙工程等施工,积累了冲击钻孔成槽浇筑混凝土防淘墙施工方法以及特殊地理地质环境条件下竖井淘挖浇注防淘墙施工方法、板桩施工方法等经验。为了总结、推广防淘墙设计、施工与安全监测先进技术,编写了本书。

本书由赵献勇和饶和平主编,第一章由胡卫东编写,第二章由朱红、蒯圣堂、焦家训和张沙编写,第三章由柳新根、梁敏、张玉莉和汪四元编写,第四章由宋玉才、汪四元、张玉莉和李静希编写。全书由柳新根、胡卫东和蒯圣堂统稿,由余开云、付湘宁、谭界雄和肖爱民负责审稿。全书在编写过程中还得到葛洲坝集团基础工程有限公司和长江水利委员会网络与信息中心有关同志的大力协助与支持,谨此表示感谢。

由于编写时间仓促,作者水平有限,本书缺点与错误在所难免,希望有关专家与读者指正。

编 者
2009年1月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 防淘墙研究的提出	(1)
一、防淘墙及其类别	(1)
二、防淘墙的作用	(1)
三、防淘墙研究的目的是意义	(3)
第二节 防淘墙工程研究现状	(3)
一、防淘墙工程建设的现状及其特点	(3)
二、防淘墙工程研究现状	(6)
第二章 防淘墙设计	(11)
第一节 防淘墙设计需考虑的因素	(11)
一、交通及施工布置条件	(11)
二、工程地质条件	(12)
三、水文与气象条件	(13)
四、工程造价要求	(13)
五、工期及其他要求	(14)
第二节 防淘墙设计的原则和要求	(15)
一、防淘墙的设计原则	(15)
二、设计要求	(16)
第三节 防淘墙设计内容	(17)
一、总体布置设计	(17)
二、开挖与支护设计	(18)
三、防淘墙设计	(24)
四、防淘墙的防护、加固措施设计	(32)
五、安全监测设计	(38)
第四节 防淘墙设计分析	(40)
一、模型计算	(40)
二、技术经济比较	(48)
三、防淘墙消能区防护型式比较	(50)
第五节 防淘墙设计实例	(55)
一、岗南水库防淘墙设计实例	(55)
二、乌江渡水电站防淘墙设计	(57)
第三章 防淘墙工程施工	(60)
第一节 施工规划	(60)
一、施工布置	(60)
二、施工槽段划分及工程量计算	(63)

三、劳动组织·····	(65)
四、施工进度计划·····	(65)
第二节 主要施工机械的选择与布置·····	(67)
一、施工机械数量计算·····	(67)
二、施工设备的选择·····	(67)
第三节 施工方法·····	(70)
一、施工程序·····	(70)
二、施工方法选择·····	(71)
三、槽孔质量控制和检验·····	(74)
四、钢筋笼的下设·····	(76)
五、灌浆孔的设置·····	(78)
六、防淘墙竖井施工法·····	(79)
七、支护施工技术·····	(80)
第四节 混凝土浇筑·····	(92)
一、施工特点与要求·····	(92)
二、混凝土浇筑·····	(93)
三、混凝土拌和及运输·····	(95)
第五节 防淘墙施工中常见的问题及处理·····	(96)
一、施工接头·····	(96)
二、卡钻与架钻问题·····	(97)
三、槽壁坍塌与冒顶·····	(98)
四、槽孔偏斜或歪曲·····	(99)
五、钢筋笼难以放入槽孔内或上浮·····	(100)
六、接头管难以拔出·····	(100)
第六节 安全监测施工技术·····	(101)
一、施工基本程序·····	(102)
二、主要施工方法·····	(103)
三、施工质量控制要点·····	(107)
四、施工监测技术实例——武汉阳逻长江公路大桥南锚碇深基坑监测技术·····	(108)
第七节 其他附属工程·····	(112)
一、加固工程·····	(112)
二、防护工程·····	(113)
第四章 防淘墙工程实例·····	(115)
第一节 水布垭水利枢纽防淘墙工程·····	(115)
一、工程概况·····	(115)
二、防淘墙设计·····	(115)
三、防淘墙施工·····	(119)
第二节 小江水电站防淘墙工程·····	(129)
一、工程概况·····	(129)
二、坝下淘刷情况和处理方案研究·····	(130)

三、防淘墙设计	(130)
四、防淘墙施工	(133)
五、结语	(137)
第三节 岳城水库防冲墙的设计与施工	(137)
一、概况	(137)
二、垂直防冲墙的设计	(138)
三、垂直防冲墙的施工	(142)
第四节 钱塘江明清海塘防冲墙工程	(145)
一、引言	(145)
二、工程条件	(146)
三、技术方案	(147)
四、板桩防冲墙的施工及监测	(150)
参考文献	(153)

第一章 概 述

第一节 防淘墙研究的提出

一、防淘墙及其类别

泄水建筑物下游和岸边的冲刷和防护,一直是水利水电工程老大难问题,它涉及面广、后果严重却又常常未受到应有的重视,特别是大型枢纽工程的下游防护更是一个至今仍未能很好解决的课题。

岸坡冲刷来源于两个方面,首先是射流直接冲刷岸坡,使岸坡遭到冲刷后迅速坍塌,尤其是当岸边岩层走向与水舌方向相同时更为严重,将形成层层剥皮,短时期内即可使岸坡失去稳定。例如双牌水电站当右侧两孔泄流时水舌紧贴右山坡,将岸坡基岩冲塌而在上部形成倒悬(最大悬出 4m)。第二是回流冲刷,其主要形式为淘刷岸坡坡脚,使其失稳滑塌,在此类冲刷中以横向环流和平面回流合成的螺旋流结构对岸坡的危害最为剧烈。如三峡水利枢纽导流底孔由短有压管改为长有压管布置方案后,下游水流回流强度大导致局部冲刷较深,特别在三期围堰挡水发电期间设在纵向围堰坝段上的排漂孔尚未建成,下游纵向围堰左侧与泄洪坝段右侧存在较大空间以及下游纵向围堰堤头偏向河床,当底孔和深孔全开泄洪时导致坝下游右侧产生大范围回流,回流宽度为 70~90m,最大回流流速达 10m/s,回流加上右侧几个深孔的挑流,造成溢流坝段右侧坝趾处及防冲墙附近河床较深的局部冲刷和淘刷,对坝基和下游纵向围堰的安全造成一定的威胁。

目前溢流坝下游抗冲加固措施很多,主要目的是保护护坦、海漫与岸坡不被冲刷、淘空。主要结构型式:护坦末端水垫塘左右岸设置混凝土防淘墙(防冲墙)、钢筋网块石海漫、混凝土海漫、浆砌石海漫、土工织物做反滤层;防冲槽采用软排护底、铅丝石笼、深齿墙、抛石防冲墙;护坡采用混凝土、干砌石、模袋混凝土等。

在溢流坝与水闸下游设置防淘墙是保护岸坡、防止岸坡冲刷的常用措施之一。

所谓防淘墙,即为防止泄水(消能)区两岸坡脚被泄水冲刷而设置的钢筋混凝土地下连续墙;其墙顶以上多采用混凝土护坡。防淘墙的轴线方向大致与水流方向一致。

防淘墙按其用途大致可分为两类:一类是作为水电站枢纽下游消能防冲设施的防淘墙,由于溢流坝下游水流流速大,冲刷力强,墙体厚度较大,一般为 3~5m;另一类是作为护岸工程垂直防冲工程的板桩式防淘墙,墙体厚度较薄,一般不超过 1m。

防淘墙按其结构型式可分为两种:一种为垂直式防淘墙,如龙羊峡水电站虎山坡治理工程防淘墙、宝珠寺水电站左岸下游防淘墙、水布垭水电站防淘墙、三峡水利枢纽溢流坝段下游纵向围堰处防淘墙等;另一种为护坡式防淘墙,如葛洲坝水利枢纽二江泄水闸下游防淘墙、小江水电站坝后防淘墙、乌江渡水电站九级滩尾水渠防护工程的护坡式防淘墙等。

二、防淘墙的作用

防淘墙在水利水电工程中占有重要的位置,其主要作用是保护泄水建筑物下游消能区两坡脚免受高速水流的冲刷破坏,保证泄水建筑物的安全运行。在护岸工程中,防淘墙的作用是

作为垂直防护工程,保护护岸工程坡脚免受淘刷,防止护坡坍塌。

利用防淘墙抵抗水流的冲击,由于泄水建筑物下游水流紊动剧烈,需要一个较长的过程才能逐渐恢复平静,因而防淘墙往往需要有一定的长度,工程量往往较大,必须认真分析研究。

如宝珠寺水电站左岸下游设置的混凝土垂直防淘墙,长 240m;葛洲坝二江泄水闸消能防冲建筑物防冲护固段混凝土防淘墙总长 311m;水布垭水利枢纽溢流坝下游左右岸钢筋混凝土防淘墙总长 851.35m。

溢流坝下游冲刷破坏是一个复杂的问题,形成破坏的原因也是多方面的,只有深入了解破坏的原因,才能有的放矢地予以除险加固。在溢流坝下游消能区两岸坡脚设置防淘墙是一种有效的防冲护固措施,其作用是保护冲刷坑附近建筑物的安全和两岸山体的稳定。

为了防止水流对护坦底板下的基岩与岸坡的淘刷,有些水电站尾水渠防护采用了防淘墙,如乌江渡电站九级滩尾水渠采用护坡式防淘墙作为防护工程。

又如黄龙滩电站尾水渠右导墙,由于基础地质条件差,导墙大部分坐落在断层破碎带上。破碎带宽 10~100m,胶结不良。导墙右侧为大坝泄洪区,基础受泄洪冲刷侵蚀,造成护坦底板下基础被淘空。右导墙护坦板边缘冲刷深度最大曾达到 9m,长约 15m,淘入最大宽度达 5.8m。由于不断冲刷,淘空部位越来越大,直接威胁电站的安全运行,虽然采用过水下立模浇筑混凝土作为加固措施,但由于工程质量不佳,加固处理失败。后来,决定采用防淘墙作为防护工程,由于该墙修建在基岩内,槽壁坚固,槽孔干净,有利于墙体与岩体的紧密结合,提高了墙体的坚固性与整体性,起到了防淘墙的作用。

浙江省舟山市岱山栲门大坝面临开敞海域,水深浪高,常受台风侵袭,大坝建完后在台汛期多次遭受不同程度的破坏,屡修屡毁。针对坝前风大浪高、涌浪汹涌、坝脚冲刷剧烈、坝顶越浪量大等难题,结合大坝的现状,设计采用坝脚混凝土连续墙防冲、坝前异形块体消浪、坝身结构加固等技术措施,效果良好。

在水闸下游闸室出口海漫末端处常设置防冲墙,以防止水流淘刷海漫、防冲槽与近岸岸坡。例如某水闸海漫末端抛石防冲槽由于长期受海浪淘刷以及水闸下泄高速水流的冲刷,产生破坏,以至于海漫被刷深 5m,近岸岸坡也受到一定冲刷,严重威胁闸室的安全,为此设计了钢筋混凝土沉井防冲墙作为水闸的防冲措施。

在护岸工程中,为了防止河水对岸坡的冲刷,防冲措施包括水平防冲工程和垂直防冲工程两种方式,防淘墙(防冲墙或防冲截水墙)往往作为垂直防冲工程,其作用是防止护岸工程的趾部因水流、波浪作用和渗透产生的冲刷而导致的河床下切,使岸坡坡脚免受冲刷。护岸工程板桩式防淘墙一般将护岸建筑物延伸至估计的最大冲刷深度以下,如图 1-1-1。垂直防淘墙的深度必须超出河床面以下预测的最大冲刷深度的适当距离(一般至少为 50%),或者到达基岩。建造防淘墙,估算冲刷深度应考虑河床材料和护岸工程修建后的水流流态。

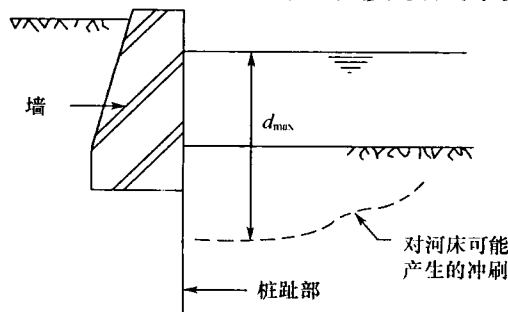


图 1-1-1 护岸工程板桩式防淘墙示意图

在桥梁工程中,由于桥墩基础地质条件差,为了保护桥墩基础遭受水流冲刷,常常在桥墩基础周围修建地下连续墙作为防淘墙。如阳逻长江大桥江中桥墩基础采用地下连续墙作为防淘墙保护桥墩基础免受冲刷。

综上所述,防淘墙作为水利水电工程中的一种保护岸坡的有效防冲措施,用途很广,在水利水电工程消能防冲方面起着重要的作用,并且随着施工技术水平的不断发展,水利工程中将会越来越多地采用防淘墙作为保护岸坡的防冲措施。

三、防淘墙研究的目的与意义

在溢流坝下游消能区,为了保护岸坡免受冲刷,许多水利水电枢纽工程采用防淘墙作为防冲护固方案,如我国三峡水利枢纽、葛洲坝水利枢纽二江泄水闸、水布垭水利枢纽、飞来峡工程、龙羊峡水电站以及马来西亚巴昆水电站等。

小江水电站坝后防淘墙工程是为了保护坝趾混凝土和基岩,在溢流坝鼻坎后水中修建钢筋混凝土连续墙嵌入基岩,为水工建筑物除险加固处理创造了一个成功的先例,可供其他类似工程借鉴。

水布垭水电站溢洪道采用挑流消能,消能冲刷区采用两岸设置防淘墙而不护底的防护方案,这是一种全新的消能防护方案,是对传统消能防冲方案的一种挑战,防淘墙是整个枢纽工程泄洪消能的生命线,研究结果与事实证明这种方案是可行的,值得在类似工程中推广使用。

防淘墙按结构型式分为垂直防淘墙与护坡式防淘墙两种。在具体工程中,究竟采用何种结构型式,要根据实际情况研究分析后确定。如葛洲坝二江泄水闸从施工方便与施工进度方面考虑,采用了护坡式防淘墙。水布垭枢纽防淘墙从投资与进度方面考虑采用了垂直式防淘墙。研究防淘墙的结构型式,在具体工程中究竟采用何种结构型式的防淘墙,要分析工程量的大小,并对其进行优化设计,从而减小工程量,节省工程投资。

近些年来,板桩防冲墙(防淘墙)因其结构简便、施工方便、造价低廉而广泛应用于水利水电工程建设,对防护堤、坝、河岸及溢洪道等工程免遭冲刷破坏是其他建筑物不可替代的。如钱塘江河口海塘加固工程在海宁段强潮顶冲段基础采用了钢筋混凝土板桩防冲墙作为垂直防冲方案,设计构思新颖,方案科学合理,解决了长期以来存在的防冲技术难题,研制出了具有移位、避潮、冲抓、吊桩、施打等特点的多功能打桩机,打桩质量好、效率高、成本低,对堤防、港口等类似工程均具有广泛的推广应用前景。

研究防淘墙的目的是为了使防淘墙更好地应用于水利水电工程,对于节省工程投资,加快工程进度,提高施工水平,发展施工技术,研制新型的施工设备都具有现实意义。

第二节 防淘墙工程研究现状

一、防淘墙工程建设的现状及其特点

防淘墙作为一种防冲设施,在水利水电工程与桥梁工程建设中得到广泛的应用。很多水利枢纽工程为了防止水流冲刷与回流淘刷,消能防冲设计中都采用了防淘墙方案,在水闸、护岸工程中防淘墙也常作为防冲防淘措施加以应用。如葛洲坝水利枢纽二江泄水闸消能防冲建筑物防冲护固段采用防淘墙,以防止水流淘刷;飞来峡水利枢纽在护坦末端设 5m 的防淘墙;

桑园水电站在下游坝面位置设置了防淘墙;水布垭水利枢纽下游消能防冲方案在溢洪道出口左、右岸设置防淘墙;马来西亚巴昆水电站下游消能区也采用防淘墙防止岸坡冲刷。

宝珠寺水电站的水工模型试验表明,电站建成后,发电尾水及汛期泄洪会将下游河床冲刷到 454m 高程。为了防止这一冲刷,保证岸坡及山体的稳定,在左岸下游设置了防淘墙。防冲墙墙体宽 1.40m,轴线长 156m,底部高程 450m,顶部高程 487.5m;在高程 450~488.5m 墙体内部设置宽 1.10m 钢筋笼;水下浇筑 C25 混凝土成墙。

此外,许多水电工程运行多年之后,为了解决水流淘刷问题,设置了防淘墙或防冲墙。如龙羊峡水电站虎山坡治理工程。根据虎山坡不稳定岩体的自身特点,在坡脚设计了防淘墙工程。虎山坡防淘墙位于龙羊峡水电站下游消能区右岸,墙体所在部位岩体比较破碎,长年风化冲刷,该处距电站厂房 300~600m,其间分布有 F_{56} 、 F_{108} 、 A_2 、 F_{7-6} 、 F_{7-7} 等断层。防冲墙沿右岸河边布置,墙长 150m,深 45m,厚 3.5m,高程 2 425m~2 465m,墙顶与混凝土护坡底部相接。

又如小江水电站原设计溢流坝下接 30m 长的钢筋混凝土护坦,建设中由于种种原因没有实施,电站运行多年后泄流使坝后基岩严重冲刷,危及大坝安全运行,需加固处理,其坝后防淘墙工程是为了保护坝趾混凝土和基岩,在溢流坝鼻坎后水中建造一道钢筋混凝土连续墙嵌入基岩。

在护岸工程中,防淘墙也是防冲的重要措施之一。如钱塘江河口海塘基础采用了钢筋混凝土板桩与小沉井两种方式的防冲墙。在海宁段鱼鳞石塘基础防冲中主要采用了钢筋混凝土板桩防冲墙工程。该段海塘断面呈直立式,原塘脚有护坦及护坦外侧打木排桩保护。近些年来,因塘前滩地刷深,木排桩冲失现象时有发生。设计采用在护坦外侧施打长 10~12m 的钢筋混凝土板桩,桩顶设有联系梁固定,以形成一道板桩防冲连续墙。由于板桩入土深度大,除了桩身在滩地刷深时能维持自身稳定满足防冲需要外,还同时藉以板桩阻力起到提高海塘整体圆弧抗滑能力。

在桥梁建设中,为了防止桥墩基础受淘刷也有采用防淘墙防止回流冲刷的实例。

日本明石海峡大桥架设在神户市垂水区舞子和淡路岛侧的淡路町松帆之间,桥长 3 910m,中跨长 1 990m,是一座 3 跨 2 铰式加劲钢桁架悬索桥。该桥 IA 锚墩是神户侧桥台,其基础是世界最大的桥梁下部工程之一,桥台总高 115m,宽 85m。锚墩基础以比较软弱的神户层为承重地基,锚墩基础是明石海峡大桥总体工程的关键部位。为了防止 IA 锚墩基础受到海水冲刷和渗透,在施工中首先回填海岸近海深水区 6.2 万 m^2 作为作业基地,然后用高强度混凝土建造外径 85m,厚 2.2m 的地下连续墙,该墙起着挡土墙和防冲防渗墙的作用。

孟加拉国中北部米门辛格(M)市的桑布贡公路大桥,该桥跨越老布拉马普特拉(Old Brahma Pu Tra)河。河流水流方向由西向东,河北岸桥位处于一弯段中,常年受河水主流偏向冲刷,风浪冲击,河岸坍塌严重。桥台距河岸 30m,桥台锥坡基础离河岸仅 14m,为防止河岸继续被淘刷北移,危及桥台及锥坡安全,北岸防护工程在桥台前,设有一道长 105.2m、厚 0.8m、深 17.8m 平面布置为半圆弧形的钢筋混凝土地下连续墙,作为防淘墙,并在桥台处墙外设铁丝石笼护砌。

目前已建防淘墙工程有两种结构型式。一种为垂直式防淘墙,如水布垭水电站混凝土防淘墙、龙羊峡虎山坡治理工程混凝土防冲墙等。此外,护岸工程作为垂直防冲设施的板桩式防冲墙也属于垂直式防淘墙的类型。另一种为护坡式防淘墙,如葛洲坝水利枢纽二江泄水闸消

能防冲建筑物防冲护固段防淘墙、小江水电站坝后防淘墙、黄龙滩水电站尾水渠右导墙地下防冲墙等。

防淘墙的墙体厚度与深度,因各个工程的具体条件不同而异。目前,世界上工程规模最大的防淘墙是我国的清江水布垭水电站混凝土垂直防淘墙,其左右岸防淘墙总长达 853m,最大墙深 40m。

目前,水利水电施工技术水平发展迅速,过去受施工技术的限制,有许多问题不能在有限的工期要求内解决,使得防淘墙工程不得不采用工程量大与工期较长的结构型式。如葛洲坝水利枢纽二江泄水闸消能防冲建筑物防冲护固段的防淘墙墙体型式曾研究了垂直式和护坡式两种,受当时施工技术发展水平的限制,选用了工程量较大的护坡式防淘墙。

水布垭水利枢纽防淘墙选择了垂直式防淘墙。虽然施工条件艰难,如水文地质环境恶劣,防淘墙墙体处在正常河水位以下,最深处达河水面以下 40 余米。墙体一侧临江,另一侧在滑坡体或陡崖脚下,且坡积物和覆盖层埋藏较深,岩石部位裂隙发育,墙体终年受地下水包围,施工平台又受汛期洪水威胁,环境恶劣。水布垭防淘墙墙体为一深窄形钢筋混凝土墙,深 15~40m,宽仅 3~4.5m,长达数百米,并通过三排预应力锚索与大量锚杆与山体紧密结合,开挖洞室断面小,施工场面狭窄。为保证墙体的整体性,要求分层逐层向上施工,开挖一层,浇筑一层钢筋混凝土,加上靠山侧的锚喷支护与三排预应力锚索施工,多种工序交错平行。右岸防淘墙 R3~R4 段内侧紧临电站尾水平台,最近处仅为 4.67m,各部位之间施工干扰大。防淘墙各层开挖时,均存在顶拱岩块塌落的安全问题。水平洞身开挖长度大,层次多,作业战线长,持续时间长,又难以机械化施工,支护与开挖存在相应的矛盾:支护过于简陋,施工安全难以得到保证;支护太强,在上层开挖过程中,会加大开挖及支护拆除的难度,因此如何因地制宜地采用简易有效的临时支护,既保证施工安全,又不影响或少影响上层的开挖,是防淘墙工程能否顺利进行的重要方面。竖井作为防淘墙工程施工的唯一通道,墙体施工时,施工人员上下、开挖弃渣、钢筋、混凝土、锚索及施工设备均需通过竖井上下,且风水电管、混凝土泵管、抽排水管路均需竖井内布置。通过合理布置竖井、井口及井内设施,保证了竖井的安全稳定及起重设施的安全运行,解决了施工安全问题。

由于施工技术水平的飞速发展,施工机械先进,水下混凝土浇筑技术提高和工程经验的积累,上述这些问题在水布垭钢筋混凝土垂直防淘墙工程中都得到妥善处理。

现阶段采用垂直型式的防淘墙遇到的很多问题在一定工期要求下以 20 世纪 80 年代的施工技术与管理水平是不可能妥善解决的。

已建钢筋混凝土防淘墙工程的共同特点是利用混凝土墙体材料的强度来抵抗水流的冲击或淘刷,以达到溢流坝消能区防冲护固或保护岸坡不受冲刷的目的。

每个防淘墙工程由于各自地质地形条件、防淘墙的结构型式、工程投资大小、施工时的工期要求,各自具有其自身的特点。

在水利水电工程中,水利枢纽工程溢流坝段下游作为防冲护固段的防淘墙与护岸工程的防淘墙又各自有其自身的特点。

水利枢纽工程的防淘墙由于所处位置泄洪水流速度大,流态复杂,地质地形条件差,防淘墙工程往往具有技术要求高、墙体受力条件复杂、墙体常常有锚杆锚索加固措施、工程量大、对施工工期有较高的要求、施工安全问题突出等特点。

如水布垭枢纽防淘墙就具有非常鲜明的代表性。其设计与施工特点有:①地层平缓、岩性

软弱、地质条件复杂;②水文地质环境恶劣;③受力条件复杂,在溢洪道泄洪过程中,要考虑防淘墙承受的荷载有岩(土)压力、脉动压力、地下水压力等;④施工面狭窄,干扰大;⑤施工安全问题突出。如左岸防淘墙 L3~L5 段位于大岩淌滑坡范围,覆盖层埋藏较深,最深部位达 26m,覆盖层平洞自稳能力差,塌方现象普遍,支护难度大,施工人员的安全得不到保证。高效、优质、安全的穿越覆盖层是摆在施工面前的一个难题。⑥混凝土浇筑输送问题。防淘墙混凝土浇筑采取自下而上逐层浇筑的方式,混凝土运输面临先自上而下再转为水平运输的问题,垂直运输高度可达 15~40m 不等,洞内水平运输距离最大可达 10m 以上。由于混凝土泵送时垂直落差大,泵管需多次转弯,因而容易发生管内脱空造成堵管。解决好混凝土运输中的堵管问题和防止混凝土料的离析,是保证施工进度与混凝土施工质量的关键点之一。⑦锚杆锚索施工技术要求高,工作量大。

护岸工程防淘墙(防冲墙或防冲截水墙)所处位置水流速度一般较缓,地质地形情况相对简单,对混凝土墙体厚度与混凝土强度要求相对较低,设计常常采用板桩式防冲墙。板桩式防冲墙具有结构轻便、施工简单、造价低廉等特点。其典型代表实例见第四章第四节。

二、防淘墙工程研究现状

防淘墙工程研究的内容包括设计研究、具体工程采用方案比较研究、建筑材料、施工设备与施工技术研究等。

(一) 防淘墙工程设计研究

1. 防护方案比较研究

大型水利水电工程中,采用防淘墙或是其他防冲消能护固方案,往往要进行方案对比研究。分析在满足工期要求的条件下各种方案的可行性与投资比较等。

如乌江渡水电站九级滩尾水渠防护工程,研究了全面防护的铺盖工程方案和局部设置护坡式防淘墙方案。两种方案具体分析研究见第二章第四节。

又如水布垭水利枢纽在设计下游消能区防护型式时,重点对水垫塘方案和防淘墙方案进行了分析研究与综合比较,分析研究比较的内容包括:

(1) 地质条件:水布垭枢纽下游消能区建基岩体为 D_{3x} 、 C_{2h} ,岩性软弱,透水性小,承压水对两种方案的结构均有影响,水垫塘方案采用排水措施可形成干地施工条件;防淘墙直立开挖,施工期需采用可靠排水措施,山岩压力及承压水对墙体结构有不利影响,两方案的地质条件相当。

(2) 消能效果:水垫塘方案下游冲坑在高程 180m 以上,防淘墙方案在高程 170m 以上;水垫塘方案下游水流流态及流速指标好于防淘墙方案。

(3) 对边坡滑坡影响:由于水垫塘方案有稳定的下游水垫,防淘墙方案待冲坑形成后才能形成足够水垫深度,因此水垫塘方案下游泄洪雾雨强度较低,且水垫塘方案对马崖高边坡及大岩淌滑坡的影响小于防淘墙方案。

(4) 施工:水垫塘方案工程量较大,开挖高差较大,施工场地狭小,施工程序多,施工布置困难,且存在发电后的度汛风险;防淘墙方案处于地下作业,虽施工环境较差,但可全年施工,施工安排灵活。

(5) 检修条件:水垫塘方案设置有尾坎,水垫塘可以检修,防淘墙方案没有检修条件,需要检修时,必须在枯水期重修围堰,工程量较大。因此,从检修条件来看,水垫塘方案优于防淘墙

方案。

(6) 工程量:水垫塘方案比防淘墙方案土石方开挖多 52.27 万 m^3 ,混凝土多 14.07 万 m^3 ,钢筋少 4 194t,水垫塘方案比防淘墙方案工程量大。

综合比较,两种方案在技术上均是可行的,但均有一定的难度,护底方案施工工期安排困难,工程量大,而防淘墙方案原型冲坑深度较难把握,对岸坡稳定影响较大,同时施工条件差,工艺较复杂,但施工工期不占直线工期。经综合比较,确认水布垭工程防淘墙方案优于水垫塘方案,故决定采用防淘墙方案。

2. 防淘墙结构型式研究

防淘墙从结构型式上可分为垂直式与护坡式两种。在采用防淘墙作为消能防冲方案时,往往要对其结构型式与墙体深度进行研究。

葛洲坝水利枢纽二江泄水闸消能防冲建筑物防冲护固段的防淘墙墙体型式研究了垂直式和护坡式两种。经研究,垂直式工程量虽省,以当时施工的技术水平施工困难,护坡式工程量大,但施工方便。当时从施工进度考虑采用了护坡式(图 1-2-1)。混凝土防淘墙的深度是按水工模型试验动床冲刷高程和淘脚高程拟定的。右区混凝土防淘墙墙脚置于抗冲能力较高的砾岩上,高程为 11~23m,中、左区设在高程 14.0m。由于中、左区砾岩埋置很深,因此在中、左区墙脚下打 $\phi 850\text{mm}$ 的支承桩,桩距 7.5m,桩底至 0.0m 高程或打在砾岩上。混凝土防淘墙厚 2~4.0m,底部脚宽 4.8m,高 4.0m。其墙上设有排水孔。防淘墙开挖坡度为 1:0.5,墙面坡度为 1:0.65。墙顶部还打有 $\phi 219\text{mm}$ 的钢筋混凝土拉桩,深 15.0m,倾角 60° ,以保证防淘墙上部的稳定安全。为了保护防淘墙的安全,防淘墙下游槽内浇筑了混凝土六面体,重 50.0t 以上。防淘墙墙体强度考虑了地应力的影响。

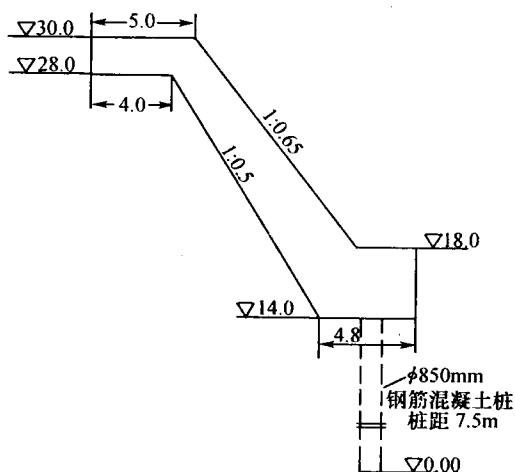


图 1-2-1 葛洲坝二江泄水闸防淘墙剖面图(单位:m)

3. 有限元分析研究

在防淘墙工程设计中,有些问题需通过有限元计算分析。如水布垭枢纽防淘墙工程在设计研究时采用了有限元分析算法。

水布垭下游出口河道及两岸地质条件较差,水流水力学条件不理想,由于泄洪对河床及两岸的冲刷影响,可能会危及两岸边坡的稳定与安全。为此,在下游出口两岸布置防淘墙,以免泄洪冲刷引起边坡失稳。水布垭工程应用有限元法对防淘墙有关的问题进行了分析研究,以

评价泄洪冲刷对防淘墙附近岩体的影响、防淘墙自身的应力变形状态以及预应力锚索的加固效果,并对防淘墙按普通单元和梁单元考虑时的计算结果进行了比较。

有限元计算考虑了岩层分布、卸荷带的分布、马崖高边坡开挖形态、泄洪对河床的冲刷及预应力锚索作用。

计算中建立的有限元模型是在地质断面基础上进行的,考虑了边坡的地质条件、开挖形态、防淘墙布置、泄洪对河床冲刷后的河槽形态。通过有限元划分,单元类型主要为 8 结点四边形等参单元,局部根据需要采用了 6 结点三角形单元。

计算采用基于理想弹塑性本构模型的二维平面应变有限元进行分析,其屈服为 Drucker-Prager 准则,左右两个边及底部边界均被施以法向约束。计算单位统一采用国际单位,力采用 10^6N ,应力采用 10^6N/m^2 。分别用普通单元和梁单元对防淘墙进行模拟。锚索按集中力考虑。为了区分有无锚索的情况,河槽冲刷后计算工况方案 1 为无锚索情况,方案 2 为有锚索情况。

计算荷载考虑了自重、开挖冲刷卸荷及预应力锚索作用。计算分三步进行:第一步仅考虑自重作用,以获得岩体自重应力场;第二步考虑边坡开挖;第三步模拟河槽冲刷至高程 170m。冲刷前将防淘墙部位相应岩体材料置换成混凝土材料,考虑施加预应力锚索和不施加预应力锚索两种情况。计算分析的主要对象为防淘墙及附近岩体。根据计算结果整理了相关的应力、位移矢量图,应力、位移等值线图、拉应力等值线图、内力图以及应力位移特征表。

研究结果表明:

(1)边坡开挖对岩体应力状态有利;泄洪冲刷后,防淘墙附近的岩体拉应力有所增大,防淘墙产生一定倾斜;考虑预应力锚索后,防淘墙附近岩体拉应力和水平位移有所减小。

(2)防淘墙及附近岩体拉应力较小,泄洪冲刷后,在高程 170m 附近产生压应力集中,即该处可能局部会出现压剪破损区,施加预应力锚索可减小局部破损区。

(3)采用普通单元和梁单元对防淘墙进行计算,岩体计算成果差别很小,对防淘墙计算成果有影响。

(二) 建筑材料研究

防淘墙由钢筋混凝土构成,研究防淘墙的建筑材料对于加快防淘墙的施工进度,降低工程成本,减少环境污染具有现实意义。

如水布垭左岸混凝土防淘墙考虑到所浇混凝土为泵送混凝土,且没有掺加粉煤灰,为了保证混凝土的和易性、坍落度及防止坍落度损失过快的要求,特别是抑制夏季高温季节坍落度的损失过快,从而满足混凝土施工和易性及可泵性的要求,故在混凝土中掺用了高效缓凝减水剂或泵送剂。配合比试验研究和实际施工中采用了北京冶建特种材料公司生产的 JG-3 高效缓凝减水剂,同时为了满足混凝土的抗冻性能的要求,在混凝土中掺用了石家庄市长安育才建材有限公司生产的引气剂 GK-9A。

研究新型的建筑材料是加快防淘墙施工进度一种趋势。如土壤固化剂是一种用于固化土壤(砂、黏土和淤泥)的新材料,可分为水泥型和离子型 2 种材料。在护岸工程防冲墙中可采用水泥型土壤固化剂代替混凝土中的全部水泥。

如永定河防洪工程的 6 个险工段防冲墙选择土壤固化剂作开发和应用目标,并获得成功。永定河防冲墙设计深度 6m,开挖深度 9~13m,墙体厚度 2.4m,28d 强度 C10。永定河土壤固化剂混凝土防冲墙标准断面如图 1-2-2 所示。

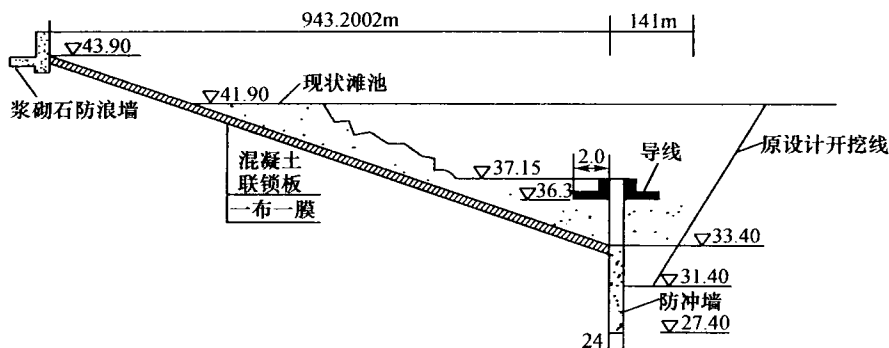


图 1-2-2 永定河土壤固化剂混凝土防冲墙标准断面图

永定河防冲墙施工中共使用了 4 000 t 土壤固化剂, 取样结果, 其平均抗压强度 $> 18 \text{ MPa}$ (设计为 C10), 保证率达到 95% 以上, 完全满足设计要求。

实践证明, 由于土壤固化剂保水力强, 不会使水下混凝土离析, 在防冲墙施工中, 用土壤固化剂替代水泥, 可省去搅拌混凝土用的稠泥浆及其生产设备, 把过去的“湿拌”改为“干拌”, 土壤固化剂防冲墙的施工工序与普通的地下防冲墙是相近的。由于它不使用黏土, 所以混凝土的搅拌工作可以大大简化, 大大方便了施工。若不采用土壤固化剂, 1998 年施工的 4 段防冲墙不可能达到 $300 \text{ m}^2/\text{d}$ 的施工速度。室内外试验研究和永定河防冲墙的施工实践, 说明土壤固化剂是完全可以用于江河堤防护岸工程的河道防冲墙, 它可以节省黏土资源, 利用三废材料 (粉煤灰、高炉矿渣等), 加快施工进度, 创造良好的社会效益。

(三) 防淘墙工程施工研究

防淘墙工程施工研究包括施工方案、施工设备的研究。

1. 施工方案研究

防淘墙工程的施工方案研究要考虑的因素包括水文条件、地质地形条件以及防淘墙的结构型式、投资与工期因素等。

防淘墙施工方式大致分为两种: 一种为类似防渗墙的施工方式, 即传统的施工方式, 其施工作业程序大致与防渗墙相同; 另一种为竖井法, 即墙体开挖与混凝土浇筑均通过竖井进行施工, 水布垭防淘墙施工就采用了这种施工方式。

水布垭枢纽防淘墙工程是目前国内外水电工程中规模最大、地质条件最为复杂、施工难度最大的防淘墙工程。在确定防淘墙施工方案时, 结合防淘墙结构型式、加固支护方式以及工期要求等, 综合研究各种可能的施工方案, 进行了细致的比选, 经过大量分析研究, 提出了灌注壁式地下连续墙法、搭接式机械成孔排桩墙法、支洞开挖分层钻爆逆作法和竖井开挖分层钻爆逆作法 4 种比较成熟的方案。

通过大量研究和多次讨论得出结论, 水布垭防淘墙的施工方式并不是唯一的, 上述 4 种施工方案都可行, 在不同的评价指标上各有优缺点, 通过定性结合定量分析, 确定竖井开挖分层钻爆逆作法为优选方案。水布垭防淘墙由于成功采用了分层钻爆法施工, 较好地解决了防淘墙墙体施工问题, 不仅使墙体结构能满足设计要求, 而且保证了施工工期按期完成。水布垭防淘墙墙体开挖与混凝土浇筑均通过竖井进行, 这种施工方式对防淘墙施工方案是一中创新, 值得在类似工程中推广采用。