

新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书

沥青混凝土心墙 设计与施工

覃新闻 黄小宁 彭立新 王廷勇 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书

沥青混凝土心墙 设计与施工

覃新闻 黄小宁 彭立新 王廷勇 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是“新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书”之一，由参与下坂地水利枢纽工程碾压式沥青混凝土心墙坝建设的相关专家从工程技术角度出发，对高原寒冷地区的碾压式沥青混凝土心墙建设过程中采取的重要设计方案、解决的主要难题进行了系统总结，主要介绍了沥青混凝土配合比选择、现场碾压试验、施工工艺、质量控制、安全监测设计及成果分析等内容。本书图、文、表、照片并茂，内容丰富，语言平实，着重于工程纪实，对我国现在建设中的沥青混凝土心墙坝施工具有重要的参考价值，并对同类似地区建设沥青混凝土心墙坝具有很强的实用性和针对性。

本书可供水利水电行业技术人员阅读使用，也可供相关专业的研究人员和相近专业的技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

沥青混凝土心墙设计与施工 / 覃新闻等著. — 北京
：中国水利水电出版社，2011. 10
（新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书）
ISBN 978-7-5084-9071-7

I. ①沥… II. ①覃… III. ①沥青混凝土心墙—设计
②沥青混凝土心墙—工程施工 IV. ①TU227

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第209845号

书 名	新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书 沥青混凝土心墙设计与施工
作 者	覃新闻 黄小宁 彭立新 王廷勇 等 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11印张 261千字
版 次	2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	38.00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

《沥青混凝土心墙设计与施工》

编写组

顾问：关志诚 杨晓东

组长：覃新闻

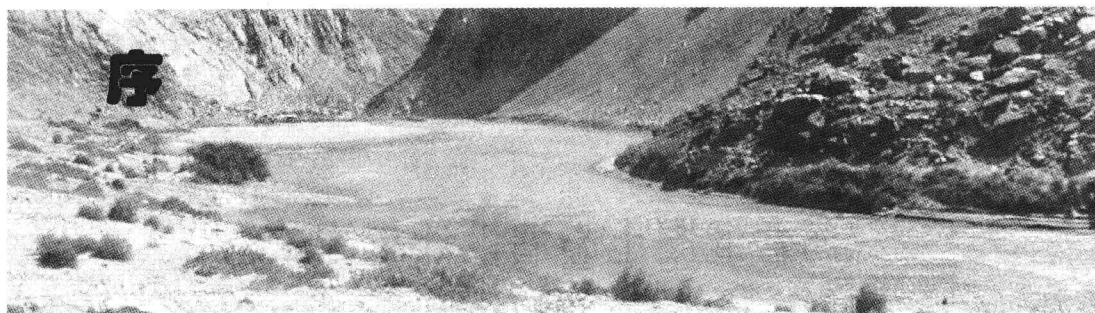
副组长：彭立新 黄小宁 樊曙光 王廷勇

主要撰写人员：黄小宁 王廷勇 杨西林 庞 辉

王锦峰 张 敏 李金元 甘亚军

戴灿伟 李 鹏 哈德尔·阿布都哈力克

王长征 李阳红



在帕米尔高海拔和较高地震背景等条件下，修建高土坝沥青防渗结构，尚不多见。设计最终选择在深厚覆盖层（150m）上建碾压式沥青混凝土心墙坝取决于两个关键因素，一是碾压式沥青混凝土防渗结构具有良好的抗震性能，二是坝区无防渗土料可选用。从近年国内同类工程建设论证情况看，由于土地增值，赔偿费用高难度大，移民安置困难等因素，选择沥青为其他类型人工材料的建设项目日益增多。

而我国西部地区待建工程坝址，大多存在高地震深厚覆盖和自然环境条件恶劣等问题。由此可见，下坂地工程建设与运用是很好的成功例证，是对在地质条件复杂及气候条件极为复杂条件下，修建碾压式沥青混凝土心墙坝进行了有益探索。对此进行技术总结是十分必要的。

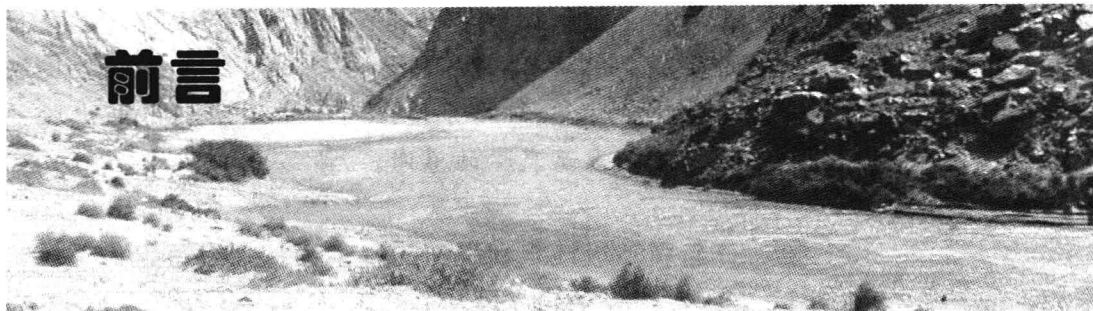
新疆下坂地水利枢纽工程《沥青混凝土心墙设计与施工》一书，较全面反映碾压式沥青混凝土心墙与配合比设计、现场试验、生产系统与质量控制、高原区施工过程与质量检测等全过程。该书是亲身参与下坂地工程建设的设计、施工、监理和科研单位，在高原地质条件复杂及气候条件极恶劣情况下，通过对沥青混凝土心墙坝具体工程实践，总结出一套适用于在同类地区的工程建设经验。

希望该书的出版，能对我国在高原、高寒、高地震烈度和深厚覆盖层地区，修建碾压式沥青混凝土心墙坝起到参考和借鉴作用，为更为广泛推广碾压式沥青混凝土心墙技术起到积极有益的作用。

吴 克 敏

2011年2月

前言



下坂地水利枢纽工程地处新疆昆仑山南麓帕米尔高原的塔什库尔干河上，工程所在地海拔 3000m，天然植被稀少，空气含氧量仅为平原的 60%，昼夜气温差值达 20℃左右，河谷瞬间风力达 8 级左右，自然环境十分恶劣。工程区地质条件十分复杂，地震基本烈度达Ⅷ度，覆盖层厚度达 150m，且地层结构复杂，河道两岸边坡高达上千米，边坡陡峭、岩石破碎，工程区范围内没有可满足筑坝条件的粘土，工程距离最近的城镇塔什库尔干塔吉克自治县约 60km。在这种环境下进行水利工程施工，无论从工程技术还是施工条件来讲，都给下坂地水利枢纽工程的建设带来了极为罕见的困难。

自 2005 年来，在下坂地水利枢纽工程建设管理局的精心组织下，经过全体建设者刻苦钻研，在高原寒冷气候和地质条件极为复杂的地区，在国内首次修建了碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝。通过工程实践，总结出了一套适应于高海拔、高地震烈度和高寒地区的施工组织经验，为今后在同类地区进行填筑碾压式沥青混凝土心墙大坝提供了宝贵经验。

为使从事水利水电行业工程建设的同行们，能较好地参考和借鉴下坂地工程建设的经验，下坂地工程建设管理局组织参与工程设计、施工、监理及科研的各单位工程技术人员编写了新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书《沥青混凝土心墙设计与施工》。参加编写的单位和人员有：第一章、第二章、第三章由水利部陕西省水利电力勘测设计研究院杨西林、庞辉、王锦峰编写；第四章、第五章、第六章、第七章由中国葛洲坝集团有限公司张敏、李金元编写；第八章由新疆水利水电科学研究院戴灿伟编写；第九章由中国葛洲坝集团有限公司张敏、李金元，长江委长江勘测规划设计研究院甘亚军共同编写。原水利部西北水利水电科学研究院的李鹏参与了第二章部分章节的编写；新疆下坂地水利枢纽工程建设管理局黄小宁、王廷勇对本书编写进行了统稿；

哈德尔·阿布都哈力克、王长征、李阳红参与了本书的照片编辑和整理。

本书在编写出版过程中，得到了水利部水利水电规划总院关志诚教授级高工和西安理工大学王为标教授的关心与指导，得到了中国水利水电出版社的大力支持，在此，一并谨向他们表示衷心的感谢。

新疆下坂地水利枢纽工程系列丛书编写组

2011 年 1 月

目 录

序

前言

第一章 下坂地水利枢纽工程简介	1
第一节 工程概况	1
第二节 工程特点	2
第二章 碾压式沥青混凝土心墙设计	3
第一节 坝型选择	3
第二节 大坝防渗体形式选择	9
第三节 大坝设计	18
第四节 沥青混凝土心墙设计	21
第五节 碾压式沥青混凝土心墙施工技术要求	26
第三章 碾压式沥青混凝土配合比设计	29
第一节 试验目的	29
第二节 试验用原材料及其检验结果	29
第三节 配合比选择	32
第四节 试验结果及分析	38
第五节 试验结论	43
第四章 碾压式沥青混凝土现场试验	45
第一节 沥青混凝土室内配合比复核试验	45
第二节 现场铺筑试验	55
第五章 沥青混凝土生产系统与质量控制	76
第一节 系统规模设计	76
第二节 沥青混凝土生产系统简介	77
第三节 系统设计与布置	80
第四节 沥青混凝土生产系统质量控制	88
第五节 经验总结	90
第六章 碾压式沥青混凝土心墙施工	91
第一节 施工概况	91
第二节 施工特点	92
第三节 施工配合比	94

第四节	沥青混凝土矿料加工与贮存	95
第五节	燃油运输、储存与消耗	95
第六节	骨料初配及干燥加热	96
第七节	沥青熔化、脱水、加热与恒温、输送	96
第八节	沥青混合料的拌制施工与质量控制	96
第九节	沥青混合料的储存、保温和运输与质量控制	99
第十节	过渡料的储存、运输及铺筑	100
第十一节	沥青混凝土心墙铺筑与质量控制	101
第十二节	心墙沥青混凝土质量缺陷处理	110
第七章	碾压式沥青混凝土心墙高原地区施工	113
第一节	高原气象条件	113
第二节	下坂地沥青混凝土高原施工特点	114
第三节	高原环境对施工的影响及采取的措施	114
第四节	经验总结	121
第八章	安全监测	123
第一节	设计原则及目的	123
第二节	监测项目和测点仪器布置	123
第三节	仪器率定和埋设	127
第四节	施工期及初蓄期监测成果分析	134
第九章	碾压式沥青混凝土心墙施工质量检验与评价	160
第一节	沥青混凝土原材料的质量检验	160
第二节	沥青混合料制备的质量检验	162
第三节	沥青混凝土心墙摊铺和碾压的质量检验	164
第四节	第三方检测	164
第五节	碾压式沥青心墙施工质量分析	165
第十章	结语	166
参考文献		168

第一章 下坂地水利枢纽工程简介

第一节 工程概况

下坂地水利枢纽工程位于新疆西陲重镇，喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县境内的古丝绸之路的帕米尔高原，位于塔里木河水系叶尔羌河支流塔什库尔干河中下游。

塔什库尔干河谷周围高山环绕、远离海洋，受帕米尔、喀喇昆仑山及大沙漠的影响，呈典型的大陆性高原气候。流域的气候差异较大，唯有冷暖两季，冬季寒冷漫长、夏季气候温和。气温的年、日变化显著，昼夜温差高达 20°C 左右，伴随气温的日变化，出现水位、流量的日变化。流域降水量小，蒸发强烈，空气干燥，降水时空分布不均，多年平均年降水量 68.9mm ，主要集中在夏季，多年平均年蒸发量 2272mm ，多年平均相对湿度 39.5% 。多年平均气温 3.4°C ，极端最高气温 32.5°C ，极端最低气温 -39.1°C 。多年平均年最大风速 16.9m/s ，最大风速 23m/s 。土层冻结期为 9 月到次年 3 月，最大冻土深度达 177cm 。

塔什库尔干河径流主要由冰雪融水及两岸的地下水补给，河道水量比较稳定，坝址多年平均年径流量 10.89亿 m^3 。洪水特点是峰不高、量较大，连续出现时间长，洪水过程呈一日一峰。经调查，最大历史洪水洪峰流量 $680\text{m}^3/\text{s}$ ，100 年一遇洪水洪峰流量 $750\text{m}^3/\text{s}$ ，5000 年一遇洪水洪峰流量 $1310\text{m}^3/\text{s}$ 。

塔什库尔干河含沙量较小，为清水河，沙量主要集中在汛期 6~9 月，坝址悬移质年输沙量 53.5万 t ，推移质年输沙量 8.03万 t 。

下坂地水利枢纽工程区内地质条件复杂，坝基第四系覆盖层厚度在 150m 左右。覆盖层地层结构复杂，据钻孔、竖井勘探显示，其岩性成分杂乱，粒径大小悬殊，均一性差，最大粒径达 10m 以上。依据其粒径、颗粒组成、磨圆度、成因等，坝基覆盖层可分为 5 层，自上而下分别为：①崩坡积块石、碎石层；②冲洪积砂卵砾石层；③湖积淤泥质粘土及软粘土层；④冰水积砂层；⑤冰碛含漂块碎石层及冰水积含块卵砾石层。坝址区自上游至下游两岸岩质边坡高度由 300m 、 800m 至 1400m 逐渐增大，自然边坡由 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 逐渐变陡，坡型由两岸基本对称到高差悬殊，岸边走向与岩层走向由垂直到平行，结构面组合对边坡稳定从有利到不利。左右坝肩岩性主要为第一岩性段的角闪黑云二长片麻岩，左坝肩边坡岩体风化卸荷作用明显大于右坝肩，右坝肩边坡岩体风化卸荷程度较弱，岩体风化卸荷深度随着高程地增加而加深，开挖处理后左右坝肩高程 2966.00m 以下分别形成坡比为 $1:0.92$ 和 $1:0.35$ 的结合槽。特别是右岸 $1:0.35$ 的边坡对坝体与岸坡连接提出了更高要求。坝址区地震基本烈度为Ⅷ度，水平峰值加速度为 $0.309g$ ，属于高地震烈度地区。坝区附近有丰富的天然建筑材料，储量大、质量基本符合筑坝要求，有利于修建当地材料坝。但考虑作为防渗材料的壤土，存在粉粒含量偏多，且天然含水量偏低的问题。

下坂地水利枢纽是以生态补水和春旱供水为主，结合发电的综合性水利枢纽工程。水库总库容 8.67 亿 m^3 ，调节库容 6.93 亿 m^3 。电站总装机 150MW，保证出力 35.9MW，年发电量为 4.64 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。下坂地水利枢纽工程属于大（2）型 II 等工程，枢纽建筑物由大坝、右岸导流泄洪洞、左岸引水发电洞及地下厂房等四部分组成。

第二节 工 程 特 点

（1）下坂地水库大坝具有“三高一深”的工程特点（近 3000m 的高海拔、Ⅷ度的高地震烈度、近 500m 的高边坡和 150m 的深覆盖层），给工程的设计与施工带来了很大的困难，大坝的防渗处理、抗震设计、防渗墙施工、砂砾石层帷幕灌浆、沥青混凝土施工等都有着显著的特点。

（2）基础深厚覆盖层的防渗设计采用 85m 深混凝土防渗墙结合 150m 深砂砾石帷幕灌浆的型式，地层块石含量高且有架空现象，施工过程中造墙和灌浆的施工难度非常大，发生过塌孔、漏浆等情况。在不断总结工程经验的基础上，研究出一系列应对各种情况的处理措施，在深槽防渗墙和砂砾石层帷幕灌浆方面积累了宝贵经验。

（3）深厚覆盖层上土石坝工程的抗震设计是复杂的岩土工程问题，下坂地水库大坝抗震设计对坝基和坝体材料进行了大量的试验和分析研究，进行了坝坡稳定分析、应力应变分析和地震动应力反应分析等，采取了清除坝基松散覆盖层、柔性防渗体设计、设置镇压层、控制坝料填筑标准、铺设土工格栅等各项抗震措施保证大坝的抗震稳定性。

（4）根据陕西省水利电力勘测设计研究院提供的地质勘探资料，以及西北水利科学研究院提供的室内试验资料数据，坝区方圆 60km 内，没有符合做粘土心墙坝体防渗材料的粘土，给采用当地粘土做坝体防渗材料带来了困难。

（5）工程地处高海拔地区，风速大，昼夜温差高达 20°C ，对沥青混凝土的连续施工造成了困难。施工过程中，通过严格的温度控制、缝面处理和质量检测保证了沥青混凝土的质量，为特殊环境下的沥青混凝土心墙施工积累了宝贵经验。

第二章 碾压式沥青混凝土心墙设计

第一节 坝 型 选 择

一、坝址地质条件及防渗形式的拟定

地质勘探表明，下坂地坝基深厚覆盖层为 147.5m，且地层结构复杂，由上至下可划分为 5 层，其分别为：①崩坡积块石、碎石层；②冲洪积砂卵砾石层；③湖积淤泥质粘土及软粘土层；④冰水积砂层；⑤冰碛含漂块碎石层及冰水积含块卵砾石层。从工程设计、防渗处理的角度考虑，坝基覆盖层可划分为冰碛层、冲积层、软土层（淤泥质粘土及软粘土）三大类，分别为冰碛层见图 2-1 中（e）；冲积层见图 2-1 中（a）、（c），软土层（淤泥质粘土及软粘土）见图 2-1 中（b）、（d），见图 2-1。

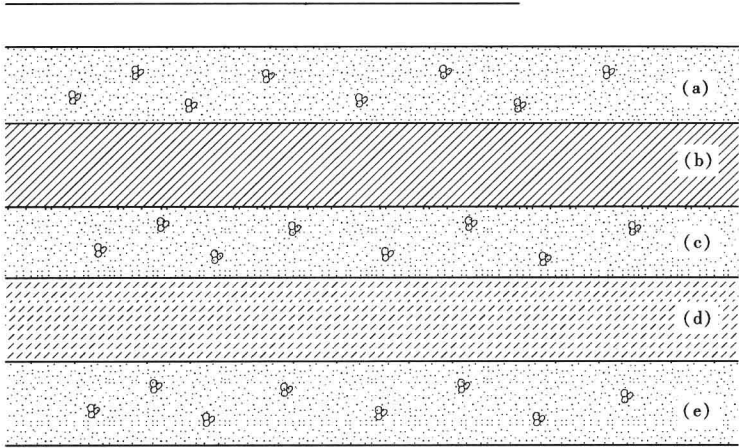


图 2-1 下坂地河床地层结构示意图

- (a) 冲洪积层（主要以碎石、粗砾及砂为主），结构松散，厚 4~18m；(b) 上层淤积质粘土层，流塑状，厚高灵敏性极软土，厚 1.9~6.8m；(c) 冲洪积砾石层；(d) 下层软粘土层，厚硬塑状，中等软弱性土，厚约 20m；(e) 冰碛层，以漂石、块石、砾石及砂组成，分选性差，结构精密，强度高

冰碛层的含漂块碎石层及冰水积含块卵砾石层具有抗剪强度高、压缩性低、强透水性的工程特点。在解决了渗流控制问题后，因其本身的承载力较高，完全可以作为坝基的持力层。冰水积砂层埋深 18~30m，最大厚度为 43.7m。尽管试验研究表明，冰水积砂层上部 7m 的范围内在发生 8~9 度地震的情况下可能会发生液化，但考虑到冰水积砂层四周的冰碛层具有良好的排水条件，大坝建成后将被关闭覆盖在原地面 20m 以下，再考虑到

坝体盖重作用,冰水积砂层不存在发生液化场地的的工作条件,故不必对冰水积砂层进行处理,也能够完全满足工程安全和运用要求。

冲洪积砂卵砾石层分布于河床上部河漫滩,厚 0.3~29.3m (ZK₁₃₁ 钻孔)。主河流底部较厚,以细粒为主,结构松散,抗液化性差,采用开挖清除后能够作为坝基。

软土层分为上下两层,上层为湖积淤泥质粘土,下层为软粘土。下层软粘土,纵向由坝轴线以上 120m 至库区河床下分布较连续,横向上一般在河谷较狭窄地段及无较大的崩坡积地段均与两岸基岩直接接触。在河谷两岸坡积物发育的地段,局部没有与基岩接触而成为“天窗”。纵向上起伏变化不大,厚度较稳定,围堰以下逐渐尖灭。上层湖积淤泥质粘土均一性差,分布范围较软粘土层小,两岸多缺失(坝址区)。除基岩直接出露地段和崩坡积堆积规模小地段与基岩直接接触外(围堰的右岸),其余均与其他堆积物接触而尖灭。该层在坝基下伏面积约 26700m²,分布范围为河床右岸坝轴线以上。上层淤泥质粘土属于高灵敏性土;下层软粘土属于中等灵敏性土,具有高压缩性。

在坝型初选中,结合下坝地的地质条件,考虑到下层软粘土尽管在库区局部存在着“天窗”,但总体上分布较连续、厚度大、透水性极小,可利用它作为水库天然防渗铺盖,同时采取工程措施对围堰至坝基范围内采用人工水平铺盖与库区天然铺盖进行衔接,再将坝体防参与人工水平铺盖防渗相连接,以充分利用软粘土的隔水作用,可有效地防止库底渗漏,保证了地基渗透稳定。这一设想是初步选定的方案中,解决深厚覆盖层下坝地水库防渗问题的一个重要方案。同时,将大坝置于 Q³ 冰碛层上,充分利用其地基强度高的特点,坝基安全可以得到保证。坝前库底采用人工铺盖与软粘土天然铺盖相衔接的方法,其施工难度小,工程量小,技术上可行,经济上基本合理。

坝基防渗形式的选择,不仅与地质条件有关,而且与坝基防渗施工水平有关。20 世纪 90 年代以前,受当时国内水利水电工程施工技术水平的制约,采用垂直防渗的形式解决大都在 70m 以下深厚覆盖层坝基渗流控制,更未见到 100m 以上的深厚覆盖层成功采用垂直防渗形式的工程实例。即使在 1996 年水利部颁布的《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174—96)中,也明确规定了采用混凝土防渗墙作为垂直防渗的适应范围,即“本规范适应于水工建筑物松散透水地基或土石坝坝体内深度小于 70m、墙厚 60~100cm 防渗墙的施工。深度或厚度超过上述范围,应通过试验做出补充规定”。另外,对于深厚覆盖层采用帷幕灌浆的技术标准,国内仅有原水利电力部水利水电建设总局于 1963 年制定的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》,且至今未对该标准进行修订。鉴于下坝地水利枢纽坝基覆盖层厚度达 150m,依据当时国内混凝土防渗墙造孔、槽段连接的施工技术水平,以及覆盖层采用帷幕灌浆防渗的现状,无论是采用混凝土防渗墙或者采用帷幕灌浆作为垂直防渗措施,在 20 世纪 90 年代初期几乎都是不可能实现的。根据国外采用水平铺盖作为防渗的工程实例(如巴基斯坦的塔贝拉坝),以及国内在中低坝中采用水平铺盖作为防渗的成功经验,在当时的施工技术水平和观念上,认为对于下坝地工程深厚覆盖层采用水平铺盖作为防渗方案在技术上是可行的,经济上是合理的,而且施工相对简单,其防渗目标是能够实现。因此,在坝基渗流控制中初步选择了水铺盖防渗方案。

二、主要筑坝材料

下坂地水利枢纽附近有丰富的天然建筑材料，储量大、质量基本符合筑坝要求，适宜于修建当地材料坝。

1. 防渗土料

防渗土料是做大坝防渗心墙的重要原材料，土料的各项技术指标直接关系到大坝防渗心墙的防渗效果。根据已有的大量地质勘探和实验结果，在工程区防渗土料中选择了Ⅱ、Ⅸ、Ⅹ、ⅪⅢ、扩大Ⅱ、对外交通公路6个料场，对外交通公路边土料场距坝址36km，为重粉质壤土，天然含水量低。除天然含水量偏低外，其他物性指标均满足筑坝要求，因运距远，故作为备用料场。Ⅱ、Ⅸ、Ⅹ、ⅪⅢ和扩大Ⅱ料场分布于库区两岸。

Ⅱ、Ⅹ和扩大Ⅱ料场为上更新统冰水堆积的壤土，砂壤土、粘土互层。Ⅱ料场土料的单层厚度5~36m，扩大Ⅱ料场单层厚度为0.8~2.0m，地下水位埋深大于70m。Ⅹ料场土料的单层厚度2~10m，地下水埋深大于±6m。3个料场均有中、细砂及卵砾石夹层，夹层厚10~30cm，上覆有含砾砂层，厚5~16m。

Ⅸ、ⅪⅢ土料场，为全新统冲积砂壤土、壤土。疏松、多孔，富含植物根系，以粉粒为主，土质不均一，横向变化较大，表层含小砾石，粒径一般1~2mm。其中Ⅸ料场可采厚度1.7m，地下水埋深大于2.0m，ⅪⅢ料场可开采厚度1.1m，地下水埋深大于1.9m。

各料场土料物理指标见表2-1。Ⅱ、Ⅸ、Ⅹ、ⅪⅢ、扩大Ⅱ5个料场的土料储量分别为269.9万m³、28.3万m³、67.8万m³、47.8万m³及241.36万m³，运距分别为6km、10km、20km、16km及6km。从表2-1土料物理指标表可以看出，各料场土料以粉质壤土为主，其中有粉质粘土、重粉质壤土、中粉质壤土、轻粉质壤土、重粉质砂壤土、轻粉质砂壤土、重砂壤土和轻砂壤土。土料击实成果和渗透系数见表2-2。5个料场的土料除天然含水量偏低外，其余指标满足筑坝土料的要求。

表 2-1 各料场土料物理指标表

项 目		单位	料 场				
			Ⅱ	Ⅸ	Ⅹ	ⅪⅢ	扩大Ⅱ
土的 天然 状态	比重 Δ		2.78	2.74			2.72
	含水量 ω	%	1.72	19.3	9.0	17	1.8
	湿容重 γ	g/cm ³	1.50	1.75	1.64	1.75	1.51
	干密度 γ_d	g/cm ³	1.47	1.47	1.50	1.49	1.48
液限 ω_L		%	35.8	33.2	31.3	29.7	35.9
			28.0~46.4	31.5~35.5	29.0~33.5	27.0~32.0	
塑限 ω_P		%	20.9	15.8	18.7	16.8	19.9
			17.1~24.5	14.3~17.3	18.0~19.4	14.0~19.2	
塑性指数 I_P			14.8	17.4	12.7	12.9	16.0
			9.9~21.9	14.6~19.4	10.8~13.6	11.6~14.5	
有机质含量		%	0.52	1.08	0.58	1.13	2.06

续表

项 目		单位	料 场				
			Ⅱ	Ⅸ	X	XⅢ	扩大Ⅱ
易溶盐含量		%	1.153	0.105	0.44	0.086	1.46
pH 值			7.89	7.97	7.4	7.92	8.23
土粒组成	砂粒 ≥0.05mm	%	5.13	45	18	46	12.9
			2~29	34~57	16~21	38~59	
	粉粒 0.05~0.005	%	65.0	45	62	39	49.0
			52~82	34~54	54~70	33~42	
	粘粒 <0.005mm	%	29.4	10	20	15	38.1
			4~43	9~12	12~30	8~20	
	不均匀系数 C_u		6.8	10.3	11.8	21.2	12.7
			2.3~16.3	8.2~12	7.4~15.8	15.3~26.5	

注 表中上栏为平均值，下栏为范围值。

表 2-2 土料击实成果和渗透系数表

料 场	最大干密度 (25 击) (g/cm ³)	最优含水量 (%)	渗透系数 (cm/s)
Ⅱ	1.64	20.0	5.03×10^{-6}
	1.59~1.72	17.2~23.5	$1.09 \times 10^{-6}/9.47 \times 10^{-6}$
Ⅸ	1.68	17.3	4.11×10^{-6}
	1.67~1.69	16.8~17.6	$1.01 \times 10^{-6}/7.7 \times 10^{-6}$
X	1.70	18.0	1.41×10^{-6}
	1.63~1.78	16.7~20.0	$4.8 \times 10^{-7}/3.9 \times 10^{-6}$
XⅢ	1.76	15.6	4.01×10^{-6}
	1.71~1.81	14.4~17.4	$1.06 \times 10^{-6}/6.94 \times 10^{-6}$
扩大Ⅱ	1.59	21.6	6.53×10^{-6}
	—	—	—

注 表中上栏为平均值，下栏为范围值。

为了判断Ⅱ料场土料的分散性，试验采用针孔试验、碎块试验、双比重计试验、孔隙水可溶盐阳离子试验、全土阳离子交换量试验等 5 种方法，对Ⅱ料场土料进行了 8 组试验。前两种方法，8 组试验结果为非分散性土，后 3 种方法，8 组样呈非分散性、过渡性和分散性。工程经验认为第一种方法的结果可靠，因此，可认为Ⅱ料场土料为非分散性土。

砾质土料场有Ⅲ、Ⅳ两个料场，分布于坝址上游。Ⅳ料场砾质土细粒含量比Ⅲ料场高，料场储量在 1020 万 m³。Ⅳ料场砾质土中大于 5mm 的颗粒占 11%~34%，5mm 以下为 66%~89%，小于 0.1mm 的占 10%~21%，小于 0.075mm 的占 4%~18%，基本不含粘粒。对土料采用重型击实，最大干密度范围为 2.17~2.24t/m³，平均 2.20t/m³，最

优含水量范围为 6.1%~7.4%，平均 6.7%。土料的压缩系数为 $0.02\sim0.04\text{MPa}^{-1}$ ，渗透系数为 $5.34\times10^{-3}\sim1.72\times10^{-5}\text{cm/s}$ ，饱和固结强度为 $32.4^{\circ}\sim41.8^{\circ}$ 。该土料压缩性低、强度高，小于 0.075mm 颗粒的含量和渗透性不能满足规范要求，不能作为心墙防渗土料使用，但可考虑作为均质坝土料使用。

2. 砂卵石料

坝壳料选择了Ⅱ、Ⅺ、Ⅻ 3 个砂卵石料场。Ⅱ料场位于坝上游 6km 处，与壤土料料场在同一位置，粒径较细，砂卵石与壤土料两者的开采相互有干扰，运距远，作为备用料场。Ⅺ、Ⅻ料场具体的储量、位置、物理力学指标等详见第二节。

3. 反滤料

选择的反滤砂料场为Ⅴ料场，混合反滤料场为Ⅰ、Ⅶ料场。Ⅰ、Ⅴ料场位于上坝址上游处，运距 2km，Ⅶ料场位于坝址上游 8.5km 处。

反滤砂主要由 0.6mm 以下的颗粒组成，比较均匀，粒径 0.1mm 以下颗粒的含量较高，为 0~20%。

混合反滤料Ⅶ料场的天然级配不好，Ⅰ料场的含泥量高达 10%。

4. 沥青混凝土骨料

坝址上游左岸 4.5km 处有大理岩出露，储量可满足要求，开采条件好，交通便利。

大理岩的化学成分定量分析表明，CaO 含量为 51.4%，SiO₂ 含量为 1.92%，SiO₂ 含量远小于 55%，为典型碱性岩石。

大理岩新鲜，坚硬。依据《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计准则》（SLJ 01—88），对大理岩进行了沥青和骨料的粘附力试验、硫酸钠 5 次循环重量损失试验、吸水率试验、压碎率试验、抗热性试验，试验中采用了克拉玛依 AH—70 沥青。试验结果表明：粘附力大于 4 级、重量损失 2.764%、吸水率 0.397%、压碎率 14.86%，在 250~300℃ 温度下，加热 3 小时，骨料无开裂分解，均满足质量要求。

三、坝型选择

坝型选择主要依据坝址地质条件、防渗形式、筑坝材料等因素来确定。下坂地工程的坝型初步选择主要依据下列条件确定：首先，由于下坂地工程坝基覆盖层厚度达 150m，地层结构复杂，结构层松散无胶结，考虑到坝址以上库区内存在着可以利用的天然铺盖可作为水平防防渗依，以及防渗施工技术水平，初步选定了水平铺盖防渗形式；其次，枢纽区具有丰富的天然建筑材料，质量指标基本符合筑坝要求，适宜于修建当地材料坝。因此，在采用了水平铺盖防渗形式的条件下，拟定了碾压式心墙砂砾石坝、斜墙及心墙坝、均质坝四种坝型进行了比较。

对于斜墙坝，斜墙与人工碾压的水平铺盖相衔接，上游坝坡无填筑的坝壳料，铺盖出现问题时便于检查和维修。但存在以下缺点：①斜墙与两岸结合部位受力条件差，容易形成渗漏通道；②斜墙坝上游坝坡较缓，坝基处理及坝体工程量较大；③下坂地水利枢纽工程场址区地震基本烈度为Ⅷ度，不宜于采用斜墙坝。

均质坝能较好地适应基础变形，可以充分利用工程区丰富的筑坝材料，坝体断面单一，

