

尼尔基水利枢纽主坝 碾压式沥青混凝土心墙 施工技术

李维科 郑沛溟 王凤福 王德库 李伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

尼尔基水利枢纽主坝 碾压式沥青混凝土心墙 施工技术

李维科 郑沛溟 王凤福 王德库 李伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以尼尔基水利枢纽主坝碾压式沥青混凝土心墙施工为案例,对尼尔基水利枢纽主坝碾压式沥青混凝土心墙设计、施工技术要求、室内配合比设计试验、场外碾压试验、矿料加工与质量控制、现场正常施工和低温施工技术、施工质量检验等进行了分析和论述。

尼尔基水利枢纽碾压式沥青混凝土心墙土石坝是国内同类工程中最长的防渗心墙坝。在北方寒冷地区成功地采用碾压式沥青混凝土心墙施工技术尚属首次,具有普遍的指导意义。尼尔基水利枢纽碾压式沥青混凝土心墙施工技术具有广泛的应用前景和推广价值。

本书可供水利水电工程施工、设计、试验和科研人员阅读,也可供有关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

尼尔基水利枢纽主坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术/
李维科等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3402-1

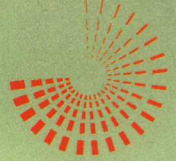
I. 尼... II. 李... III. 水利枢纽—碾压土坝:混凝土坝—沥青混凝土—混凝土施工—内蒙古
IV. TV632.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 134586 号

书 名	尼尔基水利枢纽主坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术
作 者	李维科 郑沛溟 王凤福 王德库 李伟 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 7 印张 180 千字 2 插页
版 次	2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	20.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



● 主坝碾压式沥青混凝土心墙施工



● 沥青混凝土摊铺机施工



● 沥青混凝土摊铺施工



● 沥青混凝土拌和站



● 取沥青混凝土芯样



● 沥青混凝土心墙碾压施工



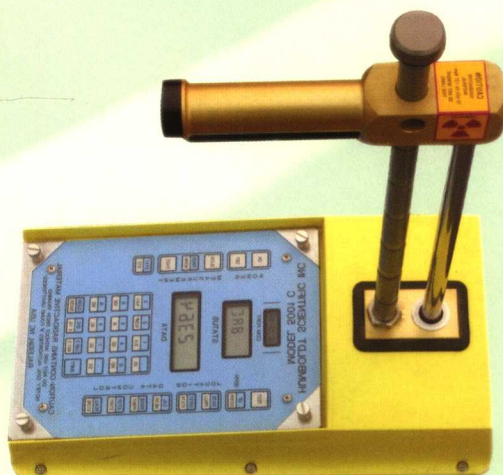
● 过渡料碾压施工



● 心墙及过渡料施工



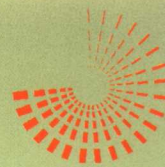
● 沥青混凝土心墙覆盖



● 核子密度仪进行容重测试



● 沥青混凝土芯样



● 喷涂冷底子油



● 铺筑沥青玛蹄脂



● 表面预热



● 沥青混凝土人工摊铺



● 尼尔基水利枢纽上游施工全景



● 尼尔基水利枢纽下游施工全景



● 尼尔基水利枢纽效果图



● 沥青混凝土心墙施工

前 言

碾压式沥青混凝土心墙是土石坝的一种新型防渗结构，其施工技术应用大型水工建筑物，是近年来世界上发展迅猛的一种新型防渗技术。土石坝采用碾压式沥青混凝土心墙具有防渗性能好，适应变形能力强，施工速度快，机械化程度高，有利于保护农田、节省土地资源和水土保持等优点，应用前景十分广阔。据专家预测，采用碾压式沥青混凝土心墙防渗的土石坝将是未来超高坝建设的合适坝型。

目前世界上虽然建设了几十座碾压式沥青混凝土心墙土石坝，但尚未形成完整的理论体系。在三峡茅坪溪 104m 高的土石坝中，采用碾压式沥青混凝土心墙防渗，开创了我国内陆地区的先河，并总结出了一套成熟的碾压式沥青混凝土心墙施工技术和理论体系。尼尔基水利枢纽主坝碾压式沥青混凝土心墙，在设计和施工过程中采用和发展了三峡茅坪溪碾压式沥青混凝土心墙的施工技术和理论体系，并有许多独到之处，目前已经建成并投入使用。

尼尔基水利枢纽主坝是我国北方寒冷地区第一个采用碾压式沥青混凝土防渗心墙的土石坝工程，无论从工程规模还是从新技术应用方面，都堪称国内之最。尼尔基水利枢纽碾压式沥青混凝土心墙施工技术具有广泛的应用前景和推广价值。

本书由嫩江尼尔基水利水电有限责任公司总经理李维科、总工程师郑沛溟，水利部松辽水利委员会王凤福，中水东北勘测设计研究有限责任公司王德库，中国水利水电第一工程局李伟编著。参加本书编写工作的还有中水东北勘测设计研究有限责任公司苏萍、鞠连义（第二章、第三章），侯福江、叶远胜（第四章、第五章），尼尔基水利水电有限责任公司刘德勇、寇立国（第七章、第八章、第九章）。

本书在编写过程中，得到了尼尔基水利水电有限责任公司、中水东北勘测设计研究有限责任公司有关领导的大力支持，并由中水东北勘测设计研究有限责任公司科学研究院李茂昌担任校审，在此表示感谢。

由于我们的实践经验和水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2005 年 10 月

目 录

前言

1 尼尔基水利枢纽工程简介	1
1.1 地理位置及水文气象条件	1
1.2 工程任务和规模	1
1.3 枢纽布置和主要建筑物	2
1.4 碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝	2
2 碾压式沥青混凝土心墙设计	4
2.1 主坝防渗体型式选择	4
2.2 碾压式沥青混凝土心墙设计	10
3 碾压式沥青混凝土心墙施工技术要求	17
3.1 总体要求	17
3.2 碾压式沥青混凝土原材料	17
3.3 碾压式沥青混凝土设计指标	19
3.4 碾压式沥青混凝土备料	19
3.5 碾压式沥青混凝土施工	21
4 碾压式沥青混凝土配合比设计试验	30
4.1 试验内容和要求	30
4.2 试验设备和检测仪器	30
4.3 试验方法	30
4.4 试验用原材料及其检验结果	31
4.5 沥青混凝土配合比设计	33
4.6 试验结果及分析	35
4.7 冷底子油及沥青砂浆配合比试验	46
4.8 试验结论	47

5 碾压式沥青混凝土场外碾压试验	48
5.1 试验概况	48
5.2 原材料检测	48
5.3 基座表面处理	51
5.4 现场试验沥青混凝土配合比的确定	52
5.5 沥青混凝土试验段的质量检测	52
5.6 试验结论	63
6 沥青混凝土矿料加工与质量控制	65
6.1 加工系统布置	65
6.2 工艺及施工方法	65
6.3 产量分析	68
6.4 质量控制	69
6.5 经验总结	71
7 碾压式沥青混凝土心墙正常施工	72
7.1 正常施工的条件	72
7.2 沥青混凝土配合比	72
7.3 骨料贮存及燃油贮存	73
7.4 骨料初配及干燥加热	73
7.5 沥青熔化、脱水、加热与恒温、输送	73
7.6 沥青混合料的拌制、贮存和运输	74
7.7 沥青混凝土心墙铺筑	75
7.8 沥青混凝土心墙两侧过渡带施工	77
7.9 重要环节的控制	77
7.10 经验总结	79
8 碾压式沥青混凝土心墙低温施工	80
8.1 低温施工的条件及用途	80
8.2 低温施工试验	80
8.3 现场低温施工	85
9 碾压式沥青混凝土心墙施工质量检验与评价	92
9.1 碾压式沥青混凝土心墙施工过程简介	92
9.2 沥青混凝土原材料的质量检验	94
9.3 沥青混合料制备的质量检验	97

9.4 沥青混凝土心墙摊铺和碾压的质量检验·····	100
9.5 碾压式沥青混凝土心墙施工质量分析·····	102
参考文献和参考资料·····	104

1 尼尔基水利枢纽工程简介

1.1 地理位置及水文气象条件

尼尔基水利枢纽位于黑龙江省与内蒙古自治区交界的嫩江干流上，坝址右岸为内蒙古自治区莫力达瓦达斡尔族自治旗尼尔基镇，左岸为黑龙江省讷河市二克浅乡，下距工业重镇齐齐哈尔市公路里程约 189km。嫩江发源于大兴安岭伊勒呼里山，由北向南流经黑龙江、内蒙古、吉林三省（自治区），在黑龙江省肇源县三岔河汇入松花江，干流全长 1370km，流域面积 29.7 万 km^2 。尼尔基水利枢纽位于嫩江干流中游，坝址地处嫩江干流的最后一个峡谷，扼嫩江由山区、丘陵地带流入广阔的松嫩平原的咽喉，枢纽坝址以上控制流域面积 6.64 万 km^2 ，占嫩江流域面积的 22.4%，多年平均年径流量占嫩江流域的 45.7%。

嫩江流域径流主要来源于降水补给，其年内分布与降水相一致，流域多年平均年降水量 400~500mm，坝址附近多年平均年降水量 474.8mm，最大年降水量 886mm，最小年降水量 296mm。降水年内分布极不均匀，主要集中在 6~9 月，占年降水量的 80%以上，其中 7~8 月降水量更为集中，占年降水量的 50%以上；冬季降水很少，仅占年降水量的 5%以下。

尼尔基水利枢纽工程施工期洪水按水文特性划分，春汛期为 4 月 1~30 日，汛前期为 5 月 1 日~6 月 20 日，大汛期为 6 月 21 日~9 月 30 日，汛后期为 10 月 1~31 日，枯水期为 11 月 1 日至翌年 3 月 31 日。

嫩江流域全年有一半时间处于冬季，气候严寒，夏季则温湿多雨。尼尔基地区多年平均气温为 1.5℃，极端最高气温 39.5℃，极端最低气温 -40.4℃，气温年内变化大。坝址处多年平均风速 2.5~3.9m/s，历年最大风速 25.0m/s，多年平均最大风速 17.7m/s。流域初雪一般在 9 月下旬~10 月上旬，终雪一般在 4 月下旬~5 月中旬。坝址区季节性冻土开始冻结时间一般在 10~11 月，开始融解时间一般在 6~7 月，历年最大冻土深度 251cm，多年平均冻土深度 210cm。

1.2 工程任务和规模

尼尔基水利枢纽工程是国家“十五”计划批准修建的大型水利工程项目，

也是国家实施西部大开发战略的标志性工程项目之一，具有防洪、工农业供水、发电、航运、环境保护、鱼苇养殖等综合效益，是嫩江流域水资源开发利用、防治水旱灾害的控制性工程，也是实现北水南调的重要水源工程。尼尔基水利枢纽水库总库容 86.11 亿 m^3 ，其中防洪库容 23.68 亿 m^3 ，兴利库容 59.68 亿 m^3 ，总装机容量为 250MW，多年平均年发电量 6.387 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

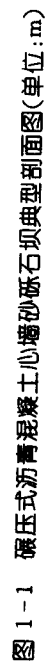
工程建成后，可使齐齐哈尔市防洪标准由 50 年一遇提高到 100 年一遇，枢纽至齐齐哈尔河段的防洪标准由 20 年一遇提高到 50 年一遇，齐齐哈尔以下到大赉段的防洪标准由 35 年一遇提高到 50 年一遇。在设计水平年时，尼尔基水库为下游城市工业生活供水 10.29 亿 m^3 ，可满足齐齐哈尔、大庆、哈尔滨等重要城市用水；为农业灌溉供水 16.46 亿 m^3 ，可使下游灌溉面积发展到 454 万亩；为航运供水 8.2 亿 m^3 ，为环境供水 4.75 亿 m^3 ，为湿地供水 3.28 亿 m^3 ，改善了下游航运条件及生态环境。同时可增加黑龙江省电网调峰容量，缓解电网调峰容量紧缺和水火电比例严重失调的问题。

1.3 枢纽布置和主要建筑物

尼尔基水利枢纽工程主要由主坝、副坝、溢洪道、水电站厂房及灌溉输水洞（管）等建筑物组成。工程等别为 I 等工程，主要建筑物为 1 级。大坝总长 7180 m，最大坝高 41.5 m。其中，主坝为沥青混凝土心墙土石坝，坝顶长度 1676 m，左、右岸副坝为粘土心墙土石坝。泄洪建筑物为开敞岸坡式溢洪道，长 875.5m，宽 166.0m，设 11 个泄流孔，单孔宽 12m，堰顶高程 199.80 m，溢洪道最大下泄流量为 20300 m^3/s 。水电站为河床式电站，装有 4 台 ZZA725—LH—642 型水轮发电机组，单机容量 62.5MW。工程施工总工期为 5 年，准备工程于 2001 年 6 月开始进行，2001 年 11 月 8 日实现大江一期截流，2004 年 9 月 15 日实现大江二期截流，2005 年 9 月 11 日下闸蓄水。尼尔基水利枢纽施工导流方式采用两期导流：第一期为明渠导流，第二期为临时底孔导流。工程土石方开挖总量为 704.86 万 m^3 ，土石方填筑总量为 910.73 万 m^3 ，混凝土浇筑总量为 80.87 万 m^3 ，沥青混凝土总量为 4 万 m^3 。

1.4 碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝

尼尔基水利枢纽主坝为碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝，沥青混凝土心墙中心线位于坝轴线上游，距坝轴线 2.0m，心墙两侧设 3.0m 宽的砂砾石过渡带。碾压式沥青混凝土心墙，底高程分别为 182.00m 和 187.50m；200.00m 高程以下墙厚 0.7m，200.00m 高程以上墙厚 0.5m，心墙顶高程为 218.50m。碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝典型剖面图见图 1-1。



2 碾压式沥青混凝土心墙设计

沥青混凝土作为防渗结构，是一种可靠和经济的措施。它的优越性表现在沥青混凝土作为土石坝的防渗体，具有如下优点：①防渗性能好；②适应能力强；③节省防渗土料，少占农田，保护耕地；④断面小，使工程量减少；⑤机械化程度高，施工速度快；⑥塑性性能好，抵抗冲击能力强；⑦耐久性和裂缝自愈能力好；⑧不需设置接缝，易于修缮补强；⑨施工方法上既可采用碾压式，又可采用浇注式，灵活方便；⑩在严寒高山地区或潮湿多雨地带都可迅速施工。目前，在国内外已经得到广泛的运用和推广。

尼尔基水利枢纽工程地处北纬 48.5°C ，冬季寒冷干燥，夏季炎热多雨，多年平均气温 1.5°C ，极端最高气温 39.5°C ，极端最低气温 -40.4°C 。主坝段处于河谷部位，河床覆盖层厚度达 40m ，基岩浅层风化严重，坝址附近河滩储有丰富的砂砾石。根据地理位置、气候状况、工程地质条件和丰富的砂砾石资源，经技术经济综合论证，主坝坝体选用沥青混凝土心墙砂砾石坝是最合理、最优化的方案。因此，尼尔基水利枢纽工程成为我国纬度最高的碾压式沥青混凝土心墙土石坝工程。

2.1 主坝防渗体型式选择

2.1.1 防渗型式比较

在确定的坝线、选定的枢纽布置方案的基础上，对主坝、左右副坝的防渗型式进行比较。根据工程具体条件，对河床部分的主坝拟定了三种防渗体型式，即沥青混凝土心墙、粘土心墙、沥青混凝土斜墙；对左、右岸副坝的防渗型式拟定了粘土心墙和粘土斜墙两种，并对主、副坝综合拟定了三种方案进行比选。防渗型式比较时，枢纽布置均采用右岸岸坡溢洪道、右岸河床式电站厂房和底孔的选定方案。

2.1.1.1 方案一：主坝为沥青混凝土心墙坝，副坝为粘土心墙坝

主坝以碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝为主，导流明渠段采用浇筑式沥青混凝土心墙砂砾石坝。两种防渗型式仅心墙结构不同，其他均相同。主坝采用二级坡，马道高程为 205.00m ，上游坝坡均为 $1:2.2$ ，下游坝坡为 $1:1.75$

和 1:2。心墙顶高程为 218.50m，碾压式沥青心墙厚度为 0.5~0.7m；浇筑式沥青心墙总厚度为 0.6~0.7m，其中预制块厚为 0.3m，沥青混凝土厚为 0.3~0.4m。心墙上、下游各设 3m 宽砂砾石过渡带，下游过渡后设 L 形排水体，厚度为 2m。基础混凝土防渗墙与沥青混凝土心墙相接，防渗体下设灌浆帷幕。

左副坝为粘土心墙砂砾石坝，右副坝为粘土心墙堆石坝（堆石为开挖弃料），上、下游坝坡均为 1:2.75。心墙顶高程为 218.50m，心墙顶厚 3m，心墙上、下游坡度均为 1:0.2。左副坝心墙下游设水平厚度为 3m 的反滤层；右副坝心墙上、下游均设反滤层，厚度均为 3m。在 210.00m 高程，左副坝下游设宽度为 2m 的压重，右副坝上游设宽 2m、下游设宽 5m 的压重，压重坡度为 1:2.75。左岸副坝基础防渗利用天然粘土铺盖；右岸副坝基础采用高喷灌浆防渗。

主坝与左副坝的连接采用混凝土连接墩，用来连接沥青混凝土心墙和粘土心墙；主坝沥青混凝土心墙与厂房坝段连接采用翼墙式。

2.1.1.2 方案二：主坝、副坝均为粘土心墙坝

主坝坝型为粘土心墙砂砾石坝，粘土心墙顶厚为 3m，心墙顶高程为 218.50m，上、下游坡为 1:0.2。心墙下游设反滤层，水平厚度为 3m。基础混凝土防渗墙深入粘土心墙内 6m。主坝上、下游坝坡及初选基础处理方式等均与方案一相同。

左、右副坝的坝体结构和布置与方案一相同。

主坝粘土心墙与左副坝心墙直接连接，不需要任何过渡，主坝与厂房坝段的连接与方案一相同。

2.1.1.3 方案三：主坝为沥青混凝土斜墙坝，副坝为粘土斜墙坝

主坝坝型为沥青混凝土斜墙砂砾石坝，上、下游坝坡与方案一相同。沥青斜墙分三段，高程 218.50~213.50m 的斜墙坡度为 1:0.5，高程 213.50m 以下至坝底以上 5m 的斜墙坡度为 1:2.2，坝底以上 5m 至坝底为直墙段。斜墙垂直厚度为 0.20m，斜墙下游设水平与斜向排水体，并设坝基水平排水体（垂直厚度为 2m），通向下游滤水坝趾。斜向排水体水平厚度为 2m。基础混凝土防渗墙与沥青混凝土斜墙的直墙段相接，混凝土防渗墙下基岩内采用帷幕灌浆。

左副坝为粘土斜墙砂砾石坝，右副坝为粘土斜墙堆石坝。副坝上游坝坡为 1:3，下游坝坡为 1:2.75。斜墙顶高程为 218.50m，斜墙顶宽为 3m，斜墙上、下游坡度分别为 1:2.5 和 1:1.8。左副坝斜墙下游设水平厚度为 3m 的反滤层，与褥垫式水平排水相连。右副坝斜墙上游与护坡之间均填筑砂砾石，下

游为堆石体，下游堆石体与斜墙之间以及与地基之间设两层反滤层，厚度均为3m。左岸副坝基础防渗利用天然粘土铺盖；右副坝部分基础采用高喷灌浆防渗。

主坝沥青斜墙与左副坝粘土斜墙的连接采用混凝土挡墙，主坝与厂房坝段的连接与方案一相同。

在以上的方案比较中，没有斜墙式主坝与心墙式副坝的组合，也没有心墙式主坝与斜墙式副坝的组合。如果采用这两种组合，首先斜墙与心墙的连接比较困难，增加了连接段的工程量；另外，这两种组合的工程量介于心墙式组合和斜墙式组合之间，没有比较意义，因此，以上两种组合未参与比较。

2.1.1.4 各比较方案工程量及投资

上述三个方案主体工程量及投资见表2-1。

表 2-1 土石坝防渗型式主要工程量及主要工程项目投资比较

坝型方案 工程项目	沥青混凝土 心墙土石坝	粘土心墙 土石坝	沥青混凝土 斜墙土石坝
1. 土石方开挖 (万 m ³)	748.21	750.51	752.10
其中 石方开挖 (万 m ³)	312.99	312.94	317.18
2. 土石方填筑 (万 m ³)	864.04	882.36	1009.84
其中 粘土填筑 (万 m ³)	19.79	80.94	41.34
砂砾石料填筑 (万 m ³)	530.65	501.29	527.33
反滤层 (万 m ³)	55.25	85.28	55.98
堆石 (万 m ³)	57.53	57.53	56.95
3. 混凝土及钢筋混凝土 (万 m ³)	73.49	74.83	79.05
4. 沥青混凝土 (万 m ³)	3.48		3.68
5. 灌浆 (万 m)	4.96	4.96	5.62
6. 高压定喷灌浆 (万 m ²)	4.45	4.45	4.45
7. 混凝土防渗墙 (万 m ²)	4.11	4.52	4.15
8. 钢筋、钢材 (万 t)	1.57	1.57	1.57
9. 金属结构安装 (万 t)	0.72	0.72	0.72
10. 主要工程项目投资 (万元)	148086	147843	167679

2.1.1.5 方案比较结论

从投资上看，沥青混凝土斜墙方案投资最高，比其他两方案分别多 19593 万元与 19836 万元。主坝沥青混凝土斜墙与左副坝粘土斜墙的连接也比较困难，右副坝粘土斜墙与厂房坝段的连接采用翼墙式，由于粘土斜墙坝坡较缓，翼墙较长，增加了工程量，因此沥青混凝土斜墙方案不可取。

主坝两种心墙方案，主体工程的投资基本一致，虽然沥青混凝土心墙坝方案比粘土心墙坝方案多 757 万元，但两种防渗型式施工条件等方面存在较大