

158m超深地下连续墙 施工技术

韩伟 孔祥生 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

158m超深地下连续墙 施工技术

韩伟 孔祥生 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是世界目前最深的地下连续墙——158m 深的西藏旁多水利枢纽坝基混凝土防渗墙工程，以及相关的灌浆工程施工技术的研究、试验和实践成果的总结论文集。书中分别对防渗墙施工的泥浆固壁技术及槽孔稳定机理、清孔技术、混凝土浇筑技术、墙段连接技术、施工质量控制、施工设备的改进与应用，以及灌浆施工的主要技术参数、孔斜控制方法、质量控制要点等进行了介绍，内容丰富，资料翔实。

本书可作为科研设计单位、施工单位、大专院校相关专业的参考文献。

图书在版编目（C I P）数据

158m超深地下连续墙施工技术 / 韩伟，孔祥生主编
— 北京：中国水利水电出版社，2014.4
ISBN 978-7-5170-1856-8

I. ①1… II. ①韩… ②孔… III. ①水利工程—地下连续墙—工程施工 IV. ①TV554

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第061566号

书 名	158m 超深地下连续墙施工技术
作 者	韩伟 孔祥生 主编
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
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 11.25 印张 214 千字
版 次	2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—2500 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

中国水电基础局有限公司
《158m 超深地下连续墙施工技术》
编辑委员会

顾问 夏可风

主任 赵存厚

副主任 肖恩尚 石 峰

编委 刘建发 袁国俊 田学良 黄炳福

徐方才 雷土祥 彭善民 张聚生

王虎山 谭修桥 王学松 魏 良

李明宇 李振远 王海云 杨永强

黄晓勇 方 浩 毛鸿飞 陈红刚

金益刚 良 荣 张家俊 武广密

主 编 韩 伟 孔祥生

158m

序

这是一本专题介绍我国乃至世界最深的地下连续墙——西藏旁多水利枢纽坝基混凝土防渗墙及相关灌浆工程施工技术的论文集。

旁多水利枢纽是西藏自治区迄今为止投资最多、规模最大的水利工程，大坝坝顶高程 4100.50m，坝址区河床覆盖层深厚、两岸表层岩石破碎，地质条件复杂，其工程难度之大、技术要求之高为世界罕见，是国内水利专家公认的极具挑战性的工程。在所有的挑战中，最大的挑战莫过于坝基防渗。由于这里覆盖层深度超过 424m，因此坝基防渗原设计方案为 120m 深、1m 厚的混凝土防渗墙再下接帷幕灌浆，这是此前我国混凝土防渗墙的最大施工深度。为了论证设计方案的可行性，并探索更优的防渗方案，在业主的组织下，承建单位——中国水电基础局有限公司和设计、监理等单位协同攻关，深入进行研究和现场施工试验，防渗墙试验槽孔深度达到 201m，最终确定防渗墙施工深度为 158m，取消墙下覆盖层中帷幕灌浆（两岸浅防渗墙下保留帷幕灌浆），该方案付诸实施，获得成功，它比原方案防渗效率更高，但防渗墙的施工难度加大。水库蓄水后坝基渗流量微小，2013 年 12 月 10 日，枢纽首台水轮发电机组顺利投产发电，标志着该工程初步建成开始发挥效益。

在各项地基处理和基础工程技术中，混凝土防渗墙是一项成熟的技术，仅水利水电行业，建成的防渗墙工程可能数以万计，但这是指在常规深度的范围内，大量的防渗墙工程中深度超过 80m 的屈指可数。防渗墙深度大了，施工难度明显增加，各道工序达到质量标准的难度加大，发生缺陷甚至事故的可能性大大增加，量变导致质变，对许多施工设备、操作技术、工艺精度的要求与浅防渗墙相比完全不可等而视之。旁多水利枢纽防渗墙深度达到 158m，这是目

前世界上最深的混凝土防渗墙工程，技术上何其难也！

不仅技术上是挑战，自然条件也是挑战，枢纽区海拔高，空气稀薄寒冷，缺氧约 50%。施工期间本人曾前往工地，还到过拉萨附近一些地方，其他地方我基本可以承受和适应，但到了旁多就有明显的高山反应；人是这样，机器虽无言，但其效率也要大打折扣。环境严酷，而所面对的却是超深防渗墙需要人、机超常的出力。为抢工期，几个年头工地上还坚持了冬季施工。终于，在中央和自治区政府的领导下，各参建单位艰苦奋斗，克服了自然环境和技術上的重重困难，完成了这项伟大的工程。

本书的主编韩伟、孔祥生时任该工程的项目经理和总工程师，他们在精心组织施工的同时，注重科学研究和试验，认真收集保存资料，总结经验，为本书的出版奠定了基础。各篇文章的作者都是施工一线的技术人员和管理人员，文章内容都是作者亲历亲为的事实和经验，有的文章虽存在着这样那样的不足，但它们都是这个工程最真切的记录。

旁多水利枢纽坝基混凝土防渗墙是一项世界工程奇迹，你想了解奇迹是怎样创造的吗？那就请阅读本书吧。



2014 年 2 月 18 日

夏可风 中国水利学会理事，中国水利学会地基与基础工程专业委员会原主任委员，中国岩石力学与工程学会原常务理事。

158m

目 录

序

防渗墙施工技术

西藏旁多水利枢纽坝基 158m 深防渗墙施工技术

..... 韩 伟 孔祥生 石 峰 张聚生 王学松等 (3)

MMH 正电胶泥浆的研究及其在超深防渗墙施工中的应用

..... 孔祥生 韩 伟 肖恩尚 毛鸿飞 苏李刚等 (15)

气举反循环清孔技术在 158m 深墙中的应用

..... 石 峰 陈红刚 梁 荣 谭修桥 王虎山 陈北祥等 (26)

深厚覆盖层地下连续墙施工质量控制..... 方 浩 唐泉涌 尹永双 (33)

旁多水利枢纽深大坝防渗墙施工孔内事故的原因分析及预防

..... 孔祥生 谭修桥 毛鸿飞等 (40)

旁多水利枢纽 158m 深防渗墙混凝土浇筑技术

..... 毛鸿飞 陈正雄 苏李刚 宋学斌等 (49)

旁多水利枢纽超深陡倾角混凝土防渗墙嵌岩施工技术

..... 李 凯 梁 荣 袁 贺 袁 婷 佟 新等 (57)

YBJ—800 接头管在深孔混凝土防渗墙工程中的应用

..... 毛鸿飞 孔祥生 刘 颖 唐泉涌 张俊涛 (63)

锁绳器(楔形接头)在利勃海尔(HS875HD)钢丝绳抓斗上的应用

..... 韩 伟 石 峰 魏 良 王学松 李明宇等 (68)

液压抓斗能力拓展的理论依据及在深槽工程中的应用..... 魏 良 (74)

利勃海尔(HS875HD)钢丝绳抓斗在 158m 深防渗墙施工中的应用

..... 魏 良 王学松 李振远等 (79)

利勃海尔(HS843HD)抓斗在旁多水利枢纽 158m 深防渗墙施工中的应用

..... 谭修桥 靳玉栓 刘 付 (88)

深孔泥浆下爆破技术在旁多水利枢纽超深防渗墙工程的应用

..... 李振远 洛桑旺扎 赖昭万 尼玛顿珠 (95)

混凝土防渗墙深墙施工质量保障措施 梁 荣 李 凯 次仁卓玛 (101)

灌 浆 施 工 技 术

旁多水利枢纽坝基防渗墙工程安全事故的预防与管理

..... 赵德强 王学松 尹永双 赖昭万 班 点 (109)

西藏旁多水利枢纽坝基处理工程左岸深厚覆盖层帷幕灌浆成孔工艺

..... 韩 伟 金益刚 谭修桥 张家俊 杨永强等 (115)

西藏旁多水利枢纽坝基处理工程左岸深厚覆盖层帷幕灌浆试验研究

..... 王海云 孔祥生 毛鸿飞 孔小宝等 (122)

浅谈西藏旁多水利枢纽坝基处理工程左岸深厚覆盖层帷幕灌浆钻孔斜

控制方法 王海云 乔秀笙 杨永强 赖昭万 班 点 (132)

西藏旁多水利枢纽坝基处理工程左岸深厚覆盖层帷幕灌浆质量控制要点

..... 张家俊 乔秀笙 杨永强 尹永双 班 点 (138)

项 目 管 理

西藏旁多水利枢纽坝基处理工程目标成本管理

..... 石 峰 符晓军 聂正凡 戴超男 (149)

浅谈工程施工项目现场管理

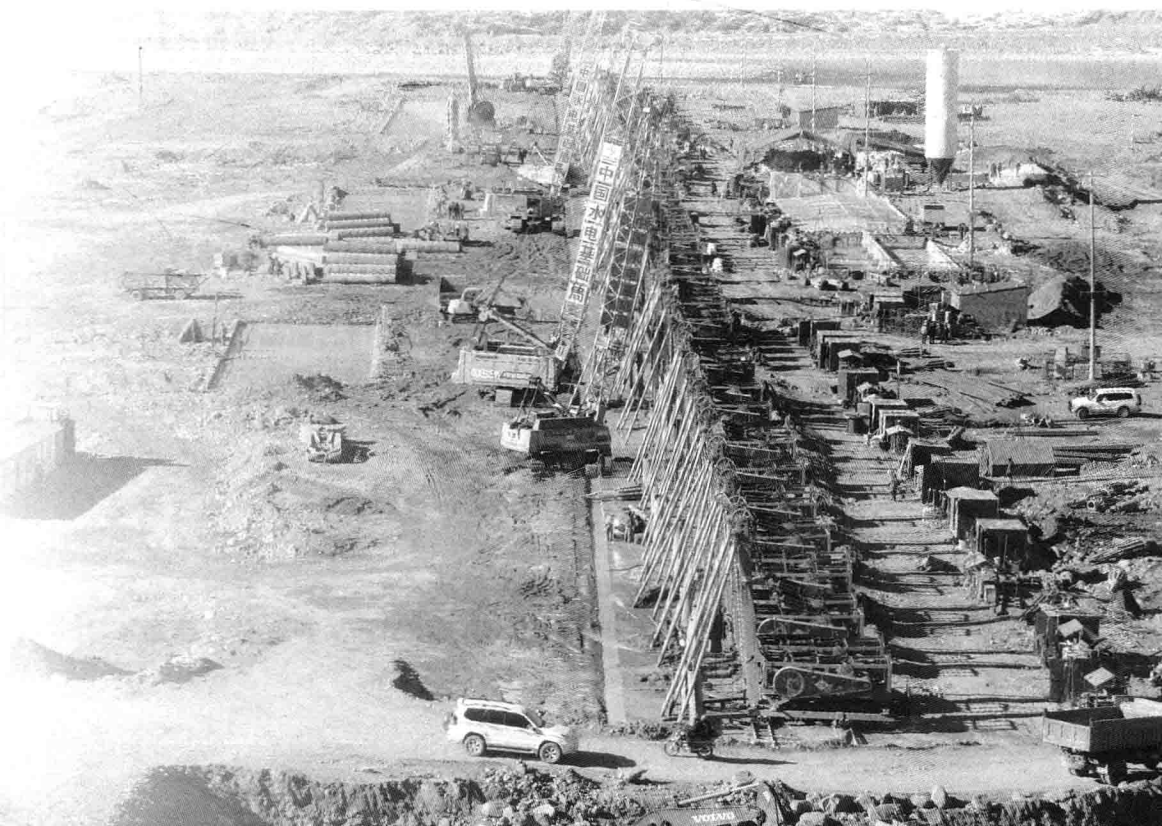
..... 王学松 王虎山 李振远 梁 荣 (158)

浅谈西藏旁多水利枢纽坝基防渗工程项目党建工作

..... 李云松 余洪波 关 伟 张 丽 (167)

158m

防渗墙施工技术



西藏旁多水利枢纽坝基 158m 深防渗墙施工技术

韩伟 孔祥生 石峰 张聚生 王学松

(中国水电基础局有限公司)

骆涛 周昭强 洛桑旺扎 赖昭万 朱田胜

(西藏旁多水利枢纽工程管理局)

【摘要】 深厚覆盖层条件下建造防渗墙，孔壁稳定、墙段连接、特殊地层处理等是问题的关键。本文基于固壁泥浆技术、垂向滑膜技术、排渣技术、水下混凝土浇筑技术的研究，以及新材料、新工艺的应用与创新，成功地在海拔 4033m 高寒缺氧地区建成了 158.47m 世界最深防渗墙，它标志着我国在该领域的科研、设计和施工水平已跃居世界领先行列。同时表明，以快速、高效、低成本的混凝土防渗墙取代传统的“上墙下幕”设计和施工理念已成为一种可能，并将在今后的工程建设中逐步得到应用。文中阐述的槽孔稳定机理、不同阶段泥浆性能指标、成槽工艺、特殊地层处理技术等，可供类似工程参考、借鉴。

【关键词】 旁多水利枢纽 深厚覆盖层 超深防渗墙 施工技术

1 引言

西藏旁多水利枢纽坝基覆盖层深度超过 424m，根据钻孔及施工揭示，坝基覆盖层是由一套形成于不同地质时期、不同地质作用、物质组成各异、层次结构复杂的陆源沉积物组成。深厚覆盖层坝基一般结构松散，漏失严重。本工程防渗墙深度要求达 158m，国内外尚无成功的先例，常规防渗墙施工技术已无法满足工程需求，因此必须将其列为重点并在施工过程中进行一系列新的探索和实践。特殊的地理位置、复杂的地层结构、特定的地质条件给本次施工带来极大困难的同时，也给相应的研究工作奠定了良好的基础。

本次施工及相应技术研究工作，特别注重深厚覆盖层防渗墙施工工艺的探索及关键技术研究，尤其是槽孔稳定机理、泥浆性能以及垂向滑膜、排渣、水下混凝土浇筑等关键技术的深入探索，以及新材料、新工艺的应用，使之形成

系统的、科学的、行之有效的深厚覆盖层防渗墙施工技术,满足 158m 深防渗墙设计要求,改变传统的“上墙下幕”设计、施工理念,从而使我国深厚覆盖层防渗墙的设计和施工技术取得了长足的进步。

2 工程概况

旁多水利枢纽工程坝址位于西藏拉萨河中游,地处林周县旁多乡下游 1.5km,下距拉萨市直线距离 63km。其开发任务以灌溉、发电为主,兼顾防洪和供水。枢纽主要由碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝、泄洪洞及泄洪兼导流洞、发电引水系统、发电厂房和灌溉输水洞等组成(图 1),为 I 等大(1)型工程。坝址控制流域面积 16370km²,水库总库容 12.3 亿 m³,正常蓄水位 4095m,灌溉面积 67 万亩,电站装机容量 160MW,大坝坝顶高程 4100m,最大坝高 72.30m。

坝基防渗墙轴线沿沥青混凝土心墙轴线布置,防渗墙轴线全长 1073m,设计成墙面积 12.5 万 m² 左右。防渗墙工程分两期施工,一期、二期分界处桩号为 0+758.60,一期导流期间主要施工左岸漫滩和阶地地基防渗工程;二期导流期间主要施工右岸预留约 210m 宽河床部位地基防渗工程。

3 工程地质条件

坝址区河流流向为 SE 向,河谷底宽约 700m,谷底高程 4027~4034m。河水面宽 100~110m,水深 1~3m。正常蓄水位 4095m 时,谷宽 1020m,河谷呈不对称 U 字形。河床靠近右岸,右岸漫滩、阶地发育不完整。左岸漫滩发育,宽约 550m,三级阶地明显,阶地前缘高出河水面分别为 7m、14m 和 38m。

坝址区属高山地形,两岸山顶高程 5300m 左右。右岸山坡大部分基岩裸露,局部为混合土碎(块)石覆盖,高程 4060m 以下坡角较陡,为 50°左右;高程 4060m 以上坡角变缓,为 30°左右。左岸高程 4240m 以下为混合土碎(块)石覆盖,坡角较缓,为 15°左右;高程 4240m 以上基岩裸露,坡角大于 45°。

左坝头至左岸Ⅲ级阶地上部,覆盖层厚约 10~35m,主要为崩坡积混合土碎(块)石、碎(块)石混合土及坡洪积混合土碎(块)石、碎(块)石混合土等;左岸Ⅲ级阶地、Ⅱ级阶地覆盖层厚约 35~150m,主要为坡洪积混合土碎(块)石、碎(块)石混合土、冲积卵石混合土和冰水积卵石混合土等,其中冰水积卵石混合土厚约 30~100m。下伏基岩为花岗岩等。

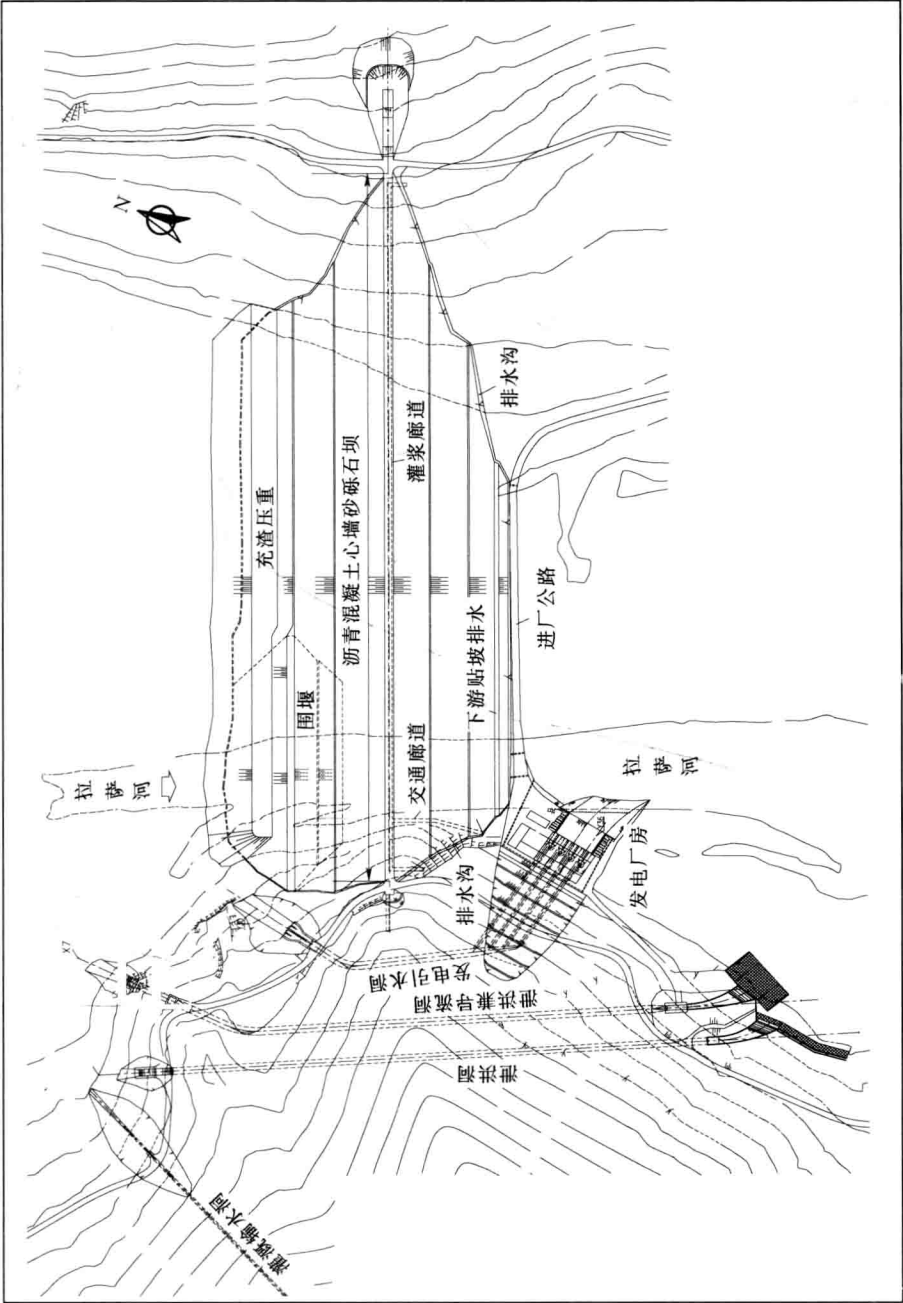


图 1 旁多水利枢纽工程平面布置图

左岸河漫滩覆盖层厚约 75~420m，上部为冲积卵石混合土，厚约 20~50m；下部为冰水积卵石混合土。下伏基岩为花岗岩，中等风化带厚度约为 20~30m。

河床部位覆盖层厚约 10~75m，上部为冲积卵石混合土、下部为冰水积卵石混合土。下伏基岩为花岗岩、熔结凝灰岩等，花岗岩与熔结凝灰岩呈熔融接触，中等风化带厚度约为 10~20m。

右岸山坡覆盖层不厚，基岩为闪长玢岩、熔结凝灰岩，熔结凝灰岩出露于山体坡脚，闪长玢岩与熔结凝灰岩呈熔融接触，中等风化带厚度约为 30~120m。

河床部位岩体多为弱透水岩体，局部为中等透水岩体，右岸坝肩 0~10m 为中等透水岩体，10m 以下为弱透水岩体。

施工中揭示的地质条件与前期设计阶段大体一致，主要区别在于：①左岸河漫滩、阶地段基岩埋深远大于 150m，有些部位甚至超过 424m；②覆盖层中广泛分布有漂石透镜体、粉细砂透镜体、孤石透镜体等特殊地层。因此，给超深防渗墙施工带来了极大挑战。

4 主要设计要求

旁多水利枢纽坝基防渗墙施工轴线桩号为 0+120.00~0+953.00，全长 1073m。其中桩号 0+159.00~0+669.00（轴线长 510m）范围内坝基覆盖层厚大于 152m，采用混凝土防渗墙悬挂防渗处理，最大设计孔深 158m；其余覆盖层厚度小于 152m，均采用混凝土防渗墙全封闭防渗处理，入岩深度不小于 1m，河床段最小施工孔深 80.72m。防渗墙厚度 1m。防渗墙主要设计指标见表 1。

表 1 防渗墙主要设计指标明细表

序号	项目	指 标
1	墙体厚度	不小于 1m
2	墙体深度	最大 158m
3	孔斜率	不大于 0.4%
4	强度等级	A 区 $R_{28} \geq 20\text{MPa}$ 、 $R_{180} \geq 25\text{MPa}$ ；B 区 $R_{28} \geq 30\text{MPa}$ 、 $R_{180} \geq 35\text{MPa}$
5	抗渗等级	W10
6	弹性模量	A 区 $E_{28} \leq 21\text{GPa}$ 、 $E_{180} \leq 28\text{GPa}$ ；B 区 $E_{28} \leq 24\text{GPa}$ 、 $E_{180} \leq 35\text{GPa}$
7	混凝土级配	Ⅱ级配

注 左岸河漫滩段高程 3970m 以上为 A 区，以下为 B 区。

5 主要施工设备

设备能力是满足 158m 深墙施工的基本保障。本工程混凝土防渗墙的主要施工机具为：利勃海尔 HS875HD 重型钢丝绳抓斗、HS885HD 重型钢丝绳抓斗、金泰 SG40 重型液压抓斗、利勃海尔 HS843HD 钢丝绳抓斗、CZ-A 或 ZZ-6A 型冲击钻机、YBJ-800/960 型大口径液压拔管机。

(1) HS875HD 重型钢丝绳抓斗，最大提升力为 60t，杆长 50m，斗体重 20t，具备 200m 深槽的施工能力。

(2) SG40 重型液压抓斗，额定抓取深度 60m。经现场技术改进后，最大施工深度为 106m，已经接近设计能力的 2 倍。通常情况，在这种地质条件下最大抓取深度只有 40~50m。

(3) HS843HD 钢丝绳抓斗，最大提升力为 50t，实际杆长 19m，施工时最大深度为 149.3m。

(4) CZ-A 或 ZZ-6A 型冲击钻机，钻头最大可达到 8t，最大冲程 1m，施工时最大深度为 210m。

6 施工工艺

本工程防渗墙施工采用“钻抓法”，局部结合“钻劈法”造孔成槽。混凝土浇筑采用泥浆护壁、气举清孔、泥浆下直升导管法。墙段连接采用接头管法，浅槽段采用钻凿法。

6.1 孔口高程及施工平台

孔口高程及施工平台的加固对防渗墙施工至关重要，但这又是极易被忽视的问题，并由此导致灾难性后果。

根据拉萨河水文情况，按 20 年一遇洪水标准，孔口高程确定为 4033.80m，较原设计 4032.00m 抬高了 1.80m。正因如此，避免了 2010 年 8 月 25 日特大洪水可能导致的灾难性后果。防渗墙顺利施工的前提条件是孔口稳定，而其三要素是：浆柱压力、地层结构、浆液性能。假如汛期地下水位距孔口不足 1m 或漫过孔口，亦即浆柱压力很小或为负值，则易导致大范围槽孔坍塌。

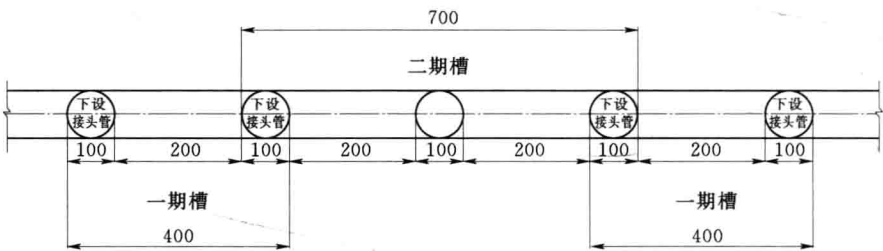
施工平台加固与孔口高程的确定是同一个问题，达到相同的目的，即稳定槽孔。施工平台的加固有多种方案可供选择，包括碾压、高喷、灌注桩、灌浆、深层搅拌等，视地质条件等进行技术经济比较，本工程采用了水泥+黏土+碾压。即将导墙底部松散地层，如粉细砂、腐殖土等先予以清除，然后用水

泥+黏土置换，再进行碾压。由此大大提高了施工平台的稳定性，为后续施工奠定了坚实的基础。

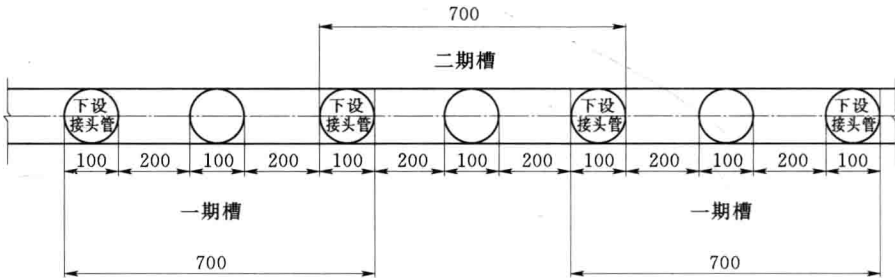
6.2 槽段划分

根据工程特性，综合考虑地层特点、墙体深度、设备能力等，以保证槽孔稳定为准则，一期、二期防渗墙槽段划分如下：

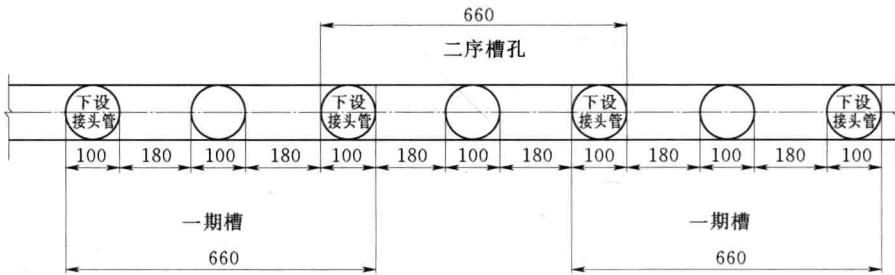
0+350.00~0+758.60 段。采用“一期小槽、二期大槽”的原则，即一期槽槽段长为 4m，分为 2 个主孔和 1 个副孔，主孔长 1m、副孔长 2m；二期槽槽段长为 7m，分为 3 个主孔和 2 个副孔，主孔 1m、副孔 2m，见图 2 (a)。



(a) 0+350.00~0+758.60 段



(b) 0+146.00~0+350.00 段



(c) 台地与河床段

图 2 防渗墙槽段划分、成槽孔序示意图

0+146.00~0+350.00 段。为加快施工进度, 兼顾地层特点, 一、二期槽槽段长均为 7m, 分为 3 个主孔和 2 个副孔, 主孔 1m、副孔 2m, 见图 2 (b)。

其余左岸段防渗墙及河床段。由于左岸段场地限制, 不便大型抓斗展开施工, 二期河床段防渗墙, 则因地质条件相对复杂, 或地层更为松散, 不宜做大槽孔。两者一、二期槽槽段长度均为 6.6m, 主孔 1m、副孔 1.8m, 见图 2 (c)。

6.3 成槽方法

结合地层、施工强度、设备能力等综合考虑, 防渗墙成槽采用“钻抓法”, 局部结合“钻劈法”造孔成槽。

主孔: 采用 ZZ-6A (或 CZ-A) 型冲击钻机钻凿成孔。

副孔: 孔深 100~110m 以内采用利勃海尔 HS843HD 钢丝绳抓斗或金泰 SG40 重型液压抓斗抓取, 孔深 100~110m 以下采用利勃海尔 HS875HD/HS885HD 重型钢丝绳抓斗抓取, 入岩采用 ZZ-6A 型冲击钻机钻凿。

一期槽孔的端孔混凝土拔管后形成二期槽孔的端孔, 待相临一期槽孔施工完后再施工二期槽孔。

6.4 固壁泥浆

泥浆的各项性能指标在防渗墙造孔成槽直至混凝土浇筑整个过程中起着至关重要的作用。它不仅制约着成墙深度, 影响着施工进度, 对接头管的起拔、混凝土浇筑以及墙体质量的控制也甚为重要。

本工程所用泥浆为一种新型浆液——JCJ/MMH 正电胶泥浆, 借以提高泥浆的固壁效果和泥浆的动切力 (携带岩屑能力)、静切力 (悬浮岩屑的能力), 以保证浇筑过程的顺利进行, 并确保墙体质量满足设计要求。

虽然泥浆成本较大, 但有效地抑制了槽孔坍塌以及由此带来的卡斗、卡钻、埋斗、埋钻等孔内恶性事故的发生, 并保证了工期及施工质量。

6.5 墙段连接

接头管法是目前混凝土防渗墙施工接头处理的先进技术, 本工程接头管起拔采用中国水电基础工程局有限公司研制的 YBJ-800/960 型大口径液压拔管机。

根据混凝土浇筑速度和混凝土初凝时间, 逐节进行接头管起拔。为保证接头质量, 在接头管起拔结束后, 利用钻机对 800mm 接头孔进行扩孔施工, 对 960mm 接头孔进行扫孔。