

悬挂式高喷防渗墙在尼泊尔某水电站卵砾石坝基中应用

毛会永

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 尼泊尔某水电站工程坝基地层为含漂(孤)石砂卵砾石, 厚度大, 地层结构复杂。通过前期研究比选, 采取了悬挂式高压旋喷防渗墙防渗方案, 利用优化的施工工艺和技术措施, 用较低的成本在较短的时间内完成了施工。经过检测, 高喷防渗墙成墙效果好, 墙体强度和防渗性能均达到了设计要求。蓄水实践证明, 通过设计合理的孔距, 3序法施工, 适宜的施工工艺参数, 严格的质量管理, 悬挂式高喷防渗墙用于深厚含漂(孤)石砂卵砾石层坝基防渗是适宜的。

关键词: 高压旋喷防渗墙; 砂卵砾石; 灌浆工艺; 复杂地层

中图分类号:

文献标识码: A

1 前言

在喜马拉雅山脉南麓尼泊尔境内, 发育有多条整体流向由北向南的河流, 如博迪克西河、崔树里河、上塔河等, 中上游存在有共同的地质地貌特征, 较适宜低闸坝引水式水电站的开发。上述河流深厚覆盖层坝基防渗是影响工程建设的重要因素之一。文章以上述河流上某水电站修复工程采用的高压旋喷防渗墙为例, 为类似地质条件下的低闸坝防渗设计和施工提供了经验借鉴。

该水电站为径流式引水发电工程, 位于尼泊尔Sindhupalchowk区的博迪克西河上游, 项目坝址位于中尼边境靠近尼泊尔一侧的Tatopani镇附近。工程以发电为主, 主要建筑物有溢流坝、泄洪闸、地面沉沙池、引水隧洞, 地面厂房等。电站利用水头145m, 引用流量 $36.8\text{m}^3/\text{s}$, 装机容量45MW, 产生的电力输入尼泊尔综合电力系统。

2 坝基特征及防渗墙适宜性分析

本工程新建溢流坝坝基位于主河床上。据钻孔资料, 河床覆盖层厚度 $>50\text{m}$, 以含漂(孤)石砂卵砾石为主, 局部砂粒、卵砾石相对集中, 其中砂粒为灰色的粉质细砂和中砂, 多充填于漂(孤)石、卵砾石间的空隙, 漂(孤)石、卵砾石为覆盖层的骨架物质, 覆盖层平均渗透系数 $K=2.5\times 10^{-2}\text{cm/s}$, 整体属强透水性。

本区河床地层埋深12m~45m区间, 粒径 $>60\text{cm}$ 的漂石含量少, 砂粒占比45%~60%以上(见图1), 结合动力触探试验数据, 防渗地层(高程1413m~1393m之间)土体密实, 渗透性强, 无较大漂石, 适宜采用各种防渗方案。考虑普通混凝土防渗墙和帷幕灌浆的施工期(估算需5个月~6个月)较长, 对地层条件要求较高, 成本较高、施工场面铺设大, 对原坝体扰动较大等, 最后决定采取悬挂式高喷防渗墙方案作为坝基防止渗漏及渗透破坏的工程处理措施。

高喷防渗墙是通过在地层中钻孔, 用高压水泥浆液或高压水流强力冲击切割、破坏原地层, 使水泥浆液或其它浆液与受到破坏、扰动后的土石料发生充分的掺搅混合、充填挤压、移动包裹, 至

收稿日期:

作者简介: 毛会永(1981-), 男, 河南开封人, 高级工程师, 主要从事水利水电工程地质、工程管理方面的技术和科研工作。

E-mail: mhuiy2008@qq.com

凝结硬化，从而构成彼此连接的防渗墙体。广泛应用于低水头挡水坝坝基，堤防、围堰的防渗，边坡挡土、基础防冲，地下工程缺陷的修补等。其渗透系数一般可至 10^{-6} cm/s \sim 10^{-7} cm/s，具备良好的防渗性能。

本工程在参建各方的监督下，与2018年8月进行了高喷防渗墙成墙试验。试验按两排布置，单排成桩直径约75cm，双排墙体有效宽度约为1.2m，经压水试验测试，桩体内渗透系数为0.00 Lu \sim 1.85Lu，平均0.25Lu。从试验成果来看，高喷方案在本工程地层中是适用的。



图1 河床钻孔岩芯照片（孔深25m~40m）

3 高压旋喷防渗墙设计

高压旋喷防渗墙设计长度为71.15m，埋深为20m，布置在坝上游，布置剖面及孔位设计见图2，

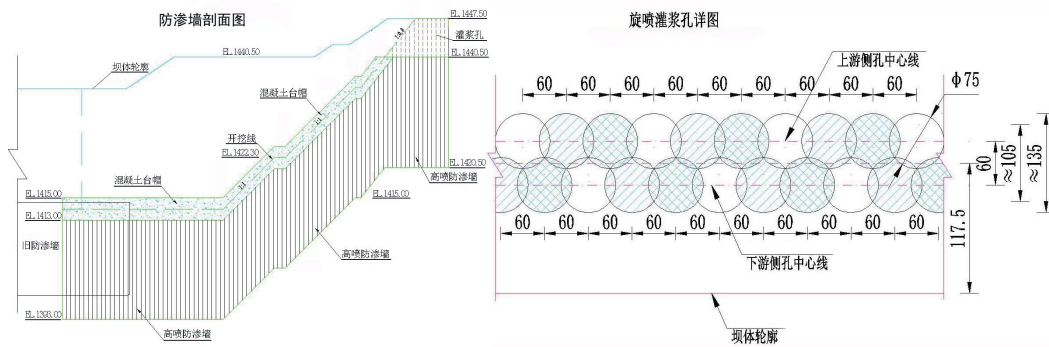


图2 高压旋喷防渗墙剖面及孔位设计示意图

基坑底部起始高程EL. 1413.0m，墙上设计盖重2m。墙身采用2排旋喷桩，间距60cm，最大壁厚1.35m，墙身饱和抗压强度要求不小于6MPa，渗透系数不大于2Lu。

成桩28天后，按总量的3%~5%进行质量检查，桩的抗压强度检查采用钻孔取芯实验室测试，防渗检查采用水压试验法。

4 高压旋喷防渗墙施工

随着已建大坝结构的上升，在坝基上游进行防渗墙施工。施工由基坑底部起始高程EL. 1413.00m逐渐向右岸连续进行。施工顺序为：填筑施工平台→喷射灌浆→质量检查→挖回填土→凿除桩头→浇筑墙帽→回填段背→下段施工。

4.1 风、水、电布置 由2台27m³柴油空压机提供施工用风，其中1台备用；由1台350KVA柴油发电机供电；跨围堰河道内取水。

4.2 浆站及沉淀池布置 考虑到循环施工和环境要求，在上游围堰上布置水泥浆站，向前方提供水泥浆。泥浆站由两个搅拌筒、一台灌浆泵、一台高压泵和一个水泥库组成。基坑内设置沉沙池，回浆导流至沉沙池，沉沙池内水泥浆经净化处理后回收使用。

4.3 钻孔代号及施工顺序 根据设计布置图，按三序钻孔喷浆施工，相邻次序间隔不少于24小时，保证灌浆效果，减少浆液浪费。

孔代号从左至右，上游孔代号：U1、U2、U3、U4、……；下游孔代号：D1、D2、D3、D4、……。其中D1 (U1)、D4 (U4)、D7 (U7)……为I序孔，D2 (U2)、D5 (U5)、D8 (U8)……为II序孔，

D3 (U3)、D6 (U6)、D9 (U9) ……为III序孔。首先施工下游桩，然后施工上游桩；先施工I序孔，然后依次施工II序孔、III序孔。

4.4 施工设备 施工使用的主要设备见下表1。

表1 主要设备明细表

序号	设备名称	型号规格	数量
1	钻机	MD-135	1台
2	高喷台车	XP-20	1台
3	高压泵	XPB-60	1台
4	灌浆泵	XPB-5	1台
5	搅拌机	ZJ-400	2台
6	拔管器	50T	1台
7	空压机	27m³	2台
8	发电机	350kVA	1台

4.5 施工工艺及说明

施工工艺流程见图3^[1]。

(1) 放线

施工场地平整后，测量员根据设计图纸逐孔放点，并计算出造孔深度。

(2) 钻孔

用MD-135型钻机钻孔（孔径146mm），钻机就位调平，确保钻孔垂直度满足设计要求^[2]。

钻孔流程：先钻孔，随钻跟管，防止钻杆卡死塌孔，钻孔完成后检查孔深，业主检查同意后下PVC管（外径=110mm，T=1.4mm），保护孔壁并拔出套管^[3]。钻孔过程中安排专人记录地质情况，为调整喷射灌浆参数提供参考。

(3) 混合泥浆

钻孔结束，旋喷设备就位后，采用高速搅拌机搅拌水泥浆，搅拌时间大于30s，搅拌均匀，成浆在4小时内使用。

(4) 喷射灌浆

根据类似工程经验和成墙试验取得的施工技术参数进行施工，参数见表2，并根据钻孔、灌浆情况，适当调整水泥浆压力、浆量、比重、转速，喷浆管提升速度等。喷射灌浆自下而上连续进行，卸管、连接时动作迅速，防止塌孔、堵塞管口；放管处比原停喷高度下降20cm~50cm，实现再喷射重叠，使桩体连贯。每孔灌浆结束后，用水泥浆及时回灌，直至孔口浆面不再下降为止；结束及时用清水冲洗喷射灌浆设备，防止堵塞。

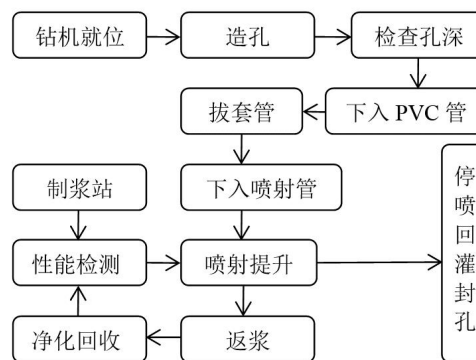


图3 施工工艺流程图

表2 高压旋喷灌浆施工参数

项目	技术参数		
供水	压力 (MPa)		31~32
供气	压力 (MPa)		0.63~0.82
	压力 (MPa)		1.6~1.9
高压泥浆	流量 (L/min)		35~50
	进浆比重 (g/cm³)		1.55~1.70
	返浆比重 (g/cm³)		≥1.2
喷浆管提升	速度 (cm/min)	6~8	在漂石、孤石密集区静喷、复喷、静灌，降低提升速度
喷浆管旋转	速度 (r/min)		8~10

4.6 特殊情况处理措施

(1) 地下暗流

由于河道坡降较大，砂砾石层深厚，坝基部分地段有地下暗流，当流速较大时，采取了取消高压水作用过程，采用高压浆液直接切割、充填，以达到减少浆液稀释的目的，同时利用高压气环绕

钻孔周围，起保护高速浆流和升扬地层颗粒的作用^[4]。

(2) 漂石、孤石

仔细核实钻孔时遇到的大块石、漂（孤）石集中区域和渗漏严重地段的地质情况。喷浆过程中如较长时间未发现返浆，加大喷浆压力和提高浆液浓度，上、下50cm加大旋转速度、静灌，使该段地层浆液充填密实饱满，将漂（孤）石用水泥浆充分包裹，使柱体连续完整^[5]，同时在浆液中掺加细砂或直接在孔内投注有一定级配的砂碎石和水玻璃，缩短固结时间，使水泥浆在一定范围内凝固，直至正常返浆。必要时在漂（孤）石集中区域的柱体两侧（或一侧，视钻孔情况确定）增补喷灌孔，以确保搭接。

(3) 返浆、串浆

返浆较多时，调稀浆液，加大灌浆压力，认真做好灌浆记录，及时测定返浆比重等指标。当孔口返浆密度小于规定要求时，减缓提浆和转速，降低水压，增加浆液密度或灌浆量^[6]。

结束喷浆后立即对串浆孔进行下管施工；对未能及时起拔护壁套管的串浆孔，在串浆孔的两侧重新补打灌浆孔，保证墙体的连续性。

最后，根据现场施工情况，对灌浆过程中质量把握不定的孔进行复灌。

5 质量控制

建立以项目经理为第一责任人的质量管理体系，统一指挥和分级领导，对每道工序严格执行质量“三检制”，在自检合格的基础上，再报请业主和设计单位验收，经验收合格后，进入下一道工序施工。

根据现场条件，编制施工组织设计和具体实施方案。对管理人员、技术人员和技术工人进行施工技术交底、培训。严格要求按操作规程进行施工，禁止使用不合格的材料。

对机具设备和压力表、流量计等经常检查、保养和率定，确保施工时机具设备有效可靠。

6 质量检测

(1) 开挖检查

施工结束7天后进行开挖检查，检查点布置在上游，挖深约3.7m，测得检查点处防渗墙厚1.25m~1.35m，整个墙体连续致密，搭接良好，有一定强度。槽面上见卵砾石、砂和水泥形成的较均匀的固结体，孤石、卵石之间被水泥结石充填，成墙明显。

(2) 渗透试验

施工结束28天后，在防渗墙轴线上，按5%的抽检率随机钻取孔径76mm，深4.5m~20.5m的钻孔进行压水试验。压水段长为5.0m，压力为0.23Mpa~0.6Mpa，测得墙体渗透系数 $k=i \times (10^{-6} \sim 10^{-7}) \text{ cm/s}$ ($< 2\text{Lu}$)，其渗透系数满足设计要求。

(3) 强度试验

利用检查孔岩芯在室内进行强度试验，其饱和抗压强度均值大于8MPa，满足设计要求。

经业主代表、业主咨询工程师、施工方、设计院代表现场审核鉴定，一致认为本工程采取的悬挂式高喷防渗墙固结体较致密，形成了较完整的连续墙体，墙体厚度、抗渗特性、抗压强度符合设计要求。

2019年9月，大坝竣工，开始挡水，坝基防渗墙运行良好，效果见图4，通过了实践检验。

7 结论

在常规高喷灌浆施工技术的基础上，通过调



图4 大坝挡水后俯瞰图

整灌浆工艺和浆液配方,特别是不返浆不提升、纯高压浆液+高压供气、浆液包裹等方案处理地下暗流、漂(孤)石等,对成墙质量起到了有效作用。通过实践证明,在含漂(孤)石砂卵石深厚覆盖层坝基防渗中,高压旋喷防渗墙具有一定的适宜性。高喷防渗墙施工场地小,施工周期短,造价低,本工程的成功利用为类似坝基防渗提供了经验参考。

参 考 文 献:

- [1] 刁望利,孙彦,富国华. 高压喷射灌浆技术在砂砾卵石地层的应用[J].水利规划与设计,2007,(3):61-63.
- [2] 侯昌麟,冯光学. 高压喷射灌浆在小峡水电站工程中的应用[J].水电站设计,2006,22(1):23-25.
- [3] 张利新,肖强. 西霞院反调节水库高压旋喷防渗墙的施工研究[J].人民黄河,2006,28(7):57-58.
- [4] 王志杰,刘猛昌,徐荣阳,李俊杰. 高压旋喷防渗墙在高水位落差情况下的施工探索[J].四川水利发电,2019,38(增刊1):84-86.
- [5] 黄宝德. 影响高喷防渗墙质量的因素及防治措施探讨[J].人民长江,2010,41(5):58-61.
- [6] 常明云,赵明,魏秀秀. 强透水砂卵石复杂地层的高压旋摆喷灌浆处理技术[J].岩土力学,2009,30(5):1409-1414.

Application of suspended high-pressure jet grouting impervious cutoff in gravel dam foundation of a hydropower station in Nepal

MAO Hui-yong

(Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065,China)

Abstract: The dam foundation stratum of a hydropower station in Nepal is composed of sand gravel with boulders, very Thick, the stratum is complex. Through preliminary analysis and comparison, the construction scheme of high pressure jet grouting cutoff wall is adopted. The construction technology and technical measures are optimized by on-site test. After testing, the effect of high pressure jet grouting cutoff wall is good. The strength and anti-seepage performance of the wall meet the design requirements economically. Water storage practice proves that, through the design of reasonable hole spacing, 3-sequence construction, appropriate construction process parameters, strict quality management, which is suitable to use the suspended high pressure jet grouting cut-off wall to prevent the seepage of the dam foundation with the thick stratum of sand gravel with boulders.

Key words: High pressure jet grouting cutoff wall; sand gravel with boulders; grouting technology; complex stratum

作者简介:毛会永(1981-),男,河南开封人,高级工程师,主要从事水利水电工程地质、工程管理方面的技术和科研工作。电话:18066967850;
E-mail: mhuiy2008@qq.com。