

# 浅谈高压喷射注浆防渗技术在砂砾石地层中的应用

彭志刚

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 高压旋喷注浆法技术在Q4砾石地层中应用有许多困难,通过该技术在卡拉贝利水利枢纽工程的成功运用,总结了一些施工经验。

**关键词:** 高压旋喷灌浆; 防渗; 砂砾石地层

## 1 高压旋喷注浆技术简介

### 1.1 术语

高喷灌浆工程施工高压喷射灌浆(简称高喷灌浆或高喷),是一种采用高压水或高压浆液形成高速喷射流束,冲击、切割、破碎地层土体,并以水泥基质浆液充填、掺混其中,持续不断地高喷射流对周围土体产生渗透和挤压作用,促使凝结体与周围土体结合形成桩柱或板墙状的凝结体,用以提高地基防渗或承载能力的施工技术。

### 1.2 适用范围

高压喷射灌浆防渗和加固技术适用于各种建筑物地基的加固、边坡挡土、地下工程缺陷修补等工程中,在水工建筑物中主要是用于防渗。卡拉贝利高压喷射灌浆主要用于一期纵向围堰的防渗处理。

### 1.3 加固机理

高压喷射注浆是是采用钻孔成型后,由高喷台车把首端带有合金喷嘴的注浆管置入适宜介质预定深度后,然后用高压水泵(20~40MPa)将水或者浆液从喷嘴中喷射出来,冲击破坏砂砾层,使砂砾层在喷射流束的冲击力、离心力和重力等综合作用下,与浆液搅拌混合,并按一定的浆土比例和质量大小,有规律地重新排列。待浆液凝固以后,在砂砾层中形成一定形状的固结体,起到一定防渗作用。

### 1.4 高压喷射注浆方法

根据我公司对高喷灌浆施工工艺的实际应用以及本工程地质特征,本工程采用三重管旋喷法施工。

## 2 高压旋喷应用于砂砾石层的比较

Q4 砂砾石层主要由细沙及砂卵石等粗颗粒组成,其透水性较强,透水率较大。对于该类型地层防渗,一般采用挖除砂砾层然后采用混凝土防渗墙或帷幕灌浆、粘土闭气的施工方法进行处理,但都存在施工速度慢,造价高等不利条件。综合考虑施工方法、工艺及原材来源等诸多因素,采用高压旋喷灌浆技术进行砂砾石层处理可能达到理想的防渗效果。

卡拉贝利水利枢纽工程一期纵向围堰位于(坝0+308)主河床段,地层主要为分部不均匀的砂砾石层,需进行防渗处理的平均深度为6m左右,属于固定总价临时措施项目。为了保证防渗效果,控制施工成本及工程进度,在进行塑性混凝土防渗墙、高压旋喷防渗技术方案的综合评价后,确定采用高压旋喷注浆防渗处理方案。主河床以上填筑层面,在施工中需要解决成孔难、易塌孔、钻进慢等工程技术难题。所以在现场施工过程中采用了主河床水平面以下采用高压旋喷,上部采用墙帽砼加土工膜的防渗技术综合施工,既节约成本,又施工简洁。

## 3 高压旋喷技术在卡拉贝利水利枢纽工程中一期纵向围堰防渗墙施工中的实施

### 3.1 工程概况

卡拉贝利水利枢纽工程坝址区河谷总体走向呈NW~SE,河谷属较宽的“U”型谷,谷底宽300~500m,谷底高程1694~1697m,现代河床宽250~300m,河流摆动性大,河心滩发育,两岸地形不对称。左岸坡在坝轴线附近形成凸岸状;河床右岸发育I、III~V级基座阶地,呈阶梯状分布。坝址区属低中山河谷侵蚀地貌。坝址区主要发育第三系砂砾岩、砾岩、砂岩夹薄层泥岩和第四系砂砾石层,河床覆盖层厚5~7m。

坝址区的河水、潜水及基岩裂隙水对混凝土具有结晶类硫酸盐型中等~强腐蚀性。

一期纵向围堰轴线长343.0m,轴线处桩号坝0+308m,基础防渗采用高压旋喷墙,设计单排孔,孔距1m,最大孔深7.5m,防渗墙底部深入基岩0.5m,高压旋喷墙工作平台上游端顶部高程1696.0m,下游端顶部高程1694.0m。

### 3.2 施工布置

#### (1) 制浆输浆系统

制浆采用集中制浆站,在堤顶设一座固定式集中制浆站(规模为8m<sup>3</sup>/h),供灌浆施工用浆。制浆站主要设

备包括水泥贮存场、喂料计量器、高速浆液搅拌机、贮浆桶、输浆泵和输浆管路等。集中制浆站制备0.5:1的稳定水泥浆，通过输浆管路直送或转送各作业面。

(2) 供水系统

制浆、钻灌用水取自河道。

(3) 供电系统

用电缆引线至作业面，分设若干个配电箱，再分至各钻灌机组。

(4) 排水排污系统

在堤内修建沉浆池，废水、废浆经沉浆池沉淀后，清水排入大坝排水系统，泥浆沉积物由专人清理并装车运至弃渣场。

(5) 钻灌机组

旋喷灌浆钻灌机组配备“两钻一灌一仪”（钻机、灌浆泵、自动记录仪）。

3.3 施工工艺

3.3.1 高压旋喷施工参数选择

围堰防渗墙施工前期，首先用0.8m和1m两种孔距进行了试验孔施工，采用围井法并进行了开挖注水试验检查。从开挖检查看，旋喷墙最小厚度0.8m，最大部位墙厚1.10m，墙体规则平整，城墙连续。

根据试验资料，施工时最终选择参数为：孔距1.0m；水压33~37MPa；浆压0.2~1.0MPa；注浆率60~75L/min；提升速度8cm/min；旋转速度（0.8~1.0）Vr/min（V为提升速度）；浆液密度 $\geq 1.5\text{g/cm}^3$ 。

3.3.2 高压旋喷防渗墙施工方法

高压旋喷防渗墙钻孔注浆分两序施工，先施工I序孔，后施工II序孔，相邻孔施工间隔时间不少于24h。注浆采用三管法高压旋喷灌浆，即以浆、气、水三种介质同时作用与地层，使浆液与地层颗粒成分混合、搅拌、置换、充填渗透形成固结体。

高压旋喷灌浆施工工艺流程见图1。

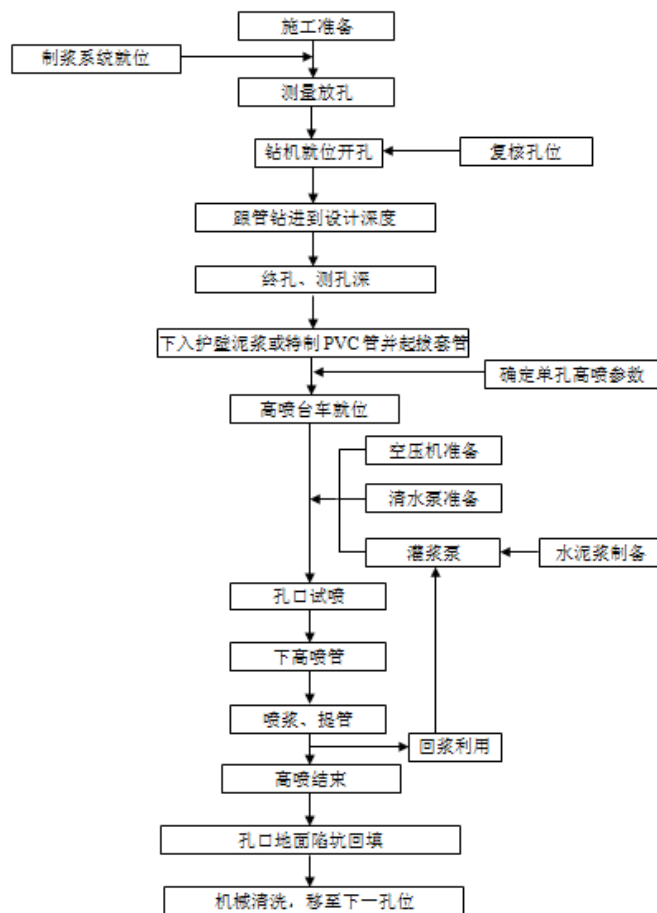


图1 高压旋喷灌浆施工工艺流程

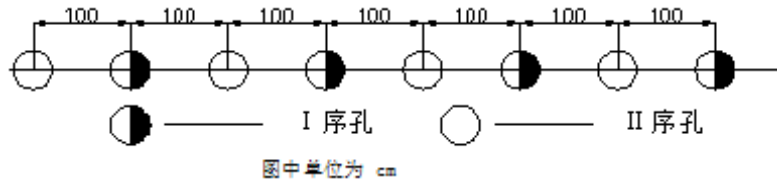
(1) 布孔

测量队放出高喷灌浆轴线，并在轴线上每15~20m

设1个基准控制点，用木桩定位，根据控制点的桩号、坐标、高程，按照提前划分好的单元和分序布设孔位，采

用50m钢尺测量定位,孔位定位误差控制在5cm以内。施工过程中对木桩应妥善保护,高喷台车及钻机挪位时应避开定位木桩,以便施工中及完工后检查时校验和确定孔位。

### (2) 钻孔施工



图中单位为 cm

图2 高喷灌浆钻孔布置图

### 2) 钻孔参数

采用跟管钻进方法成孔,孔径150mm,套管直径146mm,钻孔布置为单排孔,孔距1.0m,分二序施工,孔位偏差 $\leq 50$ mm,孔斜 $\leq 1.5\%$ 。

### 3) 钻孔施工

#### ① 钻孔孔斜测量

开孔前,严格检测钻机钻杆的垂直度和钻头所对的孔位,直至确保位于铅垂状态和开孔孔位误差不大于5cm。在高喷钻孔结束后及时进行高喷钻孔孔斜的测量,符合规范要求。

#### ② 钻孔技术措施

a将钻机移至设计孔位,加高垫平稳固后用水平仪检查钻机前后左右,并调整其呈水平状态后方可开孔。开孔孔位与设计孔位的偏差 $\leq 5$ cm。

b采用SH-150钻机配 $\phi 130$ 钻具回转跟管钻进至设计孔深,起钻向孔内注入护壁泥浆,用拔管机拔出套管并保护孔口,防止异物吊入孔内,钻孔分I、II两个次序进行。

c钻孔完成后进行孔斜和孔深测量,由质检人员进行工序验收,检测孔深达到设计要求、孔斜偏差 $\leq 1\%$ 以后方可终孔,并经监理人验收签证,否则,进行纠偏或加深,钻孔终孔验收合格后,对孔口妥善保护。

③ 钻孔首先对先导孔进行施工,根据现场所配备的设备情况,我们对回填段采用孔口捞砂的方法确定地层,在钻至基岩段后下入岩心管进行取芯,确定防渗底线。根据先导孔柱状图及由柱状图作出的地质剖面图确定各孔终孔孔深。

### (3) 高喷灌浆施工

1) 高喷灌浆台车就位;使用液压步履装置使高喷台车的井口装置对准孔口,然后升降液压支腿调平台车,并进行试喷检查,各管路及机械正常,各参数均达到要求后方可下入喷杆。

2) 下喷管:利用卷扬机提起喷杆,使喷头通过井口

### 1) 钻孔顺序

高喷孔钻孔分II序施工,先施工I序孔,后施工II序孔;灌浆自下而上喷射,I序孔喷射板墙凝结后再施工II序孔,以免串孔或窜浆。灌浆孔位布置见图2。

对准孔位中心,将喷杆下入孔内直至孔底。

3) 制浆:使用ZJ-400型高速搅拌机制浆,搅拌30s后,放入 $0.8\text{m}^3$ 的贮浆桶中(贮浆桶上安装过滤网对浆液进行过滤),用比重称或比重计测量浆液比重,符合要求后,进行喷灌施工。

4) 喷射提升:调整好喷射轴线、旋转速度及提升速度,连接气、水、浆管,先通气、水,后通浆,喷射1~3min,然后启动旋转装置,待孔口返浆比重大于1.3时再启动提升装置,按试验确定并经监理工程师认可的各项参数由下而上按高喷工艺提升喷射。在注浆过程中,使用监测台控制与记录,并根据其显示的数据及时调整。

5) 孔口回填:喷射灌浆结束后,关闭高压水及气,继续往孔内送水泥浆液直至孔口浆液下降不明显时,结束供浆。

6) 机具冲洗:每喷射完一孔后,喷灌设备如能在10分钟之内,转移至新孔位并下入孔底,可不考虑对输浆系统进行冲洗,如输浆距离长,气温高、转移时间较长应对喷灌系统进行冲洗,以免管路堵塞。

7) 成墙施工:高压喷射灌浆作业分两序施工,单孔喷射作业连续进行,相邻I、II序孔的作业间隔时间为24h。施工时根据现场施工情况调整同序孔的施工次序。如施工间隔时间过长,采取提高喷射压力,降低提升速度等措施处理,确保I、II序墙体的可靠搭接。

### (4) 特殊情况处理

1) 喷射灌浆作业须连续进行,喷射施工过程中因故中断,中断时间超过30分钟,重新恢复施工前先把喷杆下至中断前的高程以下50cm,采取重叠搭接喷射处理后,再继续向上提升及喷射注浆,并记录中断深度和时间,如喷杆下不到位,采取扫孔再喷射的措施进行施工。

2) 在地层中空隙较大而引起不冒浆或冒浆量偏低,则在浆液中加入适量的速凝剂水玻璃等,缩短固结时间,使浆液在一定土层范围内凝固,同时增大注浆量,

减慢提升速度或进行静喷，直至孔口冒浆达到设计比重后，再提升喷射。

3) 若冒浆过大，采取提高喷射压力，加快提升速度进行施工，同时对冒出地面的浆液进行过滤，沉淀除去杂质，再予以回收利用。

(5) 质量检测及控制措施

1) 孔位控制：由专业测量人员负责放样定点，并设置控制网点，在施工过程中随时抽测、校核，确保孔位偏差小于5cm。

2) 孔斜控制：钻进过程中，用KXP-1型测斜仪进行孔斜检测，发现超斜，及时调整，保证孔斜偏差小于1%。

3) 桩底质量控制：提升喷浆时，严格按设计要求操作，先在孔底喷1~3min，待各参数达到设计值后开始提升。

4) 桩顶质量控制：当旋喷提升至距桩顶1m时，应慢慢提升到桩顶，以保证桩顶质量。

5) 施工过程中，应严格按照规定提升旋喷，出现问题及时处理并详细记录。冒浆量应小于注浆量的30%，且返浆比重必须大于1.25g/cm<sup>3</sup>。

6) 喷射按二序法施工，相邻两桩施工间隔时间不少于48小时。

(6) 安全措施

1) 高压泥浆泵：必须认真地全面检查和清洗干净，防止泵体内有残渣和铁屑存在，各类密封圈必须完整良好，无泄漏现象，安全阀中的安全销要进行试压检验。

2) 钻机：司钻人员应具有熟练的操作技能并了解喷射注浆的全过程。

3) 搅拌浆液：灰泵工进行浆液搅拌操作时，应配备相应的防尘、防毒面具。

4) 高压胶管：在使用过程中，如超过压力范围，则要显著的降低其使用寿命。此外，若软管极端弯曲，将明显影响耐压效率，产生早期疲劳损坏，故使用时不应小于规定的最小弯曲半径。

5) 喷射前，要检查各管路是否畅通，并注视各种机械的运转情况，如发现异常立即停机检修。

6) 吊、放喷射管路时，严禁管下站人，所有进工地人员必须戴安全帽。

7) 因施工场地常处水、浆潮湿地带，人员较多又比较集中，故电器线路有架杆拉设，在施工中换班或处理事故时，要断开电源。

8) 在施工中施工人员必须按操作规程进行，严禁违章操作。

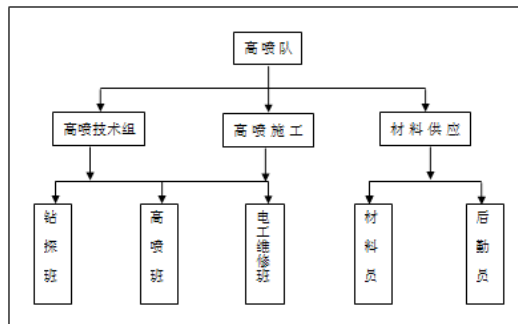
4 组织机构

高喷施工队队长：全面负责本次高喷施工。对生

产、安全、质量负全责。

高喷施工队技术负责：负责本次高喷施工技术交底、质量、安全、资料整理及竣工报告编写。

一期纵向围堰高压旋喷墙施工作业队组织机构见下图。



5 成果分析

卡拉贝利水利枢纽工程一期纵向围堰高压旋喷防渗墙施工段长343m，成墙2058m<sup>2</sup>，根据高压旋喷处理完成后右坝段基坑开挖后渗水量判断，高压防渗效果较好，达到了预期的目的（施工图片见下图），为右坝段基坑开挖工作和后期的大坝填筑工作奠定了基础。

高压旋喷后基坑效果



6 结论

卡拉贝利水利枢纽工程一期纵向围堰高压旋喷防渗墙施工过程中，针对砂砾石地层选择合理的造孔护壁方式，加快了施工进度，缩短了工期。高压旋喷注浆施工确定合理的孔距和高喷参数为保证施工质量、减少工程投资提供了有效保证。本工程总结了几个工程的施工经验做一调整，为以后在同类地层的防渗处理积累了一些可靠经验。

参考文献

[1] 《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范DLT 5200-2019》