# 高压喷射灌浆技术在浍河水库坝基加固中的应用

彭跃刚

(山西省临汾市水利机械工程局,山西 临汾　041000)

摘要:高压喷射灌浆施工技术是近十几年来逐渐发展起来的一项新兴工程技术,主要用于水利工程截渗堵漏、工程地质加固、地基处理等方面.结合在山西临汾浍河水库大坝坝基除险加固工程中的成功实践,从地质条件、方案设计、工程试验到工程施工及其质量保证诸方面,阐述这项技术在工程应用中的具体施工参数、施工工艺流程及质量保证措施.实践表明使用高压喷射灌浆技术截断坝肩渗漏层,防渗效果明显,是水库土坝、堆石坝等坝型基础防渗、坝肩防渗的一个十分有效的方法,有广阔的发展前景.

关键词:高喷防渗技术;灌浆;防渗;浍河水库

中图分类号:TV543+.1　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0129-03

浍河水库是汾河一级支流浍河上的一座以灌溉、防洪为主,兼有养殖、旅游等综合效益的中型水库,水库大坝位于临汾市曲沃县城东 10 km 的浍河干流上,水库建于 1958 年,1966 ~ 1969 年改建了溢洪道,1997 ~ 1999 年增建了泄洪洞,但水库仍存在防洪标准低,左坝肩渗漏的问题,2003 年山西省水利厅对此进行了批复,做加固处理.

## 1　问题的由来和工程地质条件

浍河水库左坝肩台地为浍河水库坝址左岸残留的二级高阶地,东西长约 700 m,南北宽约 400 m,阶面高程 480 ~ 484 m,高出河床 25 ~ 29 m.地质勘探已查明台地底部有透水的砂或砂砾石层,因当时条件所限,未能及时处理.蓄水 3 a 后(1960 年 2 月),在左坝肩下游坝坡 468.562 m 高程与左坝肩台地岸坡接触处出现漏水、阴湿现象.3 个月后渗流量达 81.48 $m^3/d$,当时做反滤排渗处理.后由于绕坝渗流,东周台地陡崖失稳,终酿成滑坡、塌方.通过对历次钻探成果及资料的分析,并结合地层结构及各层颗粒级配分析,发现左坝肩台地有 3 个透水层,即在 465 m 高程以上主要为砂性土,渗透系数 $k = 0.026 \sim 0.76$ m/d,为第一透水层;465 ~ 455 m 为相对隔水层,455 ~ 449 m 为细砂、中砂、砂砾石等,$k = 0.096 \sim 1.33$ m/d,为第二透水层;449 ~ 441 m 为相对不透水层,441 ~ 435 m 为中砂、砂砾石等,$k = 2.4$ m/d,为第三透水层.采用水库原设计正常高水位 483.5 m 计算各透水层的实际水力坡降、临界水力坡降、允许水力坡降,对各透水层进行进一步分析后认为:第一透水层水平渗流段透水层处于渗流稳定状态;第二透水层水平渗流段粗砂层处于渗流稳定状态,细砾层处于渗流临界稳定状态或不稳定状态;第三透水层水平渗流段处于流渗临界稳定状态或不稳定状态.由此看来,浍河水库左坝肩的渗漏问题必须及时处理,以防不测.

## 2　防渗处理方案设计

为截住渗流,保证水库大坝安全运行,曾对明挖截水墙、灌浆、浇筑截水墙及高喷注浆防渗墙等方案进行了经济技术等各方面的比较,最后选定了高喷防渗墙方案.高喷防渗墙技术是一种先进的软基垂直防渗施工技术,它利用高压射流破坏土层结构,形成沟槽,使水泥浆与砂土、砂砾充分搅拌混合,重新排列,最终凝结成新的复合材料的防渗体,从而起到防渗作用.设计实施范围从主河槽坝基截水槽开始延伸到左岸,并伸入中更新统地层中.垂直方向向下插入第二和第三透水层之间,即将上部第一、第二透水层阻断,未阻断第三透水层.第三透水层较深,距水库淤积面(高程 471 m)有近 30 m,通过对库前淤积层取样分析认为,试样中粒径小于 0.02 mm 的泥砂占 74.6%,说明库前淤泥中黏粒含量相当高,并且

作者简介:彭跃刚(1961—),男,山西临汾人,高级工程师,从事水利工程施工与管理工作.

随着时间的推移会逐渐密实，从而具有一定的防渗效果，据有关资料显示：在 15～20 a 的时间，其防渗系数将有可能达到 $10^{-6}$～$10^{-5}$ cm/s 之间，故认为第三透水层可不作处理．高喷防渗墙底高程设为 442.5 m，顶高程为 464.0～480.0 m，高喷防渗墙总长度 510 m，起点为大坝桩号 0＋860，终点为 1＋085，轴线位于加坝后坝轴线上游 15 m 处．

根据高压喷射灌浆在砂层、砂砾石层中所能形成的凝结体的形状大小及特征，为确保防渗墙体可靠稳定连接，连接形式为哑铃形的摆喷折线型，摆角为 30°，摆角角分线即喷射方向与防渗墙轴线夹角为 20°，相应凝结体的连接角度为 140°，摆喷速度 7.5°/s，孔距 1.6 m，分为两序孔，单号为Ⅰ序孔，双号为Ⅱ序孔．灌浆所用水泥要求采用 32.5 号普通硅酸盐水泥．

## 3　高喷防渗墙施工

高喷防渗墙施工工艺要求较严格，工艺参数较多，各种不同类型设备之间的配合必须协调一致．参加作业的人员必须高度重视，要有认真负责的科学态度、紧张有序的工作作风，科学管理，规范操作．

高喷设备的喷管采用三重管，即水、气、浆管并列在一根直径为 108 mm 的钢管内．与之配备的水系统由高压水泵、压力表、高压截止阀、高压胶管与高压喷管连接；气系统由空压机、风管、压力控制台与高压气管连接；浆系统由高速泥浆搅拌机、灌浆泵、输浆管、控制表盘等与高压喷管连接．高压喷射系统包括高压水嘴、喷射管和喷头．水、气、浆管排放于直径 108 mm 的钢管内，接头处用丝口压胶圈密封，三管喷射管路顶部设置高压水龙头与三管通过过渡接头连接．水嘴直径 1.8 mm，用硬合金压模工艺制成，气嘴与水嘴同心套装．摆喷与提升装置均由调速器按要求自动控制．高喷防渗墙施工可分 3 个阶段．

### 3.1　试验阶段

选择与工程所在地土层和砂砾石层相仿的土层进行试验，通过试验获得在该土层中施工操作的各项工艺参数，以满足设计对高压喷射灌浆防渗墙的结构形式、尺寸、渗透性和强度指标的要求．选择的参数有摆喷孔距、高压水压力、气压、提升速度、喷嘴摆速、浆液密度、水嘴及气嘴孔径等．通过试验检查摆喷凝结体的有效长度、板墙的连接情况、凝结体的渗透系数和凝结体的抗压强度．试验场地选择在与设计地层相同的地段，本工程选择的试验地点为：土层选择在左岸坝后台地上；砂砾石层选择在左岸坝后高程为 460 m 的平地上．试验孔的布设分两种形式：一为板墙型式，共 12 个孔，土层 6 个，砂砾石层 6 个；二为围井型式，共 4 个孔，孔深均为 7 m．前者检查凝结体的有效长度和连接情况，取样测试其强度．后者检查凝结体的渗透系数．采用 GXY-1B 型地质钻机造孔，高压喷射灌浆设备自下向上一次提升成墙．分Ⅰ、Ⅱ序孔分别进行钻孔和喷射灌浆．板墙及围井试验孔孔位布置示意图见图 1 和图 2．

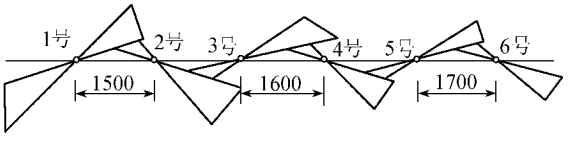


图 1　高喷防渗墙板墙试验孔布置示意图(单位：mm)

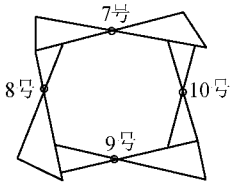


图 2　高喷防渗墙围井试验孔布置示意图

试喷完成初凝后，进行开挖检查和注水试验，开挖结果发现墙体连接良好，凝结墙体有效长度 112～165 cm，砂砾石层中墙体厚度 36～99 cm，土层中墙体厚度 45～86 cm．围井注水试验认为：墙体渗透系数仅为 $2.5\times10^{-8}$ cm/s，完全符合设计要求．

### 3.2　施工阶段

#### 3.2.1　施工工艺及参数

a．经过试验阶段的试喷、检验、总结、改进、得到了用于指导施工的各种参数和工艺流程，见表 1 和图 3．

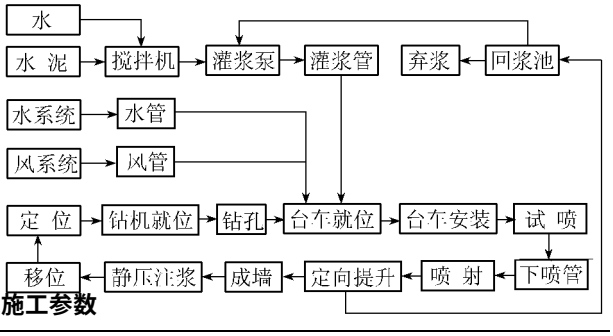


图 3　施工工艺流程

表 1　高喷灌浆施工参数

| 地层 | 高压水 | | 压缩气 | | 水泥浆 | | | 提升速度/(cm·min$^{-1}$) | 摆嘴速度/(°/s) | 喷射角/(°) | 摆角/(°) | 水嘴孔径/mm | 气嘴孔径/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 压力/MPa | 流量/(L·min$^{-1}$) | 压力/MPa | 流量/(L·min$^{-1}$) | 压力/MPa | 流量/(L·min$^{-1}$) | 密度/(g·cm$^{-3}$) | | | | | | |
| 土 层 | 34～36 | 70 | 0.6～0.7 | 1.0 | 0.2～0.4 | 80 | 1.5 | 10.0 | 7.5 | 20 | 30 | 1.7～1.8 | 8 |
| 砂卵石层 | 34～36 | 70 | 0.6～0.7 | 1.0 | 0.2～0.4 | 80 | 1.5 | 5.5 | 7.5 | 20 | 30 | 1.7～1.8 | 8 |

本次高压喷射灌浆施工，临汾市水利机械工程局投入的主要机械设备有150型钻机2台、HT-50高压旋喷钻机1部、高压泵2台、注浆泵2台及其他配套设备、检测设备.

b. 施工工艺内容如下：①地质勘探：沿成墙轴线每10孔钻一勘探孔，钻取岩芯，画出地层柱状图，作为喷浆时调整各种参数的依据.②放线定位：采用一次性放线定位，每隔10孔设一控制桩，以便施工中定位准确.③钻机就位：钻机就位，安放平稳，钻头居于孔中心，保持钻杆垂直.④钻孔：钻机稳定后，在对正孔位的同时核对主轴垂直度，确保其垂直.采用HT-50型地质钻机，∅127 mm合金钻头，钻孔直径130 mm.选用曲沃白水黏土泥浆固壁，浆液密度为1.4～1.6 g/cm$^3$.所有钻孔按设计图纸统一编号，并注明施工次序，先钻Ⅰ序孔，后钻Ⅱ序孔，且钻一喷一.布孔水平偏差控制在于20 mm以内，钻孔竖直偏差不得大于1%，每钻10 m校正一次竖直度，如有偏差及时修正.⑤验孔、下管：检查钻孔是否有局部塌孔或钻孔直径偏差超过规范，如有塌孔需进行处理，若位移超出规定范围，校正钻机进行扫孔.验完孔后，换上喷管下至设计高程.并用1 MPa压力送水，防止堵塞喷嘴.⑥喷射：喷嘴调整到设计偏角，设定摆动范围，按试验确定参数操作，并根据地层岩性及时调整参数.⑦静压注浆：高压喷射作业结束后，由于浆液沉淀作用，需向孔内注入浆液使其饱满.

3.2.2 施工阶段质量控制

a. 建立健全完善的质量保证体系，分工明确，责任到人，积极配合监理方做好施工过程各环节的质量控制.

b. 每隔10孔打一先导勘探孔，取芯做好地层描述，准确核定地层变化及其厚度，钻孔时严格控制孔斜不大于1%.

c. 高喷灌浆必须先喷Ⅰ序孔，完成后再喷Ⅱ序孔，操作必须按工艺流程和指定参数进行，并及时查看控制台各项参数，发现问题查明原因，及时处理.处理时间在20 min以上，应将喷管下降50 cm重新喷射，停喷时间超过2 h，应进行复钻、重喷.

d. 严把水泥质量关，使用32.5号普通硅酸盐水泥，每批水泥进场必须有出厂合格证和抽样检验单方可使用，制浆系统要安全可靠，计量准确，拌和均匀，密度合适，灌浆开始后，供浆要连续不能中断.

e. 建立完善的质量管理体系，选择好质量控制点，完善监理、施工双方签证手续.

f. 做好特殊地层、特殊情况的应急处理预案和准备工作，做到出现问题即有对策.

### 3.3 质量检查阶段

高喷防渗墙施工结束后，为检验其防渗效果，做围井法检验，共设两个围井，均为四边形，在围井内钻孔做注水试验.试验结果显示，单位注水量$2.5\times10^{-8}$ m$^3$/s和$1.0\times10^{-8}$ m$^3$/s，两注水试验渗透系数均小于$1.0\times10^{-6}$ m/s，几乎不透水，说明本工程的设计方案是可行的，施工质量优良，防渗效果良好.

## 4 结 论

高压喷射灌浆是近十几年发展起来的一种新的施工技术，已广泛用于水库除险加固、建筑物地基处理、地下水截流等方面，特别是能在不损害地面建筑的情况下，对其基础进行加固，势必为建筑设计和施工带来新的革命和创新.它所具有的技术可靠、设备简便、施工快捷、安全适用、费用低廉、效果显著的特点，将为这项施工技术带来更广泛的发展前景.

（收稿日期：2004-12-17 编辑：骆超）

·简讯·

### 水利部副部长索丽生教授在河海大学作学术报告

2005年10月28日，水利部副部长、河海大学博士生导师索丽生教授在河海大学2005研究生论坛上作了题为《闸坝与生态》的学术报告.索副部长在报告中首先阐述了闸坝作为水利工程建设主要形式之一所具有的功能，然后对闸坝的不利影响进行了分析，不利影响主要有：①使河湖形态变化，河道淤积，潮汐变形，河口淤塞，行蓄洪能力降低；②使水流趋缓，径流减少，自净能力下降，水体污染加剧；③阻断洄游通道，鱼类资源减少，生物多样性退化；④淹没土地，移民搬迁，崩岸塌岸，盐碱化，等等.他还以淮河闸坝、三峡建坝、海河挡潮闸、太湖进出河道、江苏省盐城市沿海挡潮闸等为实例论证了上述分析.索副部长在报告中着重论述了消除或减小闸坝对生态的不利影响的举措：①调整已建闸坝的调度运行方式，兼顾生态目标，如淮河的水污染联防和闸坝评估；长江的湖泊开闸通江；太湖的"引江济太"；江苏的恢复入海感潮河道等.②改建闸坝，扩展其生态功能，如东北的扎龙湿地补水工程；广东佛山三水区西南水闸的拆除重建工程；东北的月亮泡水库泄水闸改建工程等.③更新规划设计理念，建设生态友好型闸坝.索副部长最后指出：闸坝在现代水利建设及国民经济、社会生活中发挥了并将继续发挥巨大的作用，同时也可能对生态产生不利影响，我们对此必须高度重视和充分关注；采取工程和非工程措施，从规划设计、调度运行等方面入手，是可以消除或减小闸坝对生态的不利影响的；有必要重新评估已建的闸坝，并据此决定是采取调整运行方式还是采取改建或拆除的措施来消除或减小闸坝对生态的不利影响.

（本刊编辑部供稿）