

赤泥库大坝渗漏分析及灌浆处理技术

黄全海¹, 赵尊亭², 王利芳¹

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第三地质勘查院, 河南 洛阳 471023; 2. 河南省岩土工程有限公司, 河南 洛阳 471023)

摘要: 由于施工质量问题, 洛阳一个赤泥库大坝在试运行中发生大面积渗漏及管涌。在对渗漏原因进行分析的基础上实施的在坝内坡增设土工膜、坝轴线上游增设帷幕灌浆防渗墙、坝体下游坡面增设排渗沟和排水棱体等抢险加固措施, 有效地解决了坝体渗漏问题。在灌浆处理过程中, 针对筑坝材料的复杂性和不均匀性, 通过施工前的灌浆试验, 取得了适合本场地条件的钻孔施工工艺参数及灌浆方式、灌浆压力、灌浆段确定、水灰比比级等施工技术参数, 确保了灌浆处理的效果。

关键词: 坝体渗漏; 土工膜; 排水棱体; 帷幕灌浆; 防渗墙; 赤泥库大坝

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)11-0066-04

Analysis on a Red Mud Reservoir Dam Leakage and Grouting Treatment Technology/HUANG Quan-hai¹, ZHAO Zun-ting², WANG Li-fang¹ (1. No. 3 Geological Exploration Institute, Henan Provincial Bureau of Ge-exploration and Mineral Development, Luoyang Henan 471023, China; 2. Henan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Luoyang Henan 471023, China)

Abstract: Due to the construction quality problems, large area leakage and piping occurred in a red mud reservoir dam during the test run. On the basis of the analysis on the causes of the leakage, the leakage was effectively controlled by the emergency reinforcement measures of putting up additional geomembrane on inside dam slope, additional curtain grouting diaphragm wall for upstream of dam axis, additional drainage ditch and drainage prism for downstream dam slope. According to the complexity and unevenness of dam construction materials, the suitable drilling construction technologies and parameters, grouting methods, grouting pressure, grouting segments determination and water cement ratio were obtained according to the grouting test before construction, the grouting effect was ensured.

Key words: dam leakage; geomembrane; drainage prism; curtain grouting; diaphragm wall; red mud reservoir dam

0 引言

渗水是水工建筑物运行中难以避免但也不能忽视的现象, 渗漏严重时选取适宜的处理措施是确保坝体安全的关键。在洛阳市境内的某赤泥库, 由于企业在赤泥库坝体工程未全面完工时就开始投入试运行, 试运行中发生大面积渗漏及管涌, 严重威胁着大坝的安全, 经过渗漏原因分析及现场试验, 采用“上游堵截渗水来源, 下游增加排渗措施”的方法进行抢险加固, 取得了较好的防渗堵漏效果。

1 工程概况

发生坝体渗漏的赤泥库属山谷型赤泥堆积库, 库址三面环山, 一面筑坝, 库底及坝基地层为互层状灰白色、暗红色强风化及中等风化泥质砂岩和泥岩。该赤泥库设计坝顶高程 490 m, 坝底高程 440 m, 坝高 50 m, 坝轴线长 470 m, 坝顶宽 6.2 m, 内坡比为

1: 2.0, 外坡设置 3 条马道, 平均外坡比 1: 3, 坝体内坡面铺设土工膜(两布一膜)进行防渗, 土工膜下铺设垂直于坝坡 1200 mm 厚的砂砾排渗带。在坝体外坡 430 m 标高设置排水棱体, 排水棱体顶部高程 430 m, 高 5 m, 顶宽 2.0 m, 内坡比 1: 1.5, 外坡比 1: 2.0。在排水棱体与坝体接触部位设置 600 mm 厚反滤层。

工程未全面完工情况下试运行, 试运行中当库内水位达到 475.1 m 时, 大坝外坡出现严重渗水, 部分区域出现直径 10 mm 左右的管涌, 另外多处出现大面积沼泽化情况。据现场测量, 坝体最高渗水点高程 473 m, 比库内水位低 2.1 m, 最低渗水点高程 455 m, 整个渗水区域面积约 7200 m²。

2 渗漏原因分析

根据坝体施工日志及应急勘探孔检查情况, 综

收稿日期: 2015-04-29; 修回日期: 2015-11-12

作者简介: 黄全海, 男, 汉族, 1966 年生, 副总工程师, 高级工程师, 注册土木(岩土)工程师, 河南省洛阳市关林南路 74 号院, lykey123@126.com; 赵尊亭, 男, 汉族, 1968 年生, 总经理, 高级工程师, 547802915@qq.com; 王利芳, 女, 汉族, 1973 年生, 工程师, 从事岩土工程勘察和施工工作。

合分析后得出坝体渗漏主要有以下几个方面原因。

(1) 大坝施工质量差,筑坝材料不符合设计要求。

坝体原设计为均质土坝,筑坝材料选用当地粘土,要求均质坝的水平渗透系数 $< 1 \times 10^{-4}$ cm/s。大坝施工中质量未得到有效控制,施工材料选用的是现场风化泥岩、泥质砂岩,其内含有大量超径石块和砂砾岩,筑坝材料中最大块石粒径达 500 mm,筑坝材料不均匀,石块局部集中,造成粗料局部架空或孔隙很大,压实度达不到设计要求;现场应急勘察钻进施工时泥浆漏失严重,局部地段出现孔口不返浆的现象;根据现场进行的分段钻孔降水头注水试验情况分析,勘探孔深度范围内渗透系数均 $> 4 \times 10^{-3}$ cm/s,特别是在高程 455 ~ 475 m,坝体渗透系数为 $3.2 \times 10^{-2} \sim 8.5 \times 10^{-2}$ cm/s,具有强—中透水性。注水试验成果见表 1。

表 1 KC1 孔注水试验成果统计表

试验编号	试验段标高/m	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	475 ~ 490	6.4×10^{-3}
2	465 ~ 475	3.2×10^{-2}
3	455 ~ 465	8.5×10^{-2}
4	440 ~ 455	4.1×10^{-3}

(2) 土工膜防渗失效。

坝体防渗设计主要采取在内坡面铺设土工膜(两布一膜)进行防渗,同时为了防止土工膜破损,在坝体与土工膜之间铺设 500 mm 厚的粘土垫层加以保护。土工膜在施工时,施工工作面积过大,土工膜未按原设计要求预留余幅(1.5%),焊缝搭接宽度及粘结强度不足,坝体及膜下垫层施工质量差,在外部荷载作用下,出现土工膜的接缝局部撕裂现象,导致防水失效。

(3) 部分安全设施未按进度完成。

原设计在坝内坡设置 1200 mm 厚的砂砾石斜卧排渗层,方便坝前堆积的赤泥内的渗水通过此排

渗层及库底渗水导流管排到坝下游,加速坝内沉积赤泥的排水固结,起到一定防渗降低浸润线的作用。从施工日志上看,坝内 472 ~ 490 m 标高段未按设计铺设排渗层,且坝体下游坡原设计的排水棱体及回水池未施工,在渗水导流管封堵的情况下,排渗层不能工作,导致下游坝面浸润线出逸较高。

3 抢险加固设计

3.1 设计理念

根据大坝渗漏情况及渗漏原因分析,拟定对大坝进行抢险加固。抢险加固的主要原则是“内堵外排”,确保大坝安全。针对该赤泥库的渗漏原因,采取的内堵就是加强内坡土工膜的防渗,并在坝体中间增设一道防渗墙,截断渗漏通道;外排就是在坝的下游坡采用导渗和滤水措施,使渗水在不带走土颗粒的前提下,迅速安全排出,以达到渗透安全稳定。具体措施就是沿坝顶轴线灌浆,形成一道防渗墙;加固上游土工布防渗,完善下游坝坡导渗沟设置及下游坝脚处排水棱体。

3.2 坝体防渗墙设计

防渗墙采用灌浆处理形成,防渗墙处理范围为从大坝桩号 0+000 ~ 471 m 全坝段,处理深度为坝顶至坝底基岩下 5.0 m,处理后即可在坝体中轴线上游形成一道厚度 ≤ 2.0 m 的水泥防渗墙,阻止坝体上游的渗水,如图 1 所示。灌浆孔初步采用 2 排布孔设计,排距 1.5 m,孔距 1.0 m,呈梅花型布置,其中下排孔位于坝轴线处,灌浆时先施工下游再施工上游,每排孔均按 III 序孔施工,施工顺序见图 2;灌浆材料采用 42.5 硅酸盐水泥加适当用量粘土与水拌匀,灌浆方法采用孔口压塞、自上而下、孔内循环的方法,灌注最大压力暂定为 1.5 MPa,根据现场试验情况进行调整;灌浆处理后形成的防渗墙渗透系数应 $< 1 \times 10^{-5}$ cm/s。

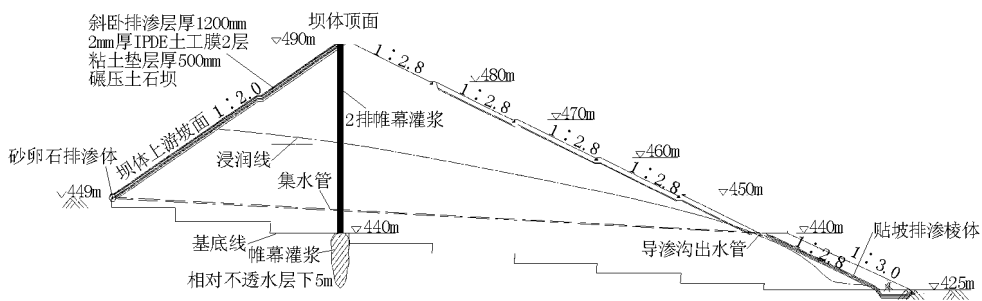


图 1 帷幕灌浆设计立面图

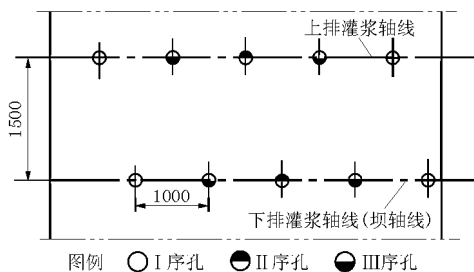


图2 灌浆施工分序图

3.3 施工前灌浆试验

由于坝体施工质量较差、渗漏严重,且坝体下游有村民居住,事故处理专家组建议先通过现场灌浆试验来验证采用帷幕灌浆在技术上的可行性、效果上的可靠性以及经济上的合理性,并要求对拟采用的灌浆施工工艺、灌浆浆液的类别配比和灌浆压力等技术参数的适宜性进行检验。帷幕灌浆试验选择在坝轴线中部左侧区域进行,共施工试验孔3个,检测孔1个,完成钻探进尺142.7 m。

试验钻孔采用硬质合金钻头泥浆护壁回转钻进,钻孔直径110 mm,灌浆方法采用自上而下分段、孔口压塞、孔内循环法,检测孔布置在3个灌浆孔中心部位,钻孔降水头注水试验在灌浆结束后14天进行,钻孔注水试验分3段进行。通过帷幕灌浆试验,得出如下结论:

(1) 硬质合金钻头泥浆护壁回转钻进方法,在碎石含量较高的区域及底部基岩部位施工技术上是可行的;

(2) 段长划分采用第一段2 m,第二段3 m,第三段3 m,第四段及其以下各段均为5 m比较合适;

(3) 以水泥粘土浆为主要灌注浆材,粘土掺量为水泥质量的30%,灌浆浆液由稀至浓逐级变换,浆液水灰比采用3、2、1、0.6等4个比级,技术上可行,经济上合理;

(4) 注浆压力第一段选用0.3 MPa,向下每段增加0.2 MPa,最大注浆压力为1.5 MPa时,注浆效果能够满足设计要求;

(5) 采用孔口压塞、自上而下、孔内循环的灌浆方法,平均单位耗灰量238.27~514.08 kg/m,且单位耗灰量根据注浆孔施工循序由前到后逐渐减少,整体上灌浆效果比较理想;

(6) 注水试验证明,地层渗透系数为 $35.74 \times 10^{-6} \sim 1.13 \times 10^{-5}$ cm/s,基本能达到设计要求的防渗效果。

4 帷幕灌浆施工

根据设计图纸,赤泥库初期坝坝轴线长471 m,设计2排注浆孔,共设计钻孔943个,梅花型布置,孔深5~51.7 m(根据实际坝体高度进行调整,以孔底超过坝基以下基岩5 m为准)。钻孔施工时采用硬质合金钻头泥浆护壁回转钻进,钻孔直径110 mm,灌浆方法采用自上而下分段、孔口压塞、孔内循环法。由于工程量较大,施工时分成10个单元进行管理。

4.1 施工工艺流程

帷幕灌浆施工的工艺流程为:测放孔位→埋设孔口管→钻孔→钻孔冲洗→灌浆→待凝→钻下段(循环)→封孔→搬迁至下一孔。

4.2 灌浆时浆液浓度变换原则

(1) 每段灌浆前使用灌浆浆液置换孔内泥浆;

(2) 当水灰比3的浆液灌注400 L以上,而浆液注入率和压力均无明显变化时变浓一级;

(3) 其它水灰比的浆液灌注600 L以上,而浆液注入率和压力均无明显变化时变浓一级;

(4) 当浆液注入率 >40 L/min,灌注800 L以上时,可越一级变浓;

(5) 钻孔时孔口长时间不返泥浆的,可直接灌注最浓一级浆液;

(6) 当灌浆压力保持不变,注入率持续减少时,或注入率不变而压力持续升高时,不得改变水灰比。

4.3 灌浆结束标准及封孔

在该段设计压力下,当浆液注入率 ≥ 1 L/min时,继续灌注60 min结束灌浆。封孔采用“全孔压力灌浆封孔法”,即全孔灌浆完毕后,先不提射浆管,用射浆管将孔内余浆全部置换成水灰比为0.6的浓浆,然后提出射浆管、将孔口封闭,继续使用浓浆进行纯压灌浆封孔时间 <1 h。

4.4 灌浆观测工作

为保证坝体灌浆质量和坝体安全,检验灌浆效果,在灌浆期间进行坝体观测,项目包括:表面变形、坝体位移、坝顶裂缝、坝体冒浆、渗流等。在灌浆过程中,设有专职观测人员负责观测工作,全面控制灌浆质量,及时发现和解决施工中出现的問題;对于位移观测(包括沉降观测和位移观测),根据选定的观测断面,对布置的观测混凝土桩,在灌浆期间每天观测2~4次,非灌浆期间每5天观测1次;其它观测内容每天观测2次。

4.5 灌浆施工过程中特殊情况的处理

4.5.1 塌孔

钻孔经过碎石含量较高的部位时,由于地层相对松散,孔壁不稳,易发生掉块及塌孔的现象,此时采用在循环泥浆中加入2%~3%的广谱类护壁剂,用小泵量循环快速通过,当孔壁不稳定地段较厚时,采用下入套管护壁的方式进行施工。

4.5.2 灌浆中断

由于机械设备、输浆管等发生故障或因地质因素的影响而发生灌浆中断时,必须迅速处理,以使灌浆连续进行。短时间内恢复的,若吸浆量与灌注前相同或相近,可采用中断前的比级续灌,若吸浆量较灌前大幅减少,则改用最稀一级配比灌注。当中断时间超过初凝时间时,应重新下钻扫孔和冲洗钻孔,用起始水灰比进行复灌;复灌后若吸浆量大幅减少且在极短时间内停止吸浆,则该孔段灌注无效,应采取其它补求措施。

4.5.3 串浆

由于施工质量较差,部分地段大面积存在碎石架空现象,在灌浆过程中往往发生串浆现象,此时采取如下措施:

(1)串浆孔与灌浆孔同时施灌;

(2)在串浆孔内漏浆段以上部位安设止水塞,严密封堵,灌浆孔按要求正常灌注,待灌浆孔灌浆结束后,再对串浆孔进行扫孔、冲洗、而后继续进行钻进或灌浆;

(3)适当增大相邻两个次序孔先后施工的间隔时间。

4.5.4 地表冒浆

由于部分地段的灌浆孔段与地表有垂直方向的连通孔隙,在灌浆压力较大而灌浆段的位置又较浅时,常易发生地表冒浆现象。这种情况下可采取调浓浆液、掺速凝剂、加粗骨料、降低泵压、限制吸浆量等方法进行处理,或用间歇法(间歇10 min灌注30 min)以及停灌待凝48 h然后扫孔、冲孔、复灌加以处理。

4.5.5 地层严重漏浆

由于筑坝施工过程中碎石局局部较集中,碎石架空现象明显,灌浆过程中常常发生严重漏浆的现象,处理时一般按下述原则进行。

(1)降低灌注压力:用低压或自流式灌浆,待孔隙逐渐充满浆液并降低流动性后再逐渐升高压力,按正常程序进行灌注;

(2)限制进浆量:将进浆量限制在30 L/min以下,使用浓浆进行灌注,待进浆量明显减少时,将压力逐渐升高,如此反复进行;

(3)增大浆液浓度:使用浓度大的浆液灌注,必要时可掺加砂(粘土)料配制浓浆,并适当降低压力,待单位吸浆量降低后再用纯水泥浆并逐渐升高压力施灌;

(4)间歇灌浆:在长时间内地层一直大量吸浆并且基本不起压力的情况下使用。

5 加固及完善其它安全设施

5.1 坝上游土工膜防渗加固

鉴于库内沉积赤泥已接近472 m标高,对472 m标高以下的土工膜进行加固防渗已不现实。故仅对标高472 m以上的土工膜进行加固。并在坝上游土工膜外新加一道2000 mm厚粘土防渗层,粘土防渗层选用粘土,迎水面拍打密实平整。同时在粘土防渗层上,复铺一层厚度为2 mm的HDPE土工膜,土工膜拼接时选用热熔焊法,焊缝搭接宽300 mm。其底部必须与前次铺设土工膜焊接可靠,构成完全封闭体系。

5.2 增加导渗沟

坝体下游出现大面积渗水及明流,渗水逸出点较高。为了保护下游坡渗透稳定,采用导渗处理是一种有效的处理方法。沿坝轴线每隔10~15 m布置一条纵向导渗沟,为了达到较好的排渗效果,分别在480、470、460 m马道下游处,结合纵向导渗沟,布置三道“W”形支导渗沟,渗水汇集到纵向导渗沟后排至下游排水沟,再由排水沟汇集至回水池。

5.3 增设贴坡排水体

鉴于大坝下游浸润线逸出点高,原设计排水棱体未及时进行施工,影响大坝下游坡的安全。现按原图施工会影响大坝安全,故在下游坡脚设贴坡排水棱体,加大棱体厚度和高度。设计棱体顶面高程440 m,顶部宽10.0 m,外坡坡比1:3.0,内坡同坝外坡,坝脚清基至422.9 m标高,清基底宽10.0 m,基坑边坡1:1.0,贴坡采用干砌石结构。排水体与坝体之间设反滤层,保护坝体渗透稳定。反滤层采用3层贴近坝体第一层为粒径0.25~1 mm的砂,厚300 mm;中间层为粒径1~5 mm的砾石,厚300 mm;外层为粒径5~20 mm的碎石或卵石,厚300 mm。坝脚处设排水沟汇集滤水。

(下转第79页)

在炮孔连线方向上的有效功也存在对应最优不耦合系数约为3.62,与相关文献试验结果相近。

(3)对于EBLSC,当不耦合系数较小时,冲击波作用占据主导,岩石破碎区域较大,且射流未能充分拉伸,使得聚能方向上的有效功也较少;随着不耦合系数增大,壳体产生的气刃和射流逐渐占主导,岩石破碎和扩展区域减小,且在聚能方向上的炸药能量得到更多有效利用;随着不耦合系数进一步增大,气刃和射流减速,冲击波大幅度衰减,气体产物膨胀占据主导,扩腔区域增大,损耗功小幅度增加。

(4)文中花岗岩岩体采用EOS状态方程进行数值仿真,并未考虑到实际应用中节理岩体或软弱岩石等情况,通过研究得到的不耦合系数最优结果仍需要在实际应用中进一步验证调整。

参考文献:

- [1] 尚玉峰.影响光面爆破效果的因素分析[J].南方金属,2008,(3):53-55.
- [2] 宗琦,杨吕俊.岩石中爆炸冲击波能量分布规律初探[J].爆破,1999,(6):16-17.
- [3] 吴亮,卢文波,宗琦.岩石中柱状装药爆炸能量分布[J].岩土力学,2006,(5):735-739.
- [4] 梁为民,LIU Hongyuan,周丰峻.不耦合装药结构对岩石爆破的影响[J].北京理工大学学报,2012,(12):32-43.
- [5] 杨哲峰,高诗明,陈建平,等.光面爆破径向不耦合系数优化研究[J].科学技术与工程,2014,(35):121-125.
- [6] 秦健飞.双聚能预裂与光面爆破新技术评析[J].水利水电工程,2008,(1):17-22.
- [7] 李必红,崔伟峰,李是良.椭圆双极线性聚能药柱不耦合系数试验研究及数值模拟[J].爆破,2013,(6):30-31.
- [8] 马建军,程良奎,蔡路军.爆破应力波的传播及其远区破坏效应研究现状述评[J].爆破,2005,(2):17-21.
- [9] 徐亦唐.基于最小二乘法的曲线拟合及其在Matlab中的应用[J].电子世界,2013,(10):102-103.

(上接第69页)

6 抢险加固效果

6.1 帷幕灌浆质量检查

帷幕灌浆质量检查以钻孔取心观察和检查孔降水头注水试验为主,注水试验在坝段灌浆结束14天后进行。本工程质量检查孔均由监理单位、设计单位布置,共在10个单元中布置注水试验孔20个,每个单元2个孔,均位于2排灌浆孔中间,完成注水试验72段,测得各试验段的综合渗透系数为 $2.3 \times 10^{-6} \sim 8.9 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,均 $< 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,合格率100%。

6.2 运行效果评价

抢险加固工程结束后坝体外坡已没有渗出处出现,经过3个月的尾矿排放试运行后通过了主管部门的竣工验收,目前该赤泥库已经堆积至最终设计标高,进入到闭库程序,坝外坡未再出现渗漏情况,导渗管排渗正常,赤泥库整体运行良好。

7 结语

从坝体抢险加固后的钻孔取心、注水试验和运行情况看,针对该赤泥库渗漏采取的“内堵外排”措

施是行之有效的,尤其是灌浆施工前的试验工作,为该工程的钻孔施工工艺、灌浆压力、段长的划分及浆液水灰比的比级选取等参数的适宜性提供了直接的依据,尤其是在碎石较集中区域的钻探施工及灌浆参数的选取,得出了较为宝贵的经验,值得在类似地层中推广应用。

参考文献:

- [1] 张景秀.坝基防渗与灌浆技术(第2版)[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [2] 白永年,等.中国堤坝防渗加固新技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [3] 邓树密.伊朗TALEGHAN水利枢纽厂房封闭帷幕灌浆施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):66-69.
- [4] 毕明亮,等.深厚砂砾石地层帷幕灌浆质量检测与评价技术[J].灾害与防治工程,2008,(2):62-66.
- [5] 刘海波.砂砾石层坝基帷幕灌浆施工技术[J].西部探矿工程,2008,(5):39-41.
- [6] 马小七,吕建民,路学忠.宁夏太阳山供水工程刘家沟水库坝基帷幕灌浆试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6):29-32.
- [7] 明义.某防渗墙底部帷幕灌浆施工技术浅析[J].西部探矿工程,2009,(2):36-37.
- [8] 党令宣.南沙水电站坝基帷幕灌浆施工控制[J].水利与建筑工程学报,2009,7(1):138-139.