

某尾矿库灌浆防渗堵漏施工实践

韦兴标¹, 何德顺², 冯周飞¹

(1. 广西水文地质工程地质勘察院, 广西 柳州 545006; 2. 广西贺州市平桂区自然资源局, 广西 贺州 542827)

摘要: 本文结合工程实例, 介绍广西某尾矿库完成抢险后先对渗漏区域内深部的溶洞和大裂隙进行托底固结灌浆, 后对因渗漏及其抢险回填黏性土和赤泥等可灌性差软弱土进行高压旋喷灌浆, 形成灌浆防渗帷幕。因渗漏区域内深部的溶洞等托底固结灌浆对防渗要求不高, 通过灌注混凝土和水泥砂浆方式进行封闭并形成对上部回填土的支撑体; 而对渗漏区域浅部的回填土和赤泥等可灌性差的地层, 采取高压旋喷灌浆法对其进行灌浆防渗加固处理, 提高其防渗能力和承载力, 避免因变形或不均匀沉降而造成其上部覆盖的防渗土工膜破损, 有效地防止尾矿库内碱水渗漏和赤泥外泄, 保护当地地下水水质和环境。

关键词: 尾矿库; 渗漏; 溶洞; 托底固结灌浆; 高压旋喷灌浆; 帷幕灌浆

中图分类号: TU42 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7195(2020)02-0148-05

Practice of grouting for leakage-block of a tailing pond

WEI Xing-biao¹, HE De-shun², FENG Zhou-fei¹

(1. Guangxi Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Liuzhou 545006, China;

2. Guangxi Hezhou Pinggui District Natural Resources Bureau, Hezhou 542827, China)

Abstract: This paper introduces grouting construction process for leakage-block of a tailing pond in Guangxi. Firstly bottom consolidation grouting on deep karst caves and large cracks in the seepage area was carried out, and then high-pressure rotary jet grouting in soft soil with poor groutability such as cohesive soil and red mud due to leakage and emergency backfill was conducted. Thus a grouting impervious curtain formed. Due to the low requirement for seepage prevention by consolidation grouting at the bottom of the deep karst cave in the seepage area, concrete and cement mortar were poured to seal and form a support for the upper backfill soil. On the other hand, the backfill soil and red mud in the shallow part of the seepage area were treated with high-pressure rotary jet grouting to prevent seepage and reinforcement, so as to improve their anti-seepage ability and bearing capacity. It also can avoid the damage of the anti-seepage geomembrane covered on the upper part due to deformation or uneven settlement, and effectively prevent alkali water leakage and red mud leakage in the tailings pond, and protect the local groundwater quality and environment.

Key words: tailings pond; leakage; karst cave; bottom consolidation grouting; high pressure rotary jet grouting; curtain grouting

0 引言

广西某赤泥尾矿库由尾矿堆存系统、尾矿库排洪系统、尾矿回水系统组成, 主要建(构)筑物由3座重力坝、1个竖井、1条回水隧洞、1条清水隧洞和1个回水池组成; 堆置密度 $3\ 150\ \text{kg}/\text{m}^3$ 赤泥, 库底最低标高 $798.8\ \text{m}$, 坝顶标高 $875\ \text{m}$, 最大坝高

$50\ \text{m}$, 库容约 $1\ 870\times 10^4\ \text{m}^3$, 目前已进入投产使用阶段, 堆存赤泥浆液面标高 $864.38\ \text{m}$ 。

5月16日库区管理人员发现坝底清水隧洞排水口流量增大(每小时上涨 $30\ \text{m}^3/\text{h}$), 最高流量达 $800\ \text{m}^3/\text{h}$, 部分赤泥随流水外泄, 于是加大对库区进行排查密度, 发现库区北东角离岸边约 $10\ \text{m}$ 处水面有漩涡, 并测得该区域水面下有漏斗状深坑

收稿日期: 2020-01-13

作者简介: 韦兴标(1967—), 广西水文地质工程地质勘察院高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻孔灌注桩、软土地基加固、深基坑支护等施工技术与管理工作。E-mail: weixb878111@163.com。

后,基本确定有4个渗漏点。该公司随即启动应急预案,立即组织施工人员及施工设备投入抢险工作:先采用人工投土工布、袋装水泥、碎石方法对渗漏点进行封堵,但因人工投料难以控制渗漏,后改用挖掘机开挖土石方、推土机推送土石方进行土石方回填围堰方法进行封堵处理,现场筑起顶宽约1.5 m、高约1 m、长约80 m的围堰平台,下游集渗管出水量接近正常状态,集渗管流量降到 $80\text{ m}^3/\text{h}$,渗漏源基本得到控制。为进一步巩固堵漏取得初步成果和避免渗漏液对附近及下游水源污染,须在围堰平台内钻孔、高压旋喷灌浆防渗堵漏及加固处理,形成1道帷幕防渗墙,防止尾矿库内碱水渗漏。为节约成本,钻孔遭遇大裂隙、溶洞孔段时,先在大裂隙、溶洞孔段灌注水下混凝土,后对其上部孔段碎石黏土、赤泥和填筑土进行高压旋喷灌浆加固处理。经过近30 d的钻孔、高压旋喷灌浆防渗堵漏及加固处理后,清水隧洞排水口流量恢复到正常的排泄清水状态且流量明显减少,灌浆防渗堵漏效果良好。

1 工程概况

1.1 渗漏区段工程地质特征与水文地质条件

(1) 场地地层岩性

灌浆地段上部第①层为填筑土,抢险时回填及抛投的混凝土土工布,主要由黏土夹碎石组成(Q^{ml});第②层流~软塑状赤泥;第③层为混凝土板,为建库边坡支护层;第④层为硬塑状含碎石黏土;第⑤层为石炭系上统(C_3)组成,土岩见工程地质剖面图。各土岩层岩性、结构特征自上而下描述如下:

a) 填筑土(第①层 Q^{ml}):杂色,由碎石、块石及黏性土组成,层厚0.6~11.00 m,经过一般的压实,密实度欠均匀。整个场地均有分布。

b) 赤泥(第②层 Q^{ml}):褐红色,流~软塑状,易污手,具颗粒感,呈粉质黏土状。顶面埋深2.3~12.60 m,围堰平台揭露层厚0.8~12.00 m。

在钻取得土芯样中取土样6件(轻度扰动),室内渗透试验2件,液性指数为1.44~2.06,呈流塑状,压缩系数 $0.34\sim 0.52\text{ MPa}^{-1}$,总体呈高压缩性,渗透系数为 $1.76\sim 3.57\times 10^{-5}\text{ cm/s}$,属弱透水性土体;采用水泥浆进行灌浆加固处理时,因颗粒细,可灌性差。

c) 混凝土板(第③层 Q^{ml}):灰色,碎石混凝土组成,为库底找平层或岸坡支护层,胶结较好,取芯呈柱状,节长一般在8~20 cm。该层顶面埋深

1.3~20.4 m,揭露层厚0.1~6.4 m,该层仅在少数钻孔有揭露。

d) 碎石黏土(第④层 Q^{el}):黄色、棕黄色,硬塑状,干强度及韧性高,摇振无反应,含20%~35%的碎石,呈棱角状,粒径一般1~5 cm,碎石主要为铝矿石以及灰岩碎组成。该层顶面埋深4.50~20.00 m,揭露层厚0.4~4.00 m,该层仅在部分钻孔有揭露。

e) 微风化灰岩(第⑤层 C_3):灰色、灰白色,厚层状构造,岩体较完整,质坚硬,断口新鲜,岩芯呈柱状,长度一般在10~30 cm,该层揭露岩体在部分钻孔有裂隙发育段,少数钻孔遭遇洞高约3.0 m。该层顶面埋深2.00~23.00 m,揭露厚度1.00~11.50 m,未钻穿。

(2) 地下水位情况

库底标高810 m,现库区碱水面标高864.38 m。按钻孔揭露外围围堰浅孔,水位埋深1.50 m,与赤泥面水位基本持平,为库水渗透所致。钻基岩孔大部分有钻孔漏水现象,实测水位处于靠孔底深度,表明未揭露渗漏赤泥液含水层。据详勘报告,库区天然地下水位标高788.98 m。库区现状详见图1。



图1 库区现状照片

Fig. 1 Status of reservoir area

1.2 渗漏原因分析

该尾矿库4个渗漏点位于库区北东侧一处“U”型陡岸坡处,赤泥抬高后,沿阶梯状边坡坡面铺设的土工膜垂向拉力增大,加上土工膜受到日晒雨淋影响加速其老化而引起拉裂破损,造成下渗碱水与下伏岩溶裂隙通道联通,在水压作用下,渗漏通道扩大,形成了旋涡状漏点,渗漏通道正好与8号清水溶洞有连通,碱水进入了清水隧洞与清水混合流出到库外,从而引发本次事故。具体情况详见图2。

2 尾矿库防渗方案的确定

本尾矿库防渗采取深部灌浆防渗堵漏与浅部铺盖土工防渗膜相结合的方法对渗漏区域进行防

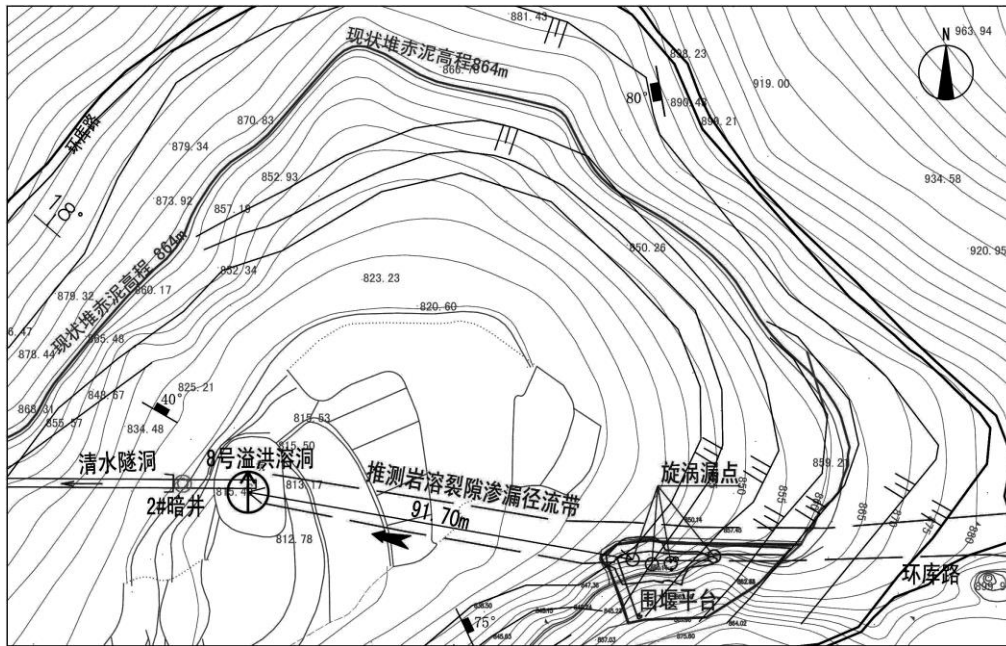


图2 尾矿库渗漏平面图(比例1:1000)

Fig. 2 Leakage plan of the tailing pond (Ratio 1: 1 000)

渗处理,防止尾矿库碱水和赤泥泄漏。深部灌浆防渗堵漏,在围堰内以4个旋涡渗漏点的连线为帷幕灌浆轴线,采取钻孔、灌浆方法对渗漏区域内的溶洞或大裂隙及其回填土和赤泥进行灌浆防渗堵漏处理,封闭基岩溶洞或大裂隙通道并使其具有足够承载能力,灌浆防渗加固回填土和赤泥,使其形成1道防渗帷幕墙。浅部防渗处理,完成深部灌浆堵漏防渗后,平整场地、清除场地内碎石等尖锐的杂物,再铺盖1层土工防渗膜,利用土工防渗膜对尾矿库内的碱水和赤泥进行防渗。而在深部灌浆堵漏防渗施工中,为使水泥浆液可控和节约成本,对于遭遇基岩溶洞或大裂隙的孔段,先采用水下混凝土灌注工艺对其灌入混凝土或水泥砂浆,使其空洞充填满后,再进行上部回填土和赤泥进行高压旋喷灌浆防渗加固处理。

3 高压旋喷灌浆帷幕施工技术

3.1 灌浆帷幕厚度的确定

灌浆帷幕厚度应根据现场地质条件、帷幕允许的水力坡降、防渗标准等综合确定,初步确定宜按公式计算:

$$T = \Delta H / I_a \quad (1)$$

式中: T 为灌浆帷幕厚度(单位: m); ΔH 为帷幕前后的水头差(单位: m); I_a 为帷幕的允许水力坡降,一般为 10~25,当帷幕渗透系数小、厚度大、强度高时取大值;反之取小值。

3.2 帷幕灌浆孔孔距与排距的确定

依据施工现场特点,结合现有技术装备和以往类似工程施工经验,旋喷压力 25~30 MPa 时,旋喷桩有效直径 800~1 000 mm; 以 4 个旋涡渗漏点的连线为帷幕灌浆轴线,布置 3 排灌浆孔,孔距应为 $1.73R$ (R 为旋喷半径),排距为 $1.5R$ 较为经济;但考虑防渗堵漏要求,现场孔距为 0.7 m,排距为 0.6 m,并呈“梅花形”布置。施工过程根据钻孔吸浆量大小,同时考虑旋喷桩的防水交圈厚度 e , 见计算公式(2),适当调整灌浆孔孔距,详见图 3。

$$e = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (2)$$

式中: e 为旋喷桩的交圈厚度(单位: m); R 为旋喷桩的半径(单位: m); L 为旋喷桩孔位的间距(单位: m)。

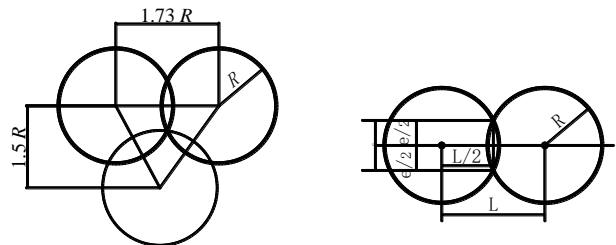


图3 帷幕灌浆浆孔间距和旋喷注浆孔间距

Fig. 3 Distance between holes of curtain grouting and rotary jet grouting

3.3 帷幕灌浆孔的深度控制

靠近围堰坡脚的最外1排灌浆孔最深,平均孔

深为 9 m, 以保证不破坏库底土工防渗膜为准; 而里面 2 排灌浆孔深度主要依据随坡面原始地形起伏予以控制孔深, 钻孔要求钻入基岩 3~5 m, 且要求钻至溶洞底板 1 m 以上, 以确保灌浆帷幕防渗效果。

3.4 帷幕灌浆孔孔径要求

开孔孔径 $\Phi 150 \sim \Phi 130$ mm, 终孔孔径 $\Phi 110 \sim \Phi 91$ mm, 能保证高压旋喷头和灌浆管安放要求; 但如遭遇空洞高度大于 2 m 溶洞的钻孔, 则采用直径 $\Phi 220$ mm 扩孔钻具沿原钻孔扩孔至溶洞底板, 以满足浇灌水下混凝土要求; 而对于遭遇大裂隙的钻孔, 则无需扩孔, 利用原钻孔下入 $\Phi 91$ mm 灌浆管对其灌入 1:2 水泥砂浆即可。

3.5 帷幕灌浆施工顺序

因本尾矿库渗漏区域设置 3 排帷幕灌浆孔, 为确保帷幕灌浆质量, 总体施工顺序为先外围、后中间, 即先施工第 1 排和第 3 排帷幕灌浆孔, 后施工第 2 排帷幕灌浆孔。就同一排帷幕灌浆孔而言, 先施工 I 序孔, 后施工 II 序孔。

3.6 灌浆孔成孔施工技术

(1) 成孔与灌浆分开施工。本尾矿库渗漏区域高压旋喷灌浆防添加固处理, 因高压旋喷灌浆施工进度快, 而机械成孔施工进度较慢, 故采用 5 台 GY-1 型工程钻机钻进成孔, 1 台旋喷机进行高压旋喷灌浆防添加固处理。

(2) 对于回填土、赤泥等土层, 采用冲击取土法进行机械成孔; 而灰岩采用金刚石清水回转钻进方法进行机械成孔。开孔直径 $\Phi 150 \sim \Phi 130$ mm, 终孔孔径 $\Phi 110 \sim \Phi 91$ mm; 钻孔深度要求钻入基岩 3~5 m, 且要求钻至溶洞底板 1 m 以上。

(3) 钻孔满足设计要求后, 钢套管应保留在钻孔中, 预防钻孔孔壁坍塌, 或必须起拔到钢套管时, 应安装同径 PVC 管进行护壁。

(4) 因钻孔倾斜会影响相邻两个旋喷孔旋喷灌浆质量, 故钻孔垂直度偏差控制在 1/100 以内。

(5) 钻孔成孔过程中, 应做好现场施工记录, 记录要求及时、准确和完整; “钻探班报表”应详细记录土岩分层深度, 遇软土、土洞、溶洞、溶槽、裂隙、破碎带起止深度, 以及紫红色赤泥浸染情况, 给水钻进过程返漏水等情况, 为高压旋喷灌浆提供理论依据。而 II 序孔钻进过程中, 还应注意观察采取岩芯样是否有水泥胶结石分布及其胶结情况, 以了解高压旋喷灌浆有效扩散半径, 为调整灌浆孔间距提供依据。

3.7 高压旋喷灌浆施工技术

(1) 完成帷幕灌浆孔钻进成孔后, 应及时安装高压旋喷钻机安装、安放高压旋喷头对须防渗孔段进行高压旋喷灌浆处理。

(2) 灌浆材料: 本次高压旋喷防渗灌浆采用强度等级为 42.5 MPa 及以上的普通硅酸盐水泥, 可根据现场实际情况需要加入适量的外加剂及掺合料。外加剂及掺合料的用量, 应通过现场试验后确定。

(3) 旋喷灌浆用水泥浆为现场机械搅拌, 其水灰比应控制在 0.8:1~1:1。

(4) 旋喷灌浆的技术参数应根据土质条件、加固要求, 通过现场试验或根据以往施工经验确定, 并根据施工现场条件适当调整。施工现场采用双管法高压旋喷灌浆工艺进行防渗灌浆处理, 其高压水泥浆的压力控制在 25~30 MPa, 流量应大于 30 L/min, 气流压力宜大于 0.7 MPa, 高压旋喷头和钻具的提升速度控制在 0.1~0.2 m/min。

(5) 当某一高压喷射灌浆段在喷射灌浆参数达到规定值后, 随即按照旋喷工艺要求, 提升喷射管, 自下而上分段旋喷灌浆; 喷射管分段提升的搭接长度不得小于 100 mm。

3.8 高压旋喷灌浆防渗效果检测与灌浆补强

(1) 在帷幕灌浆完成后, 通过钻孔注水试验自行对其防渗效果检测; 自检合格后, 及时通知建设单位, 并由其委托第三方检测单位进行检测, 合格后移交建设单位; 再平整围堰场地、浇筑混凝土垫层、铺设土工防渗膜进行防渗。

(2) 自检时, 如发现灌浆帷幕防渗效果未能满足设计要求时, 应及时在适当位置增加钻孔、高压旋喷灌浆对其进行补强处理, 直到满足设计要求为止。

4 异常情况处理

(1) 帷幕灌浆孔遭遇溶洞: 当钻孔遭遇溶洞且洞高大于 2 m 时, 应采用直径 $\Phi 220$ mm 扩孔钻具沿原钻孔扩孔至溶洞底板, 再安放 $\Phi 110$ mm 灌浆导管, 先对溶洞采用水下混凝土灌注工艺进行浇灌; 水下混凝土坍落度为 160~220 mm 且每立方米混凝土的水泥用量大于 360 kg。完成溶洞混凝土浇灌后, 再对其上部回填土等受灌土层进行高压旋喷灌浆处理。

(2) 对于遭遇洞高小于 2 m 溶洞或大裂隙的

钻孔,在钻孔终孔后安放 $\Phi 91$ mm 灌浆导管,采用水下灌浆工艺对其浇灌 1:2 水泥砂浆。在完成溶洞或大裂隙水泥砂浆浇灌后,再对其上部回填土等受灌土层进行高压旋喷灌浆处理。

(3) 冒浆处理:在高压旋喷灌浆过程中,会有一定数量的土粒随着水泥浆液沿灌浆管管壁上而冒出地面。当冒浆量小于 20% 时,冒浆为正常;超过 20% 或完全不冒浆时,应查明原因,采取相应措施进行处理:

a) 冒浆量过大的主要原因是有效喷射范围与灌浆量不匹配,灌浆量大大超过喷浆固结所需的浆量。减少冒浆量应采取的措施:①提高喷射压力;②适当缩小喷嘴孔径;③加快旋转喷射钻具的提升和回转速度。

b) 如发现不冒浆情况是受灌地层存在溶洞或大裂隙时,可采取措施:①在水泥浆液中适量掺入水玻璃等速凝剂,缩短水泥浆的胶凝时间和固结时间;②在空隙孔段加大灌浆量,填满空隙后,再进行正常喷射灌浆施工。

【简讯】

2020 年第五届土木工程国际会议 (ICCVIL2020) 通知

2020 第五届土木工程国际会议为广大从事土木工程相关领域的研究学者、专家提供交流平台。会议组委会诚邀全球相关领域的学者、专家参加此次国际会议,就相关主题的热点问题探讨、交流,共同促进全球土木工程的发展。

2020 第五届土木工程国际会议将于 2020 年 11 月 28—30 日在中国西安召开。西安,古称长安,陕西省省会。西安是举世闻名的世界四大文明古都之一,居中国古都之首,是中国历史上建都时间最长、建都朝代最多、影响力最大的都城。作为华夏文明的发源地,西安的历史悠久,文化的积淀非常厚重,它是著名的丝绸之路的起点。西汉时期,汉武帝派遣张骞出使西域,正式开辟了以长安为起点,联结欧亚大陆的通道“丝绸之路”。“西安文

5 结 语

该尾矿库渗漏区域深部溶洞或大裂隙通过钻孔、灌注水下混凝土或水泥砂浆进行托底灌浆加固处理,基岩上部可灌性差的赤泥经高压旋喷灌浆处理后,在渗漏区域形成一道防渗帷幕墙,对尾矿库内的碱水和赤泥起到有效的防渗加固作用;同时在高压旋喷灌浆防渗加固处理基础上铺设土工防渗膜,更好预防该尾矿库内碱水和赤泥渗漏;该尾矿库经历半年的运行,未发现渗漏现象。

参考文献

- [1] DL/T 5148-2012 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [2] YBJ 44-92 注浆技术规程[S]. 西安:西安交通大学出版社,1993.
- [3] JGJ 211-2010 建筑工程水泥-水玻璃双液注浆技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.

物甲天下”,深厚的历史文化积淀和浩瀚的文物古迹遗存使西安享有“天然历史博物馆”的美称。有诸如秦始皇兵马俑、大雁塔、西安古城墙、华清池等著名旅游景点。

2020 第五届土木工程国际会议诚邀全球相关领域的学者、专家参会并投稿。本次会议接受中文及英文原创性文章。本次会议接受摘要或全文投稿。所有录用论文的在线出版时间为收到最终稿后 15~20 天。

重要日期

会议日期:2020 年 11 月 28—30 日

录用通知:投稿后 20~40 天

论文出版:收到最终稿后 15~20 天

会议网址: <http://www.iccivil.org/2020/cn/home>