

对株梓洞尾矿库加高扩容工程 勘察方法及稳定性分析的 建议

林立仁¹, 陈七五²

¹湖南省遥感地质调查监测所, 湖南 长沙

²湖南大学设计研究院有限公司, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年3月14日; 录用日期: 2022年4月17日; 发布日期: 2022年4月24日

摘要

本文通过对株梓洞尾矿库加高扩容工程进行了工程地质勘察, 采用了工程地质测绘、工程钻探、室内岩土试验、标准贯入试验、动力触探试验及十字板剪切试验等工作方法, 对尾矿库坝址进行了稳定性计算及综合分析评价, 提出了对尾矿库加高扩容工程勘察工作方法的优化建议。

关键词

尾矿库扩容, 工程勘察, 稳定性分析评价, 方法建议

Suggestions on Investigation Method and Stability Analysis of Heightening and Capacity Expansion Project of Zhuzidong Tailings Pond

Liren Lin¹, Qiwu Chen²

¹Hunan Remote Sensing Geological Survey and Monitoring Institute, Changsha Hunan

²Hunan University Design and Research Institute Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: Mar. 14th, 2022; accepted: Apr. 17th, 2022; published: Apr. 24th, 2022

Abstract

In this paper, the engineering geological survey is carried out for the heightening and capacity expansion project of Zhuzidong tailings pond; engineering geological mapping, engineering drilling, indoor geotechnical test, standard penetration test, dynamic penetration test and vane shear test are adopted; the stability calculation and comprehensive analysis and evaluation of tailings pond dam site are carried out; the optimization suggestions on the investigation method of tailings pond heightening and capacity expansion engineering are put forward.

Keywords

Tailings Pond Expansion, Engineering Investigation, Stability Analysis and Evaluation, Method Suggestion

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

1.1. 工程概况

株梓洞矿区位于新化县城北西西约 23 km (直线距离)、新化南高铁站北约 17 km (直线距离), 株梓洞尾矿库原设计最终堆积标高为 426 m, 总库容为 $23.2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 总坝高为 28 m, 为五等库, 库区汇水面积为 1.3 km^2 。该尾矿库主要由初期坝、堆积坝、排洪系统(排水井、排水管)等组成。

目前尾矿堆积至约 425 m 标高, 根据选厂生产需求, 加高扩容拟采用尾砂上游法堆积, 共加高约 64.0 m, 分期实施, 设计一期堆积标高为 460.0 m, 坝高 62 m, 新增库容约 $83.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 库容约 $106.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 属三等库; 设计二期堆积标高暂按 490.0 m, 总坝高 92 m, 平均堆积坡比暂按 1:5.0, 新增库容 $187.9 \times 10^4 \text{ m}^3$, 总库容约 $211.1 \times 10^4 \text{ m}^3$, 为三等库[1]。

根据现有资料, 本次加高扩容需对原排洪系统进行封堵, 另外新建排洪系统暂按排水井 - 排水管形式, 新建 3 座排水井, 框架式钢筋混凝土结构, 内径 4.0 m, 井高 24~27 m, 井座均连接新建排水管; 排水管为现浇钢筋混凝土圆形结构, 内径暂按 $D = 2.5 \text{ m}$, 总长约 680 m。为减少入库洪水, 在库尾 460 m 标高处修筑一座浆砌石拦洪坝, 坝高暂按 10 m, 坝顶宽 4.5 m, 上下游坡比暂为 1:0.6, 坝轴线长约 35 m。

1.2. 勘察等级

根据《岩土工程勘察技术规范》(YS5202-2004、J300-2004)有关岩土勘察等级划分的标准, 本工程重要性等级为二级, 场地复杂程度等级为二级, 地基复杂程度等级为二级, 岩土工程勘察等级为乙级。

1.3. 勘察方法及勘察工作量

本次勘察工作方法为: 在收集资料基础上, 主要采用工程地质测绘手段(查明矿区工程地质条件), 结合钻探及井探(查明矿区岩土层分布)、原位测试(查明岩土层力学性质)及室内试验(查明岩土层物理力学性质)等工作, 进行综合分析评价。现场勘察工作原则上按勘察纲要执行, 但由于设计方案局部调整及现场环境影响, 本次勘察实际完成的工作量如下表 1:

Table 1. Workload statistics**表 1.** 工作量统计表

| 勘察工作项目 | | | 单位 | 工作量 |
|-------------------|----------|-----|--------------------|-----------|
| 工程地质测绘(调查) 1:1000 | | | (km ²) | 0.30 |
| 钻孔 | | | (m/孔) | 495.50/35 |
| 探井 | | | (m/个) | 4.50/5 |
| 地质点 | | | 个 | 8 |
| 岩石试料 | | | (件) | 5 |
| 取样 | 原状 | | (件) | 46 |
| | 土试料 | 全尾矿 | (件) | 2 |
| | | 地表水 | (件) | 3 |
| 原位 测试 | 标准贯入试验 | | (次/孔) | 56/25 |
| | 重型动力触探试验 | | (m/孔) | 0.90/2 |
| | 静力触探试验 | | (m/孔) | 120.60/14 |
| 室内 试验 | 岩石试验 | | (件) | 6 |
| | 土工试验 | | 原状(件) | 46 |
| | 水质分析 | | (件) | 3 |
| 埋设浸润线长期观测孔 | | | (个) | 5 |
| 测量定点 | | | (个) | 48 |

2. 库区工程地质条件

2.1. 地层岩性

根据钻探揭露、静力触探试验和室内土工试验成果,堆积坝体按尾矿沉积规律和土性指标进行分层,按由上至下的沉积层次依次描述如下[2]:

1) 人工填土(Q^{ml}) ① (①为地层编号,下同):初期坝人工堆砌体、干砌石护坡体,深灰色,由板岩、砂岩、灰岩块石组成,不规则棱角形,块石粒径 20~40 cm,不均匀含少量砂及碎石。

2) 尾粉砂(Q^{ml}) ②:褐黄、灰绿色,呈稍湿~饱和,松散~稍密状态,主要由石英、方解石及粘土矿物组成,微层理发育。

3) 尾粉土(Q^{ml}) ③:褐黄、灰绿色,呈湿~饱和,松散~稍密状态,主要由石英、方解石及粘土矿物组成,微层理发育。局部夹亚层透镜体:尾粉砂③1、尾粉质粘土③2。

4) 尾粉质粘土(Q^{ml}) ④:灰绿色,呈湿~饱和,软塑~可塑状态,主要由石英等碎屑,微层理发育。局部地段不规则夹亚层透镜体:尾粉砂④1、尾粉土④2。

5) 第四系坡洪积(Q^{dl+pl})粘土 ⑤:褐灰黑色,含腐植物,不均匀含碎石、卵石 5%~20%,稍湿~湿,可塑状态,局部硬塑状态。分布于库区沟谷地段。

6) 第四系坡残积(Q^{dl+el})粉质粘土 ⑥:褐黄色,不均匀含碎石 10%~30%,稍湿~湿,可塑~硬塑状态。分布于库区山坡地段。

7) 强风化砂质板岩(Z₁^f) ⑦:褐灰、灰绿色,大部分矿物已风化变质,节理裂隙极发育,岩芯呈土夹碎石状,回转钻进容易。

8) 中风化砂质板岩(Z₁¹) ⑧: 褐灰、灰绿色, 主要矿物成分为石英及粘土矿物, 部分矿物已风化变质, 节理裂隙发育, RQD 为 0~10, 岩芯多呈碎块状, 偶见短柱状。回转钻进困难。

9) 微风化砂质板岩(Z₁¹) ⑨: 褐灰、灰绿色, 主要矿物成分为石英及粘土矿物, 中厚~厚层, 块状构造, 节理裂隙较发育, 多呈闭合状, RQD 为 60~80, 岩芯多呈柱状, 少量块状。回转钻进困难。

10) 构造破碎带 ⑩ (F₂): 灰绿色为主, 少量灰黑色, 原岩为砂质板岩, 节理裂隙极发育, 局部糜棱岩化, 岩芯多呈砂状, 回转钻进容易。

2.2. 岩、土物理力学性质试验

为查明场地地层的物理力学性质, 本次勘察在场地内共采取 46 件土试样和 2 组岩石试样, 进行了室内岩土物理力学性质试验, 根据试验结果, 现将场地内各地层的主要物理力学性质指标统计于表 2~4。

Table 2. Statistics of main physical and mechanical properties of soil are as follows

表 2. 土壤主要物理力学性质指标统计如下

| 岩土名称 | 指标 | 天然含水量 W | 天然密度 ρ | 比重 G _s | 压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ | 压缩模量 E _s | 渗透系数 |
|--------|------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | | % | g/cm ³ | | (MPa) ⁻¹ | MPa | cm/s |
| 尾粉砂② | 统计个数 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 3 |
| | 最大值 | 23.7 | 2.02 | 2.75 | 0.18 | 12.7 | 3.47×10^{-4} |
| | 最小值 | 10.2 | 1.81 | 2.73 | 0.13 | 9.4 | 6.04×10^{-4} |
| | 平均值 | 16.5 | 1.89 | 2.74 | 0.16 | 10.8 | 4.53×10^{-4} |
| | 标准差 | 5.224 | 0.064 | 0.009 | 0.015 | 0.927 | |
| | 变异系数 | 0.317 | 0.034 | 0.003 | 0.096 | 0.086 | |
| | 修正系数 | | | | 1.050 | 0.955 | |
| | 标准值 | | | | 0.17 | 10.3 | |
| 尾粉土③ | 统计个数 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 3 |
| | 最大值 | 28.9 | 2.15 | 2.77 | 0.22 | 13.8 | 2.36×10^{-5} |
| | 最小值 | 16.5 | 1.88 | 2.74 | 0.12 | 8.2 | 1.02×10^{-5} |
| | 平均值 | 24.5 | 1.97 | 2.76 | 0.17 | 10.7 | 1.67×10^{-5} |
| | 标准差 | 3.418 | 0.074 | 0.011 | 0.028 | 1.490 | |
| | 变异系数 | 0.140 | 0.038 | 0.004 | 0.171 | 0.139 | |
| | 修正系数 | 1.062 | 1.017 | 1.002 | 1.076 | 0.938 | |
| | 标准值 | 26.0 | 2.00 | 2.76 | 0.18 | 10.1 | |
| 尾粉质粘土④ | 统计个数 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 5 |
| | 最大值 | 52.8 | 1.97 | 2.83 | 0.76 | 8.7 | 6.02×10^{-6} |
| | 最小值 | 25.4 | 1.66 | 2.76 | 0.21 | 3.3 | 7.86×10^{-7} |
| | 平均值 | 38.9 | 1.83 | 2.79 | 0.39 | 6.3 | 3.61×10^{-6} |
| | 标准差 | 10.123 | 0.102 | 0.025 | 0.193 | 1.868 | |
| | 变异系数 | 0.261 | 0.056 | 0.009 | 0.493 | 0.298 | |
| | 修正系数 | 1.137 | 1.029 | 1.005 | 1.258 | 0.844 | |
| | 标准值 | 44.2 | 1.88 | 2.81 | 0.49 | 5.3 | |

Continued

| | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|-----|-----------------------|
| 粘土⑤ | 统计个数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| | 最大值 | 35.8 | 1.68 | 2.76 | 0.53 | 4.8 | 8.26×10^{-6} |
| | 最小值 | 26.8 | 1.59 | 2.75 | 0.44 | 4.1 | 8.26×10^{-6} |
| | 平均值 | 31.2 | 1.63 | 2.76 | 0.49 | 4.5 | 8.26×10^{-6} |
| | 统计个数 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | 最大值 | 44.9 | 1.74 | 2.72 | 0.64 | 3.7 | 4.85×10^{-6} |
| | 最小值 | 44.1 | 1.73 | 2.72 | 0.61 | 3.5 | 4.85×10^{-6} |
| | 平均值 | 44.5 | 1.74 | 2.72 | 0.62 | 3.6 | 4.85×10^{-6} |

Table 3. Statistics of main physical and mechanical properties of soil

表 3. 土壤主要物理力学性质指标统计表

| 岩土名称 | 指标 | 固结系数 C_v | | | | 固结快剪 | | 三轴固结不排水剪(CU) | | | |
|--------|------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------------|--------------|-------------|-------|-------------|
| | | P = 50~100 kPa | P = 100~200 kPa | P = 200~300 kPa | P = 300~400 kPa | 粘聚力 C | 内摩擦角 ϕ | 总应力法 | | 有效应力法 | |
| | | | | | | | | 粘聚力 C | 内摩擦角 ϕ | 粘聚力 C | 内摩擦角 ϕ |
| | | $\times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ | | | | kPa | ° | kPa | ° | kPa | ° |
| 尾粉砂② | 统计个数 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 最大值 | 20.33 | 19.12 | 17.35 | 16.06 | 15 | 31.9 | 8 | 33.2 | 8 | 34.0 |
| | 最小值 | 14.93 | 14.59 | 11.68 | 11.48 | 5 | 29.4 | 7 | 32.5 | 7 | 33.0 |
| | 平均值 | 17.63 | 17.04 | 15.38 | 14.72 | 10.5 | 30.2 | 7.3 | 32.9 | 7.7 | 33.4 |
| | 标准差 | | | | | 3.834 | 0.889 | | | | |
| | 变异系数 | | | | | 0.365 | 0.029 | | | | |
| | 修正系数 | | | | | 0.699 | 0.976 | | | | |
| | 标准值 | | | | | 7.3 | 29.5 | | | | |
| 尾粉土③ | 统计个数 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 最大值 | 18.35 | 16.78 | 16.43 | 16.08 | 39 | 28.5 | 35 | 30.6 | 36 | 31.2 |
| | 最小值 | 16.82 | 12.14 | 10.99 | 9.31 | 10 | 24.6 | 22 | 28.7 | 25 | 29.1 |
| | 平均值 | 17.20 | 15.64 | 14.42 | 13.29 | 27.9 | 26.3 | 28.6 | 29.3 | 30.6 | 30.2 |
| | 标准差 | 0.518 | 1.843 | 2.254 | 2.739 | 9.117 | 1.081 | | | | |
| | 变异系数 | 0.030 | 0.118 | 0.156 | 0.206 | 0.327 | 0.041 | | | | |
| | 修正系数 | | | | | 0.795 | 0.974 | | | | |
| | 标准值 | | | | | 22.2 | 25.6 | | | | |
| 尾粉质粘土④ | 统计个数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 9 | 9 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | 最大值 | 37 | 25.6 | 40 | 27.8 | 36 | 24.2 | 15 | 14.3 | 13 | 12.1 |
| | 最小值 | 12 | 18.7 | 19 | 21.8 | 17 | 11.6 | 9 | 7.2 | 6 | 5.6 |
| | 平均值 | 27.3 | 23.0 | 32.0 | 25.5 | 24.8 | 19.9 | 12.9 | 12.2 | 10.5 | 9.9 |
| | 标准差 | | | | | 5.740 | 5.733 | 2.222 | 2.457 | 2.459 | 2.241 |
| | 变异系数 | | | | | 0.232 | 0.288 | 0.173 | 0.202 | 0.235 | 0.227 |
| | 修正系数 | | | | | 0.855 | 0.820 | 0.872 | 0.851 | 0.826 | 0.832 |
| | 标准值 | | | | | 21.2 | 16.3 | 11.2 | 10.4 | 8.7 | 8.2 |

Continued

| | | | |
|----|------|------|------|
| | 统计个数 | 4 | 4 |
| | 最大值 | 35 | 22.2 |
| | 最小值 | 30 | 15.6 |
| 粘土 | 平均值 | 32.5 | 19.9 |
| ⑤ | 统计个数 | 2 | 2 |
| | 最大值 | 35 | 15.5 |
| | 最小值 | 33 | 15.3 |
| | 平均值 | 34.0 | 15.4 |

Table 4. Statistics of main physical and mechanical property indexes of rock

表 4. 岩石主要物理力学性质指标统计表

| 地层 | 指 标 | 统计项目 | 统计个数 n | 范围值 | 平均值 Φ_m |
|--------------|-----|--------------------------|--------|-----------|--------------|
| 微风化砂质板 岩⑨ | | 颗粒密度(g/cm ³) | 2 | 2.73~2.73 | 2.73 |
| | | 天然密度(g/cm ³) | 2 | 2.71~2.72 | 2.72 |
| | | 饱和吸水率(%) | 2 | 0.18~0.34 | 0.26 |
| | | 天然抗压强度(MPa) | 3 | 27.7~42.1 | 35.7 |
| | | 干燥抗压强度(MPa) | 3 | 55.0~77.5 | 64.3 |

2.3. 原位测试

2.3.1. 现场大容重试验[3]

重度试验：本次勘查在初期坝顶上挖掘一个约 40 cm × 60 cm × 40 cm 的小坑，对该坑内土体进行称重，人工填土土体重度为 21.0 kN/m³。

2.3.2. 静力触探试验(CPT)

静力触探试验采用 2Y-20D 型静力触探机，贯入力 200 KN，贯入速度 1.2 m/min。静探头采用双桥探头，测得锥尖阻力与侧壁摩阻力值。本工程共完成静力触探孔 12 个，累计进尺 120.60 m。根据静力触探试验成果，参照室内土工试验结果，其统计分析结果列于表 5：

Table 5. Statistics of static cone penetration test results

表 5. 静力触探试验成果统计表

| 地层参数 | 统计件数 | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数 | 统计修正系数 | 标准值 | |
|------|------------|-----|------|------|------|--------|--------|-------|------|
| 尾粉砂② | 锥头阻力(MPa) | 49 | 0.01 | 1.16 | 0.24 | 0.207 | 0.850 | 0.791 | 0.19 |
| | 侧壁摩阻力(KPa) | 49 | 0.5 | 16.0 | 3.5 | 4.001 | 1.128 | 0.723 | 2.6 |
| | 摩阻比(%) | 49 | 0.2 | 9.0 | 1.9 | 1.726 | 0.886 | 0.783 | 1.5 |
| 尾粉土③ | 锥头阻力(MPa) | 294 | 0.01 | 3.47 | 0.82 | 0.711 | 0.866 | 0.914 | 0.75 |
| | 侧壁摩阻力(KPa) | 294 | 0.01 | 62.5 | 9.3 | 10.210 | 1.097 | 0.891 | 8.3 |
| | 摩阻比(%) | 294 | 0.1 | 18.0 | 1.6 | 1.605 | 1.032 | 0.897 | 1.4 |

Continued

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 尾粉质粘土 ④ | 锥头阻力(MPa) | 388 | 0.01 | 2.97 | 0.29 | 0.422 | 1.450 | 0.875 | 0.25 |
| | 侧壁摩阻力(KPa) | 388 | 0.2 | 40.6 | 4.7 | 6.039 | 1.282 | 0.889 | 4.2 |
| | 摩阻比(%) | 388 | 0.1 | 23.0 | 3.5 | 3.401 | 0.969 | 0.916 | 3.2 |
| 粘土⑤ | 锥头阻力(MPa) | 6 | 0.24 | 0.42 | 0.33 | 0.063 | 0.192 | 0.842 | 0.28 |
| | 侧壁摩阻力(KPa) | 6 | 9.0 | 22.7 | 12.1 | 5.324 | 0.441 | 0.636 | 7.7 |
| | 摩阻比(%) | 6 | 2.7 | 5.4 | 3.6 | 0.995 | 0.278 | 0.771 | 2.8 |
| 粘土⑥ | 锥头阻力(MPa) | 62 | 0.01 | 2.98 | 0.21 | 0.462 | 2.226 | 0.516 | 0.11 |
| | 侧壁摩阻力(KPa) | 62 | 0.2 | 22.0 | 5.9 | 6.346 | 1.075 | 0.766 | 4.5 |
| | 摩阻比(%) | 62 | 0.2 | 20.6 | 5.9 | 4.701 | 0.802 | 0.784 | 4.6 |

2.3.3. 标准贯入试验(SPT)

标准贯入试验(SPT)是用质量为 63.5 kg 的重锤按照规定的落距(76 cm)自由下落, 将标准规格的贯入器打入地层中, 根据贯入器在贯入一定深度得到的锤击数来判定土层的性质。各地层的标准贯入试验实测锤击数 N 统计于下表 6。

Table 6. Statistics of standard penetration test blow counts

表 6. 标准贯入试验锤击数统计表

| 地层参数 | 指标 | 统计件数 | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数 | 统计修正系数 | 标准值 |
|----------|----|------|-----|-----|------|-------|-------|--------|------|
| 尾粉砂② | | 10 | 2 | 10 | 5.7 | 2.449 | 0.432 | 0.730 | 4.1 |
| 尾粉土③ | | 10 | 6 | 12 | 8.5 | 2.173 | 0.256 | 0.850 | 7.2 |
| 尾粉质黏土④ | | 14 | 1 | 6 | 3.0 | 1.683 | 0.561 | 0.719 | 2.2 |
| 粘土⑤ | | 8 | 3 | 9 | 6.1 | 2.295 | 0.375 | 0.747 | 4.6 |
| 粘土⑥ | | 7 | 3 | 12 | 7.9 | 2.854 | 0.363 | 0.731 | 5.7 |
| 强风化砂质板岩⑦ | | 7 | 58 | 82 | 69.6 | 8.522 | 0.122 | 0.909 | 63.3 |

2.3.4. 动力触探试验

为了解初期坝内揭露的人工填土(粗砂层) ①1 的密实度及均匀性, 本次勘察共进行了重型圆锥动力触探试验 0.90 m/孔, 其结果统计于下表 7。

Table 7. Statistics of blow counts of heavy cone dynamic penetration test

表 7. 重型圆锥动力触探试验锤击数统计表

| 岩土名称 | 统计指标 | 重型圆锥动力触探修正锤击数 $N_{63.5}$ (击) | | | | | | |
|------------|------|------------------------------|----------|-----|-------|-------|-------|-----|
| | | 统计个数 | 范围值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数 | 修正系数 | 标准值 |
| 人工填土(粗砾砂层) | | 9 | 6.3~12.7 | 9.6 | 1.912 | 0.199 | 0.876 | 8.4 |

2.3.5. 十字板剪切试验

本次勘察共进行了十字板剪切试验 56 次, 其结果统计于下表 8。

Table 8. Statistics of vane shear test
表 8. 十字板剪切试验统计表

| | 地层参数 | 统计件数 | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数 | 统计修正系数 | 标准值 |
|--------|-----------------|------|-----|-----|-----|------|-------|--------|------|
| 尾粉砂② | 原状土抗剪强度 CU(kPa) | 11 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.08 | 0.387 | 0.786 | 0.22 |
| 尾粉土③ | 原状土抗剪强度 CU(kPa) | 31 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 0.11 | 0.543 | 0.859 | 0.35 |
| 尾粉质粘土④ | 原状土抗剪强度 CU(kPa) | 14 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.06 | 0.297 | 0.858 | 0.25 |

2.4. 岩土参数可靠性分析

1) 本次勘察取样、原位测试、室内土工试验均执行现行相关规程、规范。按照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) (2009 年版)第 14.2 节要求进行岩土试验参数的统计分析[4]。

2) 现场室内土工试验所用土试样均为 I 级土试样,由于尾矿沉积粒度变化不大,水平向微层理发育,垂直方向颗粒分布变异较大,对取样试验成果影响较小。

3) 本次勘察测试取得的工程特性指标,基本反映了岩土在特定条件下的状态,岩土计算参数可靠,能够满足工程设计的要求。

2.5. 不良地质作用

库区内存在构造破碎带,属北东-北东东向构造断裂。区域地质北东-北东东向构造断裂历史上未见震害记录。按《中国地震参数区划图》(GB18306-2001)及《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)有关规定:新化县抗震设防烈度为 6 度;按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) (2009 年版)有关规定;推测该构造破碎带为非工程性活动断裂。

2.6. 地震效应

新化县抗震设防烈度为 6 度,设计基本地震加速度值为 0.05 g;场地土类型为中硬场地土,建筑场地类别为 II 类,属于可进行建设的一般场地。参照《水工建筑物抗震设计规范》(DL5073-2015)第 3.1 节相关规定,按构造活动性、边坡稳定性和场地地基条件综合评价为对建筑物抗震一般地段;场地土类型为中软场地土,建筑场地类别为 II 类[5]。

3. 尾矿沉积特性、全尾矿与沉积滩

3.1. 尾矿沉积特性

尾矿由选厂用 PVC 管道至尾矿库内,然后由 1 根 $D = 100 \text{ mm}$ 排放管口排出,其沉积过程与水动力地质条件沉积环境类似,其主要影响因素有以下几个方面:

1) 粒度:尾矿颗粒的大小是控制沉积的主要因素,粗颗粒沉积较快,一般距排放管口愈近颗粒愈粗,反之,愈远愈细。据本次勘察颗粒分析资料及相关全尾矿粒度资料反映,尾矿土粒度变化在(0.2, 0.002 mm)之间,说明了尾矿土在沉积过程中,仍有随粒径变化而水平方向具分选性的特点。

2) 尾矿流速:尾矿浆流速越大,越不易沉积,且颗粒携带越远。据现场工作中估计,放矿流速在 0.20~0.50 m/秒,排放速度较一般,对水平方向分选性带来的影响较小。

3) 矿浆浓度:浓度愈大,流速相应减小,沉积速度较快,且分选性也差。据相关资料反映,放矿浓度为 20%~30%,放矿浓度不太大,沉积速度也较慢,有利于水平方向的沉积。

4) 放矿方法:尾矿浆自排放口处总是趋向于以辐射型向四周扩散,呈漫流或蛇曲状流向库内,而且

在排放管呈间歇性的交错使用时, 尾矿常呈现交错、重叠沉积。

3.2. 全尾矿

本次勘察在尾矿库排放口及选厂放矿阀各采取 1 件原尾矿样, 根据室内颗粒组成分析成果, 其特性指标列于下表 9。

Table 9. Indoor particle composition analysis results [6]

表 9. 室内颗粒组成分析成果表[6]

| 序号 | 尾矿库排放口 | 选厂 |
|-----------------|--------|--------|
| >0.2 | 0.8 | / |
| 0.2~0.1 | 7.9 | 1.8 |
| 0.1~0.074 | 6.9 | 3.2 |
| 0.074~0.037 | 20.0 | 25.4 |
| 颗粒组成(%) | | |
| 0.037~0.02 | 8.5 | 7.9 |
| 0.02~0.01 | 9.0 | 10.6 |
| 0.01~0.005 | 18.7 | 23.4 |
| 0.005~0.002 | 19.1 | 17.8 |
| <0.002 | 9.1 | 9.9 |
| d ₁₀ | 0.0021 | 0.0020 |
| d ₃₀ | 0.0052 | 0.0055 |
| d ₆₀ | 0.0280 | 0.0164 |
| η | 13.33 | 8.20 |
| <0.075 占% | 84.4 | 95 |

注: 1) d₁₀、d₃₀、d₆₀ 表示重量小于该粒度占 10%、30%、60% 的粒径; 2) η-不均匀系数, $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ 。

3.3. 沉积滩

根据本次勘察测绘调查与钻探取样颗分成果, 尾矿库内冲积坡长一般控制在 350~450 m 之间, 沉积滩平均坡度见表 10。

Table 10. Measured average slope of sedimentary Beach

表 10. 实测沉积滩平均坡度表

| 剖面号 | 沉积滩平均坡度(%) | | | |
|------|-------------|---------------|----------------|----------------|
| | 0~50 m (水上) | 50~105 m (水上) | 105~155 m (水下) | 155~215 m (水下) |
| 1—1▼ | 0.90 | 0.84 | 1.56 | 1.60 |
| 2—2▼ | 1.22 | 0.72 | 0.90 | 0.96 |
| 3—3▼ | 0.56 | 0.80 | 0.84 | 0.98 |
| 平均值 | 0.89 | 0.79 | 1.10 | 1.18 |

注: 表中数值由勘探点高程差值计算。

4. 库区水文地质条件

4.1. 地表水

尾矿库主沟内存在有一溪流, 常年有水流。在已建拦洪坝上游约 35 m 处流入排水管(浆砌石圆拱直墙型)(见照片 13)至初期坝底出口处流出, 测得流量约 35 L/s (含尾矿库部分渗水)。

4.2. 地下水

尾矿库的地下水主要为分布在坝体的尾砂层中, 为尾矿水, 尾砂内的地下水根据浸润线观测管实测值, 于不同日期测得水位深度为 1.70~15.40 m。其次为分布在基岩中的基岩裂隙水, 本次勘察主要是对坝体进行勘察, 因此未进入深部基岩层中, 因此, 未量取基岩裂隙水水位。

4.3. 地下水的腐蚀性

为查明尾矿水对库区排水设施的腐蚀性, 本次勘察共计取水 3 件, 分别进行水质腐蚀性分析试验, 根据水质分析结果, 按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) (2009 年版)中有关标准判定: 场地环境类型为 II 类, 按直接临水、干湿交替环境考虑, 水质对钢筋混凝土结构钢筋、混凝土结构中的钢筋均具有微腐蚀性。

5. 库区渗漏性评价

根据工程地质测绘及井探结果: 库区的第四系坡洪积漂石为强透水性地层, 强风化砂质板岩、构造破碎带、中~微风化钙质板岩为弱~微透水性地层, 为库区较好的相对隔水底板。

库区呈半封闭状, 有较好的隔水底板, 虽然局部节理裂隙稍发育, 但对库区、坝肩渗漏的影响不大。由于库区内分布有强透水性的漂石、块石层, 但是建坝时已经进行了较为彻底的清基工作, 未见坝底、坝肩及邻谷渗漏的现象, 同时亦未见沿构造破碎带渗漏的现象。

6. 尾矿库稳定性分析评价

6.1. 库岸稳定性

根据工程地质测绘, 库内未见滑坡、崩塌、泥石流等不良地质作用, 自然状态下岸坡是稳定的。

6.2. 坝体浸润线

为了解坝体内浸润线的位置和变化情况, 设置了 5 个长期观测孔, 于现场移交给建设单位。由于沉积滩泥泞, 量测地下水位较困难, 于不同日期主剖面线水位如下表 11。

Table 11. Water level of main section line in different days

表 11. 不同日期主剖面线水位

| 日期 | ZK6 | ZK9 | ZK10 | ZK13 | ZK17 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 深度(m) | 深度(m) | 深度(m) | 深度(m) | 深度(m) |
| 2017.01.06 | | | | | 3.20 |
| 2017.01.10 | | | 1.70 | | |
| 2017.01.11 | 15.40 | 2.30 | | 7.50 | |

6.3. 坝体(址)稳定性

堆积坝体的稳定性计算采用圆弧滑动法, 其有关计算公式按《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)中附录 A 中 A.0.1 式, 利用堆积坝体主剖面线(剖面 1-1, 投影)进行稳定性验算。根据本次室内土工试验直剪和三轴剪切结果, 经分析, 采用固结快剪试验结果, 计算软件采用理正岩土 5.6 版, 计算模式采用计算机自动搜索, 其坝坡稳定性系数计算结果均大于《选矿厂尾矿设施设计规范》(GB50863-2013)有关标准。1-1 计算断面详见图 1, 1-1 断面稳定性计算结果详见表 12。

Table 12. 1-1 section stability calculation
表 12. 1-1 剖面稳定性计算表

| 地层 | 指 标 | 天然密度 γ (g/cm ³) | 固结快剪强度 | |
|---------------|-----|---------------------------------------|-------------|---------|
| | | | 凝聚力 C (kPa) | 内摩擦角(度) |
| 人工填土① | | 2.10 | 5* | 40* |
| 人工填土(粗砾砂层)①-1 | | 2.00* | 5* | 35* |
| 尾粉砂②、③-1、④-1 | | 1.89 | 7 | 28 |
| 尾粉土③、④-2 | | 1.97 | 16 | 20 |
| 尾粉质粘土④、③-2 | | 1.83 | 20 | 16 |
| 粘土⑤ | | 1.63 | 20 | 14 |
| 漂石⑤-1 | | 2.00* | 5* | 40* |
| 粘土⑥ | | 1.74 | 20 | 16 |
| 强风化砂质板岩⑦ | | 2.30* | 50* | 30* |
| 中风化砂质板岩⑧ | | 2.45* | 80* | 32* |
| 微风化砂质板岩⑨ | | 2.72 | 200 | 37 |
| 构造破碎带⑩ | | 2.30* | 50* | 30* |

| 计算结果 | | | | |
|------|------|------------------|--------|--------|
| 序号 | 工况 | 圆心坐标 | 半径 | 最小稳定系数 |
| 1 | 正常运行 | (65.201, 72.241) | 72.533 | 1.322 |
| 2 | 地震运行 | (65.201, 72.241) | 72.533 | 1.225 |

注: 1) 固结快剪强度指标取统计标准值; 2) 表中带*的为经验值。

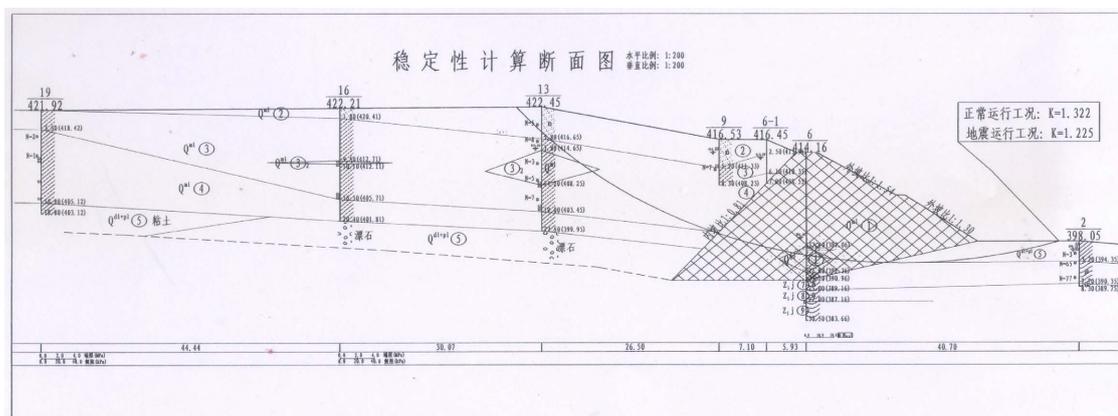


Figure 1. 1-1 stability calculation section
图 1. 1-1 稳定性计算断面图

7. 尾矿库加高扩容可行性分析

1) 经验算: 在现状条件下, 按 4、5 等库考虑在正常运行、地震运行下坝体稳定性分别大于 1.15、1.00, 有利于尾矿库加高扩容。

2) 初期坝为透水坝, 坝体排渗运行良好, 有效降低了浸润线, 有利于尾矿库加高扩容。

8. 结论及对勘察方法的建议

1) 根据本次勘察结果, 除库区内发现的断裂外, 未发现有影响场地稳定性的其它不良溶、滑坡、泥石流、地面沉降等, 该构造破碎带为非工程性活动断裂, 因此, 场地是稳定的。

2) 经验算, 现状条件下坝体稳定性符合《选厂尾矿设施设计规范》(GB50863-2013)有关标准, 坝体排渗运行良好, 有效降低了浸润线, 尾矿库加高扩容是可行的。

3) 拟建拦洪坝坝址区域第四系覆盖层较薄, 建议进行清基工作, 以强、中风化岩层作为坝基持力层。

4) 鉴于尾矿粒度过细, 建议采用经旋流分级后的尾砂筑坝, 确保堆积坝稳定及有效库容。加高扩容时, 随着堆积坝的增高宜设置新的排渗系统; 加高扩容时, 随着堆积坝的增高可考虑对初期坝进行反压。

5) 基础施工时应加强施工验槽工作, 及时处理施工过程中所遇到的岩土工程问题, 采用信息化施工。

6) 本次勘察工作方法采用了工程地质测绘、钻探(井探)、标准贯入试验、重型动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验及室内试验等工作, 其中静力触探试验及十字板剪切试验具有可采取连续数据、贯入不需要预成孔、无沉渣及扰动影响等优点, 适宜作为尾矿库建成后不同阶段尾矿固结程度、强度指标提高幅度的对比分析。

7) 建议采用单动双层薄壁取土器采取原状土样进行室内试验以更好地获取土层物理力学指标参数, 建议采用圆弧滑动法进行尾矿库坝体的稳定性分析及评价。

参考文献

- [1] 国家标准. GB50547-2010. 尾矿堆积坝岩土工程技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2010.
- [2] 国家标准. GB50863-2013. 尾矿设施设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2013.
- [3] 陈七五, 林立仁, 靳朝明. 湖南省玉坤矿业集团有限公司株梓洞尾矿库加高扩容工程工程地质勘察报告[R]. 长沙: 湖南鑫湘物探工程有限公司, 2017.
- [4] 国家标准. GB50021-2001. 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中华人民共和国建设部, 2009.
- [5] 国家标准. GB50011-2010. 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016.
- [6] 国家标准. GB/T50123-2019. 土工试验方法标准[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2019.