

安全与环保

某尾矿库筑坝方案比较分析

岑建 马艳晶

(中国恩菲工程技术有限公司,北京100038)

[摘要] 结合某山谷型尾矿库工程,在满足现有政策的前提下,从形成库容及服务年限、经济性、安全性、环境影响和运行管理等方面,对中线式尾矿筑坝法和上游式尾矿筑坝法两种筑坝方案进行综合比较和分析,并得出了该尾矿库工程采用中线式尾矿筑坝法方案为最优选择的结论。所采用的分析方法可为类似工程提供思路。

[关键词] 尾矿库;筑坝方案;中线式尾矿筑坝法;上游式尾矿筑坝法

[中图分类号] TD926.4⁺1

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2021)01-0067-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.01.014

Comparison and Analysis of Dam Construction Schemes for Tailings Pond

CEN Jian, MA Yan-jing

Abstract: Combined with a practical valley-type tailings dam project, under the premise of meeting the existing policies, two feasible dam construction schemes of centerline embankment method and upstream embankment method were comprehensively compared and analyzed from the aspects of reservoir capacity, service life, economy, safety, environmental impact and operation management, and the results showed that the centerline embankment method was better. The analysis method used can provide ideas for similar projects.

Key words: tailings pond; dam construction scheme; centerline embankment method; upstream embankment method

0 前言

尾矿库设施是绝大多数金属和非金属矿山项目中必不可少的配套工程之一。随着国家安全和环保政策的日益趋紧,尾矿库设施所占的投资比例越来越大,一般都在20%以上,尾矿库建设方案成为制约矿山项目是否可行的关键因素之一,日益引起项目各参与方的关注和重视。在进行尾矿库设计时,尾矿库库址选择和筑坝方案确定是最重要的环节;尾矿库库址选定后,如何合理确定尾矿坝筑坝方式也需要进

行综合比较分析。优选的筑坝方案不仅要节省投资,提高矿山项目整体效益,也要有利于安全环保^[1]。

尾矿坝筑坝方案分为多种,对于湿式堆存尾矿库,常见的尾矿坝筑坝方案包括利用当地土石材料的一次建坝方式、上游式尾矿筑坝方式、中线式尾矿筑坝方式和下游式尾矿筑坝方式等。一次建坝方式是指不利用尾砂而采用其他材料一次性或分期建造尾矿坝的方式;上游式、中线式和下游式尾矿筑坝法均采用尾砂筑坝,区别在于堆积坝坝顶轴线的移动方向不同^[2-3]。随着科学技术的发展和进步,虽然又出现了其他一些新型尾矿坝筑坝型式,但就目前而言,传统的利用尾砂筑坝的上游式和中线式筑坝方法仍然是国内应用最多的筑坝方案。

本文结合某工程,对上游式尾矿筑坝法(下文

[收稿日期] 2020-09-29

[作者简介] 岑建(1981—),男,江苏常州人,硕士,高级工程师,主要从事尾矿工程设计及研究相关工作。

简称“上游法”)和中线式尾矿筑坝法(下文简称“中线法”)两种尾矿库建设方案进行综合比较和分析。

1 工程概况

某矿山位于我国西南部,开采方式为地下开采,需配套建设尾矿库进行尾矿堆存处置。根据选矿工艺,尾矿产量为 536 万 t/a,尾矿比重为 3.2,服务年限为 26 年。结合前期各方面工作,初步确定了可以利用的尾矿库库址,其平面图如图 1 所示。库址范围内有居民 22 户、农田约 70 亩,需搬迁的居民数和占用的农田均较少;库址地处沟谷,形状狭长,主沟平均坡度为 9.55%,地形条件相对较好。

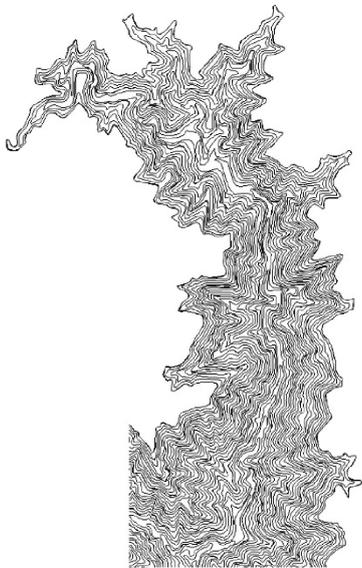


图 1 库址地形平面图

2 筑坝方案

上游法工艺技术的限制条件较少,而中线法的限制条件较多。由于中线法尾矿坝一般采用经水力旋流器分级后的沉砂堆筑^[4],最重要的是分级的粗砂产量要能够满足堆坝区筑坝量的要求,使库内滩面和尾矿堆积坝能够协调上升。本工程中,根据选矿工艺提供的尾矿粒度,结合库址的地形条件,尾矿粗砂产量可以满足中线法方案的有关要求,所以尾矿筑坝方案可以采用中线法。因此,在筑坝方案比较中,可以对比分析中线法和上游法两种方案。

从图 1 可以看出,尾矿库为山谷型,整体较为狭长,适合建坝的位置较多。在进行尾矿库方案设计时,首先通过比较坝址方案,最终确定中线法方案和上游法方案各自的坝址(图 2、图 3)。

在进行不同筑坝型式的尾矿库方案设计时,除

遵守有关规范的规定外,还应满足国家有关部门的规定。根据《关于印发防范化解尾矿库安全风险工作方案的通知》(应急[2020]15号)的要求,尾矿坝总坝高不能超过 200 m。为便于比较分析,两种筑坝方案的尾矿坝总坝高均按 200 m 考虑。



图 2 中线法方案

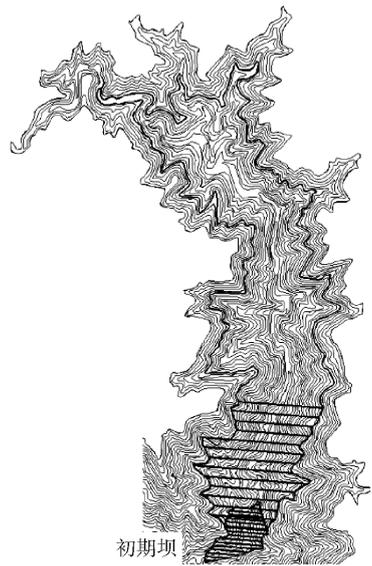


图 3 上游法方案

2.1 中线法方案

中线法筑坝方案中的主要设施包括初期坝、堆积坝、拦砂坝、水力旋流器、结合池。

初期坝采用碾压土石坝结构,筑坝材料主要为风化石,坝底高程为 1 290 m,坝顶高程为 1 380 m,坝高 90 m,坝体上游坡度为 1:3.0,下游坡度为 1:2.0。形成初期库容可满足选厂 1 年内所产尾矿的堆存要求。初期坝工程量约为 152 万 m³。

堆积坝采用经旋流器分级的粗尾砂筑坝。尾矿坝坝肩设置了结合池,来自选厂的尾矿进入结合池后自流至均匀设置在坝顶的旋流器,分级的粗尾砂排往下游筑坝,溢流细尾砂则排往库内。堆积坝平均坡度为1:3.5,坝高为200 m时坝顶高程为1 490 m,形成的总库容为1.1亿 m^3 ,可满足选厂26年内所产尾矿的堆存要求。

拦砂坝设置在初期坝下游一定距离外,采用透水堆石坝结构,工程量约为25万 m^3 。

2.2 上游法方案

上游法筑坝方案的主要设施包括初期坝和堆积坝。

初期坝采用透水堆石坝结构,筑坝材料主要为堆石料,坝底高程1 240 m,坝顶高程为1 325 m,坝高为85 m,上游、下游坡度均为1:2。形成的初期库容可满足选厂1年内所产尾矿的堆存要求,初期坝工程量约为134万 m^3 。

堆积坝采用尾砂上游法堆筑,平均坡度为1:5,总坝高200 m时堆积坝坝顶高程为1 440 m。经过计算,总库容为4 500万 m^3 ,可满足选厂11年内所产尾矿的堆存要求。

3 方案比较

3.1 形成库容及服务年限

从上述介绍可以看出,上游法筑坝方案的尾矿库库容为4 500万 m^3 ,可满足选厂11年内所产尾矿的堆存要求;中线法筑坝方案尾矿库库容为1.1亿 m^3 ,可满足选厂26年内所产尾矿的堆存要求。因此,在形成库容及服务年限这方面,中线法筑坝方案更优。

3.2 经济性

两种筑坝方案的初期投资和运行成本的具体对比分析见表1。

从表1可以看出,中线法方案的初期投资和运行成本均高于上游法方案,这符合一般的认识规律。但需要注意的是,在初期投资上,中线法方案虽然筑坝方量更大,但投资并没有大幅度增加,这是因为中线法方案初期坝采用风化料筑坝,对石料要求较低,因此筑坝料获得更容易,造价也相对较低。上游法方案初期坝根据排水的需要,一般采用堆石筑坝,对石料要求较高,因此造价相对较高。

在运行成本上,由于中线法尾矿坝增加了分级作业环节,需要投入更多人力成本和维修费用。

因此,从经济层面分析,上游法方案较优。

表1 中线法和上游法筑坝方案比较

序号	项目	上游法	中线法	备注
1	初期投资			
1.1	初期坝/万元	10 720.0	9 120.0	均满足1年库容
1.2	拦砂坝/万元	0.0	2 000	
1.3	结合池/万元	0.0	2	
1.4	分级设备/万元	0.0	101.0	
合计/万元		10 720.0	11 223.0	
2	运行成本			
2.1	人工费/万元·a ⁻¹	396.0	516.0	
2.2	分级设备维护/万元·a ⁻¹	0.0	5.0	平均值
2.3	尾砂筑坝/万元·a ⁻¹	17.5	223	平均值
2.4	堆积坝排渗/万元·a ⁻¹	52.0	0.0	平均值
合计/万元·a ⁻¹		465.5	744.0	

3.3 安全性

相对于上游法尾矿坝,中线法尾矿坝的浸润线埋深更深,堆积坝的尾砂强度更高,坝坡稳定安全系数大^[5],因此更安全。地震设防烈度为8~9度的地区宜采用下游式或中线式筑坝^[2],这也是基于安全角度考虑。

为了更直观地说明问题,参考有关工程经验,进行尾砂力学参数取值,对两种筑坝型式的尾矿坝整体稳定性进行定量计算和分析。计算模型为尾矿坝在最终坝高状态下的正常运行工况,尾矿堆积坝的浸润线埋深均为10 m,干滩长度均为400 m,计算方法均采用有效应力法。中线法和上游法尾矿坝的各土层物理力学指标见表2和表3,坝坡稳定计算结果如图4和图5所示。

表2 中线法尾矿坝各土层物理力学指标

名称	天然重度/ kN·m ⁻³	饱和重度/ kN·m ⁻³	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)
基岩	22.0	23.0	0.0	42.0
初期坝	20.0	21.0	0.0	32.0
坝体粗砂	18.5	19.5	4.0	34.0
库内尾砂1	20.0	20.5	30.0	24.7
库内尾砂2	19.5	20.0	10.0	22.0
拦砂坝	22.0	23.0	0.0	38.0

从计算分析结果可以看出,中线法筑坝方案的坝坡稳定安全系数稍大,但整体来看,这两种方案的尾矿坝坝坡稳定安全系数相差不大,这是因为在本项目中,在初期库容的限制下,两种方案的初期坝高度都很高,对尾矿坝总体稳定性产生了直接影响。一般情况下,当初期坝高度较低时,中线法尾矿坝的安全优势将更加明显。因此,从安全层面考虑,中线

法方案较优。

表3 上游法尾矿坝各土层物理力学指标

名称	天然重度/ kN·m ⁻³	饱和重度/ kN·m ⁻³	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)
基岩	22.0	23.0	0.0	42.0
初期坝	22.0	23.0	0.0	38.0
尾粉砂	19.0	20.0	9.8	28.0
尾粉土	20.0	20.5	12.0	26.5
尾粉质黏土	19.5	20.0	10.0	22.0
尾黏土	18.0	19.0	18.9	11.9

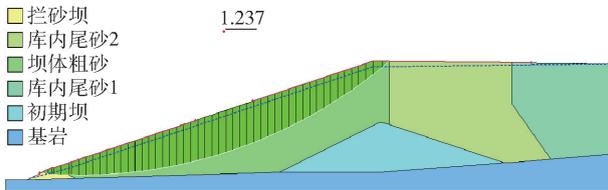


图4 中线法尾矿坝坝坡稳定计算结果

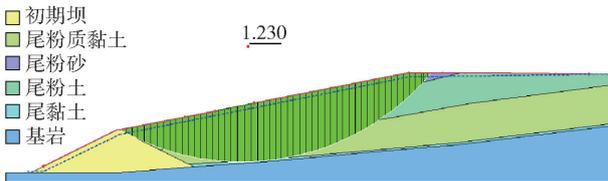


图5 上游法尾矿坝坝坡稳定计算结果

3.4 环境影响

从局部小范围环境影响层面来说,中线法尾矿坝最主要的问题是扬尘问题。中线法尾矿坝由于筑坝工艺的特殊性,在较短时间内难以在下游坝坡形成最终堆积坝坡面形态,导致大面积的尾砂长期暴露在空气中。在干旱多风季节,若不采取处理措施,尾矿坝扬尘问题较为严重,而上游法尾矿坝的扬尘问题则较轻。

从整体大区域环境影响层面来看,尾矿库本身具有环保设施的属性,由于中线法筑坝方案安全性更高,由尾矿库溃坝造成环境污染事件的风险就相对更低。在库址和坝高相同的条件下,中线法筑坝方案能够形成更大的库容,可以避免建设多个尾矿库,减少占用的土地和污染源数量。

在本项目中,由于矿山资源储量大,而上游法方案的尾矿库容仅能服务11年,中线法方案能够服务26年,若采用上游法筑坝方案,需额外再建尾矿库。因此,从整体大区域环境影响层面来看,中线法筑坝方案更为有利,但需要注意的是,为减少尾砂扬尘污染,应在下游堆积体采取洒水降尘等措施。

3.5 运行管理

中线式尾矿筑坝法在筑坝工艺方面多了分级工

艺,运行管理稍显复杂,技术要求相对较高,需要的人工定额也相对较多;对于上游式尾矿筑坝法,由于国内大部分尾矿库均采用此种筑坝工艺,在运行管理方面有许多工程案例可供参考,所需的人工定额相对较少。

4 结论

针对某山谷型尾矿库,从形成库容及服务年限、经济性、安全性、环境影响和运行管理方面对上游法和中线法筑坝方案进行了详细的对比分析,发现上游法方案和中线法方案具有不同的优缺点。

1) 上游法方案的主要优点在于初期投资和运行成本较低,运行管理方面可借鉴的工程较多,局部小范围内的环境影响较小;主要不足之处在于在相同坝高条件下的形成库容较小,服务年限短,安全性较差。

2) 中线法方案的主要优点在于在相同坝高条件下的形成库容大,服务年限长,安全性较好;主要不足之处在于初期投资和运行费用较高,运行管理稍显复杂。

对于本工程而言,若采用中线法筑坝方案,建设一座尾矿库即可满足矿山整个服务期内的尾矿堆存处置要求,且中线法筑坝方案具有更高的安全性;若采用上游法方案,在矿山整体服务期内需额外再建尾矿库,需要更大的工程投资,对整体大区域的环境负面影响也会加大。综合考虑,该项目采用中线法方案更为合理。

目前,国内的尾矿库筑坝方式仍以上游式尾矿筑坝法和中线式尾矿筑坝法为主,对于具体的工程项目,可通过多方面的比较分析来确定最合适的筑坝方式。

[参考文献]

- [1] 《尾矿设施设计参考资料》编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 尾矿设施设计规范:GB 50863—2013[S]. 北京:中国计划出版社,2013.
- [3] 沃廷枢. 尾矿库手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2013.
- [4] 杨春福. 中下游式尾矿坝设计概要[J]. 有色矿山,1999(3):33-36.
- [5] 郭天勇,段蔚平. 中线法尾矿筑坝应用问题研究[J]. 现代矿业,2014(12):43-45.