

某大型铜矿高浓度尾矿输送系统设计与实践

胡 苗

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 本文通过对某大型矿山尾矿输送系统工艺特点的分析, 阐述了高浓度尾矿浆体压力输送的设计思路和方法。结合目前浆体管道输送系统核心的两种输送设备, 详细介绍了渣浆泵输送方案和隔膜泵输送方案的工艺流程和总体配置, 对比分析了两种方案在工程投资、运行成本、维护管理、环境保护等方面的优劣, 最终选择了合适的输送方案。针对不同输送压力, 本文提出了高浓度、大流量尾矿输送系统设备选型的一般原则, 为类似高浓度、大流量、中等扬程尾矿输送系统的设计提供了参考。

[关键词] 浆体水力输送; 接力输送; 串联; 并联; 中等扬程

[中图分类号] TD926.4

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)06-0045-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.06.009

0 引言

尾矿浆体水力输送具有连续作业、输送能力大、输送成本低、受气候条件影响少等优点, 特别是在输送距离长、运量大、地形复杂且交通不便的情况下优势更加突显。尾矿输送的核心设备是浆体输送泵, 合理选择浆体输送设备直接关系到尾矿输送系统能否正常稳定安全运行^[1]。目前, 浆体管道输送系统中常用的两种泵型主要为: 离心式渣浆泵(以下简称: 渣浆泵)和隔膜泵。渣浆泵在大颗粒、大流量、低压力情况下广泛使用, 虽然单级泵扬程较低, 但通过多级泵串联配置可以提高扬程, 而过多的串联又会带来诸多弊端, 一定程度上限制了其在长距离、高扬程浆体管道输送系统中的应用。隔膜泵则更适用于小颗粒、小流量、高压力输送工况, 虽然单台泵流量较小, 但通过多台泵并联配置可以加大流量^[2]。对于流量较大、压力中等的尾矿输送系统, 采用渣浆泵和隔膜泵输送均适用, 在此情况下如何进行输送设备及输送方案的选择将直接影响整个矿山的投资和效益。本文结合工程实例, 重点分析探讨高浓度尾矿输送系统中输送浓度的确定、水力学计算、工艺

流程、设备选型等问题, 并从提高尾矿输送系统稳定性、减少前期投资和降低后期维护成本等角度, 对渣浆泵输送方案和隔膜泵输送方案进行技术经济综合比选。

1 工程概况

某大型矿山设计采用露天开采方式, 建设规模为 4 000 万 t/a。选厂产生的尾矿经高效浓密机浓密成质量浓度为 50% 的浆体, 再通过管道压力输送至尾矿库湿式堆存。尾矿输送起点标高 810 m, 输送终点为尾矿库最终坝顶标高 1 130 m, 尾矿输送最大几何高差为 320 m, 且随着尾矿库堆积标高的抬升逐渐增大, 设计矿浆流量为 7 200 m³/h, 采用两条管道输送, 单条管道矿浆流量为 3 600 m³/h, 尾矿粒度 -0.074 mm 占 75.38%, 最大输送距离为 7 km。

2 尾矿输送设计

2.1 输送浓度的确定

尾矿水力输送型式主要有低浓度输送、高浓度输送和膏体输送。输送型式的选择主要取决于尾矿堆存工艺要求、回水要求、输送成本及浓密、输送设备性能等。从尾矿堆存工艺上, 尾矿库采用废石筑坝, 无需尾砂筑坝, 尾矿可以采用高浓度输送或膏体输送, 以降低尾矿输送成本。膏体输送对浓密机性能要求高, 需采用深锥浓密机, 同时膏体屈服应力大, 水力沿程损失大, 需采用更高扬程的输送泵及耐

[收稿日期] 2023-10-26

[作者简介] 胡苗(1987—), 女, 湖南双峰人, 硕士, 主要从事水工与尾矿专业咨询设计工作。

[引用格式] 胡苗. 某大型铜矿高浓度尾矿输送系统设计与实践[J]. 有色设备, 2023, 37(6): 45-49.

压管道。因此,从浓密、输送设备及输送成本上考虑,尾矿输送型式宜采用高浓度输送。

高浓度尾矿输送最为关键的是确定合适的尾矿输送浓度,过低的矿浆浓度可能引起浆体的非均匀性,导致输送能量的浪费,增加尾矿库回水成本;过高的矿浆浓度将增加尾矿脱水成本,加大尾矿输送的耗损阻力,给管道输送带来困难。合适的输送浓度由技术条件和经济指标共同确定,技术条件取决于浓密机选型试验、尾矿不同浓度塌落度试验及尾矿浆体管道输送试验等。该项目从尾矿浓密试验来看,高效浓密机浓密底流浓度可达 50% 以上。尾矿不同浓度塌落度实验,可以直观的了解浓密机底流浓度在 60% ~ 72% 的粘稠性和流动性:当浓密机底流浓度在 60% 左右时,物料具有非常好的流动性,适合泵输送;当底流浓度超过 65% 时,物料流动性变差,当浓度超过 70% 时,物料开始出现膏体特征。高浓度尾矿输送试验也表明,若输送浓度超过 60%,流变参数(屈服应力 τ_0 ,刚度系数 η)较大,需要很高的流速才能紊动起来,提高流速必将造成水力沿程损失增加及管道磨损加剧。因此,尾矿输送按照矿浆处于紊流状态设计,输送浓度采用 50%。

2.2 压力输送的水力计算

压力输送水力计算种类繁多且都为经验公式,选用时应特别注重其应用条件^[3-4]。尤其对于高浓度矿浆输送,如果按早期的浆体输送公式计算,如克诺罗兹公式、尤芬公式等,其结果与实际有所出入,所以流速、管径及水力坡降等多采用试验方法确定,若缺乏试验数据,可选用一些公式计算,如刘德忠临界流速公式、E. J. 瓦斯普临界流速公式,但仍需尽量参照已有试验资料或生产实践。

该尾矿比重为 2.63 t/m³,输送浓度为 50%,单条管道最大输送流量为 3 600 m³/h,选用 E. J. 瓦斯普临界流速公式进行计算,见式(1)。管道沿程损失计算按刘德忠公式计算,结合尾矿浆体管道输送试验,水力输送计算结果见表 1。

$$V_c = 3.113 C_V^{0.1858} \left[2gD \left(\frac{\rho_g - \rho_k}{\rho_k} \right) \right]^{1/2} \left(\frac{d_{85}}{D} \right)^{1/6} \quad (1)$$

式中: V_c 为临界流速,m/s; ρ_g 为尾矿浆体密度,kg/m³; ρ_k 为尾矿颗粒密度,kg/m³; d_{85} 为颗粒含量小于 85% 时的粒径,mm; D 为管道内径,mm; C_V 为尾矿浆体体积浓度。

表 1 压力输送水力计算结果

参数	矿浆流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	尾矿比重/ (t·m ⁻³)	矿浆容重/ (t·m ⁻³)	管道规格/ mm	设计流速/ (m·s ⁻¹)	临界流速/ (m·s ⁻¹)	水力坡降
取值	3 600	2.63	1.46	DN800	2.09	1.87	0.006 1

2.3 尾矿输送方案

多数情况下,浆体管道输送采用单个泵站即可完成物料的远距离输送,输送设备常采用隔膜泵或渣浆泵(单级或多级串联)^[5]。由于多级渣浆泵串联级数有限,无法适用远距离、高扬程的尾矿输送工况,而多泵站尾矿浆体管道输送系统是指由两个或两个以上远距离间隔的单泵站组成,进行接力输送,能极大的提高尾矿输送扬程,使得离心泵输送适用更广范围。单泵站系统配置及操作相对简单,便于集中管理;多泵站接力输送不仅要考虑单个泵站的操作逻辑,还需要考虑泵站之间操作的协同性,但其在工程投资上一般更占优势。

根据矿山的实际运行情况,考虑到尾矿输送所需扬程随尾矿坝的上升逐年增加,尾矿输送系统流量大、输送距离较远、扬程中等,采用单个隔膜泵站

或两个渣浆泵站进行接力输送在技术上均能满足要求,现对渣浆泵输送方案和隔膜泵输送方案分别进行介绍。

2.3.1 渣浆泵输送方案

渣浆泵方案需设置两个泵站,810 m 标高平台新设一级泵站,980 m 标高平台增设二级泵站。浓密机底流通过一级泵站压力输送至二级泵站,再通过二级泵站接力输送至尾矿库。一级泵站至二级泵站尾矿输送所需扬程为 213 m,二级泵站至尾矿库最终坝顶尾矿输送所需扬程为 191 m。两个泵站接力输送系统示意图如图 1 所示。

一级泵站和二级泵站均为露天布置,配置相同,占地面积均为 5 800 m²。渣浆泵进口处设尾矿搅拌槽。搅拌槽出口接尾矿输送泵组,单个泵站内共设置 12 台渣浆泵,单台泵性能参数为: $Q = 3 600 \text{ m}^3/\text{h}$,

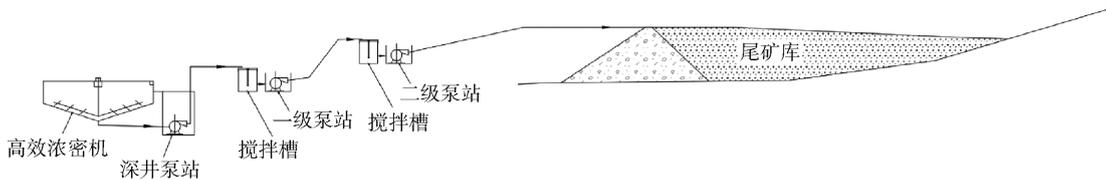


图1 两个渣浆泵站接力输送系统示意图

$H_s = 60 \text{ m}$, $N = 1\ 350 \text{ kW}$, 均设变频调速。每四台串联为一组,共三组,二组工作一组备用。一级泵站基建期内修建完成,二级泵站内基建期先设置6台渣浆泵,每两台串联为一组,共三组,两组工作一组备用,后期随着尾矿库使用标高的抬升逐级增设串联泵。渣浆泵输送方案尾矿输送管线采用衬胶钢管,钢管材质为API 5L X52,规格DN800,PN40,共2条,同时使用。一级泵站至二级泵站单条管道长度

约2 km,二级泵站至尾矿库最终坝顶单条管线长度约5 km。

2.3.2 隔膜泵输送方案

隔膜泵方案仅需设置单个泵站,布置在810 m标高平台。浓密机底流通过隔膜泵站压力输送至尾矿库。隔膜泵站至尾矿库最终坝顶尾矿输送所需扬程为623 m。单泵站输送系统示意图如图2所示。

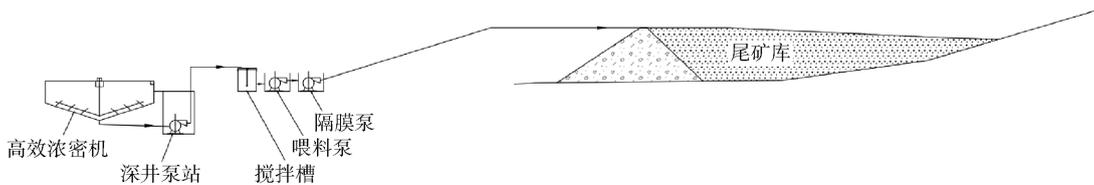


图2 单个隔膜泵站输送系统示意图

隔膜泵站露天布置,占地面积 $12\ 100 \text{ m}^2$,主要设施为搅拌槽、喂料泵、隔膜泵、水封水泵。尾矿浆在搅拌槽混合均匀后进入喂料泵,喂料给隔膜泵,由隔膜泵压力输送至尾矿库。尾矿主要输送设备选用隔膜泵,流量 $650 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程7 MPa,电机功率1 600 kW,每台均设变频调速,共16台,4台并联为一组,共四系列,单系列3用1备,正常工况12台工作,4台备用。隔膜泵方案尾矿输送管线也采用衬胶钢管,钢管材质为API 5L X65,规格DN800,PN70,共2条,同时使用。隔膜泵站至尾矿库最终坝顶单条管线长度约7 km。

3 技术经济分析

由表2可知,渣浆泵输送方案相较隔膜泵输送方案建设投资上占明显优势,主要基于本项目目前选用的隔膜泵流量 $650 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程7 MPa,电机功率1 600 kW,是国产的有单台案例的运行中的较大的隔膜泵,该国产隔膜泵泵型目前没有并联4~6台使用案例。进口隔膜泵同步控制相位控制

相对更好,且有同规格并联应用案例,如巴西 Mineracao Paragominas 一期隔膜泵站、国内的普朗铜矿隔膜泵站等。因此,从提高设备可靠性角度,本项目隔膜泵建议采用进口隔膜泵设备。而进口隔膜泵造价很高,导致两方案工程投资差别悬殊,两方案在运行费用上相差不大。渣浆泵及其配套尾矿输送管线最大承压3 MPa,低于隔膜泵及其配套输送管线承压7 MPa,导致隔膜泵方案尾矿输送管道投资高于渣浆泵方案。

技术上,渣浆泵输送方案需要建设两个泵站,串联级数多,维护管理人员偏多,两个泵站间系统连锁反应具迟滞性,系统间单纯的同步流量不能很好的解决每次调整存留的累积误差,要求运行过程中要及时掌握两个泵站的运行状态,适时的调节与控制。隔膜泵输送方案只需建设一个泵站,效率高,便于集中管理。但单个隔膜泵站占地面积大,且并联隔膜泵非常容易引起共振,共振易造成基础破坏、管道连接松动,进而造成安全及环境事故^[6]。

表 2 工程投资及运行费用对比表

序号	项目名称	渣浆泵输送方案	隔膜泵输送方案	备注
1	投资			
1.1	尾矿输送泵站/万元	8 244	41 642	渣浆泵方案生产第 5 年设备购置费用 813 万元,生产第 9 年设备购置费用 1 130 万元。
1.2	尾矿输送管道/万元	7 875	10 765	
合计	总投资/万元	16 119	52 407	
2	运行费用			
2.1	电耗/(万元/a)	4 003 ~ 5 337	3 311 ~ 5 387	渣浆泵输送方案运行费用随接力泵站串联泵级数增加而递增;隔膜泵输送方案运行费用随着输送扬程的增加而递增。
2.2	备件消耗/(万元/a)	660 ~ 880	820	
2.3	人工/(万元/a)	128	40	
合计	总运行/(万元/a)	4 791 ~ 6 345	4 171 ~ 6 247	

运行维护上,单台渣浆泵结构简单、应用广泛、备品备件易购、运维相对简单,而单台隔膜泵构造复杂,电气元件多,故障率较单台渣浆泵更高,受物料粒径影响很大,依赖前端圆筒筛,这也符合普遍意义上认为的隔膜泵站运行维护更为复杂,更难掌握。

通过技术经济的综合比选,本项目推荐采用渣浆泵输送方案。由于该泵站属于世界上较大也较为复杂的泵站之一,如不考虑经济性,积极尝试先进工艺,采用隔膜泵输送方案也可,但为了保证泵站的安全稳定运行需采用进口隔膜泵,且需采取减压减震措施减轻脉冲影响。

4 结语

随着尾矿库选址要求越来越严苛,为了更有效安全的存储尾矿,尾矿库距离选厂位置越来越远^[7]。对于长距离尾矿输送,为了尽可能多的输送尾矿,同时减少输送设备及管道投资,就必须采用高浓度尾矿输送方式,长距离、高浓度尾矿输送必将成为未来行业发展趋势^[8-10]。

结合笔者多年工作实践总结,对于长距离、高浓度尾矿浆体管道输送,针对不同尾矿输送扬程,应根据浆体输送泵的结构特点和适用工况,选择不同的尾矿输送方案。

1) 对于低扬程(一般小于 2.5 MPa)工况,采用单级或多级渣浆泵串联输送方式通常是技术可靠、经济合理的。

2) 对于高扬程(一般大于 5 MPa)工况,首选多

台隔膜泵并联输送方式,但应充分考虑多台隔膜泵并联共振问题,减轻脉冲影响。

3) 对于中等扬程(2.5 ~ 5 MPa)工况,可考虑单个隔膜泵站输送方式或多个渣浆泵站接力输送方式,在选择时应充分考虑尾矿物料性质、输送系统工艺参数、外部建设条件等因素,并结合工程建设投资、运行成本、维护管理难度、环境友好性等方面综合确定。

本文结合工程实例,对高浓度、大流量、中等扬程尾矿压力输送的设计和应用进行了分析,采用了多个渣浆泵站接力输送的思路,为类似输送工况的设计提供了借鉴。

[参考文献]

- [1] 王绍周. 粒状物料的浆体管道输送[M]. 北京:海洋出版社,1998.
- [2] 胡祥群,南永光. 常见尾矿输送泵的特点及应用[J]. 有色设备,2014,28(2):36-37.
- [3] 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.
- [4] 杨培培,姚心,谢盛青,等. 基于 ANSYS 二次开发的尾矿充填输送仿真研究[J]. 有色设备,2020,34(4):16-19.
- [5] 李松,李建博. 某矿山尾矿输送方式选择实践[J]. 有色设备,2020,34(6):72-74.
- [6] 李达伦,李晋生. 尾矿浆体输送管道震动的分析与消除[J]. 金属矿山,2012(7):145-147.
- [7] GB39496—2020,尾矿库安全规程[S].
- [8] 王兆博. 对高浓度尾矿小流量远距离连续输送技术的分析[J]. 世界有色金属,2020(5):177-178.

- [9] 倪文强. 高浓度尾矿小流量远距离连续输送技术的研究与应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(3): 82-86.
- [10] 段建平, 王振堂, 巴红飞. 刚果(金)某选矿厂高浓度尾矿输送系统的应用实践[J]. 湖南有色金属, 2019, 35(2): 23-26+32.
- [11] 黄保平, 孙从露, 邵龙潭, 等. 尾矿库高浓度输送低浓度排放新工艺[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(09): 91-96.
- [12] 马艳晶. 尾矿设施管道工程线路方案分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(01): 94-97.

Design and practice of high-concentration tailings conveying system in a large copper mine

HU Miao

Abstract: Through the analysis of the process characteristics of the tailings transport system of a large mine, this paper expounds the design idea and method of high-concentration tailings pressure transport. Considering the two core equipment for slurry pipeline transport at present, the process and overall configuration of the slurry pump and diaphragm pump transport schemes are introduced in detail. The advantages and disadvantages of the two schemes are compared and analyzed in terms of engineering investment, operating cost, maintenance and management, environmental impact, etc., and the appropriate transportation scheme is selected. For different tailings transport pressures, this paper proposes general principles for equipment selection of high-concentration and large-flow tailings transport systems. The project we studied also provides reference for tailings transport system design under high-concentration, large-flow, medium-lift conditions.

Key words: slurry hydraulic transport; relay transport; series connection; parallel connection; medium lift



敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

《有色设备》编辑部