



某金属矿山充填制备系统工艺优化改造

洪晓东

(攀钢集团矿业有限公司,四川 攀枝花 617000)

摘要:为解决设备老旧、工艺落后、充填料浆质量没有保障等问题,以国内某在生产金属矿山技改扩能工程为例,对矿山现有充填制备系统工艺改造过程进行介绍。通过对尾砂浓密方式、料浆搅拌方式、料浆输送方式进行比较分析,提出充填制备工艺改造方案,并对充填能力、物料平衡及主要工艺装置进行计算和选型。实践证明:采用深锥浓密机的充填工艺能有效稳定底流浓度,实现稳态充填,且溢流水含固率较低。本文成果可为矿山技改扩能工程实施提供一定的技术方案支撑,也为国内同类矿山充填制备工艺选择提供一点参考。

关键词:充填系统;深锥浓密机;自流输送

中图分类号:TD853

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)02-0076-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.02.026

Research on the design of technological renovation for a metal mine's filling preparation system

HONG Xiaodong

(Pangang Group Mining Co., Ltd., Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: In order to resolve problems such as the obsolescence of equipment, the backwardness of technology, and the lack of assurance regarding the quality of filling slurries, a case study is conducted on the technical transformation and capacity expansion project of a domestic in-production metal mine. The transformation process of the existing filling preparation system in this mine is introduced. Through a comprehensive comparative analysis of tailings thickening methods, slurry mixing approaches, and slurry conveying means, a transformation plan for the filling preparation process is put forward. Moreover, calculations and model selections are performed for the filling capacity, material balance, and main process equipment. Practical applications have demonstrated that the filling process incorporating a deep-cone thickener can effectively stabilize the underflow concentration, enabling steady-state filling. Additionally, the solid-content ratio of the overflow water is relatively low. The research findings of this paper can offer substantial technical-solution support for the implementation of the technical transformation and capacity-expansion project of the mine. Meanwhile, they can also serve as a reference for the selection of filling-preparation processes in similar domestic mines.

Key words: backfill system; deep cone thickener; gravity transportation

随着人类社会的快速发展,矿产品需求量大幅增加,浅部资源面临枯竭,深部资源成为矿业发展的必然趋势^[1]。随着开采深度的逐渐增加,地下采矿面临深井岩爆、岩石崩落、地表塌陷和生态环境破坏的问题,充填采矿是解决此类问题

的主要途径^[2]。金属矿山充填技术经历了干式充填→水砂充填→低浓度胶结充填→高浓度充填→膏体充填等阶段^[3]。

目前,行业内普遍认为膏体充填是充填技术发展的方向^[4]。膏体充填技术包括尾矿浓缩、混

收稿日期:2024-11-06

作者简介:洪晓东(1971—),男,工程师,从事设备、工程技改管理工作。

合搅拌、料浆输送等三大主要工艺,将低浓度尾砂浓缩成高浓度的尾砂是充填的首要环节^[2]。尾砂浓缩主要有卧式砂仓、立式砂仓和深锥浓密机,其中深锥浓密机是20世纪70年代在国外发展起来的一种高效浓缩设备^[3],而我国对深锥浓密机的应用起步较晚。在深锥浓密机出现之前,我国充填系统主要采用砂仓进行尾砂浓密。砂仓浓密系统在制备尾砂时无法确保放砂浓度的稳定性,导致充填体质量不稳定、强度难以满足采场要求,因此立式砂仓浓密系统改深锥浓密系统是大势所趋。

本文以国内某金属矿山充填系统改造工程为例,通过对尾砂浓密方式、料浆搅拌方式、料浆输送方式进行比较分析,提出充填制备工艺改造方案,以期为类似矿山企业充填系统的升级改造提供借鉴。

1 工程概况及存在问题

1.1 工程概况

国内某金属矿山,以生产铅、锌、金、银、硫为主的中型地下开采矿山,建矿至今已有40多年历史。目前,矿山采选生产规模稳定在45万~50万t/a。随着对资源的不断需求和开发利用,以及企业整体效益的需要,基于矿山保有资源量可观、探矿潜力大、矿石品位高、有价元素多,拟进行矿山技术升级改造,将生产规模扩至70万t/a。

矿山现有充填系统于1997年建成并运行至今。站内建有两个有效容积为750 m³的立式砂仓,1个有效容积为110 m³的水泥仓,1座直径为15 m的浓密池,1个1500 t溢流水沉淀池。现有充填钻孔4个,其中1[#]、2[#]孔主要负责九中段以上采空区充填,3[#]、4[#]孔主要负责九中段以下采空区的充填。现有充填系统设计充填能力为14.4万m³/a,基本满足40万~45万t/a生产能力的需要。

1.2 存在问题

对应矿山技改扩能需求,现有充填站存在问题如下。

(1) 现有充填能力无法满足开采规模达到70×10⁴ t/a时的充填需求。

(2) 现有立式砂仓尾砂沉降处理能力有限,需采用间歇进料,间歇充填;砂仓溢流水含固率偏高,需进行二次浓密。

(3) 充填料浆浓度偏低,且浓度波动大,胶凝材料消耗量增大;同时,充填采场泌水量加大,污染井下环境。

(4) 充填自动化程度低,管理复杂,工人劳动强度大。

2 尾砂浓密系统选择

2.1 絮凝剂选择

2.1.1 全尾砂

对应扩能后的生产规模,矿山年平均全尾砂产率为55.07%,年产总尾砂量为38.55万t/a(1204.65 t/d)。根据充填试验报告,全尾砂干物料比重为2.75,尾砂粒级分布如表1所示。由表1可知:全尾砂平均粒径为73.069 μm,尾砂质量分数分别为10%、50%、90%的粒径分别为2.000、28.251、224.400 μm,其中<20 μm颗粒质量分数为44.39%,尾矿粒径偏细。

全尾砂浆pH酸碱度为7.0~7.5,尾砂矿物组成主要为石英、方解石、黄铁矿、白云石和云母。根据全尾砂物理化学性质试验测定结果,依据《一般工业固体废物贮存和填埋污染物控制标准》(GB 18599—2020)有关规定,矿山全尾砂属于I类一般工业固体废物,可用于井下采空区充填。

2.1.2 胶凝材料

胶凝材料用量是影响充填成本的最关键因素。国内很多矿山研发了新型胶凝材料,在保证充填体强度的同时,减少了水泥用量,降低了生产成本^[5-6]。根据充填试验研究报告,料浆质量浓度按70%、灰砂比按1:5,将胶固粉和水泥分别与尾砂进行胶凝材料配比试验,两种胶凝材料与尾砂的充填体强度如表2所示。由表2可知:水泥和尾砂的充填体强度远低于胶固粉和尾砂的充填体强度。但相同条件下使用胶固粉的充填料初凝时间较长,且泌水率高于水泥。综合考虑,采用

表1 矿山全尾砂粒级分布组成(质量分数)

>0.154 mm	(0.154,0.074] mm	(0.074,0.045] mm	(0.045,0.038] mm	<0.038 mm	%
10.45	19.90	10.91	4.83	53.91	

胶固粉代替传统水泥作为充填胶凝材料。

表 2 充填体强度对比

养护 时间/d	抗压强度/MPa	
	胶固粉与尾砂 胶结充填体	水泥与尾砂 胶结充填体
7	0.64	0.32
14	1.62	0.75
28	2.26	1.26

2.1.3 絮凝剂

尾矿在砂仓或浓密机内进行脱水时,常常通过添加絮凝剂加速尾矿颗粒的沉降。利用沉降试验研究尾矿对絮凝剂的适应性,选出最优的絮凝剂类型、最佳的絮凝剂添用量以及其他絮凝沉降参数。

在矿浆浓度为 10%,絮凝剂用量为 10 g/t(干矿)的同一条件下,对 4 种絮凝剂 1[#](5999S)、2[#](514V)、3[#](XS9026)、4[#](LZPM)的沉淀效果进行横向比较,结果如图 1 所示。由图 1 可知:1[#]、3[#]水质浑,2[#]、4[#]水质清。

根据同等条件下上层液水质情况,初选确定絮凝剂为 1[#]、3[#]。对这两种絮凝剂进行对比选型试验。在矿浆浓度为 10%,絮凝剂用量为 10g/t 的条件下,比较两种絮凝剂的尾矿沉降速度,结果如图 2 所示。由图 2 可知:最适宜的絮凝剂为 1[#]。

2.2 充填能力及物料平衡计算

2.2.1 充填能力计算

(1) 年平均充填采空区体积。正常生产过程中,70 万 t/a 的矿石产量所产生的采空区需进行充填,年平均充填采空区体积计算公式:

$$V_n = \frac{V_k Z}{\gamma_k} \quad (1)$$

式中: V_n 为年均充填体积, m^3/a ; V_k 为年均回采的矿量, t/a ; Z 为充填量与回采量之比,取 1;

γ_k 为矿石质量密度, t/m^3 , 取 $3.03 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

计算得到,年平均充填采空区体积为 $231\ 023.1 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(2) 日平均充填采空区体积计算公式:

$$V_r = \frac{V_n}{y} \quad (2)$$

式中: y 为年平均工作天数,取 $320 \text{ d}/\text{a}$; V_r 为日平均充填采空区体积, m^3/a 。

计算得到,日平均充填采空区体积为 $721.95 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(3) 日平均充填料浆体积计算公式:

$$Q_r = V_r \times K_1 \times K_2 \quad (3)$$

式中: Q_r 为日均充填料浆的体积, m^3/d ; K_1 为充填体的沉缩比,取 1.10; K_2 为充填料浆的流失系数,取 1.05。

计算得到,日平均充填料浆体积为 $833.85 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(4) 日最大充填料浆体积计算公式:

$$Q_{\text{max}} = Q_r \times K \quad (4)$$

式中: K 为充填作业不均衡系数,取 1.3。

计算得到,日最大充填料浆体积为 $1\ 084.01 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(5) 系统小时充填能力计算公式:

$$Q_h = \frac{V_{\text{max}}}{n_1 \times n_2 \times h} \quad (5)$$

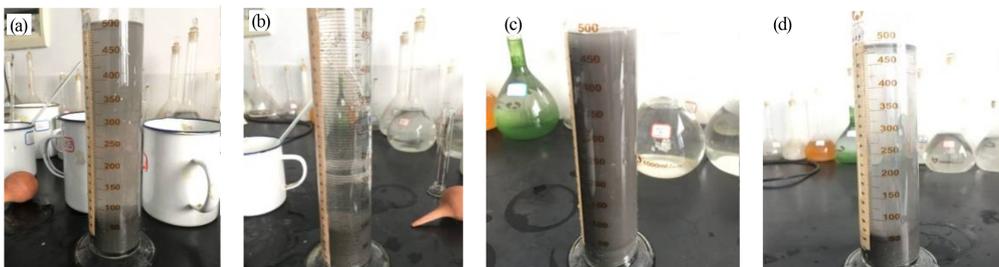
式中: Q_h 为系统小时充填能力, m^3/h ; n_1 为日工作班数,取 2; n_2 为可独立充填的制备系统数量,取 1; h 为每班充填下料时间, h , 取 5 h 。

计算得到,系统小时充填能力为 $108.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

故,设计 $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 充填制备系统可满足生产需要。

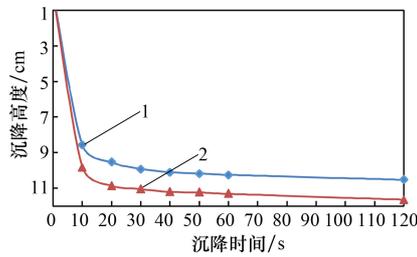
2.2.2 物料平衡计算

根据采矿方法对充填工艺的要求,采用充填料浆浓度为 68% (根据充填试验报告并参考类似矿山)、充填料灰砂比分别为 1:5 及 1:10 时,矿山的充填料浆参数以及材料消耗分别如表 3、4 所示。



编号: (a) 1[#]; (b) 2[#]; (c) 3[#]; (d) 4[#]

图 1 絮凝剂试验



1—LZPM; 2—514V。

图2 静态沉降-沉积曲线

由表4可知:在日均充填料浆用量精确至 833.85 m^3 的生产条件下,尾砂的加权日耗量达到 899.72 t ,胶凝材料的加权日耗量为 98.39 t ,而水的加权日耗量则为 465.29 t 。在生产高峰期,尾砂的加权日耗量可提升至 $1\,169.64\text{ t}$,胶凝材料的加权日耗量可达 127.91 t ,水的加权日耗量亦可达到 604.88 t 。

本次技术升级改造服务期限内,矿山达产年年平均全尾砂产率为 55.07% ,年产总尾量 38.55 万 t/a ($1\,204.65\text{ t/d}$)。每年可充填至井下的尾砂为 28.79 万 t/a (899.72 t/d),剩余的 9.76 万 t/a (304.93 t/d)进行压滤制砂。因此,矿山技术升级改造产生的尾砂完全可以充填至井下空区,尾矿库仅作为应急库使用。

2.3 尾砂浓密方式选择

尾砂物料的浓密脱水设备为充填系统的核心装置。高效脱水后形成的高浓度底流既能满足充填体强度要求,又有利于降低胶凝材料消耗,从而节省充填生产成本^[7]。结合矿山现有充填站实际,分为改造现有立式砂仓方案和新建深锥浓密机方案,具体如下。

(1) 方案1:对矿山现有立式砂仓进行技术改造,提高尾砂浆沉降浓度,降低溢流水含固率。立式

砂仓改造主要包括:增加絮凝沉降模块、全自动絮凝剂加药装置、底流均质化造浆放砂装置等。

(2) 方案2:新建深锥浓密机方案。深锥浓密机工作原理:来自选厂低浓度尾矿矿浆在浓密机上部中心进料筒中与絮凝剂溶液进行充分混合,尾砂颗粒会吸附在絮凝剂分子上,形成较大尺寸的絮凝团。絮凝团随后靠自重沉降深锥底部,在重力和耙架搅拌的共同影响下,进行脱水压密,最终形成高浓度的底流。相比之下,传统的立式砂仓缺乏动力装置,仅依赖重力作用使尾矿沉降。深锥膏体浓密机则配备了导水耙架动力装置,能在深锥内进行缓慢的旋转搅拌,使得尾矿不止进行沉降运动,还伴随圆周运动。

方案1属于新技术,可利用现有砂仓,投资成本较低,但改造难度大、存在技术风险,且对现有生产影响大;方案2已有成熟广泛应用,技术可靠、设备集成度高、自动化控制水平高,但存在投资成本高的缺点。

综合矿山生产实际,为确保充填制备系统的可靠性,本次改造设计采用新建深锥浓密机方案。

3 充填系统改造

3.1 工艺流程系统

通过对矿山现有充填系统各环节进行能力核算,目前充填站水泥仓、水泥输送系统以及搅拌系统存在能力不足,且设备老旧、工艺落后等现象,但配电室、仪表房、值班室、水泵房、回水池等辅助设施尚可利用。因此,本次改造尽可能利用现有设施,在充填站场地内新建部分设施,以达到保证充填能力和质量、提升工艺自动

表3 矿山充填料浆参数

项目	占比/%	料浆密度/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	尾砂密度/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	胶凝材料密度/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)
采场浇面	10	1.75	2.65	3.1
胶结采场	90	1.74	2.65	3.1

表4 矿山充填材料消耗

原料	单耗		加权单耗/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	加权日耗/ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	加权年耗/ ($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)
	采场浇面/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	胶结采场/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)			
胶凝材料	0.199	0.109	0.118	98.39	31 484.8
尾砂	0.995	1.088	1.079	899.72	287 910.4
水	0.561	0.558	0.558	465.29	148 892.8

化水平的目标。

充填系统技术改造工艺流程：选厂将低浓度全尾砂浆输送至充填站，由高效深锥浓密机浓密，经流量计、浓度计等管路阀组输送至搅拌机；胶凝材料的储存采用散装粉料仓，通过螺旋给料机及电子秤进行给料计量，随后输送至搅拌机。混合料浆在搅拌机内连续充分搅拌后，自流输送井下充填，工艺流程如图 3 所示。

当井下、充填车间或深锥浓密机等检修时，选厂将低浓度全尾砂浆（或深锥浓密机内的尾砂）输送至现有立式砂仓作为备用。恢复生产后，将这部分储存在砂仓内的尾料利用老系统充填。极端情况下，当立式砂仓已储满料，而新系统不能启动充填生产时，从选厂过来的尾矿直接送至应急尾矿库。

3.2 充填制备工艺主要装备配置

3.2.1 尾砂浓密脱水装置

根据选厂供砂量以及单次充填最大尾砂用量

（表 5），计算出深锥浓密机最少应储砂 779.64 m³，同时应具备 1300 t/d（尾砂干量）的处理能力。

根据充填试验尾砂沉降结果数据，选择直径为 12 m 的高效深锥浓密机。浓密机技术参数：实际储砂能力为 1 048 m³，处理能力为 1 300 t/d（尾砂干量），底流浓度 ≥ 68%，溢流水含固率 < 0.03%。浓密机圆柱体高度为 10 m，总高约为 18 m。

浓密机内部配置泥层监测装置，以实时获取尾砂沉降面的高度数据，防止泥层面高度过高导致溢流水混入，同时确保泥层面高度不至于过低，避免底流浓度降低。

浓密机底部配备两套底流输送泵，互为备用，并兼作循环泵。流量为 100 ~ 150 m³/h，高度为 60 m，功率约为 55 kw，底流泵采用变频控制。

根据充填尾砂沉降试验，絮凝剂选用聚丙烯酰胺（PAM），其适宜用量为 20 ~ 25 g/t（以干基计），并配备 1 台全自动絮凝剂制备及投加装置，

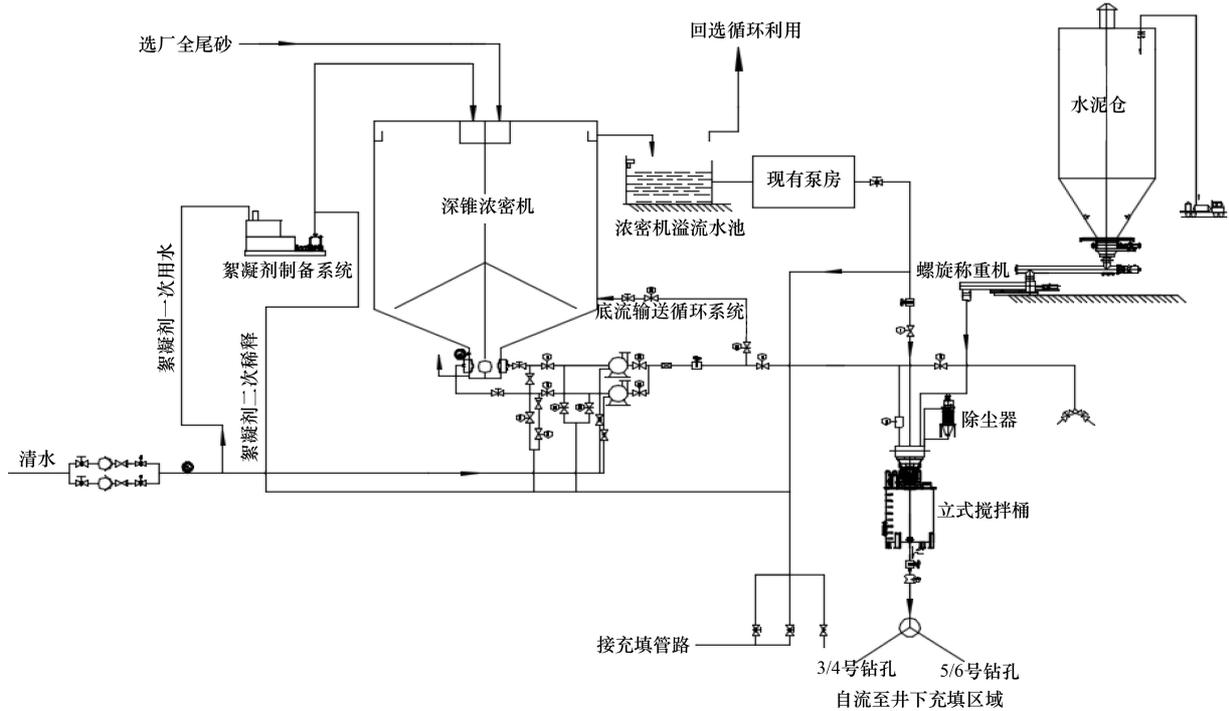


图 3 改造后的充填工艺流程

表 5 深锥浓密机应留储砂体积计算

选厂供砂			充填站尾矿消耗量				采充平衡计算		
尾矿产量/ (t·d ⁻¹)	输送至充 填站尾矿 量/(t·d ⁻¹)	尾矿压 滤量/ (t·d ⁻¹)	系统能力/ (m ³ ·h ⁻¹)	全尾砂消 耗速度/ (t·h ⁻¹)	连续 充填 时间/h	单次充填 最大尾砂 用量/t	连续充 填供砂 量/t	深锥浓密 机需预留 储砂量/t	深锥浓密 机应留储 砂体积/m ³
1 204.69	899.72	304.97	120	130	10	1 300	374.883	925.12	779.64

制备量为 $3\text{ m}^3/\text{h}$,投加浓度为 $0.1\%\sim 0.5\%$ 。

3.2.2 胶凝材料给料装置

按一次最大充填量为 $1\ 200\text{ m}^3$ (连续充填 10 h)、灰砂比为 $1:5$ 考虑,水泥消耗量为 238.8 t ,现有充填站水泥仓容量不够,且位置不便于布置新搅拌桶。综上因素,新增1套 300 t 胶凝材料仓,采用成品钢仓,直径为 6 m ,高度约为 23 m ,可储存胶凝材料 300 t ,以满足一次最大连续充填需求。

胶凝材料仓在仓顶配置检查孔、雷达料位计、袋式振动除尘器、安全阀等设施。仓底部则安装手动插板阀、双管螺旋输送机以及螺旋计量秤各1台。为避免胶凝材料仓出现堵塞或下料不畅的情况,仓底锥体外壁设置电动振打装置、声波清灰器。双管螺旋输送机采用变频调速,调节胶凝材料给料量,以满足不同灰砂比及生产能力的要求。

3.2.3 搅拌装置

充填料浆由尾砂和胶凝材料等多尺度物料按一定配比均匀拌和制备而成,搅拌效果将直接影响料浆输送性能和胶结充填体的强度^[8]。目前,我国充填搅拌系统主要分为卧式搅拌机和立式搅拌桶两种类型。前者通常采用双轴叶片式高速搅拌机与双轴低速螺旋搅拌机相结合,或者双轴螺旋搅拌机与高频活化机相组合的配置方式,对于膏状物质或含有粗骨料(粒径 $\geq 5\text{ mm}$)的高浓度浆体具有较好的搅拌效果;而后者则更适用于细骨料的搅拌作业。矿山全尾砂粒径较细,充填料浆浓度高,流动性好,因此选用结构简单、搅拌充分的立式搅拌桶进行充填料浆的搅拌制备。

根据充填能力($120\text{ m}^3/\text{h}$)要求,必须保证各物料在搅拌系统内有充分的搅拌时间(不低于 3 min),设计采用 $\varnothing 2\ 500\text{ mm}\times 2\ 500\text{ mm}$ 立式搅拌桶,电机功率为 55 kW 。该立式搅拌桶有效容积达到 9.8 m^3 ,料浆在搅拌桶内的最长停留时间可达 4.9 min ,足以满足搅拌质量的相关要求。

为了在线监测搅拌桶料浆参数,搅拌桶设置料位检测、流量检测及浓度检测装置。依据流量与浓度的变动,系统通过自动调整底流泵和搅拌桶出料管上的电动刀型闸阀,控制出口料浆参数。

3.2.4 输送装置

根据类似矿山充填经验数据,充填管道全长

与自然高差之比(充填倍线)小于 4.5 时,能满足充填料管道自流输送的要求。经计算,矿山各阶段最大充填倍线均小于 4.5 ,可以实现自流输送。

根据充填料浆环管试验报告,以上述料浆浓度和流速条件下,管道输送阻力损失为 $1.67\sim 2.73\text{ MPa/km}$ 。经统计,矿山井下充填管道总长度最大约为 2.5 km ,阻力损失最大为 6.8 MPa ,而料浆自重至少可以产生 7.5 MPa 的压力(料浆容重约为 1.85 t/m^3 ,管路垂直段高度不低于 400 m),料浆自重压力能够克服充填管道的阻力。

经综合分析,采用效率高、成本低的自流输送工艺来输送充填料浆。为防止输送过程中充填管道内出现断流现象,在地表设置集料装置,并要求装置内料浆高度保持在一定水平,以确保充填管始终处于满管输送状态。

依据充填试验报告,充填料浆的流速不宜超过 3.6 m/s ,充填管道的内径不应小于 110 mm 。在选型站料浆管采用内径为 159 mm 、壁厚为 8 mm 的无缝钢管。井下平巷充填管道采用超高分子聚乙烯管道。与普通无缝钢管相比,聚乙烯管的内壁更为光滑,沿程阻力损失更小,有利于长距离的自流输送。此外,聚乙烯管的柔性较大,安装铺设更为便捷。

3.2.5 充填自动控制系统

充填自动控制系统负责实现整个充填系统的自动运行,具有数据采集、顺序控制、过程控制、参数指示、超限报警、设备状态画面显示、数据存储、生产报表打印等功能。同时,配备高精度的检测仪表设施,使充填制备系统根据采场不同部位不同充填体强度要求,精准计算物料给料配比,并基于浓密机底流浓度和流量,实施动态调控胶凝材料和调浓水量,实现“一键制备”的智能操作。

4 结 语

工程于 2022 年 12 月份建成投产,迄今运行两年多,累计充填料浆达 40 余万立方米,系统运行良好,充填料浆浓度、充填体强度均达到设计要求,满足井下开采需求。本次改造设计根据尾砂特性及充填试验,选择了合适的絮凝剂,有效降低充

(下转第86页)

脱硝能力。大量的活性炭散落在气室内或烟道底部会增加烟气流动阻力,同时在烟气不断流动下产生二次扬尘,不利于烟囱出口烟尘的达标排放控制。

优化方案:定期巡检布料溜管,发现有结露或“架桥”时及时处理,防止布料管堵料;适当提高解析塔活性炭出口温度,防止活性炭“架桥”堵塞布料溜管;吸附塔料位计采用雷达料位计,防止出现误报;出气侧格栅板增设多孔板,阻拦被烟气带出的活性炭;定期检查、清理进气室侧格栅上的积灰,防止活性炭床局部烟气流速变大;定期检查、清理气室内的积料。

3 结 语

山西某钢铁集团在烧结烟气活性炭净化系统投运后,成功实现了烟气中 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等多种污染物的超低排放,其浓度大幅优于《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》(环大气[2019]35号)的排放限值要求。同时,通过优化改进,该系统显著改善了现场操作环境,降低了活性炭消耗,节约了运行成本,保障了设备的长时间稳定运行。此外,两级活性炭烟气净化系统以其高稳定性和与烧结机的高同步率,成为一种适合烧结烟气超低排放治理的有效方法,不仅能

满足钢铁行业即将面临的二噁英超低排放要求,还符合未来烧结烟气净化技术的发展趋势。

参考文献:

- [1] 左海滨,张涛,张建良,等. 活性炭脱硫技术在烧结烟气脱硫中的应用[J]. 冶金能源,2012,31(3):56-59.
- [2] 郗俊懋,张春霞,王海风,等. 烧结烟气典型污染物排放形势及减排技术分析[J]. 烧结球团,2016,41(6):59-64.
- [3] 叶恒棣. 钢铁烧结烟气全流程减排技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2019.
- [4] 于勇,朱廷钰,刘霄龙. 中国钢铁行业重点工序烟气超低排放技术进展[J]. 钢铁,2019,54(9):1-11.
- [5] 许满兴,张天启. 烧结节能减排实用技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2018.
- [6] 刘兰鹏,施哲,黄帮福,等. 碳基材料用于烧结烟气协同脱硫脱硝的研究现状[J]. 环境工程,2019,37(2):99-103.
- [7] 汪庆国,朱彤,李勇. 宝钢烧结烟气活性炭净化工艺和装备[J]. 钢铁,2018,53(3):87-95.
- [8] 吴青贤,魏进超. 湛江钢铁1#烧结烟气净化装置的设计与运行[J]. 烧结球团,2017,42(6):1-4.
- [9] 赵利明. 活性炭烟气净化技术在宝钢股份宝山基地3#烧结机的应用[J]. 烧结球团,2017,42(6):5-10;56.

(上接第 81 页)

填系统的运营成本,降低溢流水的含固率;通过对尾砂浓密方式、料浆搅拌方式、输送方式进行比较分析,确定采用深锥浓密机浓密方式,立式高速搅拌桶一段搅拌,自流输送方式;同时,结合现有充填系统设施,充分发挥现有充填系统立式砂仓的储砂能力,保证生产的稳定性。通过本次改造的实际效果,对于采用立式砂仓进行充填的现有矿山,建议改造成深锥浓密机,以确保底流浓度的稳定,实现稳态充填,满足充填体的强度需求。

参考文献:

- [1] 卢宏建,武立彬,夏传祥,等. 金属矿山充填体强度需求发展现状与展望[J]. 矿产保护与利用,2024,44(2):1-10.

- [2] 孙恒虎,刘晓明,田艳光,等. 矿山充填技术回顾与进展展望[J]. 采矿技术,2013,13(5):7-11.
- [3] 陈鑫政,郭利杰,史采星,等. 深锥浓密膏体充填工艺在国内某铜矿的应用与改进[J]. 中国矿业,2022,31(5):135-141.
- [4] 吴爱祥,王勇,王洪江. 膏体充填技术现状及趋势[J]. 金属矿山,2016(7):1-9.
- [5] 刘可任. 充填理论基础[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.
- [6] 梁峰,高谦,从革臣,等. 思山岭铁矿超细全尾砂固结粉充填胶凝材料研究[J]. 金属矿山,2019(8):198-203.
- [7] 李公成,王洪江,吴爱祥,等. 全尾砂无耙深锥稳态浓密性能分析[J]. 工程科学学报,2019,41(1):60-66.
- [8] 杨柳华,王洪江,吴爱祥,等. 全尾砂膏体搅拌技术现状及发展[J]. 金属矿山,2016(7):34-41.