

深部矿山尾砂充填供料系统稳定性研究

周 桥,董光华

(金川集团股份有限公司 二矿区,甘肃 金昌 737100)

摘 要:尾砂充填法是充填采矿技术发展的主力方向。随着开采深度的加大,井下排水、排泥工作量的增加及管路系统拐弯增多、总输送距离增大,尾砂充填供料系统难以稳定。对金川二矿区深部尾砂供料系统所暴露的问题进行了分析和科学计算,并进行了合理的技术改造和工艺优化,使二矿区的尾砂膏体充填工艺系统的连续作业时间从 2 h 左右延长到 24 h 以上,膏体充填量从 2003 年的 2 万 m³ 提高到 2010 年的 17 万 m³。

关键词:深部矿山;尾砂充填;尾砂供料系统;稳定性

中图分类号:TD32

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)05-0026-05

System Stability of Tailing Feeding in Deep Mine

ZHOU Qiao, DONG Guanghua

(No. 2 Mining Area, Jinchuan Group Co. Ltd, Jinchang, Gansu 737100, China)

Abstract: Tailing filling has increasingly become the main way in the world mining field, but it is difficult to stabilize tailing feeding for increasingly draining away water and mud, meandering pipe and conveying distance in the deep mine. Reasonably, the No. 2 Mining area, Jinchuan Group Co. Ltd has changed technology and optimized process, by analysing and calculating the tailing feeding system in the deep mine, which has solved the problem of underfeeding and weak continuity of the system. The continuous working time is increased to 24 h from about 2h. As a result, the efficiency of tailing filling has been greatly increased by 20 000 m³ (2003) to 170 000 m³ (2010).

Key words: deep mine; tailing filling; tailing feeding system; stability

全尾膏体充填工艺技术是多年来充填界关注的核心充填工艺技术,也是历次国际充填采矿会议讨论最多的充填工艺技术,从世界范围及长远发展来看,是充填采矿技术发展的主力方向。然而,随着开采深度的加大,导致井下排水、排泥工作量加大,传统的分级尾砂高浓度制备技术难以满足大规模细粒级全尾砂充填工艺对脱水浓度的要求,膏体泵送充填系统从地表通过充填小井、充填钻孔、主充填道到采场完成充填作业,整套管路系统拐弯多、总输送距离加大,造成管路系统的沿程阻力损失增大,使尾砂供料连续性差,导致膏体充填泵的工作压力增大,进而造成管路爆裂、接头泄漏等,严重影响着膏体充填系统的正常运行^[1-3]。

本研究以甘肃省金昌市金川集团有限公司二矿区为例,对深部矿山尾砂充填供料系统稳定性进行研究。金川二矿区目前主要开采深度在 800 m 左右,已出现尾砂供料不足且连续性差等问题,因此通过对其所暴露问题的科学分析,寻找主要原因及解决方法。

1 深部尾砂供料系统不稳定性原因分析

1.1 尾砂供料程序分析

金川二矿区尾砂的供料程序是:选矿厂的全尾砂经过旋流分级后采用油隔离泵输送到二矿区的立式尾

收稿日期:2012-04-01

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAB32B01)

作者简介:周 桥(1975—),男,湖南新邵人,高级工程师,博士,主要从事矿山开挖与支护及其安全稳定性研究。

E-mail:309262969@qq.com

砂仓,抽去尾砂浆沉淀后砂仓顶部多余的水待用;当进行尾砂膏体充填时,通过造浆程序将砂仓中的尾砂制成重量浓度为 65%左右的尾砂浆,通过调节阀放入 $\phi 2\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ 的两个缓冲搅拌桶,缓冲搅拌桶中的尾砂浆连续搅拌,并通过两台可控制的泵将尾砂浆泵送到过滤机滤布上。尾砂浆经过过滤能力为台效 24 t/h 的两台过滤机脱水后,形成含水量小于 25%的尾砂滤饼,再通过皮带运送到搅拌槽。

金川二矿区矿井到达深部开采时,出现无法避免的尾砂仓中尾砂的自然沉降分层,尾砂放砂控制和过滤机过滤效果不稳定,通常尾砂仓的放砂浓度很难稳定在 65%以上(在 45%~68%波动),其流量也随着浓度变化而波动。一方面导致缓冲搅拌桶的作用失效,另一方面导致过滤系统的过滤效果时好时坏,稳定性极差。在过滤效果好的时候滤饼含水量和物料流量均可满足原设计要求,但在过滤效果差的时候,尾砂浆在过滤机上四处流淌。

因此可以认为:由于尾砂制备量不足,来料量波动性大,致使膏体料的制备质量差,管道阻力增大,产生爆管,造成非正常停车。

1.2 尾膏体输送管路分析

金川二矿区进入深部开采阶段后,膏体输送的主管路暴露出了一系列的问题,如采场塑料管爆裂、快速接头泄漏及三通盲板爆裂等造成事故。通过现场膏体主管路充填管路事故记录,得出其发生的事故如表 1 所示。

表 1 金川二矿区膏体充填管路爆裂事故记录表(部分)

Tab.1 The partial records of paste filling piping accident in No. 2 Mine, Jinchuan

| 日期 | 充填地点 | 开/停车时间 | 事故记录 |
|------------|-----------------------|-------------|--|
| 2004-08-29 | 五工区五盘区 39# 进路接顶充填 | 12:40/15:30 | 15:30,1250 水平 16 行川口处输送管路接头泄漏,事故停车。 |
| 2004-09-01 | 四工区二盘区 28# 进路接顶充填 | 12:00/13:40 | 13:10,采场塑料管爆裂,事故停车。 |
| 2004-09-03 | 四工区二盘区川脉道和 31# 进路接顶充填 | 11:00/13:30 | 13:00 采场塑料管爆裂,事故停车。 |
| 2004-09-10 | 五工区五盘区 9# 进路打底充填 | 11:30/12:30 | 12:10,1250 水平 兰大钻孔处三通盲板爆裂,事故停车。 |
| 2004-09-26 | 四工区二盘区 1# 进路二次充填 | 18:00/20:30 | 20:00,1250 水平 16 川下钻孔处的弯管打爆,1250 泵站前面的快速接头打爆,事故停车。 |
| 2004-10-03 | 四工区一盘区 38# 进路二次充填 | 12:30/13:30 | 13:30,1250 水平泵站前面直管段处快速接头打爆,事故停车。 |
| 2005-01-08 | 五工区四盘区 3# 进路打底充填 | 11:00/16:35 | 12:44 采场塑料管爆裂,停车换管子,14-20 接好继续充填,16:15 采场塑料管再次爆裂。 |
| 2005-01-14 | 五工区四盘区 3# 进路二次充填 | 11:40/12:50 | 12:40 采场塑料管爆裂,停车,改自流充填。 |
| 2005-01-15 | 四工区三盘区 32# 进路二次充填 | 15:40/17:50 | 16:45 采场塑料管爆裂,停车,改自流充填。 |

由表 1 分析:从事故发生的位置来看,采场塑料管爆裂、快速接头泄漏和三通盲板爆裂的事故都发生在金川二矿区 1250 泵站之后,说明该水平泵站以后的管路压力过大,导致爆裂等事故的发生,具体分析如下。

1) 输送管路直径问题

金川二矿区 1250 泵站到采场的管线总长 600~1000 m。试验期间,从该泵站到采场的管路结构是:50 m $\phi 159\text{ mm}$ 钢管+50 m $\phi 133\text{ mm}$ 耐磨管(内径 $\phi 100\text{ mm}$)+(300~600 m) $\phi 133\text{ mm}$ 钢管+100 m $\phi 108\text{ mm}$

钢管(充填小井)+100 φ200 mm 塑料管(如图 1 所示的金川二矿区 1250 泵站出口的管路布置)。其中有五处 R600~900 mm 的弯头连接,有五处变径连接。

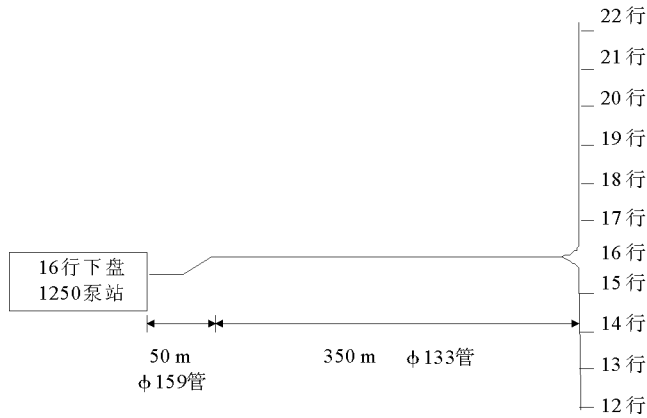


图 1 金川二矿区 1250 泵站出口管路布置示意图

Fig. 1 The outlet piping layout of pumping station in 1250m level of No. 2 Mine, Jinchuan

根据式(1)^[4]可以得出不同管径的阻力损失,如表 2 所示。

$$I = \frac{4L}{D} \left(\frac{4}{3} \tau_0 + \eta \frac{8V_{cp}}{D} \right) \quad (1)$$

其中: I —管道沿程总摩擦阻力,MPa; L —计算管段长度,m; η —砂浆体粘度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; τ_0 —砂浆体屈服切应力,Pa; V_{cp} —管内浆体平均流速,m/s; D —输送管内径,mm。

表 2 不同管径在不同流量(流速)条件下的阻力损失表

Tab. 2 The resistance loss of different pipe diameter in different flow rate

| 管径(外径/内径)/mm | 流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) | 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 每 100 m 长管路对应的阻力损失 /MPa | |
|--------------|---|---------------------------------------|-------------------------|-------|
| | | | 非胶结膏体 | 胶结膏体 |
| 168/150 | 60 | 0.814 | 0.250 | 0.175 |
| | 70 | 0.950 | 0.290 | 0.205 |
| | 80 | 1.085 | 0.334 | 0.234 |
| 133/121 | 60 | 1.474 | 0.696 | 0.488 |
| | 70 | 1.720 | 0.813 | 0.569 |
| | 80 | 1.965 | 0.929 | 0.650 |
| 108/100 | 60 | 2.123 | 1.469 | 1.029 |
| | 70 | 2.477 | 1.710 | 1.200 |
| | 80 | 2.830 | 1.958 | 1.370 |

根据表 2,管路按长 800 m,充填能力按 $70 \text{ m}^3/\text{h}$ 计算,金川二矿区 1250 泵站到采场的管路沿程阻力损失为:

$$h_1 = 0.5 \times 0.205 + 4.0 \times 0.569 + 3.5 \times 1.2 = 6.5785 \text{ (MPa)}。$$

根据金川集团公司曾获 2000 年国家科学技术进步奖(编号 2000-J-231-2-01)的《膏体充填新技术的研究与工业化》研究报告^[5]中的有关公式和测试数据,弯头和变径接头的阻力损失统一按 $0.12 \text{ MPa}/\text{个}$ 计算:

$$h_2 = (5+5) \times 0.12 = 1.2 \text{ (MPa)}。$$

100 m 小井产生的膏体压差按密度 \times 高度计算:

$$h_3 = 100 \text{ m} \times 2.0 \text{ t/m}^3 = 200 \text{ t/m}^2 = 2.0 \text{ (MPa)}。$$

所以,从 1250 泵站到采场所需要的最小泵压为:

$$P_2 = h_1 + h_2 - h_3 = 6.578 5 + 1.2 - 2.0 = 5.778 5 \text{ (MPa)}。$$

根据以上计算,要将金川二矿区 1250 水平的胶结膏体输送到采场至少需要 5.778 5 MPa 的泵压,实际运行过程中,由于充填位置的不同,输送距离也有所不同,该水平泵压通常在 4.5~6.5 MPa 波动。采场的塑料管、快速接头和三通盲板在理论上无法承受 50 kg 以上的压力,所以在充填作业过程中很容易发生爆裂事故。

2) 膏体制备质量的不均一性问题

尾砂过滤系统是膏体充填的最关键环节,其作用是对尾砂浆进行脱水,保证尾砂滤饼含水量不超过要求,并保证脱水后的尾砂供应量稳定,以达到制备高浓度的膏体充填料浆的要求。而尾砂过滤系统虽经多次改造,一直未达到工艺设计要求的能力(48 t/h),且长时间连续生产的可靠性也较差。

膏体制备质量的不均一性,造成膏体充填料特性的变化,不能始终保证制备出具有可塑性、流动性和稳定的均质膏体,膏体充填料粘度的变化,在管道中会形成浓度梯度,甚至离析,反映在泵送过程中,就是管道局部阻力的增大,泵送困难。

2 提高深部尾砂供料系统稳定性的措施

2.1 充填系统简化,取消缓冲搅拌桶

金川二矿区的两套缓冲搅拌桶的来料量完全由放砂浓度和放砂流量控制,因而自身起不到缓冲调节作用;并且,这两套缓冲搅拌桶需要两套调频装置和两台砂浆泵输送,必须配置两个操作工,设备投入和人力资源消耗过大。所以,经过项目组研究后,取消了这两套缓冲搅拌桶。

2.2 将尾砂浆分成两路

由于尾砂的自身质量和尾砂仓的放砂质量不能百分之百地得到保证,所以,过滤机的过滤效果和过滤能力也难以充分保证。为了确保过滤机对不同品质的尾砂都能起到过滤效果,对过滤机的滤布、真空泵和滤布喷嘴等进行过多次技术整改,但结果都无济于事。最后,项目组采取了变通的办法:将尾砂仓放出的尾砂浆通过三通阀分成两部分,一部分通过过滤机进入搅拌槽,另一部分直接进入搅拌槽,在尾砂质量好的时候,通过过滤机过滤,在尾砂质量差的时候,一部分通过过滤机过滤,另一部分直接进入搅拌槽。

2.3 工艺控制参数的选取

通过试验来选取工艺参数。为适应充填水泥添加量 310 kg/m^3 新标准和改造后的工艺要求,水泥添加量由 220 kg/m^3 调整为 295 kg/m^3 ,这也是为了将膏体充填原设计的充填体质量强度 4.0 MPa 和下向胶结充填体质量强度 5.0 MPa 的标准相统一。将磨砂与尾砂控制比例由 1:1 调整为 1:1~3:2。膏体料输送流量由 $70\sim 90 \text{ m}^3/\text{h}$ 调整为 $80\sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$,充填膏体料输送质量浓度的控制范围扩大 1%,为 76%~80%。

经过反复试验,在取消过滤系统,直接放砂时,其中一部分尾砂浆用于水泥浆的制备,各物料在不同控制条件下,可能制备的膏体充填料浓度见表 3,表中带 * 号的物料配比和控制条件下,可不必将尾砂浆和水泥混合后制浆,就可满足工艺控制要求。

2.4 对膏体输送管路系统的技术整改

1) 统一输送管的直径

整改过程中将金川二矿区 1 600, 1 350, 1 250 m 水平的充填管全部更换成 $\phi 133 \text{ mm}$ 耐磨管,充填小井的 $\phi 108$ 钢管全部更换为 $\phi 133$ 钢管。并且所有管路沿前进方向按 3%~5% 的坡度固定安装。

2) 取消金川二矿区 1 250 m 水平泵站

表 3 不同控制条件下膏体充填料浓度表

Tab. 3 The filling piping thickness table of different control conditions

| 磨砂:尾砂 | 水泥浆浓度/% | 尾砂放浆浓度/% | 磨砂含水率/% | 膏体充填料浓度/% |
|-------|---------|----------|---------|-----------|
| 1:1 | 70 | 60 | 5 | 79.8 |
| | | | 8 | 78.5 |
| | 70 | 55 | 5 | 76.0 |
| | | | 8 | 75.3 |
| 3:2 | 70 | 60 | 5 | 82.2* |
| | | | 8 | 81.2* |
| | 70 | 55 | 5 | 79.3 |

* 该物料配比和控制条件下,不必将尾砂浆和水泥混合后制浆。

由于 KSP140 液压活塞泵的最大工作压力可以达到 12 MPa,正常工作压力可以达到 8~10 MPa,整个管路输送系统的总压力为 5.5 MPa,一台泵完全满足输送条件。因此,取消 1250 水平的泵,用地表的一台泵直接将胶结膏体泵送到采场。对金川二矿区 1138 中段的四盘区和六盘区进行了远距离(管路总长 1 700 m,垂直高度 530 m)充填试验,试验结果显示整套系统运行平稳,泵压平稳。

3 结论

通过对影响尾砂供料不足且连续性差的尾砂供料程序与尾膏体输送管路问题的分析,优化了金川二矿区的充填系统:取消了两个缓冲搅拌桶;将尾砂浆分成两路;重新选取充填工艺控制参数;对膏体输送管路系统进行技术整改。这些措施使二矿区的尾砂膏体充填工艺系统的连续作业时间从原来的 2 h 左右延长到 24 h 以上,连续作业不出故障,使膏体充填量生产能力从 2003 年的 2 万 m³ 提高到 2010 年的 17 万 m³。为国内外深部矿山尾砂充填供料系统稳定性的提高提供了试验研究和工程实践的参考。

参考文献:

- [1] 郭惟嘉,张新国,史俊伟,等. 煤矿充填法开采技术研究现状及应用前景[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2010,29(4):24-29.
GUO Weijia, ZHANG Xinguo, SHI Junwei, et al. Present situation of research on backfilling mining technology in mines and its application prospects[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2010, 29(4): 24-29.
- [2] 李向阳,张新国,曹忠,等. 满管自流膏体充填管路清洗技术研究及应用[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2011,30(5):22-25.
LI Xiangyang, ZHANG Xinguo, CAO Zhong, et al. Study and application of washing technology for filling pipelines with full pipe and self-flow pastes[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 30(5): 22-25.
- [3] 刘同有,蔡嗣经. 国内外膏体充填技术的应用与研究现状[J]. 中国矿业,1998,7(5):1-4.
LIU Tongyou, CAI Sijing. Research condition and application on paste backfilling technology at home and abroad[J]. China Mining, 1998, 7(5): 1-4.
- [4] 王新民,肖卫国. 金川全尾砂膏体充填料浆流变特性研究[J]. 矿冶工程,2002,22(3):13-16.
WANG xinming, XIAO Weigu. Study on rheological properties of full tailing paste filling slurry of jinchuan[J]. Mine Mining and Metallurgical Engineering, 2002, 22(3): 13-16.
- [5] 刘同有,于润沧,周成浦,等. 膏体充填新技术的研究与工业化[R]. 金昌:金川集团股份有限公司,2000.