

全尾砂胶结充填技术在马庄铁矿的应用

王凤波, 苏红蕊

(莱芜矿业有限公司, 山东 莱芜 271100)

摘要: 马庄铁矿采用全尾砂胶结充填技术, 实现了采矿无害化, 污染物零排放的企业发展目标。将全尾砂和胶凝材料经搅拌机搅拌后, 形成均质的流动性好的浆体, 采用全重力自流输送方式, 经充填管道, 对采空区进行充填, 对相邻矿体进行回采。回填塌陷区和采空区, 保护了原有的地质环境, 矿石回采率达到了96%以上。

关键词: 胶结充填; 全尾砂; 自流运输; 采空区; 封堵墙

中图分类号: TD853.34

文献标识码: B

文章编号: 1004-4620(2010)05-0011-03

1 前言

莱芜矿业有限公司马庄铁矿1958年建矿生产至今, 探明矿石储量为3 327.72万t。马庄矿区内出露地层主要为奥陶系马家沟组灰岩、古近纪官庄群常路组粗粒砂岩以及第四系表土。马庄矿区内岩浆岩主要分布于矿区西北部, 作为矿体底板, 主要为黑云母辉石闪长岩, 透辉石闪长岩和闪长岩, 三者均分布于岩体与矿体的接触带上并呈过渡关系。马庄铁矿矿床属于高温热液接触交代砂卡岩型磁铁矿床, 矿体产于闪长岩和大理岩的接触带上, 沿接触带呈扁豆状、透镜状、似层状产出, 本矿体总体特点是缓倾斜, 矿体形态简单, 产状较稳定。

马庄铁矿现年产铁矿石50万t, 采出平均品位42.24%, 在2000年之前, 马庄铁矿全面使用崩落法采矿, 矿石回采率低, 安全隐患大, 同时造成了地表塌陷, 形成约 $30.36 \times 10^5 \text{ m}^2$ (455.3亩)的地表塌陷区, 严重破坏了原有的地质环境和自然环境, 给周边居民带来较大的影响, 同时尾矿库的存在给周边村庄带来极大的安全隐患。

自20世纪60年代, 发达国家广泛采用技术手段, 运用工业生态学方法, 即利用采矿和选矿工序所产生的废料(岩石、尾矿、赤泥等)作为充填工序的粗骨料, 全部回填采空区, 避免塌陷区的形成, 达到采矿无害化, 回采高效化。矿山充填技术在我国已有40多年的实践, 20世纪80年代细砂胶结充填工艺和技术得到了广泛的推广应用。为建设环境友好型企业, 实现采矿无害化, 污染物零排放, 建设一套全尾砂胶结充填采矿工艺系统是企业发展壮大的必由之路。

2 全尾矿胶结充填系统的建设与应用

整个充填工艺系统2001年已经初步建设完成并进行试运行, 效果理想, 近几年通过改造、扩建以及引进先进工艺技术, 进一步进行完善、优化, 形成了一套国内比较先进的全尾砂胶结充填工艺系统。

2.1 立式砂仓

根据马庄铁矿选矿厂的选矿能力以及地下采区充填量, 在主井利用钢筋混凝土构筑了2个圆锥形底式立式砂仓, 高度22 m, 直径9.5 m, 高径比2.32。仓顶均设置溢流槽, 同时设有絮凝剂聚丙烯酰胺溶液添加器, 保证粗尾砂的充分沉降; 仓底部设置安装了3圈风水喷管, 并安装布置多个松动喷嘴, 保证造浆均质。放砂模式采用重力自流式。

2.2 胶固粉仓

马庄铁矿采用的胶固粉胶结材料为自行研发生产。具有低水性、泌水速度快、黏性好、抗水渗性好、质量轻的特点, 强度完全达到采矿工艺设计要求。经过与其他胶结材料对比试验(见表1^[1]), 可以看出, 胶固粉作为胶结材料完全满足井下采矿工艺要求, 且成本较低。采用空气压缩机作气源的散装水泥罐车运输, 减少了包装费用和装卸费用。主井充填站用钢筋混凝土构筑两个圆柱-圆锥形胶固粉仓, 采用振动放料机放料。

表1 胶结材料胶固粉、高水材料和水泥性能对比

项目	胶固粉	高水材料	水泥
膨胀时间/min	1.2~12	0.3~0.4	0.45~10
强度增长期/h	12~960	0.5~72	0.33~72
充填体3 d强度/MPa	>1.5	>1.0	>1.5
每立方充填用量/kg	150	150	150
材料成本/(元·m ³)	18~22	40~60	30~45

2.3 充填料浆的制备

马庄铁矿选厂年产尾砂30万t左右, 尾砂密实固体密度为2 610 kg/m³, 松散固体密度为1 600 kg/m³, 空隙率38.7%。根据采矿工艺技术要求, 充填料浆

收稿日期: 2010-04-20

作者简介: 王凤波, 男, 1981年生, 2004年毕业于辽宁工程技术大学环境监测与环保技术专业。现为莱芜矿业有限公司马庄铁矿助理工程师, 从事充填技术工作。

质量浓度控制在60%~65%，一般采空区充填工序胶固粉用量为160 kg/m³，接顶充填工序用量为210 kg/m³。充填料浆的制备在卧式搅拌筒内完成，砂仓放砂流量控制在70 m³/h，同时调节胶固粉流量，经过充分搅拌后，形成均质性、流动性较好的充填料浆。通过多次现场搅拌、制备、取样，对充填体的抗压强度、抗折强度进行试验，结果见表2。

表2 充填体抗压、抗折强度

胶固粉砂 重量比	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
10:90	1.1	1.5	2.4	0.1~0.2	0.2~0.3	0.5
15:85	1.6	2.0	3.0	0.2~0.3	0.3~0.5	0.7
20:80	1.9	2.4	3.5	0.3	0.5~0.7	1.0
35:65	2.1	2.6	3.8	0.4	0.7~1.0	1.2

马庄铁矿全尾胶胶结充填在充填过程中具有良好的整体性、流动性，充填体的均质程度采用计算充填体强度变化率来衡量。据全国多个矿山试验，全尾砂胶结充填体的强度变化率低于30%，一般就说明充填体是均质的。按下式计算充填体强度变化率^[2]：

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_p)^2}{n}} / R_p$$

式中： δ 为强度变化率，%； R_i 为任一试验块的强度，MPa； R_p 为取样试块的算术平均强度，MPa； n 为试验次数。根据表2测得的充填体3 d强度数据计算， $\delta_{\min}=2.24\%$ ； $\delta_{\max}=17.16\%$ ，全部低于30%，说明马庄铁矿全尾砂充填体是均质的，可立性好。

通过长期的现场试验，对比不同配比的充填料浆充填完毕后的充填效果，目前采空区一般充填采用胶固粉与尾砂的重量比为1:4，接顶充填采用重量比为1:3。

2.4 充填料浆的运输

主井充填站(+248 m水平)充填采区为0 m水平以下，充填料浆的运输采用重力自流式。根据公式 $N=L/H$ ，其中： N 为输送倍线； L 为管道长度，m； H 为管道入口与出口之间的高度差，m。就马庄铁矿实际情况测算，0 m水平管子井位于20线，向西最远输送到36线，向东最远到达9线，计算得 $N_{\max}=4.23$ 。根据试验数据，充填料浆真实质量浓度为60%~70%，充填倍线为5~6时，完全可以采用重力自流运输。管道的布置采用竖井阶梯式(见图1)，根据经验公式以及马庄铁矿充填系统的实际充填能力，竖井充填管道采用无缝钢管(内径108 mm，壁厚8 mm)，井下水平巷道采用超高分子量聚乙烯耐磨管，具有轻质(单位管长仅为钢管重量的1/8)、耐磨(为碳钢的6倍以上)、抗冲击等优点。

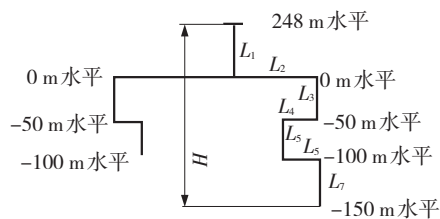


图1 马庄铁矿充填管道布置

2.5 井下采空区封堵与充填

自2001年开始全尾砂胶结充填采矿法在马庄铁矿得到应用，现已经形成了一套成熟的采矿体系，采矿方法主要有上向水平分层充填采矿法、下向水平分层充填采矿法和预控顶分段充填采矿法。

2.5.1 封堵墙的砌筑

马庄铁矿井下采空区封堵墙有空心砖封堵和木封堵两种，封堵墙的质量直接关系到充填质量，砖封堵墙厚度一般为400 mm，封堵墙地基要接触硬岩，砖内部填实，填实材料为混凝土(标号C15)，墙体内外墙面全部抹平，封堵墙体必须形成内弧，弧高为墙体宽度的1/10，砌墙用的砂浆配比为水泥:沙=1:2，抹面用的砂浆配比为水泥:沙=1:1，抹墙面用沙的粒径 ≥ 1 mm，水灰比为0.45。木封堵墙(见图2)的砌筑必须铺设混凝土假底，封堵位置高度不得超过4 m，木点柱必须埋入窝内，并用混凝土填实，窝深度必须超过30 cm，点柱间距 < 1 m，墙体木板之间的间距不得超过6 cm，内部铺设双层滤布，且用钢钉木条固定。

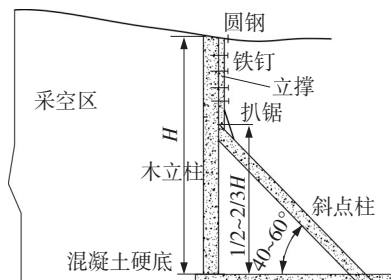


图2 木封堵墙示意图

经过长时间现场试验，木封堵墙与空心砖封堵墙比较，充填料浆滤水效果较好，充填体凝固时间短，封堵材料可以回收再利用，相对成本较低，劳动强度小，但是抗压能力较小，安全系数较低。

2.5.2 采空区充填

马庄铁矿采用管路充填，不采用充填井，采空区内部管路的吊挂直接关系到充填接顶质量，如果充填体不接顶，上覆岩层在变形调节过程中长时间得不到充填体的有效支撑，则会产生松弛地压，岩层产生破坏，存在极大的安全隐患。

经多年摸索实践，总结分析事故原因，逐步完善改进管路的设置。内部管路主要包括进料管、出气管、预接顶标位管、接顶标位管，充分保证充填质

量,消除事故隐患,保证高质量的接顶率。管路设置见图3。

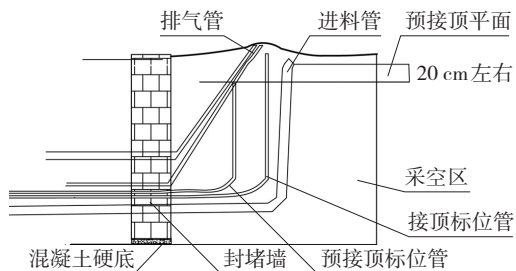


图3 管路设置示意图

采空区充填一般在封堵墙砌完24 h以后进行,以充分保证封堵墙达到工艺设计的抗压强度。根据采空区的实际情况,决定分几次充填,一般矿房充填分3次,即一次试充、预接顶充填、接顶充填。接顶充填工序必须在上次充填24 h以后进行。

同时为充分保证充填接顶率,也对充填料浆进行了沉缩率试验,沉缩率即为充填料浆凝固后浓缩的高度 Δh 与充填料浆高度 h 之比。采用2个规格为600 mm × 600 mm × 800 mm的钢模型,分别将胶骨粉用量为210 kg/m³、浓度为60%和65%的充填料浆进行试验,经过72 h凝固后,测量充填体四周以及中心高度,结果见表3。

表3 全尾砂胶结充填料浆沉缩率

料浆浓度/%	充填料浆高度/mm	沉缩高度/mm	沉缩率/%
60	800	38	4.75
65	800	29	3.63

严格控制充填接顶工序,接顶高度控制在离采

空区最高点200~300 mm。试验表明,接顶后充填料浆浓缩高度在10 mm左右,因为进路采矿一般空区顶板不是很平整,有比较明显的最高点,只要充填料浆到达最高点,其余的采空区接顶率应能达到100%。马庄铁矿全面采用全尾砂胶结充填采矿法,矿石的回采率达到96%以上,而且大大提高了采矿安全系数,基本杜绝了地表塌陷现象,保护了地表的原有生态环境。

3 结 语

马庄铁矿采用全尾矿胶结充填工艺,高效地充填采空区以及塌陷区,充分回采铁矿石资源,实现了采矿无害化,创造了较大的社会效益、环境效益、安全效益和经济效益。1)地表塌陷区的回填,恢复了耕地。2)地下铁矿石矿床的开采全过程,采空区得到全面充填,使得矿区地表得到有效保护;地表塌陷区的回填治理,增加了绿化面积,从而保护了原有的地质环境和自然生态环境。3)全面采用全尾砂胶结充填采矿方法,铁矿石回采率达到96%以上,采区岩层得到有效支撑,给回采工作带来较大的安全保障。

参考文献:

- [1] 蒋秀香,白忠民,王怀佳.新型胶结材料充填采空区的研究与实践[J].西部探矿工程,2002,14(5):36.
- [2] 孙恒虎,黄玉程.当代胶结充填技术[M].北京:冶金工业出版社,2002.

Application of Cemented Filling with Unclassified Tailings in Mazhuang Iron Mine

WANG Feng-bo, SU Hong-rui

(Laiwu Mining Industry Co., Ltd., Laiwu 271100, China)

Abstract: Mazhuang Iron Mine adopted cemented filling with unclassified tailings, realizing the development goal of mining harmless and zero release of pollutants. After agitating in churn, the unclassified tailings and cement formed homogeneous and easily flowable paste. It filled the goaf by the gravity self-flow delivery and filling pipes, after accomplishment of the sealing wall. Then the stoping of adjacent ore body was made. The backfill of subsidence area and goaf protected the original geological environment, and the ore recovery reached 96% above.

Key words: cemented filling; unclassified tailings; self-flow delivery; goaf; sealing wall

学会动态

山东金属学会2010年炼钢技术交流会在莱钢召开

山东金属学会炼钢技术交流会于2010年10月9日在莱钢召开,山东金属学会炼钢学委会主任马旺伟同志主持会议,山钢集团副总经理、莱钢集团总经理陈启祥代表莱钢向大会致词,山东金属学会袁立宝秘书长向会议代表通报了山东钢铁工业近年发展及下一步工作重点。山钢集团副总经理、炼钢学委会副主任陈向阳同志作了会议总结。山东金属学会炼钢学委会主任、副主任、名誉主任、会员单位代表及河北邯鄹、本溪北营、福建三明等钢厂的炼钢及有关专业技术人员供90多人参加了会议。

会议邀请中国金属学会苏天森副秘书长和中国钢研科技集团公司总工、北京钢铁研究总院副院长刘浏分别做了题为“低碳经济指导下的钢铁工业发展和展望”、“建设高效低成本洁净钢平台的关键技术”的精彩讲座。济钢技术中心祝桂和副主任、莱钢炼钢厂吕铭厂长分别介绍了2009年以来济钢和莱钢转炉炼钢技术的进步和展望。济南新峨嵋实业有限责任公司的代表及其邀请的德国INTOCAST公司的专家分别介绍了复合钢包炉衬的新技术。(胡世杰)