

矿山充填孔及尾砂矿充填回采技术的应用与探讨

朱恒银¹, 庞计来², 漆学忠¹

(1. 安徽省地矿局 313 地质队, 安徽 六安 237010;

2. 邯邢矿山局诺普矿业公司, 安徽 霍邱 237462)

摘要:尾矿砂是固体矿物矿山开采选矿过程中的废弃产物, 大量尾砂地表堆积库存, 给生态环境, 耕地及人民生命安全带来严重的危害。矿山回采区回填, 是矿山开采可持续发展的趋势。通过已开采矿山应用尾矿砂充填采空区的实践研究成果, 介绍了矿山充填钻孔施工及尾矿充填工艺等技术, 并分析阐述了矿山尾矿砂回填这种“绿色”开采社会意义和经济价值。

关键词:矿山充填孔; 尾砂充填回采; 施工技术

中图分类号: TD263

文献标识码: B

文章编号: 1672-7428(2009)S1-0354-06

0 引言

尾矿砂是固体矿物矿山开采选矿过程中的废弃产物, 传统的方法是将选矿后的尾砂堆积存放在地表建造的尾砂库中, 如要开采 1 个矿石储量 8000~9000 万吨的中型铁矿, 所产生尾砂总量将达到 4000 万~5000 万吨尾砂库占用大量土地, 且部分矿种尾矿会造成地表水及大气粉尘污染。若尾砂库坝体垮塌会造成国家和人民财产、生命的巨大损失。如 2000 年 10 月 18 日广西南丹县大厂矿区酸水弯尾砂库垮塌造成 28 人死亡, 50 人受伤, 2008 年 9 月 8 日山西襄汾塔儿山铁矿尾砂库突然发生溃坝事故约 30 万 m³ 的泥沙碎石, 从 50 多米的高度倾泻而下, 冲垮和掩埋了尾砂库下游的新塔矿业公司办公楼, 民居和一个集贸市场, 吞噬了长 2 km, 宽约 300m 的 30 多公顷的土地, 夺去了 271 条生命。据有关资料报道, 全国每年都有矿山尾砂坝垮塌事故, 已成为不可忽视的人为灾害。我国已将矿山尾砂的治理和综合利用提到了重要议程。

如何解决矿山的尾砂给环境带来的灾害问题, 目前主要采用两种方法进行尾砂的治理, 一是利用尾砂制成建筑材料以综合利用; 二是将尾砂充填采空区。尾砂充填技术已逐渐推广于矿山开采中。这

种方法地表可不设尾砂库, 实现尾废“零排放”, 能有效地保护矿区地表及周边环境, 减少占地面积; 能有效地控制采空区地表沉陷; 尾砂胶结充填可实现矿区矿柱回采, 以提高矿石的回采率, 提高矿山综合效益和延长矿山服务年限。近年来, 根据矿山实际需要, 与矿山合作, 在安徽省霍邱铁矿吴集、草楼两矿区进行了 6 组 12 个尾砂充填孔施工实践与探索, 取得了良好的经济技术效果。本文就矿山充填孔施工实践与尾砂充填采矿若干技术问题作一介绍和探讨, 以供同仁参考。

1 矿区概况

安徽霍邱铁矿地处安徽西部, 属淮河流域中上游冲积平原区, 地势平坦, 海拔标高 37m~50m; 主要水系北有淮河, 西有史河、泉河, 东有霍邱县城西湖蓄洪区。山系有豫皖交界处四十里长山丘陵, 南部主峰白大山海拔高度 420m, 其余为 100m~200m, 向北绵延入没于淮河南岸平原中。矿区交通水路距淮河远至 40 km, 近至 3~5 km, 陆地交通合(肥)阜(阳)高速公路横穿矿区, 距宁(南京)西(西安)铁路约 100 km, 距京(北京)九(深圳九龙)铁路 60 km, 距合(肥)武(汉)

收稿日期: 2009-08-30

作者简介:朱恒银(1955-), 男(汉族), 安徽舒城人, 安徽地矿局 313 地质队副队长、副总工, 教授级高级工程师, 中国地质大学(武汉)客座教授, 安徽省学术和技术带头人, 享受国务院特殊津贴, 探矿工程专业, 从事特种钻探施工技术研究与应用; 庞计来(1958-), 男(汉族), 河北石家庄人, 邯邢矿山局诺普矿业公司总工程师, 教授级高级工程师, 国家注册监理工程师一级总监, 采矿专业, 从事矿山采矿技术管理工作; 漆学忠(1973-), 男(汉族), 安徽金寨人, 安徽省地矿局 313 地质队助理工程师、特钻处副经理, 岩土工程专业, 从事探矿工程技术管理和施工管理工作。

铁路 60 km。霍邱铁矿范围为 320 km²（长 40 km，宽 8 km），跨霍邱、颍上两县。目前 -500m 以上已探明铁矿石储量约 20 亿吨，居华东第一，全国第五，整个铁矿分 10 个矿区，矿床主要以磁铁矿为主。

吴集、草楼两铁矿区是霍邱铁矿的组成部分。两个矿区矿石储量分别均在 8000 万~9000 万吨，矿区地质条件基本相似，矿体最大埋深 500m 左右，矿体倾角 50°~70°之间。矿石类型为沉积变质磁铁矿，主要岩层有黑云母斜长片麻岩、含铁角闪斜长片麻岩、混合花岗岩、黑云母角闪岩、大理岩等。矿床所在范围内的地表均为第四系覆盖层，第四系厚度约 150m~250m，矿区地形平坦，地表均为农田和村庄。

吴集、草楼两矿区一期工程设计矿山生产能力出矿石量分别为 100 万吨/年和 150 万吨/年。吴集矿区于 2006 年正式建成出矿，草楼矿区于 2007 年建成出矿。吴集、草楼两矿区二期工程设计规模分别在 220 万吨/年和 300 万吨/年矿石量。针对两矿区地表环境和矿床特点，均选择阶段矿房法开采，嗣后全尾砂胶结充填，第一步开采矿房，第二步开采矿柱。

2 尾砂充填孔施工技术要求及工艺

2.1 充填孔施工质量与技术要求

- (1) 钻孔偏斜率：≤1%；
- (2) 钻孔孔口中心定位误差：≤100mm；
- (3) 岩心采取率：≥75%；

(4) 充填孔成井结构：主要由三层无缝钢管串构成，即孔口管，护壁管和充填管（中心管），充填管内径不小于 Φ100mm，且具有高强度和耐磨性。护壁管和充填管均全孔下入，孔口管和护壁管外用水泥固井。

2.2 充填孔的位置布置原则

充填孔主要根据充填站布置要求设计，一般为两个孔为一组（即一套充填设备 2 个孔），两孔间距 3~5m，两组充填孔间距离 13~15m，充填孔为垂直钻孔，充填孔下部有充填孔硐室，充填巷至采空区。充填孔的位置布置如图 1 所示。

2.3 充填孔施工工艺

2.3.1 钻孔结构

根据吴集、草楼矿区的地层情况和尾砂充填设计日充填量、尾砂粒径等参数，选择充填孔钻孔结

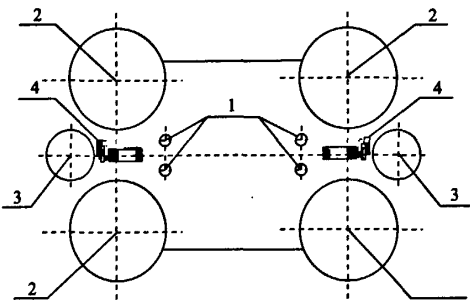


图 1 充填孔位置布置示意图

1—充填钻孔；2—尾砂仓；3—水泥仓；4—搅拌机

构为：开孔 Φ110mm 取心钻进至 20m，用 Φ350mm 钻头扩孔至 20m 后下入 Φ273mm 护孔管，水泥固井后，换 Φ110mm 取心钻进至设计孔深，再用 Φ250mm 口径扩孔到基层面后，换 Φ191mm 扩孔到底，全孔下入 Φ168mm 护壁套管，管外用水泥固井。固井后透孔到底，Φ168mm 管内下入 Φ146mm 充填管，钻孔成孔结构如图 2 所示。

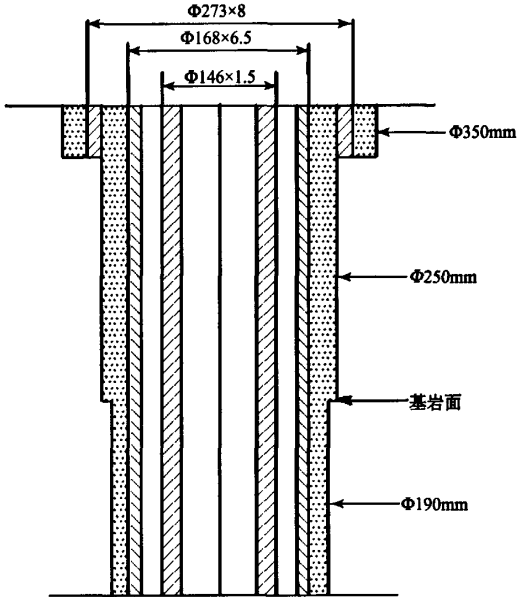


图 2 钻孔成孔结构示意图

2.3.2 充填孔施工流程

场地平整→孔位放样→钻机安装→孔位坐标复测→开孔下入孔口管→取心钻进→钻孔测斜与轨迹控制→计算钻孔轨迹坐标→扩孔→下入外套管→管外水泥固井→透孔→下入充填管→将外套管与充填管孔口环隙密封固定→完井验收。

2.3.3 钻进方法

第四系取心均采用 $\Phi 110\text{mm}$ 双管钻具外肋骨合金钻头钻进及单管无泵钻具合金钻进;完整基岩采用单管金刚石取心钻进。孔深 $0 \sim 20\text{m}$ 采用 $\Phi 350\text{mm}$ 牙轮钻头扩孔。 20m 至设计孔深,第四系采用 $\Phi 250\text{mm}$ 牙轮扩孔,基岩用 $\Phi 191\text{mm}$ 牙轮钻头扩孔。

2.3.4 钻进用钻具组合

(1) 第四系取心钻具:

$\Phi 110\text{mm}$ 外肋骨合金钻头 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}/\Phi 108\text{mm}$ 单动双管钻具 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}$ 钻铤 $\rightarrow \Phi 50\text{mm}$ 外丝钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

(2) 基岩取心钻具:

$\Phi 110\text{mm}$ 单管金刚石取心钻具 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}$ 钻铤 $\rightarrow \Phi 50\text{mm}$ 外丝钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

(3) 扩孔钻具:

①第四系扩孔: $\Phi 350\text{mm}$ 牙轮钻头 $\rightarrow \Phi 219\text{mm}$ 扶正管 $\rightarrow \Phi 146\text{mm}$ 钻铤 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}$ 钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

②第四系扩孔: $\Phi 250\text{mm}$ 牙轮钻头 $\rightarrow \Phi 146\text{mm}$ 钻铤 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}$ 钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

③基岩扩孔: $\Phi 191\text{mm}$ 牙轮扩孔钻头 $\rightarrow \Phi 168\text{mm}$ 导向管 $\rightarrow \Phi 146\text{mm}$ 钻铤 $\rightarrow \Phi 89\text{mm}$ 钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

(4) 特种纠偏钻具:

纠偏钻具组合: 纠偏钻头 $\rightarrow$ 螺杆马达 $\rightarrow$ 定向纠偏接头 $\rightarrow$ 钻杆 $\rightarrow$ 主杆。

2.3.5 钻进用冲洗液

根据该区域地层情况,采用 KHM 低固相泥浆,其泥浆性能为:密度: $1.05 \sim 1.10\text{kg/L}$,粘度 $25 \sim 30\text{s}$,PH 值 $9 \sim 10$,失水量 $7 \sim 10\text{mL}/30\text{min}$,泥皮厚 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

配比:粘土粉(泥浆体积) 4% ,处理剂加量是:粘土:纯碱(Na_2CO_3):腐植酸钾(KHM) = $100:2 \sim 3:0.2$ 。配制使用程序:粘土加水搅拌 $\rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ 浸泡 $24\text{h} \rightarrow$ 加 KHM $\rightarrow$ 搅拌 $\rightarrow$ 测性能调整 $\rightarrow$ 钻进过程中使用除砂器 $\rightarrow$ 性能调整维护。

2.3.6 充填孔施工技术要点

(1) 钻孔坐标的准确性

充填孔设计一般位于主巷道壁一侧 $1 \sim 3\text{m}$ 范围内,充填孔施工后,需在主巷道内按钻孔坐标寻找充填孔底部。若钻孔坐标不准确,就无法找到钻孔,所以充填孔钻孔坐标的准确性显得特别重要。钻孔坐标的准确性必需做好两点:一是钻孔开孔

时,要测准孔口坐标(基准坐标);二是把好转孔测斜关,采用高精度小顶角测斜仪进行测斜,每 25m 测斜一次,要求下孔前对仪器进行精度校验,孔内每次同点位置要复测,钻孔只要测得顶角数据都要测方位角。

(2) 钻孔轨迹垂直度的控制

①把好转孔关。施工场地必须用水泥固化平整,钻机安装做到三点一线(孔口、立轴、天车三点为一直线);开孔采用小规程钻进,逐渐加长导正钻具。

②把好转具级配关。钻进钻具必须具有刚、满、直,防斜保直特性;采用钻铤孔底加压;扩孔时,钻具必须上带扶正器,下带导正。

③把好转进关。钻进过程中,若遇软硬互层时,采用小规程参数钻进,不使用磨钝的切削具钻进。

④把好转孔轨迹监控关。施工中做到三及时,即及时测斜;孔斜超差及时调整工艺;超差大于允许值及时纠偏。

(3) 井管的选择

充填孔井管串主要由孔口管、护壁管和充填管组成。管串均要选用 45 号钢以上材质的无缝钢管,尤其充填管要求选用高强度耐磨性强的厚壁无缝钢管,目前多 $\phi 16\text{mm}$ 钢管为主,壁厚要求不小于 15mm 为宜,管串连接设计为内外平结构。

(4) 管外固井

为了保证充填孔有较长的使用寿命,孔口管和护壁管均采用管外全部用 42.5 级水泥固孔。护壁管与充填管间隙采用 PHP 优质低固相泥浆灌满,上下口要密封可靠,不得有尾砂进入间隙中,便于以后更换充填管。

2.3.7 充填孔施工技术效果

安徽霍邱铁矿吴集、草楼两矿区 2007 年 ~ 2008 年间相继设计了 6 组 12 个尾矿砂充填孔,其中吴集矿区 2 组,草楼矿区 4 组,通过施工与探索,克服了诸方面的技术难题,所完成的 12 个钻孔,总工作量 2520.20m ,钻孔最深 270m ,平均孔深 210m ,钻孔终孔最小偏斜率为 0 ,最大偏斜率 0.49% ,钻孔终孔最小水平偏距为 0m ,最大水平偏距为 1.11m ,各孔终孔实际坐标参数计算见表 1 所施工的 12 个钻孔,经矿山按实际计算坐标在井下巷道内开挖,均较准确地找到了实际充填孔底位置,完全满足矿山设计质量要求。

表 1 充填孔施工实际钻孔坐标计算结果

矿区	孔号	孔深 /m	孔口设计坐标				钻孔终孔实际参数				
			X_0	Y_0	Z_0	θ	α	$\angle X$	$\angle Y$	$\angle Z$	ΣS
吴集	1#	142	3583490.01	403067.65	0	0.8°	270°	0	-0.35	141.99	0.35
	2#	142	3583489.02	403070.48	0	0.4°	80°	0.10	-0.43	141.99	0.44
	3#	142	3583502.24	403070.09	0	0.2°	56°	0.08	0.17	141.99	0.19
	4#	142	3583503.23	403072.26	0	0		0	0	142.00	0
草楼	北 1	208	3569964.61	404204.54	0	1°	30°	0.80	0.46	207.99	0.92
	北 2	208	3589966.81	404206.58	0	0°		0	0	208.00	0
	北 3	208	3589955.09	404214.81	0	0°		0	0	208.00	0
	北 4	208	3589957.29	404216.85	0	0.9°	113°	-0.36	0.89	207.99	0.96
草楼	南 1	270	3589157.96	404156.51	0	0.5°	154°	-0.39	0.19	269.99	0.43
	南 2	270	3589158.99	404153.69	0	0.8°	172°	-1.08	0.28	269.99	1.11
	南 3	270	3589172.14	404158.49	0	0.1°	203°	-0.24	-0.31	269.99	0.39
	南 4	270	3589171.11	404161.31	0	0.3°	185°	0.14	-0.07	269.99	0.16

注：表中 Z 值不是标高是设定孔口为 0，表中 θ 、 α 分别为钻孔终孔顶角和方位角， $\angle X$ 、 $\angle Y$ 、 $\angle Z$ 为坐标实际增量， ΣS 值为钻孔最大水平偏距。

3 尾矿充填技术

尾矿砂充填是现代矿山开采经济环保的一种新技术。尾矿砂充填工程主要由地表充填站，充填钻孔，充填管道以及采空区脱水设施等组成。充填钻孔在地表设计若干组（每组为 2 个高精度垂直钻孔），作为采空区充填的通道，以其通道将地表尾砂（或尾砂胶结体）送入采空区进行充填，待胶体尾砂固结后，形成采矿房支撑体，再回采矿柱，矿柱采完之后，再充填尾砂将矿柱空区填满，实现整个开采与充填良性循环。

3.1 尾砂充填采矿方法

充填采矿法是金属矿山三大类采矿方法之一，主要适用于矿石品位高的富矿、稀有、贵金属矿床的开采，近年来随着矿石价格的提高，开采、充填技术水平的提高以及国家环保的要求，黑色金属矿山也开始采用充填采矿法采矿，如霍邱吴集、草楼两矿区，设计采用房矿柱两步骤空场回采嗣后充填开采。其方法第一步是尾砂胶结充填，第二步是尾砂充填，开采工艺流程是：矿房开采→尾砂胶结充填矿房（固结矿房采空区）→回采预留矿柱→尾砂充填矿柱采空区。

3.2 尾砂充填工艺

3.2.1 充填方式的选择

根据所选用的采矿方法，即要实现胶结充填，胶结充填的方式有多种选择。基于吴集、草楼两矿区内外部条件，可供选择的充填料有掘进废石及选矿厂尾砂两种材料。掘进废石经破碎加工可作为建筑材料综合利用，所以选矿厂尾砂即为最合适的充填材料，这样既环保又经济。

尾砂充填可分为分级尾砂胶结充填和全尾砂胶结充填两种方法。分级尾砂胶结充填是采用两相流管道输送，为了解决井下充填料脱水问题，对尾砂充填料渗透系数要求较高，所以需对选矿厂尾砂进行分级，一般可分选尾砂粗粒用于井下充填，细泥砂排入尾砂库。全尾砂胶结充填则是以不同粒度的全部尾砂作为充填材料，不需对选矿厂尾砂进行分级处理，用于井下充填。所述两种充填方法相比较而言，前者需增加尾砂分选设备，细小尾砂还需留在地表尾砂库中。在充填质量上不可避免地产生离析分层现象，充填体结构完整性差。而后者则克服了前者的一些弊病，是目前矿山充填开采所优选的尾砂胶结充填方法。

3.2.2 全尾砂充填主要设备

全尾砂充填主要设备系统由全尾砂沉降造浆放

砂、水泥供料，充填料浆搅拌机输送、自动控制等系统组成。

根据矿山生产能力要求，吴集矿区设立两套充填系统，草楼矿区设四套充填系统，每套充填系统由两个立式砂仓，一个水泥仓，一套搅拌机，两个充填钻孔及相应的控制系统组成（如图 3 所示）。



图 3 尾砂充填系统主要装备图片

3.2.3 全尾砂充填系统工艺流程

充填系统工艺流程如图 4 所示，主要由全尾砂储存供料线、水泥储存供料线、调浓水供给线、充填料浆制备与输送、自动控制五大系统组成。

(1) 全尾砂储存供料线

充填用尾砂即由选矿厂尾砂输送泵直接将全尾砂料将输送至充填站的立式全尾砂存储仓中。每个充填站设置两套充填系统，每套充填系统设置两个立式砂仓，四个砂仓交替进砂和充填，以充分发挥系统生产能力。

(2) 水泥储存给料线

水泥是尾砂充填的胶结剂。散装水泥由散装水泥罐车运至充填站后，通过吹灰管吹卸入散装水泥仓中。为了防止各种杂物进入水泥仓，吹灰管上设置有过滤装置。水泥仓底部设置有螺旋闸门及双管螺旋给料机。充填时打开螺旋闸门，启动双管螺旋给料机即可向搅拌机定量供水泥。水泥给料量由螺旋电子秤检测。

(3) 调浓水供给线

充填站设置一条供水管道，由高位水池或泵加压供给压力水，以供冲洗设备、疏通管道及调节充填料浆浓度。当充填料浓度过高时，供水管上安装有调浓水阀。调浓水量由电动调节阀进行调节。

(4) 充填料浆配制与输送

全尾砂浆，水泥及适量调浓水经各自的供料线进入进料斗后供给搅拌机。搅拌机选用双卧轴搅拌机 + 高速活化搅拌机两段连续搅拌。充填料经两段连续搅拌均匀后制备成浓度适中，流动性良好的充填料浆，而进入测量管。测量管上安装有电磁量计及浓度计以检测料浆流量和浓度。

充填浆最终进入充填料下料斗，并通过充填钻孔及井下充填管网自流输送至井下采场空区进行充填。

(5) 自动控制系统

为了保证充填料浆制备浓度，流量及配比的准确及稳定，实现料浆的顺利输送，充填站设立较完善的自控系统，以对充填系统各运行参数进行检测和调节，系统检测和自动控制主要参数有：尾砂放砂流量、水泥给料量、调浓水量、充填料浆量、充填料浆浓度、水泥仓料位等。

(6) 系统运行参数与生产能力

根据矿山生产能力要求来设计充填系统运行参数和生产能力。吴集、草楼两矿区设计单套系统制备能力为 $60 \sim 80\text{m}^3/\text{h}$ ，充填料浆浓度 $70\% \sim 72\%$ ，单套系统一次最大制备能力为 800m^3 。

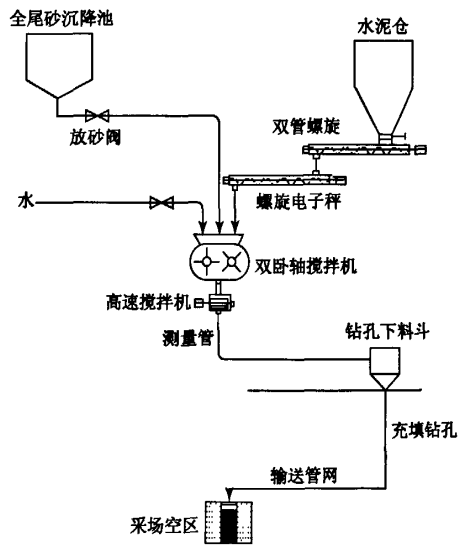


图 4 全尾矿充填系统工艺流程图

4 尾砂充填采矿社会与经济效益

4.1 社会效益

(1) 矿产资源得到有效利用

采用传统（崩落法或空场法）方法采矿，矿

石回采率只有 60% 左右, 地下矿产资源造成严重浪费。采用尾砂充填方法采矿, 矿石回采率可达 90% 以上, 矿产资源可得到有效利用, 同时大幅地延长了矿山服务年限。

(2) 有效地防治矿山采空区塌陷

吴集、草楼两铁矿区在矿山开采范围内, 其地表均为村庄和良田, 矿床上部覆盖层第四系厚度 150 ~ 250m, 且含有多层流砂层, 若采用传统方法采矿, 可导致上覆盖层塌陷, 地表村庄和良田被毁。根据两矿区开采区面积测算, 地表塌陷范围可达万余亩。采用尾砂充填方法采矿, 可有效地防治矿区采空塌陷问题。

(3) 有效地保护地表生态环境

吴集、草楼两铁矿区根据资源储量和矿山开采总服务年限计算, 尾砂总量可达 1 亿吨, 如地表存放尾砂需建立两个大型尾砂库, 占用耕地约 2000 亩以上。尾砂地表库存, 除占用大量耕地外, 还造成地表大量尾细砂扬尘污染空气, 尾砂库坝下游水质污染, 同时也给人民财产及生命安全构成威胁。采用尾砂充填井下采空区, 不仅尾砂得到了充分利用, 而且地表也无需建立尾砂库, 有效地保护了地表生态环境。

4.2 经济效益

吴集、草楼两铁矿区经矿山效益评估测算, 采用尾砂充填开采与传统开采方法相比, 尾砂充填每

吨矿石增加投入 12 ~ 14 元。总投入增加约 20 亿元。但矿山企业回采矿柱多采矿石约 5000 万 ~ 6000 万吨 (相当于一个中型矿山), 按国内铁矿石现价计算减去所增加的投入, 矿山企业累计多创效益约 100 多亿元。另外, 矿山可节约地表耕地万余亩, 为矿山节约了大量环境治理费、青苗赔偿、土地占用复耕等费用。同时形成了“绿色”开采的矿山企业产业链。

5 结语

矿山开采产生大量的尾矿砂, 给生态环境带来非常严重的破坏和灾害。采用充填孔向采空区回灌胶体尾矿砂, 再回采矿柱, 是矿山减少矿产资源浪费和环保开采的一项新技术, 社会效益、经济效益极为显著, 实现社会生态和经济的可持续发展。以后矿山开采中应值得大力推广和应用, 建议国家应把这项开采方法纳入矿山开采法规中。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 白复铨. 大庄子金矿倾斜厚矿体采矿方法探讨[J]. 采矿技术, 2002, 9(3).
- [3] 刘同有. 中国有色矿山充填技术的现状及发展[J]. 中国矿业, 2002, 11(1).