

文章编号:1674-2869(2011)03-0107-04

# 磷石膏充填采矿技术应用及经济环境效益评价

刘小力,高忠民,唐飞勇

(化工部长沙设计研究院,湖南 长沙 410116)

**摘 要:**磷矿加工要产出大量的磷石膏渣,不仅要占用土地,而且对环境产生污染.以磷石膏作为充填骨料对磷矿山采空区进行充填,不仅为磷石膏的处理找到了一条新的途径,而且可提高磷矿回采率,减少开采对地表的破坏,获得较好的经济效益和环境效益,推广应用前景良好.

**关键词:**磷石膏;充填采矿;效益评价

**中图分类号:**TD871

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.03.030

## 0 引 言

磷矿石产量的约 90%用于生产磷肥.近 10 年来,我国磷肥工业和磷矿采选业均得到了快速的发展,年生产和消费磷矿石量超过 6 000 万吨,为我国粮食安全和农业的稳定发展做出了重要贡献.然而,磷矿加工要产出大量的磷石膏渣,我国每年有高达 5 000 万吨的磷石膏渣产出,需要占用大量的土地堆存,越来越成为一个严重的环境问题,制约着磷肥工业的发展.磷石膏的综合利用方面也做了大量卓有成效的工作,但其利用率仅为 20%,远未从根本上解决问题.因此,无论从节约土地资源还是从环境保护角度考虑,寻求更多更广泛的磷石膏处理新途径均显得十分必要.以贵州开阳磷矿采用磷石膏作为充填骨料进行的充填采矿工业化试验为基础,就其工业应用的有关技术经济和资源环保等方面的问题进行分析.

## 1 磷石膏对地表环境的影响及其综合利用状况

磷石膏是湿法生产磷酸时磷矿石与硫酸作用产生的工业废料,每生产 1 吨磷酸就要产生 5 吨磷石膏.我国磷肥年生产能力已超过 1300 万吨( $P_2O_5$ ),磷石膏年产出量达 5 000 万吨,累计堆存量超过 2 亿吨,居世界第一.磷石膏中的主要成分

为二水石膏( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ),含量一般在 90%以上,同时含有一定量的  $P_2O_5$  (0.3%~1.5%)和 F (0.1%~1.5%)以及 Ra-226 等危害人体健康和植物生长的有害杂质,给生态与环境带来危害.另外,磷石膏的排放要占用大量的土地,并且需要筑坝和防渗处理,花费大量投资.

对磷石膏的综合利用率 2005 年以前不到 10%,近几年经过努力有了明显的提高,每年综合利用量已超过 1 000 万吨,达到 20%,主要利用途径包括制硫酸联产水泥、石膏板材和建筑砌块等.但是,大量堆积的磷石膏仍然是制约我国磷肥工业可持续发展的瓶颈,在相当一段时间内,如何有效地处理磷石膏仍是一个迫切需要解决的课题,特别是探寻到一种磷石膏消耗量大、处理成本低的磷石膏处置途径意义尤为重大.研究表明,采用磷石膏作为充填骨料进行的充填采矿符合这个目标.

## 2 磷石膏充填采矿的技术可行性分析

### 2.1 磷石膏的物理和化学性质

磷石膏粒级较细,根据研究单位对贵州开阳磷矿所产磷石膏进行的测定(详见表 1 和表 2),0.1 mm 以下颗粒占 93%,中值粒径 0.043 mm,孔隙比 1.064~3.415,渗透系数 0.002 94 cm/s.这些参数表明磷石膏是不利于充填体脱水和快速硬化,单独作为充填骨料是不理想的<sup>[1]</sup>.

表 1 贵州开阳磷矿所产磷石膏物理力学性能表

Table 1 Physical and mechanical statistics of phosphorous gypsum of Kailin Group, Guizhou Province									
充填料名称	密度/ $t \cdot m^{-3}$	空隙比	渗透系数/ $cm \cdot s^{-1}$	中值粒径 $d_{50}/mm$	有效粒径 $d_{10}/mm$	不均匀系数	曲率系数	水上休止角	水下休止角
磷石膏	2.87	1.064~3.415	$2.94 \times 10^{-4}$	0.043	0.014	3.71	1.00	47.0°	23.5°

收稿日期:2011-01-05

作者简介:刘小力(1959-),男,湖南韶山人,教授级高级工程师.研究方向:采矿工程.

表 2 贵州开磷磷矿所产磷石膏化学成份测定结果表

Table 2 Chemical analysis of phosphorous gypsum of Kailin Group, Guizhou province %

CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	烧失量	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
30.0	0.88		5.40	0.37	0.05	0.61	0.26		0.44

2.2 磷石膏作为充填骨料的可行性

尽管磷石膏不是理想的充填骨料,但利用粗、细粉煤灰及适量的活化剂进行改性,可以使之成为满足生产需要的充填骨料. 充填胶结成本的有效控制则是其工业利用的关键. 试验结果表明,使用比例为水泥:粉煤灰:磷石膏=1:1:8 进行胶结充填,浆体浓度:60%~63%,充填体 90 天抗压强度达到 1.56~1.72 MPa,完全满足嗣后充填需要<sup>[1]</sup>. 也即磷石膏通过掺和适量的水泥和粉煤灰进行改性后可以作为井下采矿的充填材料.

3 磷石膏充填采矿工业试验设计及试验结果分析

3.1 磷石膏充填采矿工业试验设计方案

磷石膏充填采矿工业试验对象选择在贵州开磷集团的用沙坝矿段. 用沙坝矿段 1989 年 11 月投产竣工,采用机械化盘区分段中深孔房柱空场采矿法,至 2008 年初累计采出矿量 650 多万吨. 矿层顶板为白云岩,中等坚硬,在无溶洞和断层条件下稳定;矿层底板为灰绿色细砂岩,局部属中粒砂岩,中厚层状产出,致密坚硬;矿层直接顶板为泥质页岩,呈强风化状态,厚度薄,遇水易膨胀冒

落,极不稳固;矿层的直接底板为黄、灰白色硅质页岩,同呈强风化状态,容易产生滑动. 磷矿层由呈粒状结构,致密块状,条带状构造的磷块岩构成,有节理发育,易冒落,不稳固. 其 W<sub>11</sub>~W<sub>17</sub> 勘探线矿体位于金阳公路和牯牛背村庄下部. 金阳公路压矿走向长 1 200 m,影响到的地质储量为 2262 万吨,划为用沙坝矿段的保安矿柱,如何安全经济地回采这部分资源,是一个迫切需要解决的技术难题. 为此从 2003 年开始,贵州开磷集团组织中南大学、长沙矿山研究院和化工部长沙设计研究院等高校和研究设计单位进行磷石膏充填开采的试验研究攻关,2004 年底完成充填系统和试验矿段开采工艺的工程设计<sup>[2]</sup>,2005 年建成了磷石膏充填料制备和管道自流充填系统,2006 年开始进行充填法采场的回采试验.

采矿方法试验地点选择位于用沙坝矿段主斜坡道一侧的 W<sub>11</sub>~W<sub>17</sub> 勘探线、垂直标高+1 170 m~+1 120 m地段. 此地段是用沙坝矿段的主要压矿段,矿体赋存于金阳公路的下方,金阳公路完全处于矿体开采移动境界内.

经综合比较,推荐采矿技术方案为分矿房矿柱中深孔落矿嗣后充填采矿法,如图 1 所示.

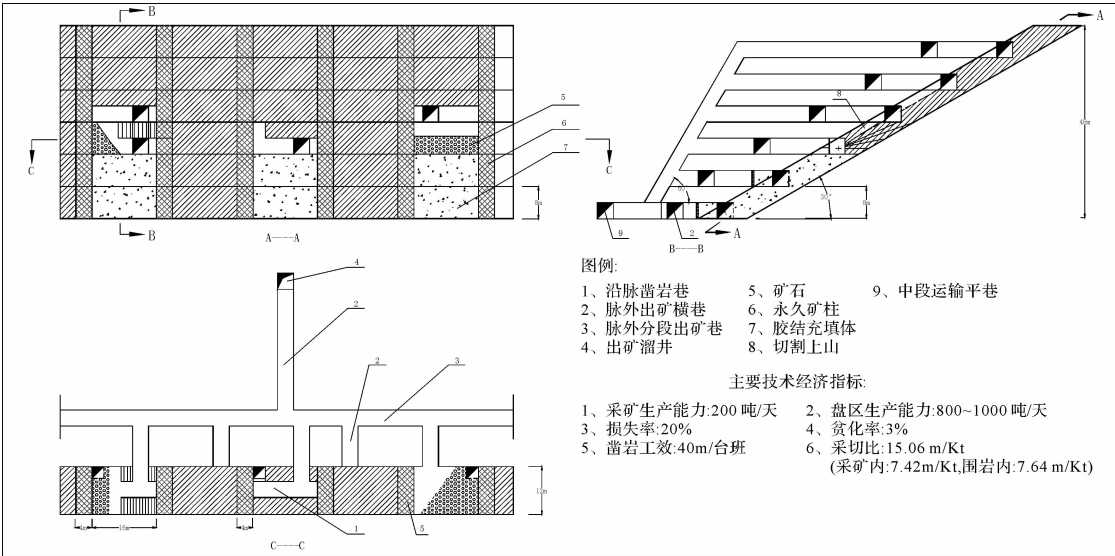


图 1 分矿房矿柱中深孔落矿嗣后充填采矿法示意图

Fig. 1 Diagrams of cut-and-fill mining method after blasting collapse of pillars and ore bins

3.2 试验结果

磷石膏井下充填采矿过程中,通过对矿山上、下盘岩体取样,进行了岩石力学测试,得出了岩石力学参数;通过对采场上部岩体及地表移动变形

监测,全站仪监测精度为 3.5 mm,在全站仪精度范围内,公路基本没有发生位移变化,金阳公路全程路面未见裂隙与裂缝,表明使用磷石膏充填采矿,公路是安全的. 再通过对用沙坝试验矿段井下

岩层和地表位移变形的观测,以及采场回采过程中的事故统计,表明井下开采未发生大的冒落事故,回采采场顶板也未见大的岩层移动和变形,地表基本无变形发生<sup>[1]</sup>.可以肯定,用沙坝公路下的压矿,用磷石膏胶结充填采矿法开采,能很好地保护公路与附近村庄安全.

公路下矿体开采试验表明,保安矿柱开采回采率达到 79.64%,贫化率仅 4.52%,取得了良好的技术指标.开采用沙坝矿段公路下保安矿柱 2 200 万 t,可采出保安矿柱矿石量 1 753.2 万 t,预计该保安矿柱开采将实现经济效益 54.87 亿元;按年生产能力 25 万吨计算,年创直接经济效益 6 235.8 万元.截至 2007 年底,用沙坝矿段公路下保安矿柱累计开采了 71.3 万吨矿石.2008 年初,开始在用沙坝矿段南端非公路保安矿柱地段进行试验,试验结果表明,非公路下矿床开采时,矿床开采回收率达到 92.64%,贫化率为 4.59%.采用充填法采矿,充填直接成本为 35.22 元/吨,经济上能够承受,而且充填系统运行良好稳定.用磷石膏充填采场后,矿坑所排放的废水均达到国家污水综合排放标准,未对井下环境产生污染.磷石膏充填采矿试验取得了预期的良好效果.

3.3 结果分析

从试验结果中得出,对于用沙坝矿段公路下的压矿,运用磷石膏胶结充填采矿法开采,有效地保护了公路和附近村庄.磷石膏胶结嗣后充填采矿法不仅能保证矿山安全高效生产,提高矿石回收率,并且磷矿资源得到了充分的回收利用,效益显著;同时还能有效地保护矿山环境,解决空场法采矿形成地质灾害、矿山生产不安全等给地表工业设施、公路及房屋带来威胁的问题<sup>[3]</sup>.用磷石膏充填采空区,能够确保矿床安全开采,有效实现矿山无废害开采和磷矿资源的高效利用.

4 磷石膏充填采矿的技术经济和资源环境影响分析

4.1 磷石膏充填采矿的技术经济分析

尽管应用磷石膏充填采矿需投入一定的资金建充填系统,采矿成本高于空场法和崩落法,但磷石膏充填采矿可提高资源回收率、延长矿山生产服务年限,并节省大量磷石膏库征地费、建坝费、防渗处理费及运营管理费用等等,同时有效阻止岩层的移动,大量减少矿山井下排水量,节约大量排水费,经济效益凸显.开磷集团磷石膏胶结充填采矿法的主要技术经济指标<sup>[1]</sup>如表 3 所示.

表 3 磷石膏胶结充填采矿法主要技术经济指标表  
Table 3 Main tech-economic index for cut-and-fill mining method of phosphorous gypsum<sup>[1]</sup>

序号	指标名称	试验指标	备注
1	采出矿石量/万吨	6.8313	
2	盘区生产能力/(t·d <sup>-1</sup> )	1100	
3	公路下开采回收率/%	79.64	
4	非公路开采回收率/%	92.6	
5	矿石贫化率/%	4.52	
6	安全生产条件	好	
7	采准直接成本/(元·m <sup>-1</sup> )	309.57	
8	充填直接成本/(元·t <sup>-1</sup> )	35.22	水泥粉 煤灰充填

根据技术经济指标,开阳磷矿按矿区保有储量和远景储量 4.5 亿 t、生产规模 800 万 t/年计算,采用磷石膏充填采矿与原来采用的锚杆护顶分段空场法开采相比,矿石回收率提高 18%.由于回收率提高和公路地下保安矿柱矿量的开采,多采出矿石资源量约 1.10 亿 t,延长矿山服务年限 15 年,采出矿石品位提高 0.67%,每年消耗磷石膏约 300 万 t.虽然增加充填站建设投资 2.5 亿元,年采矿直接成本增加约 2 亿元,整个开采服务年限内增加投入约 230 亿元,但由于回收率提高和贫化率降低增加的矿石销售收入约 450 亿元.另外节省磷石膏库征地费、建坝费、防渗处理费及运营管理等约 27 亿元,经济效益十分显著.

4.2 磷石膏充填采矿的资源环境影响分析

采矿工业不可避免地破坏自然环境.开阳矿区各矿段全面建成充填采矿设施以后,将大大减少矿山废石和磷石膏等的堆放,矿区及其周围的环境将得到大幅度改善;同时山体崩塌和滑坡、泥石流、地面塌陷和裂缝以及水土流失等问题将得到有效遏制,有利于保护农民房舍的安全和田土不被破坏,大大减少矿农间的矛盾纠纷.

采用磷石膏充填采矿获得了节约资源和保护环境的双重收益,不仅节省土地,资源回收率提高,而且保护公路和村庄安全,减少工程地质灾害.特别是磷石膏用于充填采矿后,可大大减轻加工厂磷石膏堆存压力,有效实现资源开发与生态、环境保护的和谐统一.

5 结 语

磷石膏充填采矿技术在开阳磷矿用沙坝矿段的成功应用,对于实现磷矿资源无废害开采具有十分重要的意义,为磷石膏综合利用开辟了一种新的工艺和方法.在采矿试验成功的基础上,通过消化、改进、完善,现在已在矿区全面推广,除对用沙坝 1 号充填站进行原址扩建外,又建成了马路

坪矿充填站,用沙坝矿 2 号充填站、青菜冲矿充填站和沙坝土矿充填站正在建设中,开阳磷矿区即将实现磷石膏充填采矿的全面推广应用。

磷石膏作为充填骨料的充填采矿技术在开阳磷矿区的应用不仅减少了磷石膏的排放,改善了矿山的安全条件,而且可提高磷矿资源回采率并取得了良好的经济效益.可以预计,该项技术在全国其他矿区的推广应用,将为构建资源节约型和环境友好型绿色矿山发挥更大的作用,获得更大的经济效益和环境效益,其推广应用前景十分广阔。

## Application of phosphorous gypsum for cut-and-fill mining method and evaluation of its economic and environmental profits

*LIU Xiao-li , GAO Zhong-min , TANG Fei-yong*

(Changsha Design and Research Institute of Chemical Industry Ministry, Changsha 410116, China)

**Abstract:** Phosphate ore processing may produce a large amount of phosphorous gypsum as tailings, which occupies the land surface, and contaminates the environment as well. The application of phosphorous gypsum as a filling aggregate for mined area not only contributes a new method for tailing disposal, but also increases the recovery rate of phosphate ore, minimizes the destruction of surface, and improves the economic and environmental profits, and it is of great prospect.

**Key words:** phosphorous gypsum; cut-and-fill mining method; profit evaluation      本文编辑:陈小平



(上接第 4 页)

## A review and a prospect of collophanite exploitation and utilization of technology innovation

*LI Yao-ji , Ou Zhi-bing*

(Yunnan Phosphate Chemical Group, Co. , Ltd, Kunming 650600, China)

**Abstract:** Phosphate ore is the raw material of Production phosphate fertilizer, phoschemical industry and fine phoschemical industry. Although phosphate ore widely distributed in the crust and is very abundant, but it is rarely used to high grade ore directly, because of a long time, the complex geological structure and its scarcity. According to composition, phosphate ore is divided into apatite of magmatic rock type, phosphate rock of sedimentary type (known as collophanite) and apatite of metamorphic rock type. As we know, the medium low grade sedimentary phosphate rock accounts for more than 80% of total phosphate ore ,and it is difficult dressing in the world. Especially, Yunnan as the typical example. This article based on the reserves、development and utilization of collophanite resources, summarizes and reviews the leading enterprises of phosphate ore Mining industry at the Yunnan Province-the core of yunnan phosphate chemical group's exploiting collophanite, innovative achievements and leadership have been made in the international and domestic collophanite acquisition technology . A limiting factor of the exploitation and utilization bottleneck has been analyzd by the system. The technical route, direction and implementing of the technology industry strategy's idea of collophanite acquisition technology have also been put forward.

**Key words:** collophanite;exploit;technical innovation;look into the distance      本文编辑:陈小平