



# 我国磷矿选矿现状及其进展

李成秀<sup>1,2</sup>, 文书明<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;  
(2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**为了合理开发利用我国的磷矿资源, 本文从选矿工艺、浮选药剂以及选矿新设备等三个方面总结了近年来我国磷矿选矿现状及其进展, 并强调了高效浮磷药剂的研制在开发利用中低品位难选磷矿石中的重要作用。

**关键词:**磷矿; 工艺; 药剂; 设备

**中图分类号:**TD97.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2010)02-0022-04

## 1 前言

矿产资源是人类赖以生存和发展的物质基础, 是经济社会可持续发展的重要物质保障, 是我国快速发展的巨大支撑力量。磷矿是我国重要的战略资源, 它既是制取磷肥和生产黄磷、磷酸及其他多种磷制品的重要化工矿物原料, 也是保障食品安全的重要物质, 又是精细磷化工的物质基础, 在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。

我国磷矿主要分布在27个省、自治区, 其中湖北、湖南、四川、贵州和云南是磷矿富集区, 5省份已查明磷矿资源储量约占全国3/4。我国磷矿资源丰富而不富, 与世界相关国家相比, 我国磷矿在矿石质量和可选性等方面有较大的差异。我国磷矿富矿少, 中低品位矿多, 绝大部分磷矿必须经过选矿富集后才能满足磷酸和高浓度磷复肥生产的要求。在已探明的储量中, 沉积型磷块岩(胶磷矿)占我国总储量的85%, 且大部分为中低品位矿石, 矿物颗粒细, 嵌布紧密, 有害杂质多, 选矿难度非常大, 给我国磷矿的开发利用带来了一定的困难。特别是近年来, 随着磷矿资源的不断开发利用, 富磷矿和易选磷矿资源日益减少, 对中低品位磷矿, 尤其是中低品位难选胶磷矿的选矿工艺技术研究已迫在眉睫。面对全球

磷矿资源稀缺性日渐显现的挑战, 全面分析磷矿资源选矿技术现状, 重点了解难选磷矿浮选药剂的进展, 对我国磷矿资源的可持续发展具有重要意义。

## 1 磷矿石选矿技术现状及其进展

### 2.1 选矿工艺

目前, 磷矿的选矿工艺主要有浮选法、擦洗脱泥工艺、重力选矿、焙烧—消化法、化学浸取技术、光电选矿以及联合选矿流程等。

#### 2.1.1 浮选工艺

浮选一直被认为是磷矿选矿中最有效的方法。磷矿浮选法包括直接浮选、反浮选、正反浮选、反正浮选以及双反浮选工艺。1986年, 湖北荆襄王集建成150万t/a沉积磷块岩选矿厂, 采用直接浮选工艺选别胶磷矿, 但工业生产效果不是很理想, 尤其是对 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 和 $Fe_2O_3$ 含量较高的磷矿选矿, 难以达到理想指标<sup>[1]</sup>。罗惠华、钟康年等人<sup>[2]</sup>根据瓮福某胶磷矿的性质, 采用反浮选工艺, 结合新型磷矿抑制剂, 在原矿 $P_2O_5$ 品位为27.33%、 $MgO$ 为6.19%的情况下, 获得了 $P_2O_5$ 品位37.34%、 $MgO$  0.73%、回收率92.39%的磷精矿。辽宁某磷矿原矿 $P_2O_5$ 品位为19.41%, 葛英勇、王凯金<sup>[3]</sup>等人针对该胶磷矿原矿品位低、硅镁含量高、嵌布粒度细的特点, 采

收稿日期:2009-08-04; 改回日期:2009-12-03

作者简介:李成秀(1980-), 女, 工程师, 在读博士研究生, 主要从事矿产资源综合利用研究工作。

用正-反浮选工艺,以新型药剂 MG 和 SR 分别作正、反浮选的捕收剂,取得了混合精矿  $P_2O_5$  品位 32.07%、回收率 89.63% 的闭路试验指标,实现了目的矿物与脉石的有效分离。化工部连云港设计研究院对海口磷矿下层矿进行了连续扩大试验,该矿主要化学成分为: $P_2O_5$  22.31%、CaO 34.89%、MgO 3.29%、 $SiO_2$  22.37%,经反-正浮选,最终获得了  $P_2O_5$  32.46%、含 MgO 1.28%、磷回收率 73.40% 的磷精矿<sup>[4]</sup>。葛英勇、季荣、袁武谱等人针对远安低品位胶磷矿的性质,对  $P_2O_5$  品位为 18.21% 的胶磷矿,采用双反浮选工艺,取得了磷精矿  $P_2O_5$  品位 30.13%、回收率 80.74%、MgO 含量 0.93% 的选矿指标<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.2 “擦洗脱泥”工艺<sup>[6]</sup>

该技术主要用于风化型或含泥质物多的磷矿石。在云南滇池地区磷矿及其他地区的地表风化磷矿都可以采用此技术,并能获得很好的经济效益。此技术是将磷矿石进行擦洗、脱除淤泥,然后再筛分分级。“擦洗脱泥”是一种物理选矿方法,其工艺简单,可以露天生产,且不消耗化学药剂,因此对环境不会造成污染。

国外磷矿广泛采用这种技术。例如摩洛哥的胡里卜加选厂,处理能力为 100 万 t/a,其流程是用叶轮式洗矿机洗矿、分级,再用水力旋流器浓缩,离心机脱水。

国内云南滇池周围地区风化磷矿石经擦洗脱泥可得到优质磷精矿,是生产高浓度磷肥的理想原料。该地区到 1993 年底已投产竣工的擦洗厂处理原矿能力已达 300~350 万 t/a,是我国重要的磷矿基地。

#### 2.1.3 重介质选矿工艺

重介质分选是一种磷矿重选技术。湖北宜昌花果山磷矿重介质选厂是我国建成的第一座磷矿重介质选厂<sup>[7]</sup>。该厂以重介质旋流器为分选设备,介质加重剂为磁铁矿,采用一段洗矿脱泥和一粗一精重介质选矿流程,处理条带宽度在 2mm 以上,其中 30% 在 20mm 以上的以条带状构造为主的磷矿,为综合开发利用宜昌地区磷资源奠定了基础。随后,天地科技股份有限公司唐山分公司在多年重介质分选工艺研究基础上,经过不断的科技攻关,成功将无压给料三产品重介质旋流器应用于磷矿分选,并取得了较好的经济效益和社会效益。目前,在湖北宜昌花果山选矿厂、广远化工有限公司选矿厂和宝石

山矿业有限公司选矿厂,重介质旋流器选磷已得到广泛应用<sup>[8,9]</sup>。

#### 2.1.4 焙烧—消化工艺

该工艺适用于钙质磷矿,即碳酸盐含量高、硅酸盐含量低的磷矿石。采用焙烧—消化工艺, $SiO_2$  含量越低越好,最高不宜超过 5%。该工艺通常在 900℃ 焙烧含碳酸盐型磷矿石,碳酸盐矿物在高温下热分解放出  $CO_2$ ,然后加水消化使 CaO、MgO 水化,成为细粒状的  $Ca(OH)_2$  和  $Mg(OH)_2$ ,再利用脱泥、分级作业脱出钙、镁的氢氧化物,使磷矿富集。贵州瓮福磷矿扩大试验经焙烧、消化、脱除杂质后获得了  $P_2O_5$  品位 37.43%、含 MgO 1.27%、回收率 86.89% 的磷精矿。MgO 的去除率为 72.1%<sup>[10]</sup>。焙烧—消化工艺虽然过程简单,但对操作技术要求高,且焙烧所需能源成本较高,脱除的石灰乳处理困难等,所以大量推广应用难度较大。

#### 2.1.5 化学浸取技术

化学选矿是应用化学方法降低杂质含量,提高有用矿物纯度的一种选矿方法。该法主要适用于碳酸盐含量不高且嵌布粒度极细的钙质磷矿石和分离浮选精矿中的杂质。浸取剂可用氯化铁、硫酸或者二氧化硫等,其中常用硫酸。硫酸浸取技术,国内外已有大量研究和报道,其共同缺陷是用硫酸作浸取剂时,磷矿物损失率高达 15%~30%,在经济上很难接受,且设备要求高,加工成本高。

#### 2.1.6 电选技术

电选是根据各种矿物具有不同的电学性质,在矿物经过电场时利用作用在这些矿物上的电力及机械力的差异来分选的一种选矿方法。电选为干式作业,不产生废水和环境污染,设备结构简单,易操作维护,生产成本低,分选效果好,国外已经成功将电选法用于磷矿的生产中。阿尔及利亚 Diebelonk 磷矿采用电选法分离,当原矿  $P_2O_5$  品位为 24.9% 时,经一粗两精一扫,可得到含  $P_2O_5$  为 29.4%、回收率为 83.4% 的磷精矿<sup>[11]</sup>;美国佛罗里达州含  $P_2O_5$  15.50% 的矿石尾矿经过电选, $P_2O_5$  品位可提高到 34%,回收率达 80%<sup>[12]</sup>;段希祥、龚贵生<sup>[13]</sup> 等人在实验室用电选法选别江川清水沟磷矿,取得了良好的选别指标,为我国中低品位磷矿选矿提供了新的研究方向。

#### 2.1.7 联合选矿工艺

随着资源的不断开采,磷矿资源日益趋向贫、

细、杂、难,采用单一选矿工艺,很难获得优质的精矿产品,而联合选矿工艺可成为解决此类磷矿选矿的一条新途径。杨茂椿<sup>[14]</sup>根据晋宁、昆阳、海口中低品位胶磷矿的矿物特性,确定采用重—浮联合流程,结果表明,该工艺不仅可以获得较好的精矿指标,利用重选预选还可以减少入浮量,一定程度上降低选矿成本,为滇池地区中低品位胶磷矿的开发利用提供了一条切实可行的技术路线。中国地质科学院矿产综合利用研究所采用磁选—重选—浮选联合工艺流程处理内蒙古布龙图低品位磷矿,从  $P_2O_5$  品位为 8.33% 的原矿中选得  $P_2O_5$  品位为 31.39% 的磷精矿<sup>[15]</sup>。

除以上的几种选磷工艺外,还有光电拣选技术、磁罩盖法等等。但总的来说,浮选是磷矿选矿中最为有效、应用最广的选矿方法。

## 2.2 浮选药剂

浮选药剂直接关系到磷矿浮选结果的好坏。为此,广大选矿科技工作者付出了大量的时间和精力研制开发新型选磷药剂,目前已经取得了一些研究成果,有的新药剂已在生产上成功使用。

磷矿捕收剂主要分为改性脂肪酸、阳离子捕收剂、两性捕收剂、混合捕收剂等,磷矿选矿抑制剂主要有碳酸盐类抑制剂和含磷矿物抑制剂等。以下简要介绍最近几年研制的一些新型选磷药剂。

OT-8 是通过对棉油皂的复配而获得的磷矿捕收剂。在复配 OT-8 时,添加了少量的表面活性剂,这些表面活性剂可以促进脂肪酸类捕收剂在磷灰石表面上的吸附,改善矿物表面钙、镁离子的化学环境,增加脂肪酸在低温下的分散。采用 OT-8 捕收剂可提高矿物的疏水性,降低矿浆的浮选温度,实现低温浮选。OT-8 在低温 3~8℃ 下用于宿松磷矿和海州磷矿,都获得了较好的选矿指标<sup>[16]</sup>。

GE-609 是武汉理工大学研制的一种新型高效阳离子脱硅捕收剂。该捕收剂具有选择性好、捕收能力强、耐低温、浮选泡沫脆等特点。葛英勇等<sup>[5]</sup>研究发现,用阴离子捕收剂 MG 反浮镁、阳离子捕收剂 GE-609 反浮硅的双反浮选工艺处理低品位胶磷矿效果较好,可以较大幅度提高磷精矿  $P_2O_5$  品位。

高惠民、许洪峰<sup>[17]</sup>等人采用新型捕收剂 B-3 对湖北某磷矿进行了反浮选研究,结果表明,采用新型捕收剂,  $MgO$  的质量分数从 10.83% 降低到 1.

30% 以下,而且在常温下即可进行浮选,有效降低了选矿成本,最终获得的磷精矿  $P_2O_5$  品位大于 37%,回收率大于 82%。

为了提高沙特 Al-Jalamid 磷矿的磷资源利用率,张仁忠、令狐昌锦<sup>[18]</sup>利用瓮福磷矿生产的 WF-01 捕收剂对 Al-Jalamid 磷矿进行了选矿试验。研究表明,在不改变设计工艺的条件下,使用该药剂及一次反浮选工艺选别上、中、下层混合矿,精矿  $P_2O_5$  品位可达 33% 以上,回收率达 80% 以上,选矿效果显著。

唐云、张覃<sup>[19]</sup>为磷矿石浮选所研制的 TS 药剂在弱酸介质中能够反浮选胶磷矿,且该药剂价廉、无毒。在磨矿细度为 -200 目 73.5% 的条件下,以硫酸作抑制剂、TS 作捕收剂,采用一次粗选、二次精选的流程反浮选贵州某地磷矿,最终获得了磷精矿  $P_2O_5$  品位 37%、 $MgO$  0.5%、 $P_2O_5$  回收率 91.39% 的技术指标。

梁永忠、罗廉明<sup>[20]</sup>课题组以植物提取物为原料,加工制成一种环境友好型碳酸盐抑制剂 YY1。该药剂不仅对白云石等碳酸盐有明显抑制效果,而且对捕收剂还有一定的增效作用,可提高捕收剂的捕收能力。云南某磷矿在正浮选中添加 YY1 后,获得了较好的选别指标。

高效反浮选抑制剂 W-98 是磷酸类衍生物,有关研究<sup>[2]</sup>表明它与硫酸联合用作反浮选的抑制剂,可以有效抑制磷酸盐矿物,大大降低硫酸用量。罗惠华、程静<sup>[21]</sup>对四川马边碳酸盐型磷块岩进行了不同抑制法试验研究,结果发现在硫酸抑制法、磷酸和硫酸混酸抑制法和高效反浮选抑制剂 W-98 联合硫酸抑制法中,高效反浮选抑制剂 W-98 联合硫酸抑制法的分选效果较好,排镁率高。

## 2.3 选矿新设备

随着选矿设备的不断发展,一些新型高效选矿设备被用于磷矿选矿。磷矿专用三产品重介旋流器的成功研制以及新工艺系统的有效应用,填补了我国在高密度非磁性矿物分选技术领域的一项空白,采用磷矿专用无压给料三产品重介旋流器可以实现要求高分选密度的磷矿石的有效分选<sup>[22]</sup>。TDC1030P 型磁选机是一种磷矿专用新型磁选机,已经在国内多家选矿厂投入生产,并取得了良好的效果<sup>[23]</sup>。夏敬源、杨稳权<sup>[24]</sup>等人通过试验研究,认为浮选柱应用于云南中低品位胶磷矿浮选是可行

的。

### 3 结 语

中低品位胶磷矿的选矿是国内外选矿研究的一大难题。近年来,在广大科研工作者的不懈努力下,我国在磷矿选矿工艺、药剂和设备方面都取得了许多成绩,成功解决了部分中低品位难选胶磷矿的选矿问题,但要从根本上解决这一难题,还有待进一步深入研究,尤其是对浮选药剂的研究。浮选药剂是磷矿浮选的关键,因此,探索研制高效磷矿浮选新药剂势必成为目前乃至今后磷矿选矿的研究重点。

#### 参考文献:

- [1]方贤根. 我国磷资源的现状及开发利用对策[J]. 磷肥与化工, 2008, 11(6): 82~84.
- [2]罗惠华, 钟康年, 魏以和, 等. 抑制剂 W-98 在瓮福矿反浮选中的选矿研究[J]. 武汉化工学院学报, 2002, 24(4): 49~52.
- [3]葛英勇, 王凯金, 甘顺鹏. 低品位难选胶磷矿的正-反浮选工艺研究[J]. 矿冶工程, 2007, 27(5): 18~21.
- [4]骆兆军, 钱鑫. 国内外磷矿选矿的新进展[J]. 中国矿业, 1999, 8(4): 50~53.
- [5]葛英勇, 季荣, 袁武谱. 远安低品位胶磷矿双反浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2008(6): 7~10.
- [6]谭菲玲. 滇池风化磷矿擦洗脱泥装置述评[J]. 化工矿物与加工, 1995(2): 46~49.
- [7]符瑞良, 樊旭东. 宜昌磷矿重介质选矿的生产实践[J]. 化工矿山技术, 1993(2): 1~3.
- [8]马宏云, 崔亮. 重介质分选简化工艺在分选磷矿中的应用及研究[J]. 煤炭技术, 2008, 27(9): 133~135.
- [9]王金生. 重介质旋流器在宝山选矿厂的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(5): 195~196.
- [10]杨放, 杨利萍. 磷矿的选矿[J]. 矿产综合利用, 1997(6): 13~16.
- [11]Robert, D.. Ebrucgussenebt ekectruqye des phosphates conditionnes Ind[J]. Mineral, NoV. 1973, 203~231.
- [12]B. W. 克拉辛著, 郑飞译. 化学原料选矿(第一版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1984.
- [13]段希祥, 龚贵生, 戴惠新, 等. 云南磷矿资源开发利用与问题探讨[J]. 云南冶金, 2002(5): 18~21.
- [14]杨茂椿. 滇池地区中低品位胶磷矿重浮选矿试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2004(5): 3~5.
- [15]刘宁. 内蒙古布龙图低品位磷矿的利用途径研究[J]. 矿产综合利用, 1994(3): 1~3.
- [16]罗惠华, 王俊. 海州式磷矿低温浮选的研究[J]. 中国矿业, 2006, 15(10): 92~94.
- [17]高惠民, 许洪峰, 荆正强, 等. 湖北某胶磷矿反浮选试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2008(2): 4~6.
- [18]张仁忠, 令狐昌锦. WF-01 捕收剂在沙特磷矿选矿试验中的应用[J]. 化工矿物与加工, 2008(3): 7~8.
- [19]唐云, 张覃. TS 药剂在磷矿浮选中的作用研究[J]. 矿业研究与开发, 2003(3): 23~26.
- [20]梁永忠, 罗廉明, 夏敬源, 等. 磷矿浮选碳酸盐抑制剂应用研究[J]. 化工矿物与加工, 2009(2): 1~2.
- [21]罗惠华, 程静. 四川马边磷矿反浮选不同抑制剂法试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2007(11): 11~13.
- [22]孙华峰. 重介质旋流器在分选磷矿石中的应用[J]. 选煤技术, 2006(4): 54~56.
- [23]刘燕华. 磷矿重介质选矿领域磁选机的应用初探[J]. 选煤技术, 2007(6): 48~50.
- [24]夏敬源, 杨稳权, 柏中能. 浮选柱在云南胶磷矿选矿中的应用研究[J]. 矿冶, 2009(1): 10~14.

## Status Quo and Progress in Mineral Processing Technology of Phosphorus Ores in China

LI Cheng-xiu<sup>1,2</sup>, WEN Shu-ming<sup>1</sup>

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China;

2. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** In order to reasonably exploit china's phosphorus mineral resources, this article summarized the status quo and progress in mineral processing of phosphorus ores in china in recent years from three aspects of mineral processing technology, flotation reagent and mineral processing equipment, and particular emphasis has been placed on the important role of development of novel high-effective flotation reagents of phosphorus minerals for exploiting and utilizing China's medium-and low-grade refractory phosphorus ores.

**Key words:** Phosphorus ore; Technology; Reagent; Equipment