

# 硫化矿浮选中相似结构的起泡剂的浮选特性研究<sup>\*</sup>

周高云, 李俊旺, 叶岳华, 朴永超, 王立刚, 陈旭波

(北京矿冶科技集团有限公司 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628)

**摘要:**在浮选工艺条件及其它药剂条件相同的情况下,从铅锌矿物的硫化矿浮选回收的变化角度出发,考察两种相似化学结构的起泡剂聚丙二醇单甲基醚(DPM)和聚丙二醇单丁基醚(DPB)的浮选特性。通过分析在铅锌硫化矿的浮选试验结果中所表现的浮选速率的差异以及粗精矿各粒级的分布差异和有价值金属量的分布差异,研究了起泡剂DPM和DPB浮选特性的差异。研究表明:起泡剂DPB的浮选效率优于DPM。起泡剂DPB对回收较细粒级的铅矿物更有利,而起泡剂DPM对回收较粗粒级的锌矿物更有利。起泡剂DPB比DPM更有利于提高铅锌精矿的品位。

**关键词:**起泡剂;浮选特性;快速浮选;粒度分布;铅锌硫化矿

中图分类号:TD923<sup>+</sup>.12 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2019)02-0001-05

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.001

## Study on Flotation Behaviors of the Frothers with Similar Formation in the Flotation of Sulfide Ores

ZHOU Gaoyun, LI Junwang, YE Yuehua, PIAO Yongchao, WANG Ligang, CHEN Xubo

(State Key Laboratory of Mineral Processing Science and Technology, BGRIMM Technology Group, Beijing 102628, China)

**Abstract:** Under the same flotation process conditions and reagent regime, the flotation characteristics of two frothers (DPM and DPB) with similar chemical structure were investigated from the perspective of the flotation recovery change of lead-zinc minerals. The differences between these two frothers were estimated by analyzing the differences of flotation rates, size distribution of rough concentrates, and the amount of valuable metals. The results showed that the flotation efficiency of the frother DPB was higher than that of DPM. The frother DPB is more favorable for recovering the fine size lead mineral, while the frother DPM is more favorable for recovering the coarse size zinc mineral. Compared with DPM, DPB can improve the grade of lead-zinc concentrate.

**Key words:** frothers; flotation behavior; rapid flotation; size distribution; lead-zinc sulfide ore

起泡剂是浮选药剂中一类不可或缺的药剂。不同矿物及浮选工艺的差异对起泡剂的起泡性能影响较大,选择与之相适应的的起泡剂十分重要。在浮选过程中起泡剂的种类、用量和选择性是必须慎重考虑的因素<sup>[1-2]</sup>。泡沫浮选的工业实践普遍认为是一个复杂的工艺过程。矿物粒子的表面特性和晶体

结构是影响浮选工艺的十分关键参数<sup>[3]</sup>。浮选效率不仅取决于与矿物特性和结构相关的几种因素(如工艺矿物学、形态学、颗粒大小等)也取决于一些操作变数(如充气量、矿浆密度、药剂类型和用量等)<sup>[4-5]</sup>。矿物颗粒大小和回收率的关系一直是人们所关心的研究课题。据报道,在浮选中粗细颗粒

\* 收稿日期:2018-10-31

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973计划)(2014CB643402)

作者简介:周高云(1963-)男,研究员,主要从事选矿工艺和选矿药剂研究,E-mail:zhou\_gy@bgrimm.com。

的浮选行为遵循着不同的趋势<sup>[6-9]</sup>。在选矿发展史上,起泡剂及其作用被认识和利用并不比捕收剂晚,但对起泡剂的关注和重视程度远不如捕收剂。在浮选药剂的研究开发中,国内外学者往往更重视捕收剂和调整剂的研究,而对起泡剂的研发则相对较少<sup>[10-13]</sup>。起泡剂的结构类型显著影响着起泡剂的浮选行为,然而,有关起泡剂的详细浮选行为的报道却很少。生产实践中,起泡剂的重要性不如捕收剂,但起泡剂对选矿指标的影响不可忽视。

本文旨在通过分析具有相似化学结构的两种起泡剂(DPM 和 DPB)在铅锌硫化矿的浮选试验结果中所表现的浮选速率的差异以及粗精矿各粒级的分布差异和有价金属量的分布差异,研究其浮选特性的差异。对起泡剂的研发和应用有一定的指导意义。

### 1 试样及药剂与方法

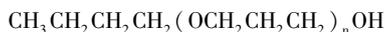
试验样品取自广东某铅锌矿。原矿中主要含铅、锌、硫三种有价元素,含量分别为 4.42%、8.15%、31.01%。主要金属矿物含量高达 60%,黄铁矿约占 40%。矿石中主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,少量白铁矿、毒砂、硫锑铅矿等。脉石矿物主要为石英、方解石、白云石,少量为绢云母和绿泥石等<sup>[2]</sup>。矿石中方铅矿、闪锌矿、黄铁矿嵌布致密,犬牙交错,接触界线不规则。矿石中的方铅矿属于粗细不均匀嵌布,以中细粒为主。方铅矿、闪锌矿和黄铁矿呈中细粒不均匀嵌布,粒度小于 0.074 mm 分别占 35%、17% 和 49%,小于 0.02 mm 分别占 16%、4% 和 8%。

试验药剂:丁黄药、乙硫氮为捕收剂(工业品),石灰为 pH 值调整剂,硫酸铜(化学纯)为活化剂,起泡剂为聚丙二醇单甲基醚(DPM)和聚丙二醇单丁基醚(DPB)(自制)。

DPM 的化学结构式是:



DPB 的化学结构式是:



浮选试验在 XF 型 1.5 L 挂槽浮选机上进行,磨矿细度为 -0.074 mm 占 85%,浮选捕收剂[*m*(丁基黄药):*m*(乙硫氮) = 1 : 1]与石灰一起加入球磨机中<sup>[14]</sup>。矿浆 pH 值保持在 12.6 左右。

浮选试验中,在铅浮选的第 1 min 内,连续收集泡沫,该阶段称为铅的快速浮选;在随后的 5 min 浮选内,连续收集泡沫,前 6 min 的浮选段称为铅的常

规浮选。在锌浮选的第 1 min 内,连续收集泡沫,该阶段称为锌的快速浮选;在随后的 4 min 浮选内,连续收集泡沫,前 5 min 的浮选段称为锌的常规浮选。筛分试验是采用国际标准筛进行水力筛分完成的。

### 2 两种起泡剂的浮选特性试验

起泡剂的浮选特性是矿物浮选中选择起泡剂的首要条件。起泡剂的用量、浮选速度和稳定性是起泡剂特性中最常用的影响因素。下面研究了起泡剂 DPM 和 DPB 在铅锌硫化矿浮选中的应用。

#### 2.1 硫化铅的快速浮选和常规浮选

为了比较两种起泡剂的浮选特性,在磨矿细度、矿浆 pH 值、捕收剂用量以及起泡剂用量不变的情况下,研究了不同时间段铅锌指标的变化。

铅浮选试验流程见图 1,试验结果分别见图 2、图 3。

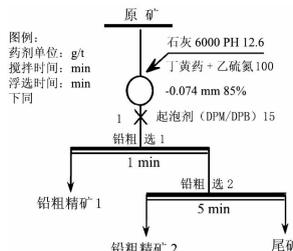


图 1 铅的浮选试验流程

Fig. 1 Flotation flowsheet of lead sulfides

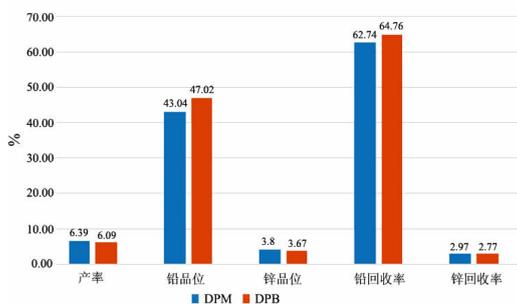


图 2 快速浮选中起泡剂 DPM 和 DPB 铅粗精矿 1 的浮选指标对比

Fig. 2 Flotation index comparison of rough lead concentrate 1 using DPM and DPB in rapid flotation

从图 2 试验结果可以看出,铅矿物的快速浮选中,当使用 DPB 时,铅粗精矿 1 的产率比使用 DPM 时低,但铅的品位和回收率都高。而锌的品位和回收率相对较低。说明使用 DPB 时,铅矿物得到了更快更有效的回收。在铅的快速浮选段 DPB 的效率比 DPM 高。

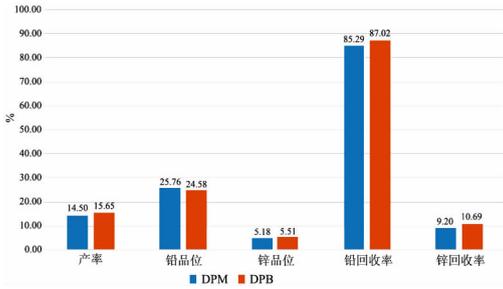


图 3 常规浮选中起泡剂 DPM 和 DPB 铅粗精矿的浮选指标对比

Fig. 3 Flotation index comparison of rough lead concentrate using DPM and DPB in normal flotation

由图 3 结果可以看出,铅矿物的常规浮选中,当使用 DPB 时,铅粗精矿(粗精矿 1 和粗精矿 2)的产率和铅回收率比使用 DPM 时高,但铅的品位稍低。粗精矿中锌的品位和回收率稍高。这种现象与铅的快速浮选的结果稍有不同。在铅矿物的常规浮选中闪锌矿和其它矿物的夹带有所增多。总体而言,铅的浮选段 DPB 的浮选效率高于 DPM。

## 2.2 硫化锌的快速浮选和常规浮选

为了研究两种起泡剂在锌硫化矿浮选中的浮选行为,进行了锌硫化矿的快速浮选和常规浮选。锌浮选给矿是铅浮选后的尾矿。在锌硫化矿浮选中铅锌先后浮选所使用的起泡剂是同一起泡剂。图 4 是锌浮选试验流程。图 5、图 6 是锌浮选试验结果。

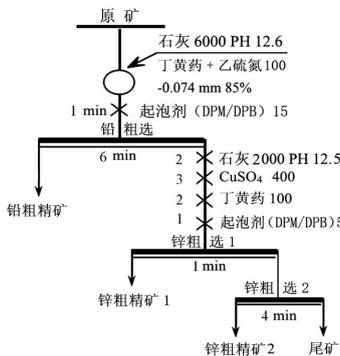


图 4 锌硫化矿的浮选流程

Fig. 4 Flotation flowsheet of zinc sulfides

从图 5 试验结果可以看出,锌矿物的快速浮选中,当使用 DPB 时,锌粗精矿 1 的产率和锌回收率比使用 DPM 时低,但锌的品位较高。锌粗精矿 1 中的铅品位和回收率相对较低。在锌的快速浮选中,当使用 DPM 时,锌矿物得到更快的回收。另外,在锌的快速浮选中,当使用 DPB 时,锌粗精矿 1 中的其它矿物的夹带量比使用 DPM 时少。

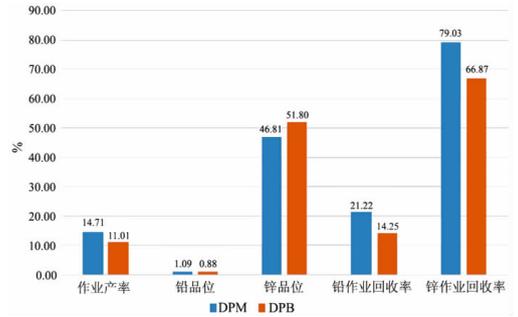


图 5 锌快速浮选中起泡剂 DPM 和 DPB 锌粗精矿 1 的浮选指标对比

Fig. 5 Flotation index comparison of rough zinc concentrate 1 using DPM and DPB in rapid flotation

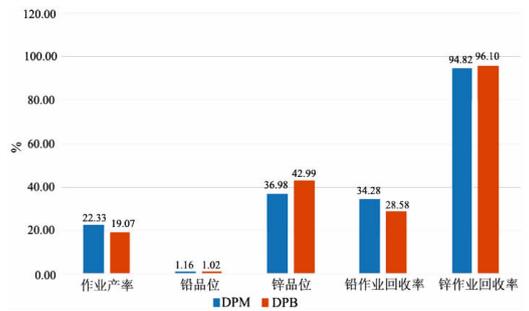


图 6 常规浮选中起泡剂 DPM 和 DPB 锌粗精矿的浮选指标对比

Fig. 6 Flotation index comparison of rough lead concentrate using DPM and DPB in normal flotation

由图 6 结果可以看出,锌矿物的常规浮选中,当使用 DPB 时,锌粗精矿(粗精矿 1 和粗精矿 2)的产率比使用 DPM 时低,但锌的品位和回收率稍高。锌粗精矿中铅的品位和回收率稍低。就锌回收率来说,这种现象与锌的快速浮选的结果稍有不同。在锌的常规浮选段,矿浆中所剩下的锌矿物得到了较充分的回收,而夹带的其它矿物并没有大量增加。在铅矿物的常规浮选中闪锌矿和其它矿物的夹带有所增多。亦即,在锌的浮选段中 DPB 的浮选效率高于 DPM。

## 3 铅锌快速浮选精矿粒级、品位及金属量分布分析

鉴于两种起泡剂在浮选中浮选特性的差异,对铅锌快速精矿进行了详细的粒级分析和各粒级主金属量的分析。

### 3.1 铅快速精矿的粒级分析和主金属量分布分析

图 7、图 8 是两种起泡剂铅快速精矿粒级分析

和主金属分布分析的结果(图中粒度单位是 mm)。

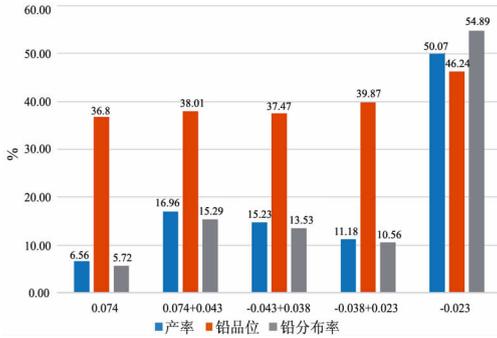


图7 使用 DPM 时各粒级的铅指标

Fig.7 Lead indexes of each size fraction using DPM

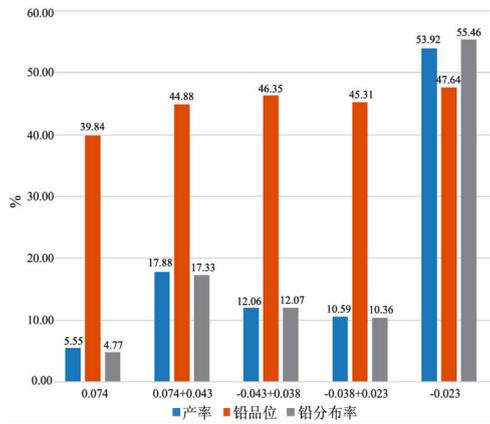


图8 使用 DPB 时各粒级的铅指标

Fig.8 Lead indexes of each size fraction using DPB

从图7、图8结果可以看出,在各粒度分布中较细粒度占绝大多数,而较粗粒度相对较少。当使用DPB起泡剂时,较细粒度(-0.023 mm)的分布率几乎比使用DPM时多4%,而粗粒度的分布相对较少。与此同时,最细粒度的铅品位最高,这也说明在这部分的夹带较少。从每个粒度的铅分布率可以看出最细粒度的铅的比例最大,说明起泡剂DPB比DPM更容易捕收细粒度的铅矿物。

### 3.2 锌快速精矿的粒度分析和主金属量分布分析

图9、图10是两种起泡剂锌快速精矿粒度分析和主金属分布分析的结果。

从图9、图10结果可以看出,在各粒度分布中较细粒度占绝大多数,而较粗粒度相对较少。然而,与铅快速浮选精矿相比,较细粒度相对少些,粗粒度相对多些。当使用起泡剂DPB时,每一粒度锌的品位都比使用DPM的高的多。这也说明锌快速精矿

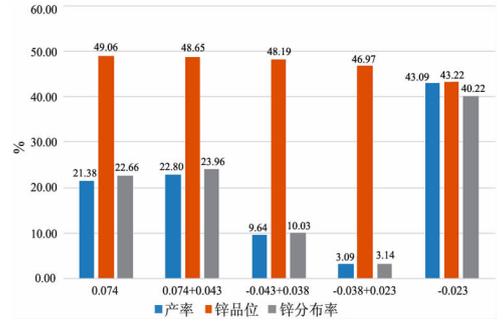


图9 使用 DPM 时各粒级的锌指标

Fig.9 Zinc indexes of each size fraction using DPM

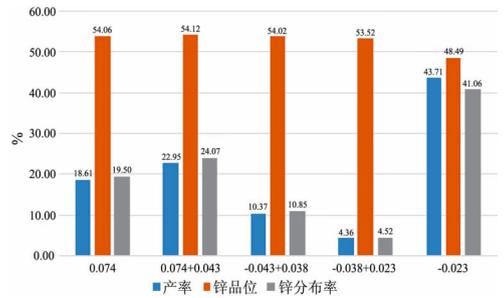


图10 使用 DPB 时各粒级锌的指标

Fig.10 Zinc indexes of each size fraction using DPB

中其各粒度的夹带量较少。同时,最细粒度(-0.023 mm)锌的品位是最低的,这说明了在最细粒度中有了较多其它矿物的夹带。从各粒度的锌的分布率来看,较粗粒度(+0.043 mm)的比例较大,锌品位最高。当使用DPM时,粗粒度的分布率比使用DPB时大,也就是说,起泡剂DPM比DPB更容易捕收粗粒度的锌矿物。

从起泡剂DPM和DPB的铅锌快速精矿的粒度分析、品位和主金属量分布分析结果可以看出两种起泡剂具有明显不同的浮选特性。起泡剂DPB对回收较细粒度的铅矿物更有利;而起泡剂DPM对回收较粗粒度的锌矿物更有利。起泡剂DPB有利于提高铅锌精矿的品位。

## 4 结语

(1)通过铅锌硫化矿的快速浮选和常规浮选试验,研究了起泡剂DPM和DPB的浮选特性,研究结果表明,在铅矿物的快速浮选和常规浮选中起泡剂DPB的浮选效率高于起泡剂DPM;在锌矿物的快速浮选中使用起泡剂DPB时锌快速精矿锌品位高,其它矿物夹带量比使用起泡剂DPM时低,在锌矿物的常规浮选中起泡剂DPB的浮选效率高于起泡剂

DPM。

(2)通过对铅快速精矿和锌快速精矿进行粒级分析以及对其主金属的分布分析可知,使用起泡剂 DPB 时比使用 DPM 时更有利于捕收细颗粒的铅矿物;使用起泡剂 DPM 时比使用 DPB 时更有利于捕收较粗颗粒的锌矿物。

(3)起泡剂 DPB 比 DPM 更有利于提高硫化矿中铅锌精矿的品位。

### 参考文献:

- [1] 张泾生,阙宣兰. 矿用药剂[M]. 北京:冶金工业出版社, 2008:545-621
- [2] 周高云,陈旭波,胡志强. 高效起泡剂的浮选特性及可生物降解性研究[J]. 矿产保护与利用,2018(1):72-75.
- [3] Klimpel R. The interaction of grind size, collector dosage, and frother type in industrial chalcopyrite rougher flotation [J]. Society for mining, metallurgy&exploration, 1993:80-93.
- [4] Hassas B · V, Caliskan H, Guven O, et al. Effect of roughness and shape factor on flotation characteristics of glass beads[J]. Colloids and surfaces A: physicochemical engineering aspects, 2016:492:88-99.
- [5] Ralston J, Dukhin SS. The interaction of particles and bubbles[J]. Colloids and surfaces A: physicochemical engineering aspects, 1999, 151:3-14.
- [6] Karakas F, Hassas BV. Effect of roughness on interaction

- of particles in flotation [J]. Physicochemical problem of mineral processing, 2016, 52(1):19-35.
- [7] Trahar WJ. A rational interpretation of the role of particle size in flotation [J]. International journal of mineral processing, 1981, 8(4):289-327.
- [8] Rahman RM, Ara S, Jameson GJ. The effect of flotation variables on the recovery of different particle size fractions in the froth and pulp [J]. International journal of mineral processing, 2012, 106:70-78.
- [9] Ahmed N, Jameson GJ. The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles [J]. International journal of mineral processing. 1985, 14(3):195-215.
- [10] Aldrich C, Feng D. The effect of frothers on bubble size distributions in flotation pulp phases and surface froths [J]. Minerals engineering, 2000, 13(10-11):1049-1057.
- [11] Gomez C O, Finch J A. Gas dispersion measurements in flotation cells [J]. International journal of mineral processing, 2007, 84(1-4):51-58.
- [12] Finch J A, Xiao J, Hardie C, et al. Gas dispersion properties: bubble surface area flux and gas holdup [J]. Minerals engineering, 2000, 13(4):365-372.
- [13] Tavera F J, Escudero R, Finch J A. Gas holdup in flotation columns: laboratory measurements [J]. International journal of mineral processing, 2001, 61(1):23-40.
- [14] 陈典助,肖晋开. 凡口铅锌矿选矿工艺流程更新浅析 [J]. 湖南有色金属,2001(1):12-15.

引用格式:周高云,李俊旺,叶岳华,等. 硫化矿浮选中相似结构的起泡剂的浮选特性研究[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):1-5.

ZHOU Gaoyun, LI Junwang, YE Yuehua, et al. Study on flotation behaviors of the frothers with similar formation in the flotation of sulfide ores [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(2):1-5.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)