

重介质旋流器在新疆某锂铍矿分选中的应用

Application of Heavy Medium Cyclone in Separation of a Lithium Beryllium Ore in Xinjiang

桂 鹏(恩菲雄安科技发展有限公司, 河北 雄安 070001)

摘要:近年来,针对选矿过程中原矿入选品位偏低和选矿费用偏高等关键问题,矿石预选技术日益受到选矿行业的关注,并在有色金属矿选矿中得到越来越多的应用。重介质预选技术的优势在于:减少进入磨矿与浮选流程的矿量,提升原矿品位,有效节约尾矿库容量。本文首先对重介质选矿技术进行简要介绍,进而详细阐述新疆某锂铍稀有金属矿重介质预选的实际应用案例,旨在为业界在锂铍稀有金属矿领域应用重介质选矿技术提供有价值的参考。

关键词:重介质旋流器; 预选; 选矿

中图分类号: TD953

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2024)04-0056-06

Abstract: In recent years, in view of the key problems of low grade of raw ore and high mineral processing cost in the process of mineral processing, the ore preseparation technology has been paid more and more attention by the mineral processing industry, and has been more and more applied in the non-ferrous metal ore processing. The advantages of heavy medium preseparation technology are: reducing the amount of ore entering the grinding and flotation process, improving the grade of raw ore, and effectively saving the storage capacity of tailings pond. In this paper, the heavy medium mineral processing technology is briefly introduced, and then the practical application case of heavy medium preconcentration of a lithium beryllium rare metal mine in Xinjiang is described in detail, aiming to provide valuable reference for the application of heavy medium mineral processing technology in the field of lithium beryllium rare metal mine.

Key words: heavy-medium cyclone; preliminary election; mineral processing

1 前言

重介质旋流器分选技术在选煤领域的应用已经非常广泛,其成熟度不断提升,这离不开我国科研力量的雄厚投入和设备技术的持续升级。这项技术以其宽泛的给料粒度、高精度分选、大处理能力、简易的工艺设备以及易于自动化操作等优点,成为了当前选煤领域的主导力量^[1-2]。为了解决原矿入选品位低下、选矿成本高昂等令人头疼的难题,旋流器预选技术应运而生,并在有色金属矿选矿领域得到了越来越多的应用。重介质预选技术以其独特的优势,降低了进入磨矿和浮选的矿量,提升了原矿品味,节约了尾矿库容量,从而降低了选矿成本。本文将首先对重介质选矿技术进行全面的概述,介绍其原理、特点和影响因素,以新疆某锂铍稀有金属矿为

例,详细论述重介质预选技术在该矿山的实际应用。通过对实际应用案例的深入分析,旨在为重介质选矿技术在锂铍稀有金属矿领域的应用提供有力的参考,推动该技术在我国锂铍稀有金属矿山的应用。

2 选矿重介质旋流器概述

2.1 重介质旋流器选矿工作原理

重介质旋流器,以其简洁的结构设计和高效的分选性能,在选矿行业中赢得了广泛的赞誉。其操作简便,仅通过调整外部操作参数和自身结构参数,便能轻松达到理想的分选精度,这是它相较于其他选矿方法的一大优势,它首先将重介质悬浮液和待选原矿加压送入给料口,物料在旋流器内部形成特定的流动模式。其中,物料在旋流器内形成下降外螺旋流和内部旋涡流。负压效应

[作者简介] 桂鹏(1988—),男,工程师,主要从事选矿工程设计。

[引用格式] 桂鹏.重介质旋流器在新疆某锂铍矿分选中的应用[J].中国矿山工程,2024,53(4):56-61.

促进内螺旋流与空气相互作用,形成上升内螺旋流,这种流动结构有效分离重矿物和轻矿物。重矿物从底流口排出,轻矿物从溢流口排出,这一分选过程不仅快速高效,而且能够确保分选结果的精确性。值得注意的是,空气柱的形成是旋流器分选过程中的关键环节。由于底流管与溢流管与大气连通,当旋流器中的两相流达到特定切线速度时,会在旋流器内部形成旋转流场,从而产生轴向负压。这种负压效应使空气从管道进入旋流器,形成空气柱。在分选时,颗粒密度决定其分离方向。若颗粒密度大于悬浮液,则受合力向外甩出。反之,则会被甩向内螺旋流。通过这种方式,重介质旋流器实现了对原矿的快速高效分选^[3-5]。

2.2 重介质旋流器的分类

重介质旋流器是工业生产中广泛应用的设备。其主要作用是对物料进行分级、浓缩和分离。根据其机体形状、给料压力以及产品种类的不同,重介质旋流器可分为多种类型,以满足各种生产需求。

从机体形状来看,重介质旋流器主要有两种类型:圆锥形和圆筒形。圆锥形重介质旋流器表面积大,利于提高分离效果,但结构复杂且制造成本高。相比之下,圆筒形重介质旋流器结构较简单,制造和维护成本较低,但在分离效果上略逊于圆锥形旋流器。

根据给料压力,重介质旋流器分为有压和无压两种。有压给料适用于高压、高浓度物料,分离效果好但能耗高。无压给料适用于低压、低浓度物料,能耗低但分离效果较差。

从产品数量来看,重介质旋流器可分为两产品和三产品两种。两产品重介质旋流器主要适用于分离具有两种不同密度的物料,而三产品重介质旋流器则可用于分离具有三种不同密度的物料。三产品重介质旋流器的应用范围更广,但结构更为复杂,制造和维护成本较高。

总之,重介质旋流器根据机体形状、给料压力和产品数量的不同,可分为多种类型,以满足不同生产场景的需求。在选择重介质旋流器时,应综合考虑物料特性、生产需求、能耗和成本等因素,选择最适合的设备类型。同时,重介质旋流器的正确使用和维护也是确保其发挥最佳性能的关键。在实际应用中,只有根据实际情况选择合适的旋流器类型,并做好设备的保养工作,才能充分发挥重介质旋流器的优势,为企业创造更大的效益。

3 重介质旋流器选矿过程中影响因素分析

1) 入选原矿特性

重介质旋流器在选矿过程中的关键地位不容忽视。选矿过程中,诸多因素均会影响重介质旋流器的工作效果,因此,全面了解和掌握这些影响因素,对于提高选矿效率具有重要意义。首先,我们要关注的是入料原矿的自身特性对重介质旋流器工作效率的影响。重介质旋流器是容积较小的封闭分选设备,具有一个入口和两个出口,体积流量相等,底流口和溢流口分配量固定。入料原矿密度组成变化影响分选效果,底流口排放能力有限,中等密度矿物和重介质可能被挤到溢流口,导致实际分选密度升高,降低分选效率。为提高选矿效果,需关注入料原矿密度组成,并采取有效措施减少影响。

2) 重介质悬浮液的稳定性

重介质在工业生产和实验室应用中均占据举足轻重的地位,其种类繁多、特性各异,对应用效果具有直接影响。具体而言,重介质主要涵盖重液和重悬浮液两大类。

重液是高密度液体,主要由高密度的有机溶液或无机盐类的水溶液构成。这些溶液在实验室中有着广泛的应用,如重力分析、分离矿物等。常见的重液有三溴甲烷、四溴乙烷、克列里奇液、杜列液、氯化锌的水溶液等。然而,由于重液具有毒性、腐蚀性、价格昂贵以及不易回收等特点,其在工业领域的应用受到了限制。与重液相比,重悬浮液具有更好的环保和经济性。重悬浮液是固体颗粒分散于水中形成的非均匀介质,这些高密度的固体颗粒,也被称为加重质或重介质,通常具有无毒、价格低廉等特点。常见的加重质有硅铁、磁铁矿、黄铁矿等,粒度一般在 -0.074 mm (60%~80%)。由于重悬浮液具有良好的环保性能和成本效益,其在工业领域得到了广泛应用。

在探讨重介质选矿这一概念时,我们实际上所指的是重悬浮液选矿技术的应用与实践。这种选矿方法利用加重质的性质,通过浮选、沉降等方法对矿物进行分离和提纯。重悬浮液选矿在国内外得到了广泛应用,取得了显著的成效。表1详细列出了常用加重质的性质,为选矿工作者提供了重要的参考依据。

表1 选矿常用加重质的性质

品种及化学成分	密度/kg·m ⁻³	配制的悬浮液最大密度/kg·m ⁻³	莫氏硬度
细磨硅铁(85% Fe, 15% Si)	6 900	3 100	7.3 ~ 7.6
喷制硅铁(85% Fe, 15% Si)	6 900	3 500 ~ 3 800	7.0
磁铁矿(Fe ₃ O ₄)	5 000	2 500	5.5 ~ 6.5
黄铁矿(FeS ₂)	5 000	2 500	6 ~ 6.5

在重介质选矿系统中,重介质悬浮液的质量和稳定性至关重要。旋流器内的浓缩过程对分选效率有显著影响。旋流器的工作原理是利用离心力将悬浮液中的颗粒分离出来,从而实现浓缩。然而,当加重质粒度较大时,颗粒之间的相互作用力会增大,使得颗粒难以被分离。这样一来,悬浮液的浓缩程度就会过度,导致分选效率降低。重悬浮液的浓缩度过大不仅会影响分选效率,还可能对选矿设备的运行产生不良影响。过高的浓缩度会使悬浮液的黏度增大,从而增加泵送和搅拌的能耗。过度的浓缩还可能导致悬浮液中的颗粒沉积,影响设备的运行稳定性。因此,为了提高重介质选矿系统的分选效果和运行稳定性,我们需要控制重悬浮液的浓缩度,一方面,要合理选择加重质的粒度,避免过大的粒度导致过分的浓缩。另一方面,还需要对旋流器的操作参数进行优化,以降低悬浮液的浓缩程度。

3) 旋流器的结构参数

重介质旋流器在金属矿和非金属矿的选矿实践中已经得到了广泛的应用,但其分选效率却存在很大的差异。这种差异很大程度上是由于外部工艺条件和内部结构参数的不匹配所导致的。因此,对于重介质旋流器的使用,我们需要在多个方面进行精确的控制,以达到最佳的选矿效果。

首先,旋流器的直径选择是一个重要的因素。直径选择需满足处理能力要求,确保分选离心力与矿浆体积通过量对应,过大或过小的直径都可能对分选效果产生负面影响。较大直径的旋流器可提高分选效率,但过大的直径可能会导致浪费。相反,直径过小则可能降低分选效率。其次,旋流器的圆柱长度也是需要考虑的因素。在一定范围内,旋流器圆柱长度的增加对分选有利。但如果过短,入料短路进入溢流的几率增加,影响轻产物质量。入料口形式和直径需严格控制。在重介质旋流器应用中,入料口常采用螺旋线或渐开线入口。入料口直径过大会影响分选效率,过小则降低入料粒度上限。底流口直径与重产物含量有关,与溢流口直径的关系

也很重要。底流口直径的改变会直接影响到分选密度,进而影响到轻产物产率。底流口加大,可能会降低分选密度,从而降低轻产物产率,相反,底流口减小可提高分选密度。入料压力控制是关键,增大压力可加速分选、提升处理量,但也会加强悬浮液浓缩,导致密度场不均匀,影响分选效果。

综上所述,要提高重介质旋流器的分选效率,就需要在旋流器直径、圆柱长度、入料口形式和直径、溢流口和底流口直径、分选压力等方面进行精确的控制。只有这样,才能最大限度地发挥重介质旋流器的优势,提高选矿效果。

4 重介质旋流器预选在锂铍矿选矿中的应用

4.1 矿石矿物组成

在我国新疆的一处锂铍矿中,矿石的矿物成分相对简单。除锂金属外,其他金属矿物含量不足1%,主要为钽铌铁矿和锰铁氧化物及其磷酸盐。锂矿物约占27%,以锂辉石为主,锂云母次之,此外还包括少量磷锂铝石和锂铁电气石。脉石矿物则约占72%,主要为石英和长石,伴有微量的磷灰石、绿泥石、闪石等。

锂辉石的化学式为LiAl(Si₂O₆),相对密度为3.03 ~ 3.22 g/cm³,锂云母的化学式为K(LiAl)₃[AlSi₄O₁₀](OHF)₂,相对密度为2.8 ~ 2.9 g/cm³,均较石英、长石等矿物的密度较大。由于构成矿石的各组分之间存在密度差异,这为实现重介质旋流器分选提供了先决条件。因此,可以利用重介质旋流器进行预选,锂辉石为重产品,而脉石则为轻产品。

4.2 分选工艺

新疆有色金属研究所近已对该锂铍矿成功实施了全浮选选矿试验与重浮联选试验。

全浮选试验的工艺流程主要包括以下几个环节:首先,将磨矿细度控制在-0.074 mm,占比72%,以保证矿物的充分解离。其次,采用两粗一扫三精的选锂工艺,对中矿(扫选精矿、精一尾、精二

尾、精三尾)进行再次筛选。选铍工艺为两粗一精,浮选锂粗精矿经过表面擦洗、弱磁选、摇床选别、强磁选等步骤,最终获得铌铍精矿和锂精矿。

重浮联选试验的工艺流程则分为以下几个阶段:第一,将原矿破碎至-6 mm,筛分筛上0.5~6 mm进行一次粗选一次扫选两段重介质旋流选矿。这一过程可以分离出重选精矿、中矿、重选尾矿。第二,将中矿与-0.5 mm矿石混合,再次磨矿至-0.074 mm占79%,然后进行锂铍浮选。同样采用先锂后铍的浮选工艺,选锂工艺为两粗一扫三精,

中矿(扫选精矿、精一尾、精二尾、精三尾)再选;选铍工艺为两粗一精。浮选锂粗精矿经过表面擦洗、弱磁选、强磁选、摇床选别,最终获得铌铍精矿和锂精矿。

全浮选试验与重浮联选试验的结果分别见表2和表3。为进一步了解重选产品的组成,研究人员还对它们进行了X射线荧光光谱定性分析、化学多项分析和矿物成分测定,结果见表4。这些数据为优化选矿工艺提供了重要参考。

表2 全浮选试验全流程闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
		Li ₂ O	BeO	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Li ₂ O	BeO	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
锂精矿	24.518	6.17	0.042	0.0079	0.018	87.48	24.2	55.5	52.9
铍精矿	0.43	1.48	6.19	0.012	0.015	0.4	62.4	1.5	1.3
铌铍精矿	0.082	0.33	—	1.61	3.76	0.02	—	37.7	35.8
尾矿	74.97	0.28	0.0076	0.00025	0.0011	121.1	13.4	5.3	10
原矿	100.00	1.73	0.043	0.0035	0.0082	100.00	100.00	100.00	100.00

表3 重浮联选全流程闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
		Li ₂ O	BeO	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Li ₂ O	BeO	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
重选锂精矿	14.35	6.27	0.016	0.0072	0.017	64.6	5.6	36	40
浮选锂精矿	7.0036	5.06	0.042	0.013	0.030	25.4	7.1	38.6	29.9
铍精矿	0.43	1.48	6.19	0.012	0.015	0.4	62.4	1.5	1.3
铌铍精矿	0.0064	0.95	0.043	10.78	26.33	—	0.1	9.5	12.1
弱磁物	0.12	1.85	0.026	0.024	0.086	0.2	0.1	0.9	1.7
重选尾矿	46.55	0.1	0.013	0.0008	0.0015	3.4	15	11.4	9
浮选尾矿	30.26	0.24	0.021	0.0002	0.0012	5.1	16	1.5	5.8
原矿	100.00	1.39	0.04	0.0031	0.0062	100.00	100.00	100.00	100.00

表4 重介质锂精矿分析结果

成份	Li ₂ O	BeO	Nb ₂ O ₅	Cs ₂ O	Rb ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	TFe	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂	MnO ₂
含量/%	6.27	0.016	0.017	0.0069	0.13	0.87	1.17	1.95	0.89	0.57	0.55	0.073	62.67	0.12

试验结果揭示出该矿藏中有价金属主要为锂和铍,其中锂矿物以锂辉石为主。为了评估这种锂铍矿的提取效果,我们对其进行了重浮联合工艺和全浮选两种方法的试验。结果显示,重浮联合工艺的锂回收率高达90.00%,全浮选则为87.48%。重浮联选工艺的优势在于能早丢早收,降低生产成本,这说明采用重介质预选的工艺是切实可行的。

在重介质选矿过程中,我们获得了锂精矿。其

Li₂O品位为6.27%,且含有害杂质,如Fe₂O₃ 0.89%、MnO₂ 0.12%、MgO 0.073%、Na₂O + K₂O 2.04% (化工级-1品级标准值2%)、P₂O₅ 0.57% (化工级-1品级标准值0.5%)。锂精矿的质量基本达到了我国YS/T261—2011化工级-1品级的质量要求。通过优化选矿工艺,我们不仅能够高效地提取有价金属,还能确保产品质量达到国家标准。

4.3 重介质预选

试验发现,当矿石的粒度控制在最大6 mm时,其解离度可以达到最佳状态。为了对该矿石进行高效的分选,进行了无压三产品重介质旋流器试验、有压两产品重介质旋流器试验以及两段有压两产品重介质旋流器试验。

无压三产品重介质旋流器选矿试验流程:矿石与水混合后,按照预设的重介质密度被送入重介质调浆桶。接着,通过渣浆泵将混合物送入一段重介质旋流器,实现与原矿的分离选矿。一段旋流器的溢流产物为尾矿,底流则进入二段旋流器进行精选。二段底流即为锂辉石精矿,溢流则为中矿。此外,旋流器产出的精矿、中矿、尾矿矿浆分别通过弧形筛进行矿介分离。筛下为重介质液,返回重介质液调浆

桶中循环使用;筛上产品则进入振动筛加水进行二次脱介。筛下的重介质经过脱水处理后,重新进入循环系统。

有压两产品重介质旋流器选矿试验流程:将加工好的矿石(6~0.5 mm)加入介质搅拌桶,与介质充分混合后,通过泵送入有压两产品重介质旋流器。通过调节不同重介质液的密度和压力,实现矿石的分选。最终,试验可以得到两个产品:精矿和尾矿。

两段有压重介质旋流器三产品流程:该流程分为两个阶段,第一段为收精试验,将精矿产率控制在25%左右;第二段为抛废试验,对第一段轻产物进行再次抛废。通过这种方法,可以有效提高重介质选矿试验的效果。试验结果见表5。

表5 重介质旋流器选试验结果

原矿		锂铍矿	
入选原矿品位(Li ₂ O,%)		1.39	
给矿粒度/mm		6~0.5	
方案	产品	指标(对原矿)	数值
无压三产品重介质旋流器	精矿	产率/%	12.30
		品位(Li ₂ O,%)	5.78
		回收率/%	50.61
	中矿	产率/%	17.87
		品位(Li ₂ O,%)	2.13
		回收率/%	27.11
	尾矿	产率/%	57.53
		品位(Li ₂ O,%)	0.32
		回收率/%	13.11
有压两产品重介质旋流器	精矿	产率/%	16.67
		品位(Li ₂ O,%)	5.66
		回收率/%	65.20
	尾矿	产率/%	71.60
		品位(Li ₂ O,%)	0.50
		回收率/%	24.75
两段有压量产重介质旋流器	精矿	产率/%	17.67
		品位(Li ₂ O,%)	5.38
		回收率/%	74.82
	中矿	产率(%)	18.25
		品位(Li ₂ O,%)	2.65
		回收率/%	30%
尾矿	产率/%	64.08	
	品位(Li ₂ O,%)	0.29	
	回收率/%	10	

无压三产品和有压两产品重介质旋流器选矿试

验,都能取得较好的选别指标,方案的特点如下:

1) 无压三产品方案

无压三产品重介质旋流器是一种高效的矿石分选设备,它通过利用重介质液与矿石的分离,实现对矿石的两段分选。在这种设备中,重介质液通过泵送进入旋流器,形成强烈的漩涡,而被选物料则依靠自重和旋流器的负压吸入旋流器的漩涡中。经过两次分离,一段旋流器的溢流成为尾矿,底流进入二段旋流器进行二次分离。最终,二段底流成为精矿,二段溢流则为中矿。

无压三产品重介质旋流器具有以下优点:①采用一套重介质液,可以生产三种不同的产品,工艺参数调节方便,系统流程简单;②给矿方式为无压给料,矿石靠自重和旋流器的负压吸入,设备损耗和生产功耗较低。无需泵送矿石,有利于减少矿石的次生泥化;③部分重介质尾矿品位较低,可直接抛废,降低入选矿量,减少磨浮工艺生产成本;④中矿产品可通过浮选综合回收,提高选矿综合技术指标;⑤适应性强,适用于各种类型矿石,工艺参数调整简单,入料粒度上限高。

无压三产品重介质旋流器也存在一定的缺点:①第二段的高密度介质液是由第一段浓缩生成的,无法精准调控;②厂房高度较有压旋流器高,占用空间较大;③调整一个参数会对三个产品产生影响,结构调整时需要综合考虑三个产品的产率和品位。

2) 有压两产品方案

有压两产品重介质旋流器是将矿石与重介质液预先混合,然后通过泵将混合物送入旋流器内进行分选,从而得到精矿和尾矿。这种分选方法的优点在于,系统流程简洁、设备结构简单、操作方便,且分选效率较高。对于那些简单易选的矿石,采用这种方法可以达到良好的分选效果。

然而,重介质旋流器也存在一些不足:①由于矿石与重介质液预先混合后,再通过泵送入旋流器进行分选,因此在生产运行过程中,设备的磨损较大,功耗也较高;②如果矿石中混有大颗粒杂物,可能会堵塞管道,导致需要拆卸管道寻找堵塞物,处理起来十分麻烦;③在搅拌桶与介质混合过程中,以及泵送至旋流器分选时,矿石容易发生过粉碎,产生次生粉矿;④受制于管道尺寸,矿石分选的上限较小。

从实验结果分析,三产品旋流方案可以抛除较

多的废石,得到部分精矿,但其精矿品位及回收率相对较低。相比之下,两产品旋流器的精矿品位及回收率较高,但废石品位偏高。为了解决这一问题,本项目推荐采用两段两产品旋流器的组合方案。一段旋流器用于收精,以获得较高的精矿品位与回收率;另一段旋流器的轻产品则由二段两产品旋流器进行处理,以降低废石品位。

5 结论

(1)重介质旋流器选矿技术在有色金属矿山中前景广阔,优势突出,备受业界关注。该技术能显著降低无需选别的脉石含量,减少能源消耗和生产成本,提升矿山经济效益。因此,它已成为提升有色金属矿山综合效益的重要途径之一,前景广阔。

(2)重介质旋流器各工艺参数相互制约、依赖。通过精细调节各参数及组合,可实现更优选别指标,这为提高选矿效率提供了巨大的潜力。

(3)锂铍矿重介质选矿作业采用一段收精、二段抛废的工艺流程,这种工艺具有灵活性,各产品的产率及指标均可调整。通过调整重选精矿产率及品位、重选废石产率及品位,可以适应未来市场和资源条件的各种波动,确保矿山生产的稳定性和可持续性。

(4)我国矿山企业应加大研发力度,不断优化和改进重介质旋流器选矿技术,为提高矿山经济效益、实现可持续发展做出贡献。同时,政府和企业也应给予更多的重视和支持,推动重介质旋流器选矿技术在我国有色金属矿山的广泛应用。

[参考文献]

- [1] 李建行,马旭山,周坤,等.重介质预选技术在选矿中的研究及应用现状[J].有色矿冶,2022,38(2):21-23.
- [2] 彭荣任.重介质旋流器选煤[M].北京:冶金工业出版社,1998.
- [3] 谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [4] 张雷.影响重介质旋流器分选因素的理论研究[J].水力采煤与管道运输,2016(4):17-21.
- [5] 夏自发,邓朝安,邹毅仁,等.提高锂辉石矿选矿指标的工程化关键技术研究[J].中国矿山工程,2022,51(3):68-72.