国外浮选机的应用及发展

王昌安
(武汉科技大学化工与资源环境学院)

摘　要: 论述了国外浮选机的应用及发展, 简要说明了其特点与工作原理, 并对其进行了扼要的比较。

关键词: 浮选机; 应用; 发展
中图分类号: TD456　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1009-5683(2005)03-0009-05

Application and Development of Foreign Float Cell

Wang Chang'an
(School of Chemistry and Resource Environment, Wuhan University of Science and Technology)

Abstract: The application an development of foreign float cells are discussed. The characteristics and working principle of the float cells are presented briefly and a simple comparison is carried out.

Keywords: Float cell; Application; Development

1　前言

浮选机是实现矿物分选的物理手段。在设计浮选厂时, 浮选机械的选型非常重要, 是决定选厂收益的重要因素。浮选机种类繁多, 从搅拌方式来看, 浮选机基本上可分成两类[1]: 空气搅拌式浮选机和机械搅拌式浮选机。

2　空气搅拌式浮选机

通过矿浆添加(瀑落式浮选机)或者通过鼓入或抽吸空气来浮选, 一般空气搅拌式浮选机生产低品位精矿, 运行非常可靠。空气不仅用来产出浮沫及通风, 也可用来维持悬浮液并使其循环。

2.1　Davcra 浮选槽

近来, 开发了Davcra 浮选槽(图 1), 其浮选效果与机械式浮选机相当。这种浮选槽内带有一起分割作用的垂直挡板。空气和料浆通过旋流式散射喷嘴注入。射入浆体的能量被垂直挡板消散。在槽体由挡板引起的高扰动区产生的气泡便捕收矿粒并散布空气。矿浆流过挡板进入浆体-泡沫脱离的静止区域。这种浮选槽可用于各种矿物的粗选或精选。在赞比亚的Chambishi 铜矿精选流程, Davcra 浮选槽已经取代了一些机械搅拌式浮选机。其运行费用低、占地面积小、浮选效率高。

2.2　浮选柱

浮选柱是近年来的重大发展, 并已越来越多地

尽快混合均匀, 最好的方法是选用较好的乳化剂。在相同的搅拌强度下, 选用较好的乳化剂可以达到尽快均匀混合的目的。因此, 今后要进一步研究高效乳化剂, 以利于缩短均匀混合的时间。

(2) 提高发泡速度。由于采用气泡敏化法的乳化炸药成本低, 所以现场混合装填的乳化炸药都采用这种方法来敏化。这种方法存在的问题是: 发泡速度相对较低。

2.4　在保证爆轰性能的前提下, 进一步降低乳化炸药成本

对于乳化炸药来说, 降低成本就是: ①尽量减少高级燃料的使用量, 多采用一些普通的燃料(如煤粉、沥青等); ②尽量采用气泡敏化方法; ③简化生产工艺; ④尽可能多采用现场混合装填技术等。

2.5　研究适应各种特殊要求的乳化炸药

乳化炸药应用得越广泛, 对它的使用要求就越多。在一些特殊爆破工程中, 根据具体情况研究一些与之相适应的乳化炸药。总而言之, 随着工业爆破技术的发展, 必将促进乳化炸药广泛地应用和发展。

(收稿日期 2004-12-30)

王昌安, 430081 湖北省武汉市。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在工业中使用。主要优点是: 可以提高分离效果(尤其对于细粒矿物)、投资及运行费用低、所需空间小以及便于自动控制。

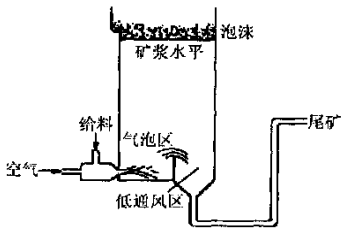


图 1　Davcra 浮选槽

浮选柱最初由加拿大开发, 用于钼精矿的精选。1980 年, 加拿大的Mines Gaspe 公司在选钼流程中安装了两套浮选柱装置, 并取得了很好的效果[3]。在精选系列, 浮选柱取代了机械搅拌式浮选机。北美的许多铜-钼生产厂, 在钼精选中安装了浮选柱。在国际上已广泛使用, 且已扩展到各种矿石粗选、扫选和精选。

浮选柱的典型构造见图 2。由两部分组成, 在给料点的下部(回收段), 由浮选柱底部喷嘴产生出大量的上升气泡, 与水体中下降的悬浮颗粒接触[2]。可浮颗粒同气泡碰撞并粘附其上, 随其转运到高于给料点的洗矿段。不可浮选的矿物则从浮选底部作为尾矿分离。脉石颗粒与泡沫松散相连, 或遇到泡沫滑流, 重新被带回回收段, 这样可以减少精矿的污染。冲洗用的水也可用来阻止向上的给入料浆流不会流出精矿出口。在浮选柱内有一向下的流体, 阻止大量给料矿浆进入精矿。

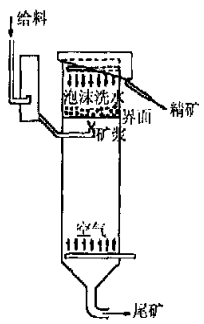


图 2　浮选柱

美国矿山局最近采用浮选柱与传统的浮选方法对Montana 铬铁矿作了浮选比较, 结果表明浮选柱在浮选分离过程中改善了矿物的物理性能[4]。由此浮选柱浮选含有氟石、锰、钛、钯及其他矿物的研究也进一步展开。美国的联合Coal 公司开创了用浮选柱方法对细煤浮选的先例[5]。将来, 浮选柱有可能在处理细磨矿石及随后的脱细与多阶段精选中得到更广泛的应用。

Jameson 浮选机[6](图 3)。给料与气流在顶部的垂直下导管混合器中接触。空气和液体的混合物从管中流出到浆池里, 这个浆池在浮选柱的底部。泡沫被释放并上升到浮选柱的顶部流入精矿槽, 而尾矿从容器的底部排出。该装置的主要优点是浮选柱的整个高度只有 1m, 并且自我进行空气补给。

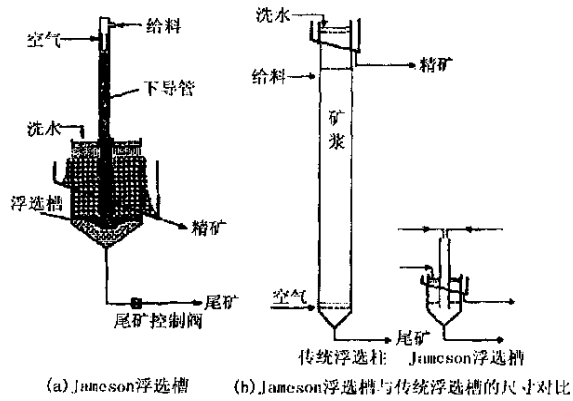


图 3　Jameson 浮选槽与传统浮选槽的尺寸对比

Jameson 浮选机是由Mount Isa 矿物有限公司以及澳大利亚Newcastle 大学联合研发出来的。目前广泛应用于澳大利亚的Mount Isa 矿物有限公司以及其它矿业公司的精选工艺[7]。在Mount Isa 矿物有限公司的电解萃取车间, 该浮选机还有一种新的用法, 即从富铜电解液中回收被带走的有机质。

2.3　泡沫分选机

泡沫分选机是由苏联于 1961 年发明生产的, 截至 1972 年, 泡沫分选机已经处理了 8Mt 各种矿石[8]。其工作原理: 将调和好的给料卸放在泡沫床的顶部, 疏水颗粒保留下来, 而亲水颗粒将通过泡沫床而分离出来(见图 4)。这种方法尤其适应于粗颗粒的分离。矿浆被引入到机器的上部, 在进入通气槽前溅落到挡板上, 矿浆在通气槽处被很强烈地充气, 之后进入泡沫床水平顶部浮选。渗透过泡沫矿床的水和固体物从通风管之间穿过, 进入到锥形槽里。这些通风装置 40～60/cm^3 个细孔的橡胶管, 吹入空气气压有 115kPa。有两个泡沫排放口, 每个1.6m 长, 可以处理浓度在 50%～70% 的矿浆50t/h。虽然在西方很少使用, 可它们在处理粗粒物料方面有很大的潜力, 可达机械浮选法的十倍。浮选粒级上限约 3mm, 一般给料范围为 75μm 到 2mm。而对浮选时间作用恰好相反, 增加浮选时间将降低回收率, 但可提高精矿品位。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

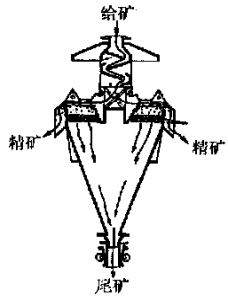


图 4　泡沫分选器

3　机械搅拌式浮选机

机械搅拌式浮选机应用最广泛, 最显著特点是机械驱动叶轮搅拌矿浆, 并将进入的空气分散成小气泡。这种机器是自我通风, 叶轮产生的低压引入空气, 或者通过鼓风机加压引入。叶轮之间的堰将浮选槽分开。

在最近几年, 尤其是在基本金属矿石浮选方面, 有一个最明显的趋势: 就是逐渐向大容量的浮选机方向发展, 减少投资和运行费用, 尤其是自动控制应用于浮选控制后。在 20 世纪 60 年代中期, 浮选槽的容积通常是 5. 7m^3 或者再小一些, 而现在容积在 8. 5m^3、14. 2m^3、28. 3m^3, 还有增大的趋势。这些制造商有 Denver Equipment (36. 1m^3)、Galigher (42. 5m^3)、Wemlo (85m^3)、Outokumpu Oy (38m^3) 和 Sala (44m^3)。

现在使用的浮选机器大多是"开放流程"型, 因为比起"槽对槽"类型的机器, 它们产量更高, 更容易维修。Denver"Sub-A"是最有名的"槽对槽"机器, 在过去广泛地应用于小选厂和多段精选流程, 浮选槽间料流靠叶轮输送。现在生产的浮选槽容积达 14. 2m^3, 而且大多数用作煤的精选设备。

3. 1　Denver 浮选机

浮选装置悬在一个独立的四方形浮选槽中, 四方形浮选槽靠溢流堰与毗邻的浮选槽分开 (图 5)。给料管把前面浮选槽溢流下来的矿浆流传导到下一个浮选槽中, 这个传导过程要通过叶轮抽吸作用才能完成, 叶轮的抽吸作用使空气沿轴竖管流入。气流在叶轮的作用下转变成小气泡, 密切地和矿浆混合, 进入旋转叶轮之上的浮选槽中。叶轮的正上方是固定的罩子, 它会阻止机器关闭时叶轮激起的浆流。紧挨着罩子的是 4 个档板叶片, 矿浆通过它们几乎散射到浮选槽的各角落, 可防止叶轮上矿浆的搅动和涡流, 因此产生了一个静止区域, 载矿气泡在上升时不被冲刷 (冲刷能引起矿粒下落)。满载矿物的气泡在这个区内从脉石中分离出来, 向上形成一个泡沫, 当这些气泡移动到矿浆表层, 会被连续泡沫的挤压带到溢出嘴, 而泡沫的快速排除, 是通过泡沫刮板的促进来完成的。

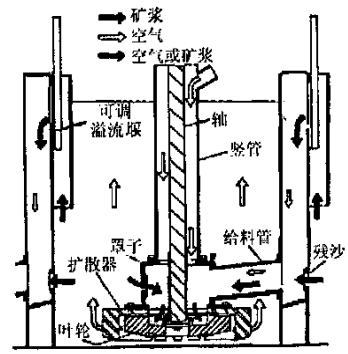


图 5　Denver 式辅助通风浮选槽

浮选槽里流出的矿浆从可调性的尾矿溢流堰上流过, 而后又进入下一个浮选槽的叶轮上, 并被再次强烈搅拌和充气。太沉的不能从尾矿溢流堰中流出的颗粒, 则通过沙子排口排出, 这样就阻止了在浮选槽中粗颗粒的沉积。

进入矿浆的空气数量取决于叶轮的转速, 线速度通常在 7～ 10m /s。速度增加空气量也将增加, 但是在一定的情况下, 对矿浆超速搅拌, 也会增加叶轮磨损和能量消耗。在这种情况下, 可通过外部的鼓风机, 沿着竖管鼓入更多的空气增压。

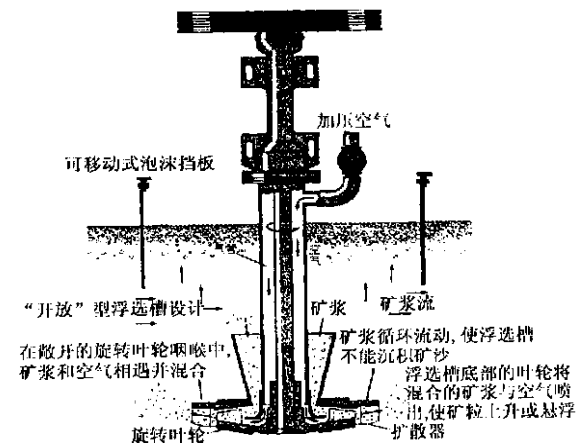


图 6　Denver 式 D-R 浮选机

Denver D-R 浮选机需要加压 (图 6), 容积为 2. 8～ 36. 1m^3, 是为处理量更大的浮选机而开发的。这些浮选槽装置的特点是没有中间的间壁和溢流堰。单个浮选槽中的供料管被取消, 矿浆可以没有干涉地自由流过。矿浆的水平高低将由在末尾的单个尾矿溢流堰控制。浮选效率提高, 操作简单。现大多数大型浮选厂使用"自由流入"类型的浮选机, 还配备了对矿浆水平高低和其它变量的自动控制装置。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2　Wemco Fagergren 浮选机

最广泛应用的浮选机是Wemco Fagergren(图7),其容积可达 85m³。现代 1+1 设计,由一个转子扩散装备取代了叶轮,浮选槽通常包含一个长方形的、被分为几个部分的槽,每个部分包括一个转子扩散装备。供料口在第一个部分下面,尾矿穿过这些间壁从一个部分到另一个部分,泥浆水平由末尾的尾矿溢流堰控制,泥浆穿过每一个槽,或是每个部分,由于旋转所产生的抽吸作用,将它们吸入到转子中,这个转子也从竖管中吸入空气,不需要外部的鼓风机。被分散剂分散成小且稳定的气泡前,空气完全和矿浆混合,通过矿浆突然旋转,形成一个固定的、有棱纹的、有穿孔的地带,包围着转子。

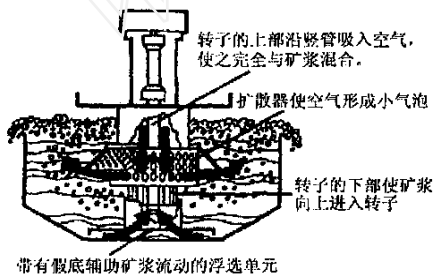


图 7　Wemco Fagergren 式浮选槽

3.3　加压浮选机 Galigher Agitair[9]

这个系统设计中,由于重力压差的作用,矿浆在浮选槽中直线穿过,这种机器常用于大型选厂。容积可高达42.5m³,在其固定挡板系统内,有一个可单独旋转的叶轮。空气通过围绕叶轮轴的空心竖管鼓入,并被剪切成很小的气泡,对每个部分空气的体积单独控制。矿浆深度由系列末尾卸料的溢流堰栅或镖阀控制,然而,每个槽中泡沫的厚度可通过改变泡沫溢流堰栅的大小来控制,这种浮选机会产生大量的泡沫,在处理可浮性较差的矿石时能发挥优势,要求大泡沫柱帮助弱性颗粒溢出。

3.4　Outokumpu Oy 浮选机

Outokumpu Oy 是芬兰最大的矿业公司,有几个碱金属矿和选矿厂,尤以其精制产品而闻名,包括OK 浮选糟的系列产品。使用大型浮选机器,不仅可以降低成本,而且液面和通气等易于进行自动控制。1970 年,该公司开发了这种新的浮选装置。最初的研究是在 Pyhasalmi 选矿厂进行的[10],1972 年,Prototype OK-3(3m³ 浮选机)在铜浮选流程中进行试验。1973 年,铜粗选和扫选区所有的Agitair 机都被OK-3 浮选机取代。1975 年,在锌流程中装备了OK-16 浮选机。1981 年,进行黄铁矿浮选的全部 56 个小槽被只有两个糟的OK-38 浮选机所取代,1983 年,样机OK-60 在这个流程进行了试验测试。

OK 机的叶轮有很多垂直狭槽,向下逐渐变细,在叶轮的顶部被一个水平的圆盘所封闭(图 8)。当它旋转的时候,在这些狭槽中的矿浆被加速,并发射到直径最大处,空气被沿轴吹入,矿浆和空气流就会在转子和定子间隙处相互接触。然后充满了空气的矿浆就会离开这个装置到浮选槽各处。矿浆流被离底部很近的狭槽中进入的新矿浆所取代,在底部附近直径和圆周的线速度变小了,因此叶轮就相当于一个抽气泵。从槽底部抽吸矿浆,然后排出。U 形槽使流程缩短到最短,因为矿浆流向槽底,而且由于转子的抽吸作用,新的给料将直接沿着装置流入。现在,世界上许多选厂使用OK 浮选机。

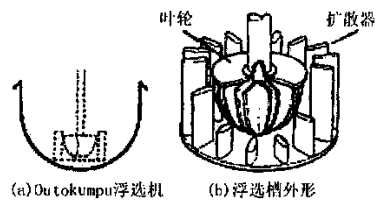


图 8　Outokumpu 浮选机构

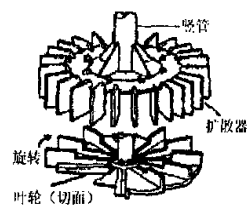


图 9　Sala As 浮选机构

3.5　Sala As 系列浮选机

Sala As 系列浮选机容积范围在1.2～44m³,在设计上不同于以上所述机器。大多数机器设计是为了提高理想的混合条件,形成的垂直流可以保持固体物悬浮。Sala 设计(图 9)缩短了垂直循环路线。在矿浆中自然的层化有利于浮选。叶轮被安装在一个不可移动的罩子下面,罩子伸出浮选机,并支撑固定的扩散器。叶轮是一个平盘,两面都有很多垂直放射状叶片,上部分的叶片将吸入竖管的空气排出,而下部叶片则从浮选槽底部中心将矿浆排出。所有流进叶轮的矿浆流都来自下部。充气的矿浆通过传统的圆形转子排出。虽然浮选槽相对较浅,叶轮直径相对很大,但这样就阻止了浮选槽角落里的沙尘沉积。空气被分散成较均匀的细气泡,尤其适于细粒浮选。这个机器通常用于处理各种原料,包括铁矿、碱金属、煤矿和非金属矿石。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4　浮选机的比较

评价浮选机性能的主要标准在于: ①分选指标。比如说产品的回收率和品位; ②单位容积的处理能力; ③经济效益。比如初始投资, 运行和维护费用。

机械搅拌式浮选机之间的区别不是很大, 浮选机比较的基本问题就是要求不止一种选择捕收功能; 要求以最小浆量获得捕收固体物到精矿产品中, 从浮选机中获得的回收率取决于泡沫排出率, 反过来它又可以被工艺参数所影响, 如药剂添加量、叶轮转速、矿浆-泡沫界面的位置和通气效果。研究表明在所有机械搅拌式设计中, 气泡大小在0. 1～1mm。机器定子不能改变气泡大小, 只能改变其在槽中流动的类型[11]。

Arbiter 和 Harris[12]对机械搅拌式和空气搅拌式浮选机进行了大量的比较试验, 结果表明, 前者优于后者。Gaudin[13]指出机械搅拌式浮选机能更好地适用于难分选矿石, 尤其是矿物颗粒较细时。叶轮对颗粒表面细泥有清洗效果。Clingan 和McGregor[14]对美国的浮选柱进行了调查, 所有浮选柱均作为精选和扫选使用。所有操作者表示浮选柱的应用改善了分选指标, 操作更为简便, 运行成本更低。

Young[15]对各种浮选机的效果进行了分析, 并联系基本浮选指标对机器性能进行了讨论, 对疏水类物质回收入泡沫产品, 而使矿浆中亲水物质尽可能多的保留以获得好的分选效果。回收率取决于矿粒-泡沫接触机理, 这可能是上升的气泡和下落的颗粒间形成"过程气泡"。"过程气泡"的形成需要相对静止的条件, 这在机械搅拌式或Davcra 式浮选机中难于做到。机械搅拌式浮选机的叶轮可看作在空心模型中运转的涡轮, 气泡在尾部上形成, 也就是叶轮叶片低压的那一面, 然而矿浆流主要在高压的这一面富集。因此, 空气和矿浆流在一定程度上被分开, 空气在颗粒上沉淀的可能性和颗粒与新生气泡之间接触的可能性变小了。因此, 机械搅拌式浮选机叶轮对颗粒气泡接触不是理想的设备。而在Davcra 浮选机的管口会更有效, 这就是Davcra 浮选机与一个短系列机械搅拌式浮选机可获得同样回收率的原因。

在浮选柱中, 颗粒和气泡的接触仅以过程气泡方式接触, 这是理想的取代机器, 机械搅拌槽是理想的混合机。对于浮选柱, 颗粒和气泡粘合的条件更好, 已建立的粘合被打散的趋势越小, 取得的回收率越高。

矿浆扰动能降低其选择性, 浮选柱也是通过泡沫冲洗改善其选择性, 这方面要低于Dacvta 浮选机, 但优于机械搅拌式浮选机。然而, 泡沫分选机对细粒给料分选效果不太好, 因为细粒亲水颗粒必须通过泡沫床落下而汇集入尾矿, 这一点很难取得。

机械搅拌式浮选机器主导了西方工业, 究其原因是商业现实而不是其设计的完美。西方主要制造商仅生产这种类型, 所以大多数浮选工程师们也只熟悉这一种。但是, 在未来, 机械搅拌式浮选机将无疑地会遭遇到来自其他类型机器的挑战。对于需特殊处理的矿石, 大量的其它类型机器应在选厂得到合理使用。

参 考 文 献

[1] Brewis, T. (1991). Flotation cells, Mining Mag. 164(June) 383.

[2] Murdock, D. J., and Wyslouzil, H. E. (1991). Large-diameter column flotation cells take hold. Engng. and Min. J. 192 (Aug.) 40.

[3] Cienski, T., and Coffin, V. (1981). Column flotation operation at Mines Gaspe molybdenum circuit, Can: Min. J., 102, (March), 28.

[4] McKay, J. D., et al. (1986). Column flotation of Montana chromite ore, Minerals and Metallurgical Proocessing, 3 (Aug) 170.

[5] Chironis, N. P. (1986). Cell creates microbubbles to latch on to finer coal, Coal Age, (Aug.), 62.

[6] Kennedy, A., The Jameson flotation csll. Mining Mag. 163 (Oct) 281.

[7] Clayton, R., Jameson, G. J., and Manlapig, E. V. (1991). The development and application of the Jameson cell. Minerals Engineering 4(7～11) 925.

[8] Malinovskii, V. A., et al. (1973). Technology of froth separation and its industrial applications, Trans. 10th Int. Min. Proc. Cong., paper 43, London.

[9] Sorensen, T. C. (1982). Large Agitair flotation design and operation, XIVth Int. Min. Proc. Cong., Paper No. VI-10, CIM, Toronto, Canada, (Oct.).

[10] Wills, B. A. (1983). Pyhasalmi and Vilhanti concentrators, Min. Mag., (Sept.), 176.

[11] Harris, C. C. (1976). Flotation machines, in Flotation: A. M. Gaudin Memorial Volume, AIMME, New York, 753.

[12] Arbiter, N., and Harris, C. C. (1962). Flotation machines, Froth Flotation 50th Anniversary Volume, AIMME, New York, 347.

[13] Gaudin, A. M. (1957). Flotation, McGraw-Hill, New York.

[14] Clingan, B. V., and McGregor, D. R. (1987). Column flotation experience at Magma Copper Co. Minerals and Metallurgical Processing 4(Aug.) 121.

[15] Young, P. (1982). Flotation machines, Min. Mag., 146, (Jan.), 35.

(收稿日期 2005-01-24)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net