

选矿文集

选矿过程的强化

3

冶金工业出版社

2527
364
813

选 矿 文 集

第 3 辑

选矿过程的强化

冶金工业出版社

选矿文集(第 4 辑)

选矿过程的强化

編輯：彭蘊庭 設計：周广珍 朱英 校对：胡瑞华

冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲45号)
北京市書刊出版業營業許可証出字第033号
國家統計局印刷厂印 新华書店發行

1959年7月第一版

1959年7月 北京第一次印刷

印数 3,520 册

开本 850×1188·1/32·100,000字·印張 4·

統一書号 15062·1730 定价 0.50 元

編者的話

选矿是冶金工业中不可缺少的一环，几年来，随着国民經济的不断发展，我国选矿工业也已取得很大成就。过去几年来从其他国家、特别是从苏联介紹过来的选矿先进經驗，在提高我国选矿技术水平和丰富我国广大选矿工作者的知識等方面起了很大作用。

但是，直到目前为止，我国还没有一本全国性的选矿技术刊物，过去有关选矿方面的技术經驗，大都散见于一般综合性的刊物上，讀者参考起来很不方便。

因此，为了更好地报导国内外先进选矿科学技术成就，在一定程度上弥补上述缺点以滿足讀者需要，我們准备将国内外有关选矿方面較好的技术资料，尽可能按内容分类汇集成冊，以“文集”的形式不定期出版。

本冊(第三輯)着重介紹強化选矿过程的各项主要措施，簡明扼要地論述矿石自磨、銅矿石选矿方法及回水利用等問題，对于我国各选矿厂的生产人員很有参考价值。

“选矿文集”的編輯出版工作对于我們來說是一个新的嘗試，尚缺乏經驗。因此，一定会有很多缺点，希望讀者能在选题、内容等方面提出改进意見，並在供稿方面給予支持，从而使“选矿文集”能成为我国广大选矿工作者所喜爱的讀物，並发挥它更大的作用。

目 录

磨矿机以超临界速度旋轉时的矿石自磨……	
芬兰 P. T. 胡基教授 ……………	1
芬兰怀汉契矿选矿厂的矿石自磨……	
芬兰 怀汉契矿厂 П. 瑪契拉……………	12
选矿厂的磨矿…芬兰 奥托昆普选矿厂 提莫-海金年…	19
磨矿过程的自动調节…………苏联 И. Л. 高瓦里斯基 Б.В. 涅夫斯基……………	27
鑿式破碎机篩孔尺寸和产品最大粒度的关系…………	
苏联 Б.В. 別列津……………	34
选矿厂設備不间断工作的保証…………	
苏联 В.В. 布雷契夫……………	39
关于銅矿石的选矿方法……苏联 В. Н. 藍德格拉夫…	52
銅矿选矿的实践……………	61
烏拉尔选矿厂鋅精矿的脫銅条件…………	
苏联 Ф. И. 那吉尔尼亚克 П.Ф. 別雷赫…………	68
多金屬矿石浮选时为提高精选作业效率的方法 来提高金屬的回收率……………	
苏联 А.М. 奥科洛維奇等……………	77
鉛銅鋅黃铁矿优先浮选过程中矿漿的氧制度…………	
苏联 Л.А. 格拉祖諾夫等……………	84
采用泡沫噴水法改善浮选結果…………	
苏联 Н.Я. 盖尔什加尔等……………	93
选矿厂降低浮选葯剂消耗量的途径…………	
苏联 И.И. 別尔林斯基 М.А. 波諾馬列夫……………	97
重柴油代替黃葯的初步試驗簡介…………	
楊眉寺錫矿土法煉銅工作組……………	99

用松树、樟树锯末作选铜起泡剂.....
江西省冶金局有色处..... 101

关于尾矿池溢流水位的测定问题.....
苏联 A.Г. 梅里尼柯夫..... 102

应用回水是降低浮选精矿成本的途径.....
苏联 B.K. 莫日金..... 105

锡生产废水的净化.....苏联 Л.В. 米洛万诺夫..... 115

磨矿机以超临界速度旋轉时的矿石自磨

芬兰 P.T. 胡基教授

碎矿和磨矿作业的高效率，可通过各种途径达到。重要方向原则如下：

a) 多段閉路碎矿及下一步的一段閉路磨矿和分級；

b) 多段开路碎矿，包括棒磨机的开路細碎；棒磨机的产品送給与分級机組成閉路的球磨机。近来，这一流程获得了发展，因在工业上推广了大直径慢速球磨机，其球負荷不大，并在磨矿机内分級矿浆 [1]；

b) 采用兼作碎矿和磨矿作业的机械，如各种类型的鏈磨机和无球磨矿机，可将普通矿石一次磨至最终尺寸。

鏈磨机和无球磨矿机与干式分級机械組成閉路工作，获得了良好指标，尤其是在对粘性不大的物料进行磨矿时。

本文就提高碎矿和磨矿作业的效率的原理，作比較分析的尝试。

降落体速度和磨矿机直径的比例

磨矿机的临界旋轉速度等于

$$n_c = \frac{423}{\sqrt{D}} \text{ 轉/分}, \quad (1)$$

式中 D ——磨矿机內径，厘米。

在理論临界旋轉速度下的磨矿机圓周速度按下式确定：

$$v_1 = \pi \cdot D \cdot n_c = 22.15 \sqrt{D} \text{ 厘米/分}. \quad (2)$$

降落体在旋轉磨矿机中的最終速度，如图 1 所示，决定于二个主要速度向量的合速度。降落体在其軌跡的最高点所受到的水平向量为橢圆函数 v_1 。垂直向量 v_2 可視為与最大降落速度成橢圆函数比例的向量，降落体在重力影响下，可达最大降落速度。无

限小的降落体，在磨矿机内部、在等于磨矿机直径 D 的垂直距离上，由最高点降落至最低点，可获得该向量的最大值。如此，垂直向量 v_2 的最大值可为：

$$v_2 = \sqrt{2g \cdot D} = 44.3 \sqrt{D} \text{ 厘米/秒}; \quad (3)$$

不同直径磨矿机的 n_c 、 v_1 、 v_2 之数值，可从图 2 找到。

应当注意，因为 $v_1 = \frac{1}{2} \sqrt{2gD}$ 厘米/秒，则 $v_2 = 2v_1$ 。这一基本比例，决定了自由落体在磨矿机中的轨迹形状。

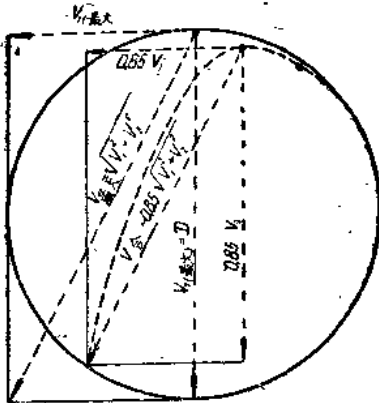


图 1 降落体的速度与磨矿机直径的关系

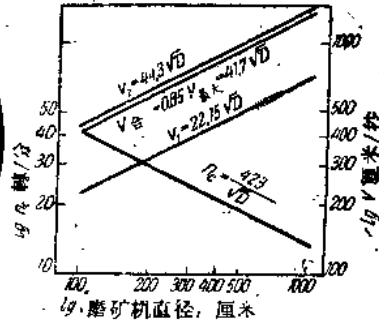


图 2 临界速度(n_c)、向量(v_1)和(v_2)的最大值、合速度($v_{\text{合}}$)和磨矿机直径(D)间的比例

磨矿机工作时，作用于磨矿体的垂直向量，任何时候也达不到 v_2 最大，因为磨矿体的运动速度，小于磨矿机的理论临界圆周速度。垂直向量也同样，往往不能等于 v_2 最大，因为实际上磨矿体在其轨迹的最高点，往往低于磨矿机内表面的最高点，而磨矿体自由降落时轨迹的最低位置，往往却低于磨矿机内表面的最低点。

本文中作为示例的合速度近似值，是根据水平向量获得的，该水平向量等于 $0.85 v_1$ ，相当于 85% 理论临界速度和垂直向量，

也等于 $0.85 v_2$ ，为 85% 磨矿机内径上的降落距离。因此：

$$v_{\text{в}} = \sqrt{(0.85 v_1)^2 + (0.85 v_2)^2} = 41.7 \sqrt{D} \text{ 厘米/秒} \quad (4)$$

也等于临界值的 85%，即任何时候也达不到的合速度最大值 $49.5 \sqrt{D}$ 厘米/秒的 85%。各种直径磨矿机的数值 $v_{\text{в}}$ 见图 2。

上述分析表明，磨矿体的自由降落取决于二个因素，其中决定于重力的降落为决定因素。如使降落体在旋轉磨矿机中获得最高速度，应该保证提供下列条件：磨矿机的大直径；磨矿体自由降落下尽可能大的距离；磨矿机以高速度旋轉，以保证将磨矿体升高至最适宜高度。

当磨矿介质的外层和磨矿机衬板之間沒有滑动作用时，最适宜速度为次临界速度（субкритическая скорость）；有滑动作用时，最适宜速度則在超临界速度范围内。

降落体的力距

降落体的力距，以降落体的速度乘其质量求得。旋轉磨矿机的速度向量之值，已表明于上述。磨矿时采用的磨矿体质量，以公斤表示，其影响如下所述。

图 3 所示各例，表示因磨矿机直径不同而采用的各种类型的磨矿介质所得的力距。数值根据等式 (4) 和磨矿体重量求得。

说得形象一点，当破碎采用不大的金属球时，因进入磨矿机的粗料块降落的打击而扩展的力距，可以和少年拳斗家的拳击相比拟。直径为 127 毫米的球体打击力，等于轻量级拳斗家的拳击。类似拳斗冠军的拳击的打击力，借棒和矿石、砾石或其它物料的重块可以达到。

如果考虑到，长棒的打击力很少是集中在一块被破碎的物料上，那末，此棒降落时所得的有效力距之值，比图 3 所示的计算数值要小得多。

普通尺寸的棒磨机中所扩展的降落体的有效力距，可易于与

磨矿机（用于深入自磨作业的）中的矿石及其它物料的相应块度成可约数。

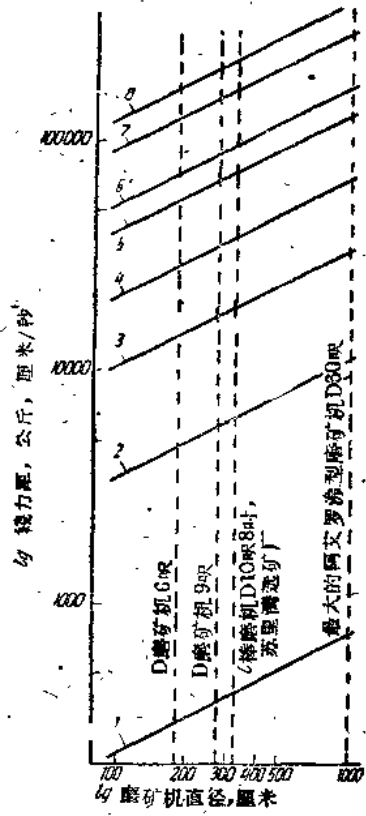


图 3 各种降落体的势力距与磨矿机直径的比例

- 1—直径为 2 吋的钢球 (0.586 公斤)；
- 2—直径为 5 吋的钢球 (8.4 公斤)；
- 3—岩块, 25 公斤；4—岩块, 50 公斤；
- 5—岩块, 100 公斤；6—直径为 3 吋, 长 12 吋的棒, 126 公斤；
- 7—直径为 4 吋, 长 12 吋的棒, 224 公斤；
- 8—岩块, 300 公斤

如果磨矿体在任一磨矿机中, 其自由降落可能性小或者根本没有, 那末, 此种磨矿体的势力距(потенциальные моменты) 几乎或者完全没有。

最后应当指出, 磨矿机中降落体的力距, 可借增加磨矿体的质量, 增大磨矿机的直径以及提高其旋转速度的途径而显著地予以提高。

旋转磨矿机中的击碎和研磨作用

在以低于临界速度的速度运转、装置有重提升条的棒磨机

中，最大的碎磨区是棒负荷底部的区域。根据爱耶斯的著作〔2〕，磨矿机的速度愈小，则棒的瀑布状作用会更多地转变为小瀑布作用，粗磨的棒磨机在更大程度上转变为调整磨矿的棒磨机。应当注意，在磨矿机衬板和外列棒之间的这一区域内，破碎作用颇小。

在以超临界速度运转的粗磨磨矿机中，应这样来选择条件，使磨矿体具有足够的力矩，以便对磨矿物料的最大块实行必要的初碎。同时，在磨矿机衬板和外层磨矿介质之间，应有一个研磨区。遭打击作用的主要是较粗的物料，而研磨区的影响，则主要是施加于较细的物料部份。因此，在粗磨的磨矿机中，总的最大的破碎和磨碎作用，只有在超临界速度下才能保证得到。

装备足以适应于在超临界速度下运转的光面衬板的磨矿机，其所有的主要碎磨参数，往往可相同于装设肋条衬板、运转速度低于临界速度的普通磨矿机所具有的参数；但是，只有以超临界速度运转的磨矿机，才同时具有高效率的研磨区。

磨矿介质的力矩和磨矿机的最大给矿粒度

如所周知，在粘性和中粘性物料磨碎至比较细的产品方面，现有的磨矿方法之中，没有一种方法可与破碎相比。物料的粘度愈大，则破碎机破碎作用的优越处更多，结束碎矿而开始磨矿的最大颗粒尺寸应愈小。在现代条件下，对于特别粘的物料，最大粘度的范围在5至10毫米之间；对于中粘度物料，则应稍高一点。

软而脆的物料，构成独立的一组，此类物料甚至在一台机械中，由最初的大块碎磨至细粒产品，也无多大困难。在碎和磨的这两个范疇間，并无显明的界限。可以断定，单独的碎矿和磨矿机械的联合，可顺利地用于任何粘度的所有矿石和岩石，而颚碎机和无球磨矿机则最利于碎磨相当软而脆或不软且脆的物料。

根据上述，可以得出下列结论：

- a) 物料的碎矿和磨矿愈困难，碎矿作业的产品应愈细；
- b) 进入粗磨机械的各种物料的颗粒组成相同时，若物料对破碎的抗力增大，则应提高降落体的力距；
- b) 根据某些平均力矩值，旋转磨矿机中的物料在抗碎力减小小时，原矿粒度可以增大；
- r) 自磨方法中，良好磨矿的或然率，随打击体的力矩增大和原矿中最粗颗粒尺寸的减小而提高；
- u) 普通矿石或岩石，只是在例外情况下，可在一台机械中经济而有效地予以自碎和自磨。

磨矿介质

在超临界速度工作条件下，磨矿介质的总质量，和其它主要变数，如单个磨碎体的质量以及在磨矿机衬板上扩展的摩擦力，共同具有首要意义〔3〕。仅根据磨矿体的总质量来比较选择各种型式的磨矿体，在确定于该超临界速度下发生的相对的研磨部份的作用方面，这并非简单的、足够精确的方法。尽管如此，图4仍列出资料，表明在各种直径的磨矿机、各种磨矿介质下，磨矿机单位长度上的总磨矿体质量。

如图4所示，在直径为2.7米的磨矿机中，比重稍低于5.0的砾石负荷的重量，大致等于直径为1.8米磨矿机的棒负荷。如果两台磨矿机均以相同的超临界速度、在滑动作用下工作，那末，由于研磨产生的磨矿作用，首先将取决于（磨矿介质）表面的形状。

在文献〔4〕中指出，曼古洛矿山的 9.1×1.5 米无球磨矿机的有效破碎介质约70吨；磨矿机的有效长度为1.5米时，磨矿负荷相当于图4的点A。

粗磨用的自磨磨矿机

在磨矿历史中，重大事件之一是粗磨用的现代棒磨机的发展。过去，因对棒磨机的功用了解得不充份，曾将其用作同时进

行粗磨和細磨的机械，在許多情況下，只用于細磨；开路或与机械分級机組成閉路。因棒磨机产生的矿泥比普通的球磨机少，尽管其效率較小，但还是广泛用作細磨的机械。

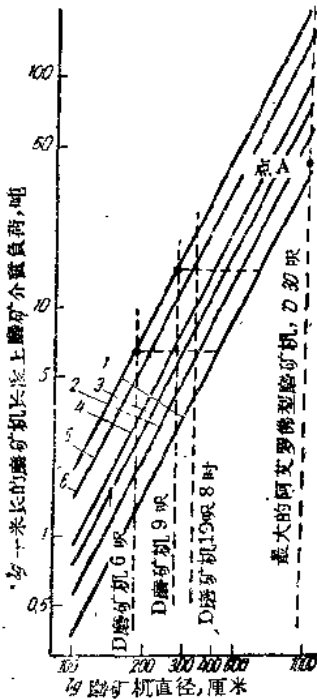


图 4 用各种材料制的磨矿介质
 磨矿机直径之比
 1—磨矿介质—砾石，比重为 2.0；
 40%的孔隙； 2—同上，比重为
 3.0； 3—同上，比重为 4.0； 4—
 同上，比重为 5.0； 5—磨矿介质—
 钢球，38%的孔隙； 6—磨矿介质—
 钢棒，18%的孔隙。磨矿负荷占
 磨矿机容积的 40%

目前，棒磨机作为开路粗磨的机械的作用，已很清楚，该作用是首先在亚利桑那的海頓选矿厂 [5] 和顯列西銅业公司 [6] 选矿厂的生产实践中探討清楚的。于是，棒磨机在碎矿和磨矿设备中找到了应有的位置。

仔細地研究加登英关于自磨磨矿机发展的結論，可知这与棒磨机的发展有某些类似。如同过去認為棒磨机是有效的粗磨和細磨机械相似，对自磨磨矿机、如对加傑尔磨矿机等，寄予很大期望。过去在湿磨中采用自磨磨矿机未获成功，可能在很大程度上是由于对其主要性能理解得不正确所致。

本文中對自磨磨礦機工作的解釋，建立在與現代磨礦方法類似的基礎上。

可以設想，在粗磨階段，通常可將以低於臨界速度的速度呈開路工作的棒磨機代之以開路工作，但以超臨界速度運轉的大直徑的自磨磨礦機。在作者的前一文〔12〕中曾指出，在閉路中以低於臨界速度的速度工作的普通細磨球磨機，可以改變為細磨的自磨磨礦機，因此而產生的生產率的損失，可以借將磨礦機的速度提高至超臨界限度而得到補償〔8〕。

這樣，該回路的主要磨礦條件仍然保持，而全部昂貴的金屬磨礦體將代之以廉價的自磨介質。

因為超臨界速度下的細磨問題，作者曾予以分析〔8〕，這里就只簡要地談一談。

用於替代普通棒磨機的自磨磨礦機，並非加傑爾型磨礦機和無球磨礦機的仿製品，而是類似於所謂的短型棒磨機。因為自磨磨礦機以超臨界速度工作，則原始加傑爾型磨礦機中所裝有的升高槽，不但沒有必要，而且甚至不允許有。在最近出產的加傑爾型和無球磨礦機中，較短的磨礦機的給礦和排礦端、特制的槽形端部衬板，以及磨礦機內圓周面上的152毫米的升高軌條等的輔助升高力，均具有重大意義〔7〕；但是，當磨礦機以超臨界速度工作時，這些都該取消。磨礦機應足夠長，以便補償此時磨礦機端部產生的不必要的剩餘升高作用。如果端壁彼此相距很近，磨礦介質和給礦的滑動作用將消失。端部衬板和圓筒衬板應為光面的，或者設計成這樣，使其在自磨作業過程中變成光面的〔7〕。此類衬板應包括下列部份：1) 光面的基本衬板，如用鑲合金制的；2) 足夠數量的支撐板條，用鑲合金鋼或一碳化鎢合金製成，裝置在基本衬板上或某些衬板塊之間；3) 磨礦介質和被磨物料層，後者因超臨界速度運轉時被板條截取。如果端壁裝上格子，則磨礦機的生產率比中心排礦式磨礦機提高一些。

如上所述，磨礦機的直徑應足以保證獲得應有的打擊力。因此，粗磨的自磨磨礦機，看來，應該很大，其直徑應大於普通棒

磨机的直径，但未必大到曼古洛矿山的无球磨矿机的尺寸（9.1米）。普通棒磨机的直径与其长度之比，大致这样变化：磨矿机的长度或者不变，或者缩小，而直径赶上长度或者甚至超过长度。但是，在粗磨的自磨磨矿机中，缺少棒磨机的主要性能之一。这系指棒磨机的通称为《分级》的作用而言〔2〕。因此，可以预料到，磨矿机的排矿中，超孔尺寸的颗粒量增多。磨矿机装有格子时，格子将使超孔颗粒量增加。在现代的棒磨机工作实践中，常常采用辅助设备，如筛子或分级机，均与棒磨机组成闭路，以便将超孔粒度的颗粒和一部份粗粒物料返回其中。在完全自磨的系统中，细磨磨矿机承受某些量的超孔粒度的颗粒，并无困难，因为此类颗粒在细磨磨矿机中的行为如同自磨介质一样。如果超孔颗粒过多，产生困难，则应将此类颗粒返回粗磨磨矿机。

粗磨的自磨磨矿机（起着普通棒磨机的作用）的给矿，应与棒磨机的给矿类似。此时，磨矿介质为分级较窄的粗粒物料，是在碎矿阶段的筛子上分出的。

根据上面所描述的《基本的》两段流程，自磨方法在必要时，可采用比较简单或比较复杂的形式；可以采用各种流程，直至简单到如无球磨矿机的流程。在某些极其优越的条件下，给矿和磨矿介质将无差别，并且在任何粒度的一段给矿下，开路或闭路、湿法或干法磨矿时，均可得到任何粒度的最终产品（至少在理论上如此）。

在无球磨矿机进行磨矿〔8〕时；建议加不大百分量（占磨矿机容积的2.5%）的金属球，以保证磨碎某些难磨的部份物料。很明显，当增加钢制磨矿介质时，无球磨矿机的生产率得以提高，并且，当全部《击碎》和《研磨》体将代之以同等体积、同量的钢球时，生产率达最高值。与此类似，任何自磨磨矿机的生产率，可因加入比重大于被磨物料的金属介质或非金属介质而提高〔8〕。但本文所论述的方法，其基础在于：真正的自磨，可以不取决于物料的磨矿难易度和所需要的最终产品的细度。

如同天然砾石曾用于而且现在还用于磨碎各种岩矿、矿石和物料相似，在自磨过程中，作为磨矿介质或促进磨碎作用的填料，可利用《人工》破碎的岩石块、矿石、合成产品及其它物料块。例如，在水泥生产中，磨碎熟料，可借助于天然石块或其它非熟料的破碎介质。但此时熟料的质量应相当高，以使熟料不因掺合的磨矿介质的污染而降低成品质量，使之低于技术条件。

如半工业规模的试验所表明，在装有表面极其平滑的衬板的普通棒磨机中，也完全可以进行超临界速度、甚至高超临界速度下的磨矿。在奥托昆普所进行的低超临界速度下的预先工业试验，证实了这一点。应该指出，因磨损和断折而消费的棒和衬板的价值，大大超过棒磨机增加的生产率。因此，在大多情况下，用高速度的棒磨机进行粗磨，经济上并不合理。但是，如果磨矿介质和衬板可《自形还原》而加以利用，则超临界速度下的粗磨，在经济上可能有利。

一段或数段的完全自磨过程，在下列情况下具有优越性：被磨产品被磨矿介质（铁）污染的这一现象，为其下一利用过程所不允许。这一优越性，在浮选某些坚固矿石，和某些浸出过程中，以及对于陶瓷工业，都具有重大的经济意义。

自磨装置的工作条件

完全自磨流程的碎矿和磨矿车间，可按不同方案设计。下面只谈一谈某些主要条件。通常，对下列事实估计不足：多数碎矿机空转时，消耗大量能，因而其机械效率相当低。设计高效率破碎装置时，应遵守下列条件：选择碎矿机时，应特别注意其机械效率；操作时，碎矿机应不断地满荷工作，最好在“满载”给矿下工作；若碎矿机不给入物料，则应停车，不使空转。

自磨的磨矿介质，应在破碎车间内分出。如果如上述所推荐的，粗磨和细磨分两个独立阶段进行，那末，除第一段磨矿给矿用的碎矿仓外，还必须设立单独的储存粗磨和细磨用磨矿介质的仓库，建议用皮带运输机运送磨矿介质，给入磨矿机。

为了降低完全自磨时的耗能量，必须装置格子型磨矿机，磨矿机的构造良好，平衡良好，最好装用滚柱轴承。如果磨矿机具有高机械效率，则磨矿介质比重的波动，对耗能量的影响不会很大〔8〕。

全部磨矿机应装置筒型给矿机，而非螺旋给矿机；磨矿机可安装在同一水平面上，一台挨着一台。但是，如果细磨磨矿机安装在较低的水平上，则粗磨磨矿机的排矿可自流给入细磨磨矿机；必要时，全部磨矿机的排矿可集合一起，用泵扬送。湿磨也好，干磨也好，任何型的分给机都应安装在高于磨矿机之处，以便闭路工作时，保证返砂自流。采用水力旋流器时，应安装砂泵。如果采用机械分给机，则应安装提升机。在有超孔颗粒时，砂泵也易于扬升浓厚的矿浆，但其消耗的能，却相当于提升等量浓厚矿浆的提升机能量的5—10倍。

参 考 文 献

1. Майерс Дж. Ф. Патент США № 2791382, 1957.
2. Майерс Дж. Ф. Тонкое измельчение в стержневых мельницах в открытом цикле. Последние достижения в области обогащения Институт горного дела и металлургии, Лондон, 1953, стр. 137—150.
3. Хукки Р. Т. Измельчение при сверхкритических скоростях в стержневых и шаровых мельницах. Международный конгресс по обогащению. Стокгольм, 1957, стр. 1—25.
4. Мельница Аэрофол на руднике Мангуло в Южной Родезии. The Mining Journal, 1958, 10 января, стр. 39.
5. Тэй Ф. Дж. Работа стержневых мельниц на рудниках Рэй компании Кемпкотт Коллер. Tr. AIME, 1939, т. 134, стр. 327—330.
6. Майерс Дж. Ф. и Льюис Ф. М. Тонкое измельчение в стержневой мельнице на фабрике компании Теннесси Коллер. Tr. AIME, 1945, т. 169, стр. 106—118.
7. Гардиндж Самоизмельчение руды. Eng. Mining J., 1955, июнь, стр. 84—90.
8. Хукки Р. Т. Новые закономерности тонкого измельчения, 1957.
9. Каталог компании «Аэрофол миллс».
10. Гатгарт А. Ф. Справочник по обогащению, 1945.
11. Флек Р. Г. и Нетмен Е. А. Бедная железная руда и мельница Аэрофол. Доклад на ежегодном съезде Американского Института металлургов и горняков, 1956, стр. 1—15.
12. Хукки Р. Т. «Цветные металлы», 1958, № 10.

胡力行译自苏联《有色金属》1958年第11期