

第三届全国选矿学术会议

論文集

(第三分册)

中国金属学会选矿学术委员会

1982. 12. 北 京

23846
300
57-3.3
1

中国金属学会第三届全国选矿学术会

第三分册 议论文目录

五、节能

1. 浅谈重选厂的节能增益问题.....西华山钨矿 林海清 (1)
2. 浅谈降低破碎与磨碎能量消耗的途径.....冶金部北京矿冶研究总院 王宏勋 (5)
3. 块状矿石自动分选的技术经济评述.....北京铀矿选冶研究所 汪淑慧 (17)
4. 重视破碎—磨矿流程减少电耗降低成本.....
.....贵州省冶金设计院 姜维田 陈远心 李廷意 (22)
5. 粉碎功耗规律的研究.....昆明工学院 吴明珠 熊志章 唐 荣 (28)
6. 提高选矿经济效益的实践.....云锡大屯选厂 赵 鹏 (34)
7. 自磨厂经济效果分析与改进.....华北矿建设计研究院 张福田 (41)

六、选矿药剂

1. 低品位磷块岩采用选择性分散絮凝脱泥浮选提高精矿质量降低选矿成本.....
.....冶金部长沙矿冶研究所 邱 熙 (49)
2. 聚丙烯酰胺类高聚物絮凝钛铁矿的机理及行为.....
.....中南矿冶学院 陈 荃 北京矿冶研究总院 陈万雄 黄利明 (56)
3. 采用选择性絮凝——脱泥方法处理贫赤铁矿石的初步研究.....
.....马鞍山矿山研究院 杨家琮 曹登录 (65)
4. 选择性絮凝在选别东鞍山铁矿石中的应用与进展.....
.....马鞍山矿山研究院 罗树庭 (72)
5. 脂肪醇在磁铁矿阳离子脱硅浮选中的作用.....
.....东北工学院 姜广大 苏风贵 杜秀兰 (76)
6. 蔡对辉钼矿捕收作用的研究.....杨家杖子选厂 刘尚清 (82)
7. 微粒矿物的分散及其分选过程中的作用.....卢寿慈 (86)

七、综合利用

1. 浅谈湿法炼铜浸出渣的综合利用.....广东大宝山矿 王冬勤 (95)
2. 从尾矿中回收稀土精矿的研究及其经济效果.....
.....北京有色冶金设计研究总院 纪文元 (101)
3. 论吉山极贫磁铁矿选矿尾矿的综合利用及其经济效果.....
.....江苏冶金设计院 李龙才 (112)
4. 从马钢凹山铁矿石中回收硫、磷的试验研究.....马鞍山矿山研究院 曹登禄 (116)

5. 用植被方法治理尾矿库的初步探讨.....鞍山矿山研究所 环保室(120)
6. 包钢尾矿坝尾矿综合回收研究.....广州有色金属研究院 常祝春 吴应南(126)
7. 白云鄂博稀土矿物与钙、钡矿物分选技术的发展.....
.....矿冶研究总院 于广泉 包头冶金研究院 孟 颖(132)
8. 氧化矿中的废石排除.....云锡大屯选厂 汤有为(143)
9. 攀枝花钛铁矿的电选工艺研究.....长沙矿冶研究所 徐星佩(149)
10. 柳毛石墨矿尾矿利用的实践.....柳毛石墨矿 侯公能 付长发 张 华(157)
11. 青海省上庄磷矿的选矿与综合利用的研究.....
.....青海地质局中心试验室 姜有才(161)
12. 云锡锡石硫化矿选矿和综合利用合理科研方向的探讨.....云锡公司 刘孟星(169)
13. 金属矿山选矿厂经济活动分析的初步探讨.....丰岗铁矿 葛祥仁(182)
14. 浮选—化学选矿方法进行钼碳分离的生产实践.....
.....铜陵金口岭铜矿 刘辛晨 魏代水(191)
15. 观山尾矿综合利用的评价.....观山铜矿 郭鹏飞(197)
16. 从赤峰萤石矿重选尾矿堆中浮选优质萤石.....
.....北京有色冶金设计研究总院 陈 旭(204)
17. 在废水处理中氢氧化铝与石膏的浮选分离的研究.....中南矿冶学院 薛玉兰
.....日本秋田大学 真宫三男 葛野荣(209)

AL61/04

五、节 能

浅谈重选厂的节能增益问题

林海清 西华山钨矿

选矿厂的能量消耗一般都占整个矿山的50%以上,而且因其设备数量多、容量大,原材料和药剂消耗量大,特别是重选厂选矿流程复杂,矿浆运输量大,耗水量大,所以在节省能量消耗,提高经济效益方面存在着较大的潜力。以西华山钨矿选矿厂为例,近年来围绕挖潜节能问题开展了一些技术革新活动,取得了较好的经济效益。就1978年前后四年比较而言,1974至1977年处理一吨原矿平均电耗为20.55度,1978至1981年平均下降到16.89度,平均每处理一吨原矿电耗下降了3.66度,吨原矿的处理费用降低了0.14元,近四年比前四年所节约的电能为1178万度,相当于选厂生产11个月所用电量。

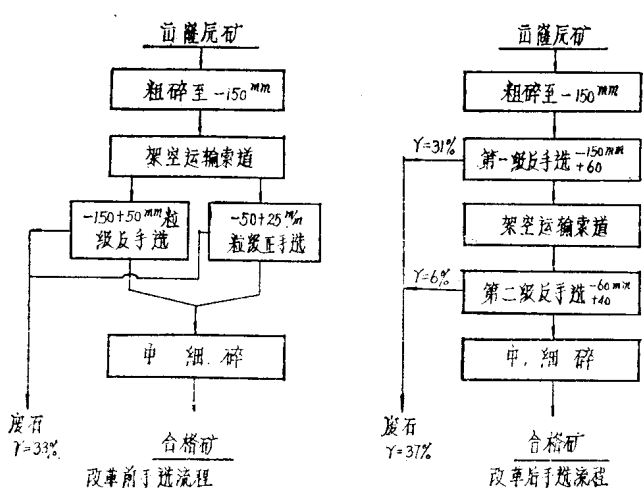
多年来,江西省的钨矿大多因电力供应紧张,一年只能维持8~9个月的生产,这种状况并非一两年内所能解决,即使能源开发状况好转,但从提高经济效益观点出发,节能也是必须的。因而选矿厂的节能工作不仅是国民经济调整时期的当务之急,也是一项长期的任务。经过多年的实践,笔者认为重选厂(以黑钨选矿厂为代表)的节能和提高选矿经济效益可以从下面几点着手:

一、早丢多丢废石减少运输能耗

提高废石选出率能改善选矿厂的技术经济指标,这是众所周知的,从节约能量的观点看,其意义也很大。我国的黑钨选矿厂都在碎矿段就丢弃大量低品位废石,尽管当前主要的丢废石方法仍然采用人工手选,但这种方法十分经济,能量消耗很少;废石的运输一般只先经皮带运输机,然后用人工小车推卸,或用卷扬机、架空索道堆积,运输的能耗和费用都低廉。而重选尾矿则一般都需砂泵压力输送,材料消耗大、费用高,能量消耗也大。据西华山选矿厂1976~1981年统计表明:粗选段包括碎矿、筛分运输等作业的费用在内,每选出一吨废石的电能消耗为2.43度,而每输送一吨重选尾矿的电耗就需要5.2度,只就运输而言,粗选段丢尾矿比重选段丢尾矿电耗低一倍以上,因此,废石丢得越早,丢得越多越好。西华山选矿厂碎矿由两部分构成:粗碎设在采矿场的主平窿口处,中细碎则设于距此4.5公里处的选矿厂区,二者通过架空索道相联。1971年以前,手选作业均设于索道之后的中细碎段,不仅因索道运输能力限制了原矿处理量,同时也多消耗了能量。1971年进行了技术改造,在粗选段增加一级反手选作业,使原矿在进入索道运输前就丢弃产率为31%左右的废石,原矿处理能力提高了45%,经济效益显著,改革前后的原则流程见附图。从1972年至1981年十年统计表明:粗碎段的电耗为0.68度/吨矿石,成本为0.334元/吨矿石,中细碎段电耗为2.06度/吨矿石,成本为0.560元/吨矿石,索道运输电耗为0.337度/吨矿石,成本为0.19元/吨矿石。显然在粗碎段

早丢粗碎段早丢废石更为经济合理。粗碎段每早丢一吨废石就可节省电能0.337度,节约成本费用0.19元。十年中在粗碎段共计丢弃废石175.9万吨,按此计算,共节约电能 59.3 万度,节约生产费用33.4万元。

提高废石选出率的方法,采用人工手选是最经济的,对于小于20毫米粒级的丢废宜采用重介质或光电选矿方法,但也应从经济上进行比较其可行性。西华山选厂在保持手选流程基本不变的情况下,将洗矿筛筛孔由长孔改为圆孔,取消部分重复手选,提高了废石选出率4.25%,79~81年与改进前三年比多丢废石13.34万吨。按手选段(包括粗、中细碎)电耗为2.43度/吨矿石,成本1.152元/吨矿石,重选段电耗为28.13度/吨矿石,成本为4.047元/吨矿石计算,三年共计节省电能34.28万度,节省生产费用38.6万元。



粗选改革前后的流程

二、适当提高处理量、使设备满负荷运转

适当提高处理量,使设备在满负荷条件下运转,不仅提高了用电网络的效率因素,而且也降低了单位处理能力的电耗。下表为西华山选矿厂原矿处理量与电耗之间的数值关系,从中可看出在一定范围内(设备额定负荷内)单位处理量的增加与单位电耗减少之间有明显的正比关系。由此说明,选矿厂在组织生产时必须注意尽量使设备在较满的负荷下工作。当采矿场供应矿石不均匀或者矿石供应不足时,应充分发挥窿内溜矿井、选矿厂的原矿仓、粉矿仓及其它中间矿仓的贮矿作用,使选矿设备一经运转尽量满负荷。

单位处理量与电耗的关系表

		1976年	1977年	1978年	1981年	1980年	1979年
原矿	处理量 (吨/日)	2907	3323	3531	3729	3744	4004
	电耗 (度/吨)	20.94	18.67	17.40	16.80	16.87	16.55
合格矿	处理量 (吨/日)	1887	2237	2278	2281	2257	2424
	电耗 (度/吨)	32.25	27.72	27.00	27.30	27.99	26.53

由于设计与实际生产之间存在一定差距,特别是设计中往往总要给设备留有富余的生产能力,选矿厂的生产设备存在着“大马拉小车”的现象,增加了无效电能消耗。西华山选矿厂原设计碎矿筛分段为两班作业,在中碎以前废石丢弃率仅为20%,而实际生产则为三班作业制,且中碎前的废石丢弃率提高到37%左右,所以中碎机、细碎机等设备的负荷只有额定负荷的

20~40%，造成“大马拉小车”的无效电能损失。对此采取了改小电动机容量的技术对策，将 $\phi 1650$ 标准圆锥破碎机和 $\phi 1650$ 短头圆锥破碎机的电动机的容量由130千瓦交换为60千瓦，一年多的实践证明，60千瓦电动机的负荷也只是额定负荷的40~60%，这一措施完全能满足现实生产的要求，设备仍保持安全正常运转状态，还取得了可观的经济效益，使中、细碎作业的电耗由92.2度/小时下降到61度/小时，仅此一项全年节省电能17.9万度。

三、提高砂泵、水泵的效率、增加回水利用率

砂泵和水泵的电能消耗在重选厂占全厂的40~50%，甚至更高，而目前所使用的砂泵的效率都很低，一些老型号的水泵的效率也不高，如果加上砂、水泵工作特性与管路特性配合不当时，则消耗的无效电能必定更大。因而，要加强高效率砂、水泵的研制，以降低矿浆输送和供水系统的电耗。在可能的条件下，选矿厂应该用已有的效率更高的新型砂泵，水泵去更换那些老型号低效率泵。西华山选矿厂对浓密机回水泵进行技术改变。用一台14SA-10A型水泵取代原来安装的2台苏联老牌号的10Д6型水泵，在供水能力相同的情况下，设备安装容量由360千瓦降低到260千瓦，实际电耗由313度/小时，下降到213度/小时，全年节约用电60余万度。

此外，在供水方式和供水网路方面也存在着节能潜力。例如下垅钨矿樟斗选矿厂对尾矿回水供水系统进行了适当调整，将跳汰作业循环供水方式由水泵压力输入高位池式改为水泵压力直供式，充分利用了尾矿水的位能，缩短了供水管路长度，减少了扬程损失，每年节省电能38.8万度。

提高回水率不仅是解决水源困难的重要措施，同时也将降低供水的能耗，还减少了选矿废水对环境的污染，是一举多得的好事。一般说来，选矿厂的尾矿库大多设于其附近，浓密机则安装于厂房旁侧；清水水源地则距厂房较远，因而回水供水的管路较短，扬程较低，损失较小，用回水的能耗比用清水为低。以西华山为例，清水的供水能耗为0.42度/米³，各类回水平均供水能耗为0.27度/米³，回水的能耗仅为清水的64.3%，尽量提高回水利用率，以回水代清水是十分经济的，对重选厂说来，水质要求没有浮选厂严格，只要水中悬浮物含量达到一定值后，就可以满足重力选矿的需要。虽然浓密机回水的水质较差，但完全可以用于耗水量大的跳汰作业，磨矿作业及冲洗矿斗等；尾矿库回水则可以用于手选前的洗矿、摇床等作业以及毛精矿，中矿自流运输的补加水等。只要在重选的各种作业中尽量使用回水，回水利用率是可以提高的，就能合理地做到水尽其用，消除环境污染，降低供水能耗。

重选厂节约用水的潜力也相当大，例如每处理一吨合格矿的耗水量高达24~30米³。其中重要的一个原因是多数重选厂都习惯于“大水作业”的操作方法。这种做法，对操作者说是很省事，不用耽心流槽，管路的堵塞，孰不知由此带来的一系列危害。一则过大的用水量影响选矿效率，增加了浓缩脱水作业的负荷，甚至降低细泥的回收率；二则提高了处理每吨矿石的单位水耗，多消耗了不必要的能量。因此，制定合理的耗水定额，限制用水量是重选厂降低能耗的另一项重要的措施。

四、合理调整精选流程，降低药剂消耗

降低选矿药剂消耗是提高浮选厂经济效益的重要方面；对于设有精选工序的重选厂来

说,同样具有重要作用。重选厂尽管按原矿或合格矿计算单位药剂耗量不高,但就精选而言,药剂的单耗则是惊人的,尽管由于精选的矿量较少,药剂总耗量比浮选厂小得多,但是按处理一吨浮选原料计的单耗,重选厂就比浮选厂大数倍,甚至数十倍,通常药剂的计量是在重选厂不象浮选厂那样以“克”为单位,而是以“公斤”单位。据西华山选矿厂的十年统计资料表明:精选段每处理一吨硫化矿原矿的黄药消耗高达2.39公斤,每处理一吨硫化矿的药剂费用达26.32元。造成药剂单耗高的主要原因固然由于重选厂大多都存在单槽浮选作业,人工给药,控制不严,浮选制度不够严格,习惯于“重压重控”的作法,捕收剂用量大了添加抑制剂,抑剂加多了又添加捕收剂,造成药剂浪费。因而严格控制药剂制度,试验和研究不断降低浮选作业的药剂单耗,应用高效率浮选药剂也是提高重选厂经济效益一个方面。

另一方面,重选厂精选流程比较复杂,如果能做到合理调整流程和简化流程,既能节省电能,又可以节省药剂。西华山选矿厂-0.3毫米粒级重选毛精矿的精选流程原来采用“先浮后重”的工艺,也即将品位10%左右的毛精矿先经浮选脱硫后,再用摇床丢弃以石英为主的尾矿,使精矿品位富集到60~65%,此工艺浮选矿量较多,药剂消耗大。为了节省选矿药剂,对流程进行了适当调整,改为“先重后浮”工艺,获得较好的技术指标,还收到很好的经济效益。改进后的流程,重选毛精矿先经过摇床富集,可丢弃产率达85%的尾矿,浮选脱硫的矿量就只有改进前的15%了,这样,不仅使浮选作业由三班工作制减为一班工作制,节省劳动力,而且每年可节省电力6万余度,节约黄药两吨。在复杂的精选流程中,类似这种情况也是常有的,只要认真做好技术工作,调整和简化流程精选的药剂和能量消耗就一定能进一步降低。

五、降低尾矿品位、提高回收率必须注意经济效益

提高选矿工艺指标的目的,就在于经济受益,但有时,技术效果与经济受益并非一致。曾经出现过片面追求选矿回收率,尾矿品位越低越好,从表面看,这种观点似乎不错。岂不知降低尾矿品位,提高回收率在一定条件下要受经济效益的制约。如果提高回收率所增加精矿的价值小于所消耗的费用,这种回收率指标的提高是丝毫无益的。

为了提高选矿回收率,西华山选矿厂对重选尾矿进行分析,发现在2~0.5毫米粒级中金含量较高,且主要以贫连生体状态赋存。试验室的再磨再选的小型试验表明技术效果良好,预计生产中实施这项技术改造后可以提高重选回收率0.5~1%,据此,在生产流程中增加了对粗粒摇床尾矿进行再磨再选的第二段磨矿工艺。并且抽出16台细泥摇床作为二段磨矿的分选设备。生产实践说明,经二段磨矿工艺能将尾矿品位由0.044%降低到0.035%,回收的精矿占总回收率0.62%,达到了预计的技术指标。但是从经济上进行详细比较,第二段磨矿中每班多回收的钨精矿价值为544元,此系统所消耗的动力,水、材料及劳动工资合计每班费用为696元,显然二段磨矿并不能从经济上获利,反而有亏损;如果再加上因再磨再选占用了细泥处理摇床,使细泥摇床负荷加重而造成的细泥回收率降低的损失就更不合算了。因此,最后只得停止第二段磨矿工艺。

由此可知,选矿厂为提高工艺指标的任何一项技术改造都必须进行详尽可靠的经济比较后再实施,才能真正获得经济效益。

除上述几点外,笔者认为推广应用耐磨材料也是提高选矿经济效益的另一重要因素。例

如,矿浆运输中,细粒级矿浆采用衬胶砂泵,粗粒级矿浆则应加强新耐磨材料的研究和应用,改革砂泵各部件的几何参数,以延长砂泵泵壳,叶轮的使用寿命;各种流槽内衬铸石化;磨矿机推广应用橡胶衬板;振动筛推广应用橡胶筛板筛网等都可降低材料、备件消耗。还有降低碎矿粒度,多碎少磨也能节省电力和材料的消耗。

浅谈降低破碎与磨碎能量消耗的途径

王宏勋

冶金部北京矿冶研究总院

一、引言

众所周知,破碎和筛分,磨矿和分级是所有选矿过程中不可缺少的环节。尽管在许多文章和书刊中,一再申述:“破碎和磨碎设备和厂房投资,钢耗和能量消耗占全选矿厂的一半以上”,但在长期实践中,一直是我们的领导和选矿工艺技术专家们在技术上最被忽视的领域之一。破碎和筛分,磨矿和分级的工艺和设备的研究,理论研究以及试验方法和设计计算等一系列问题的研究,一直是一项空白。

全国,每年都有大量的矿石和岩石以及建筑材料需经破碎和磨碎加工。其量之大是惊人的。仅冶金系统每年约有2~3亿吨矿石需经破碎和磨碎工艺的处理。大量的电能消耗于物料的磨碎过程。从降低能耗观点,必须对破碎和磨碎工艺和设备的研究给予足够的重视。

本文试图以降低能耗问题,谈几点有关改进和完善破碎与磨矿工艺和设备的粗浅看法。

二、输入给破碎机和磨矿机的能量消耗到哪里去了?!

长期以来,选矿工作者都认为消耗在破碎和磨碎过程中的能量,除机械和电气损失外,都用于物料的破碎和磨碎作用。这种观点所说的净功耗就是指的这一概念。直到现在持有这一观点的学者仍然是破碎和磨碎工作者的绝大多数。当然这与当前科学技术发展的水平有关,到目前为止还没有较好的办法测出在破碎和磨碎工艺过程中各种形式的能量消耗。

初看起来,将能量输入当作磨矿系统的函数来考虑是很引人注意的。但仔细想起来,它比这一理解要复杂的多。并非用于破碎机和磨矿机的全部能量都消耗在颗粒破裂方面,特别是磨矿机的能量消耗几乎与破裂的影响关系甚小。我们可以将转动中的磨矿机看成为一个不平衡的飞轮。实践证明,在只有磨矿介质运动而无矿浆作无用功时,磨矿机才达到最大的不平衡。在这种条件下,需要最大的功率来保持其转动。当有矿浆给入磨矿机时,磨机趋于新的平衡,需要的磨矿机驱动功率值下降^[1]。当改变给入磨矿机的矿量时,虽然发生破裂物料量可能有显著性变化,但是驱动磨矿机需要的功率却变化不大。

大量的能以摩擦和声响的形式消耗在磨矿机系统中。其中传动装置的机械损失是可以测出的。但是磨矿机内部的能量损耗,则不易测出和估计。这些损耗包括颗粒间摩擦但不发生碎裂的能量损失,颗粒的动能和势能损失,颗粒的弹性和塑性变形以及生成声响和热等。当存在适当的破裂条件时,颗粒的弹性和塑性变形可能影响,也可能不影响破裂所需的能量值。

破碎和磨碎工作场地，机械的振动，矿石在破碎机中，矿石和磨矿介质在磨矿机中运动过程发出了震耳欲聋的巨大声响，不仅造成严重的噪声公害，而且也消耗大量的能量。声响是破碎和磨矿工艺过程中不可避免的能量损失形式之一。

矿石在破碎机和磨矿机中，与工作部件之间以及矿石和矿石之间的相互作用，生产了大量热。热虽然对矿石的破碎和磨碎效果有一定影响，但由于温差值较低，所以其作用是甚微的。因为矿浆和机器的温升值尚达不到足以改变矿石物理力学性质的程度。所以，以热形式耗散的能量损失在颗粒破裂方面不起明显作用，不必考虑。由于矿石量很大，因此在破碎和磨碎作业中，特别是在磨碎作业中，流动的矿浆的温升以热形式耗散的能量是惊人的，以通常采用的 $\phi 2700 \times 3600$ 毫米球磨机为例，如处理能力以60吨/时计，给入球磨机的矿石温度为 t_1 ，（室温），而排出磨矿机的矿浆温度为 t_2 ，矿浆浓度为75%，闭路循环负荷以100%计，则每小时约有120吨矿和40吨水从 t_1 的温度被加热至 t_2 ，假设 $t_2 - t_1 = 5^\circ\text{C}$ ，铁矿石的比热为0.2（见物理手册），则每小时以热形式耗散的能量为：

$$E = J \cdot \Delta t (Q_{\text{水}} \cdot C_{\text{水}} + Q_{\text{矿}} \cdot C_{\text{矿}})$$

式中 J —为热功当量 427公斤·米/千卡·度

Δt —温差 5°C

$Q_{\text{水}}$ —每小时通过磨机水量

$Q_{\text{矿}}$ —每小时通过磨机矿量

$C_{\text{水}}$ —水的比热

$C_{\text{矿}}$ —矿的比热

将上述假定值代入公式计算得：

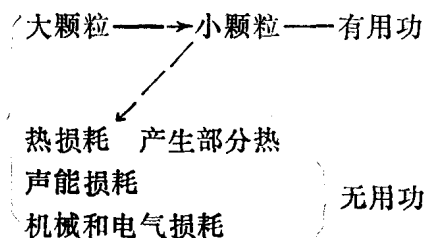
$$E = 372 \text{ 千瓦}$$

$\phi 2700 \times 3600$ 球磨机安装功率为400千瓦，热损耗约占93%安装功率，其余7%尚有机械电气和声响损耗，所以纯用于磨碎作业的有效功耗是输入功很小的一部分。

声响和热的耗散是作为物料破裂过程不可避免的副产品而出现，这是肯定无疑的。

破碎和磨碎过程中，第二项大的消耗是金属磨耗。破碎机衬板，磨矿机衬板，钢棒和钢球的消耗量也是十分惊人的。这些金属制品的大部分是在工艺过程中和矿石之间相互摩擦而损失的。金属制品磨耗是从表面上被剥落的，这些被剥磨下来的金属粉末进入矿浆中，既污染了被磨矿物的表面又消耗大量的能量。这部分能量又部分地转换为上述的热形式而耗散。

当然，还有一些其它形式的能量损失。但在破碎和磨碎工艺过程中主要是热、声、机械和电气损耗。其关系表示为：



因此，我们可以看出，“理论上”的破碎能仅是破碎和磨碎机输入能的很小部分。比克

(1964年)认为仅利用0.6%输入能作为在“理论”破碎和磨碎中消耗能量。奥斯汀(1964)提出小于3%的值作为用于破碎和磨碎的总能量比率。林大辅认为这一部分能量为5~7%^[1]。由于对破碎机和磨矿机内部能量平衡理解尚不够充分,所以目前尚不能提出准确的数值。

三、破碎比的合理分配

破碎和磨碎固体颗粒物料的目的是:

1. 在矿石入选之前使有用矿物与脉石解离,例如浮选处理金属矿石时。
2. 增加适宜化学反应的表面积,例如在回转窑中石灰石与硅及其它矿物的化学反应,化学选矿等。
3. 生产特殊要求的矿石和碎石。

就入选前破碎和磨碎而言,必须达到的破裂程度取决于共生体的细度和有用颗粒的“自然粒度”。不同矿石中同类矿物的自然粒度有很大的不同。

简言之,破碎和磨碎的任务就是把矿山开采出来的粗颗粒群矿石经过破碎和磨碎工艺过程处理达到选别作业要求的最终产品粒度矿石颗粒群。

通常,破碎和磨碎是分阶段进行的,选矿厂的总破碎比约在10000~1000这样一个范围内,大量的实践表明总破碎比的分配是否合理是直接影响能耗的。各种破碎机和磨矿机都在一定的条件下有较为合适的使用破碎比。因此,破碎比的合理分配是一个与能耗密切相关的问题。

破碎比的合理分配,实质上就是合理地选择破碎磨碎机械和破碎磨碎流程。

破碎流程

破碎流程与磨矿流程密切相关。当磨碎作业采用自磨机或半自磨机时,只要对矿石进行粗碎(第一段破碎),通常采用旋回式破碎机,小型矿山也有采用颞式破碎机的。供给自磨机或半自磨机的原料粒度为-300(或-250)毫米,不存在破碎比分配问题。

如磨矿采用棒磨机做粗磨,则破碎作业供料则可稍粗一些,通常采用二段闭路或三段开路破碎流程,给矿粒度一般为-30毫米。

如磨碎采用球磨机磨碎来自破碎的最终产品,则要求给矿要稍细一些,通常采用三段闭路破碎流程,个别非常坚硬的矿石物料也有采用四段开路或四段闭路破碎流程的。供料粒度一般为-20毫米或者更细一些。

磨矿流程

磨碎作业的流程结构较破碎流程稍复杂一些,可归结为表1所示8种流程^{[8]、[10]}。

根据F.C.Bond理论,比功率可采用 $W = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)$ 计算, W_i 可分为破碎

功指数 W_{ic} ,棒磨功指数 W_{ir} ,球磨功指数 W_{ib} ,以××铁矿为例,如果露天开采供粗破碎机的物料粒度 $F_{80} = 1000$ 毫米,最终磨矿产品粒度 $P_{80} = 0.074$ 毫米,其总破碎比的分配按以下几种方案来比较其比功率,已知破碎功指数 $W_{ic} = 8.8$ 千瓦·时/吨,棒磨功指数 $W_{ir} = 14.9$ 千瓦·时/吨,球磨功指数 $W_{ib}(200\text{目}) = 18.1$ 千瓦·时/吨,计算结果列于表2。由表2可明显地看出流程结构对能耗的影响。

磨矿流程比较表

表1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
流程类型	一段自磨	一段半自磨	一段自磨二段砾磨	一段半自磨二段球磨	圆锥破碎机棒磨机砾磨机	圆锥破碎机棒磨机球磨机	圆锥破碎机单段球磨机	高能自控破碎单段球磨机
比较内容								
1. 投资	2	1	5	3	8	7	6	4
2. 操作费用								
2.1 动力消耗	8	7	6	5	3	1	4	2
2.2 维护费用	1	8	2	7	5	6	4	3
2.2 金属消耗	1	8	2	7	3	6	5	4
3. 流程效率	8	7	6	5	3	1	4	2
4. 介质工作效率 (金属)	—	5	—	5	3	3	1	1
5. 处理能力波动	6 (3-400%)	6 (2-600%)	5	4	3	1	2	2
6. 自动化要求程度	绝对需要	绝对需要	绝对需要	绝对需要	砾磨部分需要	可以人工操作	可以人工操作	破碎机需要
7. 达到设计指标所需时间	2—3年	2—3年	第二段需2—3年	2—3年	1年	2—3月	1—2月	1—2月
8. 所需试验内容								
1. 介质适应性	×	×	×	×	×	—	—	—
2. Bond可磨度	×	×	×	×	×	×	×	×
3. 冲击功指数	×	×	×	×	—(×)	—(×)	×	×
4. 磨损	×	×	×	×	×	×	×	×
5. 半工业试验	×	×	×	×	—	—	—	—
9. 产品控制能力	8	7	6	5	4	1	3	2
10. 分级段数	—	—	3	4	6	5	2	1
11. 运转率	87-92%	80-85%	87-92%	80-85%	94-96%	94-96%	96-98%	96-98%
12. F_{80} (第一段磨矿)	200-250毫米	200-250毫米	200-250毫米	200-250毫米	13.2毫米	13.2毫米	10毫米	7毫米
13. 对粘性或潮湿矿适应性	2	1	4	3	5	6	7	8

注：①字母顺序1……表示良好强度，1为最好……8为最差。

②×是需要进行测定试验，—为不需要进行试验和测定。

各种流程功耗比较表 表 2

方 案		I	II	III	IV	V	VI	VII
破碎	破 碎 比	1000/30	1000/12	1000/20	1000/15	1000/12	1000/6	1000/6
	比功耗 (千瓦·时/吨)	0.419	0.704	0.532	0.636	0.704	1.047	1.047
	破碎比功耗	0.419	0.704	0.532	0.636	0.704	1.047	1.047
棒磨	破 碎 比	30/3.36	12/3.36					6/0.3
	比功耗 (千瓦·时/吨)	1.711	1.229					6.68
球磨	破 碎 比	$\frac{3.36}{0.074}$	$\frac{3.36}{0.074}$	$\frac{20}{0.074}$	$\frac{15}{0.074}$	$\frac{12}{0.074}$	$\frac{6}{0.074}$	$\frac{0.3}{0.074}$
	比功耗 (千瓦·时/吨)	17.91	17.91	19.75	19.56	19.41	18.70	10.59
	总比功耗 (千瓦·时/吨)	20.04	19.84	20.28	20.19	20.11	19.74	18.32

四、破碎产品粒度的影响

破碎产品最终粒度的大小和粒度分布，如何影响磨矿机工作效率这一课题已有很多学者进行了研究。美国磨矿专家 C.A. Rowland 认为^[2]：磨矿机之作业效率与给矿粒度之间有着极为密切的关系和影响，对于棒磨机 and 球磨机存在着一个最佳的给矿粒度 F_o ，最佳给矿粒度的值与功指数 W_i 有关，可用下式计算：

$$\text{棒磨机 } F_{or} = 16000 \sqrt{\frac{13}{W_{ir}}} \quad (\text{微米})$$

$$\text{球磨机 } F_{ob} = 4000 \sqrt{\frac{13}{W_{ib}}} \quad (\text{微米})$$

式中： F_{or} 为棒磨机最佳给矿粒度（微米）。

F_{ob} 为球磨机最佳给矿粒度（微米）。

W_{ir} 为棒磨功指数。

W_{ib} 为球磨功指数。

从上式可以看出，磨矿机最佳给矿粒度与功指数的平方根成反比。也就是说对于硬而难磨的矿石（ W_i 值高一些），最佳给矿粒度应小一些。而对于软而易磨矿石（ W_i 低）最佳给矿粒度应大一些。如给矿粒度值超过最佳值，磨矿机的工作效率将要降低，为完成指定的处理矿量和产品粒度，磨矿机的功率将增加，也就是磨矿机的规格要加大，其增加的倍数可用下式计算：

$$EF_4 = \frac{[R + (w_i - 7)] \left[\frac{F - F_o}{F_o} \right]}{R}$$

式中 EF_1 ——为给矿粒度影响磨机功率系数

R ——为破碎比

$$R = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

W_i ——为功指数,

F_{80} ——给矿中80%通过的筛孔尺寸。

P_{80} ——产品中80%通过的筛孔尺寸。

C. A. Rowland 介绍, 当磨矿机处理过大颗粒的物料时, 功率可能增大30%。

日本久保田铁工株式会社提供的资料表明^[8], 给矿粒度对磨矿机处理能力影响很大, 如表3所示。

给矿粒度对磨矿机处理能力的影响

表3

给矿粒度 (毫米)	- 40	- 25	- 20	- 12	- 9	- 6	- 3.36
相对处理能力 %	83	93	100	111	117	129	138

我国某些选矿厂在1958年曾进行过降低破碎粒度的尝试。结果同样证明, 可提高球磨机处理能力, 但同时也发现些问题, 使得这一改进没有坚持下来, 其主要原因是设备的质量适应不了高破碎比的要求。近几年来, 国外高破碎比细碎机已广泛应用于工业生产中。吸取这些设备的优点, 改造我们选矿厂的细碎机, 可实现降低破碎产品粒度这一革新。以降低选矿厂的能量消耗。

假若我们能降低破碎产品粒度(即磨矿机的给料粒度), 那什不仅可降低磨矿的功率消耗, 而且整个破碎和磨矿作业的总功耗和钢耗也将下降, 磨矿机的处理能力却可能大幅度提高。

这里值得提出注意的是, 我们在谈降低磨矿给矿粒度这一概念时, 不单指粒度的上限尺寸, 而是整个给矿物料粒度群组成的变化。

就全国的重点黑色和有色金属矿山而言, 如果能从目前-25毫米的给矿粒度降低到-12毫米, 用于磨矿的能耗将节省8%, 用于破碎的能耗虽略有增加, 但总的说来可节省约为7%的能耗, 约合3.2亿度电(2亿吨矿计)。

破碎的最终产品(磨矿机的给矿)有一个适宜的粒度范围。在这个范围内, 破碎机能比磨矿机更有效地利用能量。但在实际生产中, 这一问题常常被人忽视。在绝大多数选矿厂中, 破碎作业总是想办法尽快地生产磨矿机的给料, 其结果破碎产品粒度很粗, 造成磨矿机处理能力很低, 单位产品成本很高, 动力消耗和材料消耗很大。

五、降低破碎产品粒度的途径

生产磨矿机给料的设备, 通常是采用细碎用圆锥破碎机。降低破碎产品粒度, 就是如何降低短头型圆锥破碎机的排矿粒度。

1. 选用合适的破碎腔的几何形状和运转参数

在圆锥破碎机中, 物料的破碎是在可动锥与固定锥之间进行的。破碎机处理能力和产品

粒度的大小是由破碎腔中两个主要机械因素所决定的：第一是破碎锥的锥角、形状和长度；第二是动锥运转的偏心矩和运转速度。

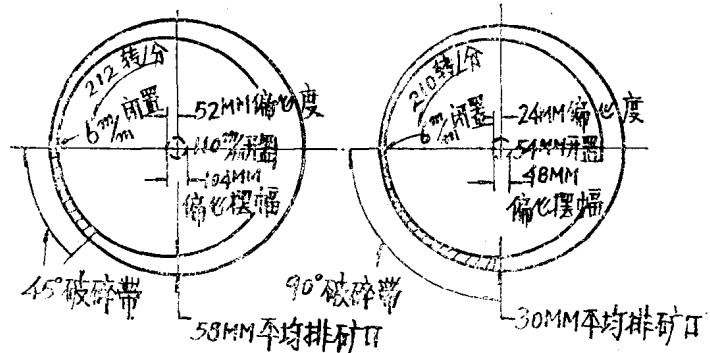
图1所示的两种几何形状的破碎腔断面，都是目前在生产中应用的。然而它们对破碎同样数量的给矿而言，物料得到破碎比却完全不同，可比较一下，当把这两种形式的圆锥破碎机都用于细碎，给矿的上限粒度是30毫米，且排矿口尺寸也相同。我们将看到，那台偏心矩较小的长破碎腔的破碎机（Ⅱ型），比偏心矩较大的短破碎腔的破碎机（Ⅰ型）的产品细些。其原因是物料在前一种破碎机中受到的破碎作用较好，破碎比较大。

图2表示三种不同形式圆锥破碎机的产品粒度分布。

三种破碎机具有不同的偏心矩，给矿来自同一个矿仓。破碎机②和③因具有较小偏心矩，都可获得更多的细粒产品，其中破碎机③的排矿口还要比其它两台破碎机大40%。

从这些试验中所获得合格产品的占有量（图3）可清楚地看到，功率较大的破碎机所生产的合格粒级产品数量也较多。

排矿口断面图



破碎-30mm物料时腔的形状

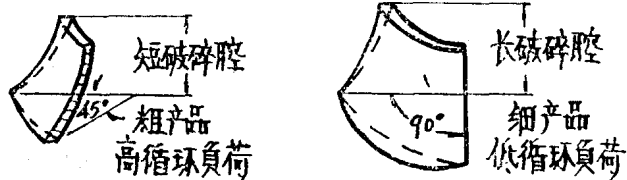


图1 两种破碎腔比较

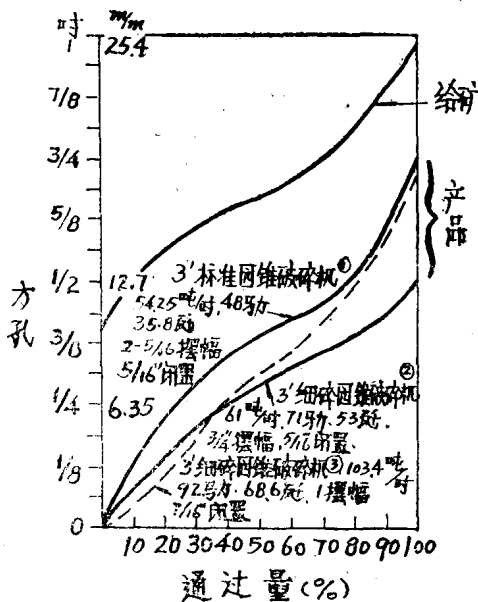


图2 产品粒度分布比较

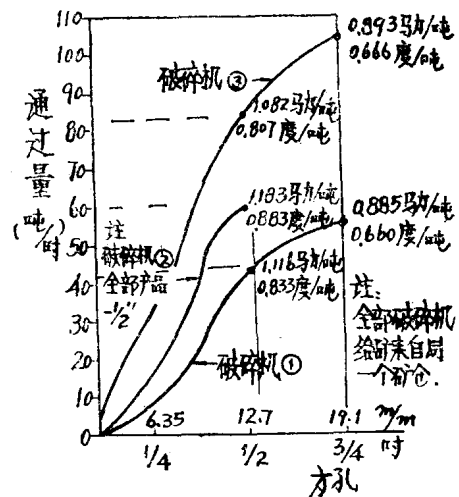


图3 合格产品占有率比较

我国沈阳重型机器厂生产的圆锥破碎机是属于大偏心矩、短破碎腔、低转速类型产品，应加以改进。目前国外，如Allis-Chalmers公司，瑞典Svedala-Arabra公司，西德Humboldt公司，日本川崎公司，神户公司的产品都采用高深式非阻塞型破碎腔断面和小偏心矩，并具有较高的运转速度。

总之，减小破碎机的偏心矩和排矿口宽度，加长破碎腔深度，适当提高破碎机转速，可获得较细的破碎产品。

2. 改进操作

圆锥式破碎机的合理给矿是一项很重要的操作条件。

在现场生产中，往往由于给矿系统结构型式不合理，引起破碎机一侧工作。使破碎机的效率不能发挥，破碎空间不能充分利用。所以应采取措施使矿石物料均匀地给入破碎机的整个破碎腔。美国Nordberg公司的破碎机安装有旋转式给料器，美国Allis-Chalmers公司采用错位配置漏斗和矿石分配盘等装置改善破碎机给矿，使物料均匀给入破碎机。

圆锥式破碎机在充满给矿的情况下，既可以充分发挥破碎机的能力，又可以使产品粒度变细。

在流程配置上要注意不要使循环负荷（筛上矿物）直接返回闭路细破碎机，而要经过中间仓后再给入破碎机，使其负荷稳定均衡，使循环负荷的变化不直接影响破碎机的工作。

鞍钢东鞍山选矿厂采用三段一闭路破碎流程，长期以来存在着细碎能力不足，细碎效率低（-12毫米合格粒级仅有35%），衬板寿命短等问题。该厂对细碎机进行了一系列改造。主要是：减小偏心矩；加快动锥速度；改变了衬板的几何形状和材质；减小装配间隙；改进油冷装置；在操作上使给矿均匀，并使破碎机在满负荷状态下运转。试验考查结果表明，细碎机效率显著提高，-12毫米含量由35.9%增加到62.5%，大块含量（大于18毫米）由30.48%减少到7.94%处理能力也大为提高。该厂5*细碎机改进试验考查结果列于表4。

试验结果还表明，衬板寿命提高25%，每年可节省衬板费用约20万元。

3. 运用功率控制产品

在破碎筛分作业中，要想从技术效果的角度正确处理好产品的数量和细度（质量）关系，必须对下述两个独立因素来加以控制。

第一，是破碎机的功率消耗，它直接影响着破碎机的生产能力。

第二，单位给矿的功率消耗（比功耗），它影响到产品的细度。

但是，在实际生产中，所能控制的变量是给矿量和破碎机排矿口尺寸。

当排矿口调到接近合理的数值时，给矿量与破碎机所消耗的电能为直线关系，但是破碎的比功率趋向于一个常数，如图4，在排矿口变化的情况下，功率则以一个指数关系变化。

从图6可见，排矿口的较小改变，引起消耗功率较大的变化。如果我们在破碎机运转过程中改变排矿口大小，就可影响到破碎机的处理能力（功耗），实际上破碎机的偏心矩，转速，破碎腔形状是已经选定的，只有改变排矿口大小来改变破碎机的功耗，改变产品粒度特性。为此，各国很多学者在研究功率—产品自动控制调节器，图5为Allis-Chalmers公司生产的液压式圆锥破碎机及自动控制装置图。

5*细破碎机提高产品小粒度试验考查结果

表 4

项 目		第 一 阶 段			第 二 阶 段			第三阶段
		改前原始 条 件	小偏心矩 快 转 数	小偏心矩 快 转 数	小偏心矩、 装配间隙小	小偏心 距、小 装配间 隙、快 转数	小 偏 心 距、小装 配间隙快 转数降油 温	(同前) 均匀给矿 加大给矿
给矿量(吨/小时)		153.59	136.156	151.52	132.4		140.56	164.691
给矿 粒度 组成	粒级 +18	75.735	75.65	73.4	72.21		71.06	85.783
	-18 +12	18.545	19.79	22.89	23.58		25.02	19.267
	-12 +10							1.271
	-10 +6	4.11	3.43	2.9	2.52		0.78	1.133
	-6	1.6	1.12	0.8	1.56		0.81	2.033
(%)	-12毫米合格 率	5.715	4.546	3.7	4.08		3.925	4.076
产 品 粒 度 组 成	粒级 +18	30.48	23.31	15.96	19.35		11.785	7.941
	-18 +12	33.606	34.92	36.67	36.07		32.27	29.49
	-12 +10						17.07	13.645
	-10 +6	19.723	23.81	26.2	25.44		16.68	18.516
	-6	16.186	17.92	21.34	19.14		21.45	30.408
(%)	-12毫米合格 率	35.9	41.72	47.53	44.14		55.95	62.56
-12毫米合格产量 (吨/小时)		55.138	56.804	72.002	58.441		78.643	103.042
排矿口(毫米)		4.5	4.4	3.5	8.94		6.1	6.93
电 流*(安)		38~41	40	35~42	38~45		35~42	36~42
油 温(℃)					53°~67°	67°~ 72°	46°~57°	49°~57°
油 压(千克/厘 米 ²)					0.5	0.5	0.5	0.5
新生合格率(%)		30.185	37.14	43.83	40.06		52.025	58.491
备 注		偏心角2° 转数:200 转/分	偏心角1° 转数:200 转/分	偏心角1° 转数:240 转/分	偏心角1° 转数:200转/分 直套:2.76 间隙{ 锥套{上2 下10.5	油温高	-10毫米 合 格 率 为: 39.79%	-10毫米 合 格 率 为: 48.924%

* 快转电机的空载电流比慢转电机低8安培左右。

最近Allis-Chalmers公司获得了两项破碎流程专利,专利采用了液压圆锥破碎机和自动控制装置,采用调节排矿口,填满给矿,使破碎机在高功率值下满负荷运转,有效地利用了能量,生产出最多数量尽可能细的磨矿机给料。该公司在菲律宾某矿的试验结果表明,可

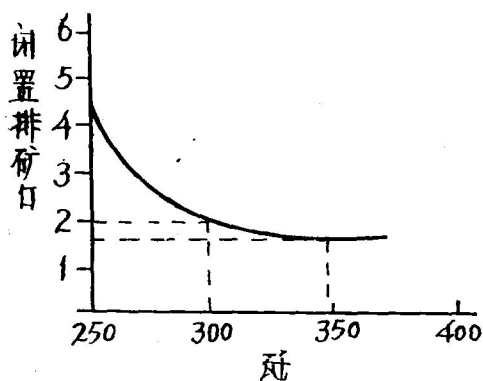


图4 排矿口变化与功率关系

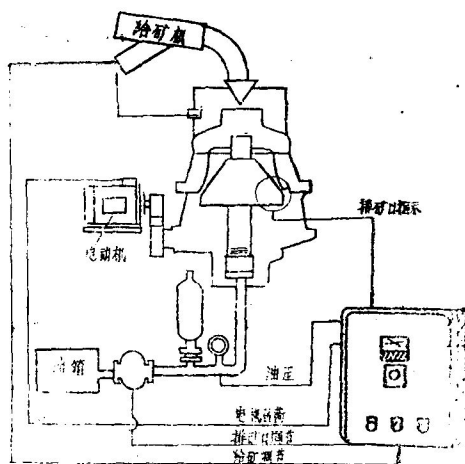


图5 Allis-Chalmers公司圆锥破碎机 and 自动控制系统

使选矿厂能耗降低50%，并减少了金属消耗。

为了达到随时调节排矿口的目的，破碎机必须采用排矿口调节装置，使调节排矿口很容易实现。同时为了补偿衬板的磨损，稳定产品的粒度，近年来国外生产的圆锥破碎机都采用了非阻塞型高深破碎腔断面。Allis-Chalmers公司采用单缸液压系统调节排矿口，液压部分工作可靠。调节灵活，结构先进是该公司专利。

4. 研制新型圆锥破碎机

美国 Nordberg 公司为了降低破碎机产品粒度，研制成功了一种 Gyradisc Cone Crusher 破碎机。其结构特点有二：

- (1) 有一个旋转式给料器；
- (2) 有特殊设计的破碎腔 (图7)。

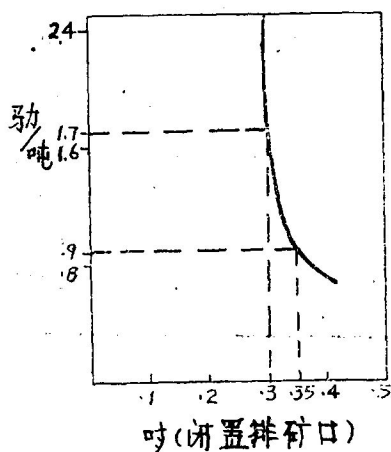


图6 排矿口变化与功率关系

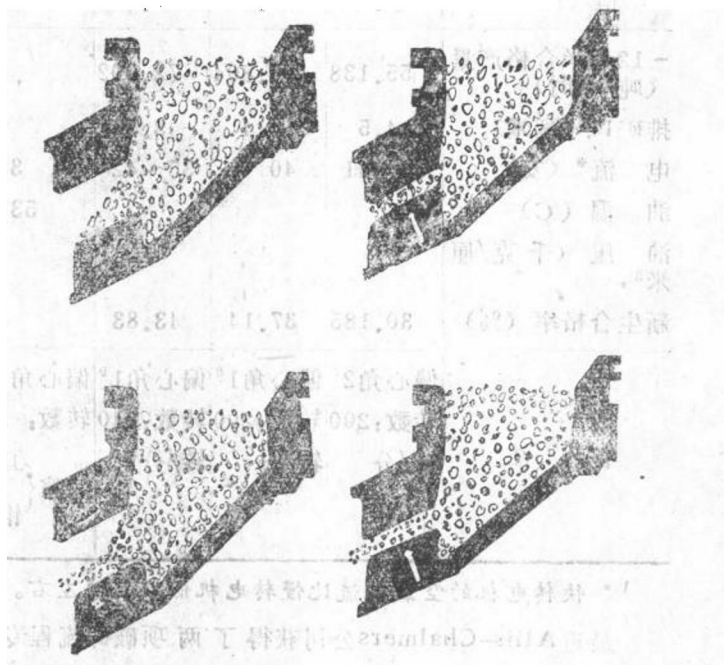


图7 旋盘式破碎机破碎腔