

第三届全国粉碎工程技术研讨会 讲座报告及论文集

(三)

中国选矿科技情报网

一九八六年十月

目 录

专题技术讲座

1. 试论粉碎工程学科结构 王宏勋 黄圣生 (1)
2. 近代破碎技术和设备的进展 (3)
3. 球磨机生产率计算方法的分析 陈丙辰 (18)

会议论文

1. 略论梅山铁矿选矿厂的磨矿工艺 王国俊 (47)
2. 低钢耗向上推压式破碎机的研究与初步试验 张岐生 何正惠 (55)

试论粉碎工程学科结构

北京矿冶研究总院 王宏勋 中南工业大学 黄圣生

粉碎(破碎与磨碎)是固体物料尺寸减小的加工过程。在大多数情况下,是处理固体物料的第一个阶段。通常这是一个分阶段进行的过程,固体物料经依次地粉碎而被加工成适应工艺要求的粒度。

在把固体物料变成最终产品的许多加工处理过程中,粉碎是一个非常重要的工艺过程。它广泛地应用于冶金、化工、建筑材料、煤炭、火力发电、农林、食品、造纸、涂料和医药等工业部门。

据不完全统计,人类生产和生活中每年约有近100亿吨固体物料需要经各种程度的粉碎加工。我国仅矿业和建材工业部门每年就有10多亿吨固体物料需粉碎加工。即使如此,它与未来的要求相比,仍感不足。由于人类经济生产的飞速发展和人们生活水平的迅速提高,人们对产品的需求将剧增,因而需经粉碎加工处理的固体物料量也将剧增,而物料性质将日趋复杂。这就迫使科学家和工程师们深入地研究粉碎过程,对粉碎理论、方法及其实践进行广泛、系统而深入的探讨,从而形成了独立而有学科特点的粉碎工程学。

广义讲,粉碎工程是粉体工学的一个重要分支,是研究粉体的粉碎行为及其属性的学科,仅是研究粉体物料的部分属性。而从工程实践方面而言,它完全可以独立,是一完整的学科体系。

粉碎工艺过程需要解决的主要课题是什么呢?主攻方向是什么,往往决定了学科发展的特点,粉碎过程是能量消耗的过程,所以如何提高粉碎过程中“能”的利用效率,是粉碎工程的关键性研究课题和方向。这就要求研究如何设计、开发、制造、粉碎工艺设备;研究和使用的工艺流程;研究如何提高产品质量和降低生产成本。必须在理论上和实践上解决这些问题。

为了从理论上和实践上研究粉碎过程的各种规律性和优化实践,有许多科学技术人员在这一领域内开展了大量工作。在全世界范围内,特别是技术先进的发展中国家都逐渐建立了相应的研究机构和学术组织,形成了学科研究专门队伍,推动了粉碎工程技术学科的发展。

粉碎工程是研究固体物料在碎裂时的理论和实践。由于粉碎对象本身固有的复杂性,它必然是各方面知识相互交织的综合性学科。它的理论基础是固体物理、固体化学、各种力学原理、强度理论(尤其是非均质性固体物料的强度理论)、结构理论、地质学和流变学原理等。

从某种意义上讲,被粉碎物料即粉碎对象的非均质性(严格地说,每一块固体物料的粉碎性都存在着不同程度的差异),因此,粉碎工程是一门试验性很强的学科。它主要是运用力学分析方法,对理想的微观变化过程研究以揭示粉碎的本质;应用变动工艺参数的统计方法研究不同状态下粉碎效果(测定统计法);应用数学模拟预测粉碎规律;应用比拟放大进行研究结果的转换,也包含运用生产中的实践经验和其它学科的成就促进粉碎工程的发展。

根据目前粉碎工程的发展现状及趋势,吸取国内外有关学者的观点,我们认为粉碎工程的学科结构主要有以下几方面:

一、粉碎的基础理论

粉碎的基础理论主要研究固体物料在粉碎过程中物理变化和化学变化及能量转变规律。通俗地讲,是研究固体物料粒度变化与能量转变规律。这主要包括粉碎物料的力学特征,如弹性、塑性、结构强度、晶体缺陷、应力集中等;原子质点在不同应力条件下的断裂趋势,固体物料内部裂纹的形成和生长及其对粉碎效果的影响,以及其周围媒介影响裂纹和能量分布的规律;固体物料粉碎后的物理化学性质的变化;力学活化导致的各种特征;微观结构的变态;固体物料粉碎时的能量吸收,能量分布及其释放形式;在粉碎的全部过程中能量的平衡。

二、粉碎过程研究

粉碎过程研究可以应用理想的微观过程(单颗粒破碎)进行分析,也可以模拟实际的宏观过程(物料层破碎)进行统计,寻找粉碎条件与粉碎效果之间的规律性。粉碎条件主要包括物料特性,应力方式,能量密度,媒介条件等。粉碎效果主要有粉碎几率,粉碎强度,可粉碎性质,产品的分散度及其测量技术,粉碎功耗,能量利用效率。通过对粉碎过程的研究结果在一定条件下进行数学分析与模拟,确定各种参数之间的影响关系。进而使粉碎工艺装置的工艺参数和结构参数设计更符合粉碎实践的需要,使工艺检测、过程优化和自动控制易于实施。

三、粉碎工艺设备的研究

粉碎工艺设备根据粉碎原理,粉碎对象的不同分为多种类型。就目前主要应用的机械粉碎而言,主要涉及到设备类型、机器规格、腔形设计(含衬板形状及尺寸)、参数计算、給料性质、操作工艺、工作部件的磨损、能量的消耗、最佳运行和维护修理等。因此,必须研究设备的应力状态,机器的静力学、运动学和动力学,质量平衡、动量平衡、能量平衡和结构性能。研究物料颗粒在机器内的运动规律,物料的流态,驻留时间分布及粒度尺寸变化规律。研究物料粉碎时的选择性能及粉碎助剂的影响。机器工作部件材质对粉碎效果、磨损、腐蚀、污染或物料性质变化的影响。机器在高效节能生产中的所需工艺参数及相关条件(最优先粉碎工艺)。非机械粉碎设备则要考虑相应的能量转变问题。

就粉碎工艺而言,主体粉碎机械固然很关键,但不应忽视与其配套的辅助工艺设备的研究,如筛分和分级工艺及设备的研究,贮存、运输,給料等机械设备的研 究。这些配套设备在很大程度上影响主体粉碎机械效能的充分发挥。

四、粉碎工艺研究

粉碎工艺涉及工艺流程选择,输送细粒物料的介质、合理配套的辅助工艺及其装置,如筛分、分级、贮存、給料、清除异物和运输等。工艺过程的控制和监测,如合理取样及某些工艺参数的检定,如压力、细度、速度、浓度、产量等。确定分散系统的性质,如颗粒的几何性质,表面行为,光电性、导热性、可燃性、爆炸性、充填性、可混合性、团聚性、

可透性、流变性、悬浮性、分离性、润湿性、均匀性、过滤性等。保护性工艺措施，如保护性气体，无菌加工，避免化学变化，减少贵重物料损失等。产品性质及状态，如解离状态，溶解性质，流动行为，粒化特征，与液体结合的能力等。粉碎工艺力求在各种过程叠加中得到最佳工艺技术和经济指标。

我国的粉碎工程学科近年来发展也很快，有不少科技人员在较大范围内进行了大量的研究工作，取得了很多成果，但与目前生产发展对粉碎工程技术的需要，与世界粉碎工程学科的发展相比，尚存在着一定差距，负有繁重而又艰巨的任务，因此我们建议：

1. 壮大粉碎工程的专门技术队伍，健全和发展相应的学术组织；经常性地开展学术活动。积极开展粉碎工程科技咨询。加强信息的交流，扩大国际交往。

2. 建立相应的科学研究机构，组织力量瞄准一批重大课题，为2000年现代化发展目标，开展粉碎工程技术攻关，把研究工作逐渐全面地达到国际先进水平。

3. 建立一批现代化的实验室，加强协调工作，打一场团体战，从理论到实践进行系统深入的研究。

4. 加强科研成果转化和推广应用，建立一批有独特风格的理论与实践学术派别，建立一批相应的试验工厂和设备试制工厂，推动粉碎工程技术在我国的发展。

近代破碎技术和设备的技术进展

北京冶金矿冶总院 王宏勋

一、破碎工艺发展的技术特点（略）

二、新型大破碎比破碎机

为了适应不断发展的破碎工艺和流程的需要，提高破碎机工作效率，新型大破碎比破碎机引起了重视。

颞式破碎机

A. 日本神户制钢所大破碎比颞式破碎机

日本神户制钢所高砂重机械部制造了新型双肘板颞式破碎机（图1）。该厂自1976年开始研究大破碎比颞式破碎机。

该机是根据新的压缩层破碎理论进行研制的。动颞要用双肘板驱动，具有独特的破碎腔形状。据该公司介绍，该机一次破碎可使原矿破碎至60—80毫米。因此经该机一次破碎后，物料即可给入细碎机细碎，可取消第二段破碎。另外由于简化了破碎工艺流程使选矿厂破碎作业的附属设备大为减少；设备费，生产费用大幅度降低（约30%左右），厂房占地面积减小40%左右。至今已销售近百台。

B. 美国阿里斯—卡尔默斯公司A—1型双肘板颞式破碎机

A—1型双肘板颞式破碎机（图2）是美国阿里斯—卡尔默斯公司首先设计和制造的。该机

已获取了美国、加拿大和日本等国专利权。日本等国也在阿里斯—卡尔默斯公司之后，购买了生产许可证，生产了这种类型颚式破碎机。

该机结构简单坚固，适于对硬质块矿进行粗破碎。

该机的特点是：破碎腔深度大，故破碎比大而适于破碎大块矿石；破碎腔断面形状设计成具有小的咬进角，因此破碎矿石时，易于被颚板咬紧，而不反跳；在排料口附近的破碎腔采用非阻塞形，能有效地防止颚板的局部磨损，并改善了破碎效果，强化了破碎作用，使机器得到较大的破碎比。

该机在结构上具有独特之处：动颚板悬吊轴承采用了自润滑性的合成树脂材料制成，能显著地减轻重量和减少了加油的频繁工作。树脂轴承富有理进夹杂物的能力，因此可以防止轴面的损伤和磨损；肘板端部采用滚动付线接触（高付接触）。肘板的上、下板和端板为组合形式，如破碎腔中进入不可碎物时，使肘板翘曲而被切断，以防止机器主要另部件被破坏；偏心轴和连杆头的支承均采用耐强力冲击的滚柱轴承，因此操作和维修方便。

表1为A—1型颚式破碎机技术特性。

曲线图3为A—1型颚式破碎机在不同工作条件下的产品粒度特性曲线。

表1 A—1型颚式破碎机技术特性

规格	进料口 尺寸 (毫米)		处理能力(吨/时)														偏心 轴回 转数 转/ 分	电动机 功率 (千瓦)
			排矿口尺寸(开口)(毫米)															
	宽	长	65	75	85	100	115	125	140	150	165	180	190	200	230	255		
21—30	540	760	65	80	90	105	120	130									250	45
28—36	710	910			130	160	180	195	205	215	230	235	245				210	75
32—42	810	1070				200	225	240	255	270	285	300	310	320			200	95
42—48	1070	1220					290	310	330	350	370	385	400	415	440	475	190	130
48—60	1220	1520						340	370	390	415	435	450	465	500	540	170	190
54—74	1370	1830									485	530	550	570	620	660	150	220
60—84	1520	2130										620	650	670	730	770	120	260
72—96	1830	2440													900	1050	90	340

C. 奎肯 (Kue—Ken) 型颚式破碎机

这种类型颚式破碎机最初设计是由Kue—Ken提出的，后来英国Brown—Lenox公司运用这一基本结构形式设计制造了双肘板颚式破碎机（图4）。瑞典Sredala—Arbra公司也购买了生产许可证制造了Kue—Ken型和式破碎机。

该机的主要特点是采用低机架。高深式破碎腔和独特的悬挂方式。

由于悬挂点超越了破碎腔中心线，因此咬合角可以小一些，动颚板向上运动被减少。使矿石物料在破碎腔中，紧贴动颚板表面，减少了相对运动，故其磨损量大幅度降低。这种动颚板悬挂方式的另一优点，是加大了破碎机给料口处动颚摆动行程，提高了给矿区破碎力

改善了破碎效果，减少了大块堵塞现象。

现在许多破碎机械制造厂都根据这一基本概念，生产了高深破碎腔、低架、起超式悬挂颚式破碎机，如瑞典Svedala—Arbra，法国、日本等厂商。

D. 西德Krupp等公司冲击颚式破碎机

图5为西德Krupp等公司生产的冲击颚式破碎机剖面图，

该机采用下动式高速摆振而使破碎腔中物料被破碎。据介绍产品粒度很细，而且呈立方体形颗粒状产品。

旋回破碎机

A. A—C公司液压旋回破碎机

美国Allis—Chalmers公司制造旋回破碎机已有100多年历史了，自该公司1878年制造世界上第一台旋回破碎以来，已生产了上千台旋回破碎机。该公司1926年就生产了1520毫米大型旋回破碎机。

该公司自1943年就开始研究液压式旋回破碎机，1953年开始在市场上出售，至今已销售上千台，这个数量超过了世界上其它公司生产的旋回破碎机的总和。

该公司已生产的旋回破碎机最大规格为70—102型，计划生产84—120型旋回破碎机（用于建材工业）。

在旋回破碎机上应用液压技术是该公司首创的，因此《Superior》型旋回破碎机以采用底部单缸液压式装置调节排料口和实现液压过载保护而著称。

这种产品分为初级型和次级型两种。其结构如图6所示，其技术性能列于表2。

该机具有高速，高处理能力的特点。它克服了—般旋回破碎机的缺点，可以说是旋回破碎机中性能较好的一种。

Allis—chalmers公司生产的《Superior》型旋回式破碎机已取得了美国专利。日本神户制钢所、栗本铁工所，西德、加拿大和瑞典一些重型和矿山机械厂均购买了这项专利，也都生产了《Superior》型旋回式破碎机。

《Superior》型旋回式破碎机突出的特点为：

(1) 采用了高深式破碎腔，保证物料在被破碎时与衬板形成尖锐的啃进角，物料不易滑脱。破碎腔的下部采用非阻塞形断面。

破碎腔的形状是决定破碎机处理能力、动力消耗、磨损以及其它各项技术指标的重要因素。

阻塞形（直线型）破碎腔排矿口面积小，空隙率极低，易发生堵塞。这是造成机器过载和衬板下端磨损严重的主要原因。阻塞形破碎腔的最小容积量和最大容积量之比小于0.63时产生阻塞现象。曲线型（非阻塞形）的排矿点上升而排出点的容积大。因此阻塞点位置以下的部分空隙率大，不会出现堵塞现象。所以动锥体和固定锥体衬板的磨损量小。在偏心行程相同的情况下，曲线型（非阻塞型）破碎腔物料通过量大，所以处理能力比直线型破碎腔高一些。采用非阻塞形破碎腔断面，不仅可以增大破碎能力，而且还可以缩小排矿间隙，即可提高破碎比又能减少产品过粉碎现象，并节省动力消耗。

(2) 采用底部排矿，克服了侧面排矿存在的问题。而下部机体的高度又得到了缩小，机器重量也得到减轻。

(3) 采用螺旋锥齿轮传动，齿轮接触系数高，运转平稳。

(4) 采用富有自润性的树脂环密封, 有效地防止了粉尘进入球面瓦和轴承内。

(5) 采用了可靠的液压定位机构, 可自动排出不可破碎物。

液压系统有支持破碎锥体, 调节排矿间隙大小和实现过载保护三个作用。

破碎锥体的支持是靠油缸和活塞来完成。当压力油通过油缸时, 缸中的活塞可以上下运动, 使得破碎锥体上下运动。当衬板磨损后, 可以通过破碎锥体上升或下降来调节排料口的尺寸。此外, 当矿石中混入不可破碎的物料时, 破碎锥把较大的压力传递给油缸中的油, 当压力超过70公斤/厘米²时(平衡缸的工作压力)使油反向流动, 迫使破碎锥体下降, 一直到非破碎物从机器中排出为止, 然后机器自动复位。

压力油是由高压油泵供给的, 为防止油中混进杂质, 在油路中设置了油过滤器。

Allis—Chalmers公司生产的液压旋回式破碎机排矿口的调节工作或非破碎物的排出工作, 只需一分钟就可以完成。

旋回式破碎机在破碎大块物料时破碎锥体有时会出现跳动现象, 往往使得破碎机的推力轴承损坏。Allis—chalmers公司在油路中设置了平衡缸, 使这一问题得到了解决。

平衡缸的上边是一个空气室, 它起着密封空气的作用。

由于破碎锥体的重量作用, 在管路中产生的油压高于空气密封的压力, 所以应使锥体和活塞配合协调。因此在活塞无负载运转时, 破碎锥体要经常保持在最高位置上。如果锥体跳动时, 会削弱锥体向下的压力, 因油缸中的油失去了破碎锥体的重量作用, 只剩下锥体下边的活塞重量所产生的极小的油压。管路中油压低于平衡缸内空气室压力, 平衡缸内的油由于空气室压力作用流往破碎机的油缸, 使锥体下方的活塞迫从锥体的跳动。当锥体由于重力作用复原时, 油通过管路内的单向阀缓慢地流向平衡缸内, 锥体缓慢下降与下部推力盘轴承慢慢接触, 而防止锥体跳动而造成的损伤。

(b) 该公司生产的旋回式破碎机可以通过更换偏心轴套的办法改变机器工作的偏心距, 以适应破碎不同矿石的要求。

表2 初级型Superior型旋回式破碎机技术性能

规格	给料口 (毫米)	动锥体摆频 (转次/分)	小齿轮转速 (转/分)	电机功率 (马力)	偏心距 (毫米)	排料口 (毫米)	处理能力 (吨/时)
30—55	760	175	600	300	32	64~140	420~900
36—55	910	175	600	300	32	102~140	600~850
42—65	1070	150	514	400	38	114~178	880~1650
48—74	1220	135	514	500	41	127~203	1700~2700
54—74	1370	135	514	500	41	140~203	1800~2550
60—89	1520	125	514	600	46	152~229	2500~3600
60—109	1520	110	450	1000	51	216~305	4300~6600

表2b

次级型Superior型旋回式破碎机技术性能

规格	给料口 (毫米)	动锥体摆频 转/分	小齿轮转 速转/分	电动机功 率(马力)	偏心距 (毫米)	排料口 (毫米)	处理能力 (吨/时)
13—30	320	285	925	125	25	51~76	200~300
16—50	400	225	764	150	32	51~89	350~480
24—60	610	175	600	300	32	64~114	480~730
30—70	760	150	514	400	38	64~140	700~1500

B. Rexnord公司重型旋回破碎机

美国 Rexnord 公司生产的Symons型粗碎用旋回式破碎机也是比较著名的。产品分为重型和特重型,给料口尺寸有30"; 42"; 48"; 54"; 60"五种。该机装设有液压式悬挂式支撑和液压调节排料口装置。该公司也生产底部单缸液压支撑主轴式旋回式破碎机。60"型旋回式破碎机处理能力为6960吨/时。图7为该公司生产之旋回式破碎机。

C. 瑞典Morgardshammar公司旋回破碎机

图8为瑞典Morgardshammar AB生产的顶部单缸液压式旋回破碎机。

该机最大的特点是偏心部分采用瑞典SKF公司生产的滚动轴承。装配时,采用冷冻法,消除了热装时产生的内应力,提高了轴承使用寿命。由于采用了滚动轴承偏心部件,使得偏心部间隙减小,而有利用保持破碎机排料口尺寸。

作为重型负荷的旋回式破碎机,采用顶部单缸液压式调节和过载保护装置其技术难度是很大的。因为粗碎时破碎机主轴必须承受很大的破碎力,而顶部液压缸又不可能有很大的承载面积。

该机另一特点是动锥体的断面形状设计有独特之处。它使破碎机有较大的破碎空间,锥体下部曲线和凸出部分又能较好的保持排料口尺寸。

其性能列于表3。

表3

Morgdshammar公司旋回破碎机性能

型号	锥体直径mm	给料口mm	锥体摆频 次/分	功率kW	处理能力 m_3/h
BS400	1250	400×1200	220	130~150	90~130~200
BS600	1850	600×1800	127	190	400~690
BS750	2070	750×2000	115	315	450~770
BS900	2040	900×2300	115	315	520~860
BS1350	2100 2000	1500×3200	106	330~350	480~1700
BS1600	2400	1600×3700	110	500	1300~2500
BSA600	1300	600×1660	140	200	90~190
BSA900	1530	900×2350	120	250	240~370
BSA1100	1530	1100×2750	120	250	430~700

圆锥破碎机

A. Allis型液压圆锥式破碎机

液压式圆锥式破碎机是1948年美国Allis—Chalmers公司首创的。这种设备的最大特点是采用液压系统，实现了液压保护和液压调节排料口。破碎机按其用途可以分粗型、中间型和细型三种。每种破碎机都可以采用更换偏心套的方法改变偏心距的大小，以适应破碎不同类型矿石和岩石的需要。

液压式圆锥式破碎机在结构上和液压式旋回式破碎机十分相近。其结构如图9所示。

该机的特点是：①破碎能力大；②结构简单，制造容易；③液压控制性能良好，运输可靠。

液压系统有下述三个作用：

①调节排料口尺寸。破碎机的主轴是采用压力油支承的，因此油压室的油的进出作用，就会使主轴上升或下降，从而达到调节排料口尺寸的目的。

22"的小型圆锥式破碎机采用手动齿轮泵，36"~84"圆锥破碎机则采用电动齿轮泵给油压室供油。调节排料口时，只需一个人在一分钟内就可以完成。操作非常安全，没有必要拆开设备，也不需任何辅助设施。当破碎机可动锥体和固定锥体衬板磨损后，可以采用主轴上升来弥补因磨损造成排料口加大问题。这样使得破碎机可以经常维持在给定的排料口工作。

②排出破碎腔中的矿石

倘若破碎机因停电以及其它外界原因而造成事故停车时，停留在破碎腔中的矿石，可以籍助于液压系统使破碎机可动锥体下降，排矿间隙增大，从而把矿石排出破碎腔，不必象旧式破碎机那样把矿石一块块挖出来，这不仅改善了岗位操作人员的劳动强度，而且可以很快地排出故障进行生产。

③保护破碎机

如破碎机内混进非破碎物(如铁块等)时，支持破碎锥的油压室中压力增高，超过储能器中气体的压力，致使储能器被压缩，此时油从油压室流到储能器一边。破碎锥自动下降，使非破碎物排出。当排除故障后，储能器使油回输到油压室里，破碎机就自动回复到原来正常工作的位置。

Allis—Chalmers公司生产的液压圆锥式破碎机在结构上还有一个特点，就是高锰钢制的衬板和机体、锥体之间是经过磨削加工的，因此不采用灌锌工艺。其技术性能列于表4。

Allis—Chalmers公司近年来生产了新型液压圆锥破碎机。该机具有小的偏心距和高的动锥摆动速度，并装有自动调节排料口和功率的控制器，该机具有较大的破碎力和较高的处理能力。图10为该机结构，表5为该机的技术性能。

该公司已完成200型、300型、400型、500型600型700型和800型破碎机研制工作，并已形成了系列。

Allis—Chalmers公司M.D. Flavel曾用新型的小偏心距圆锥破碎机与常规用细碎机和湿式半自磨机进行了处理斑岩铜矿的试验，试验结果如表6所示。矿石的功指数 $W_i = 13$ 。

表中结果表明，新型小偏心距液压圆锥破碎机的能耗比常规细碎机低25%，比半自磨机低53%，而且设备安装功率常规细碎比新破碎机要高25%。

表4a

液压圆锥破碎机使用性能〔开路时处理能力(短吨/时)〕

破碎机规格	功率范围 (电)	破碎腔 时 毫米 型式	1/4" (6mm)	3/8" (10mm)	1/2" (13mm)	5/8" (16mm)	3/4" (19mm)	7/8" (mm)	1" (25mm)	1 1/4" (32mm)	1 1/2" (38mm)	2" (51mm)	2 1/2" (64mm)
22"	1	25 细	13										
(559 mm)	2	51 中	20	24	26	28							
	3	76 粗		34	36	38	40	45					
36	2	51 短	75	80	85	90	100						
(914 mm)	2	51 细		70	75	80	95						
	4	102 中		75	80	90	100	110	115				
	5 ^{1/2}	140 中粗			85	100	110	120	130	140	150		
(75-125 mm)	7	178 粗					120	140	160	175	190		
45"	2 ^{1/2}	64 短		110	125	135	140						
(1143 mm)	3	76 细		80	95	105	110						
	6	152 中			145	155	160	165	175	190	220		
	7 ^{1/2}	191 中粗					170	180	195	210	225		
	9	229 粗					195	215	235	250	265	290	
51	2	51 短		145	160	170	190						
(129 mm)	3 ^{1/2}	89 细		120	125	130	140	145	155	170	190		
	6	127 中			140	145	155	160	170	185	205		
	6	152 中			165	185	205	220	235	255	275		
	7	178 中粗				190	210	225	245	265	285		
	10	254 粗					215	240	265	290	315	350	
60"	3	76 短		160	190	215	225	235	245				
(1520 mm)	4	102 细		155	165	175	185	195	205				
	7	178 中				275	290	300	310	330	350		
	10	254 中粗						310	325	350	385	420	
	12	395 粗						350	350	400	450	525	600
60"	3	76 短		360	390	430	470	510	540				
(1524 mm)	5	127 细		400	440	470	515	535	560				
	7	178 中			470	520	535	550	570	640	690		
	10	254 中					575	625	675	750	850		
	13	330 中粗						650	700	800	900	1100	
	17	432 粗								950	1200	1300	

表4b 液压圆锥破碎机使用性能〔闭路时处理能力(短吨/时)〕

液压型颚破机使用性能(吨/时)		通过筛子的净产品吨/时...通过破碎物料量(为净产品+循环负荷)																		
破碎机 规格	功率范 围(电)	腔毫 米	型式 1/8"(3mm)	3/16"(5mm)	1/4"(6mm)	3/8"(10mm)	1/2"(13mm)	5/8"(16mm)	3/4"(19mm)	1"(25mm)	A		B A		B A		B A		A	
22"	1	25	细	6	10	7	11	8	13											
(559 mm)	25-30	2	51	中	11		18	14	23	18	28	22	31	24	34					
36"	2	51	短	35	70	40	75	45	80	60	95	65	100	70	105	80	120			
(914 mm)	75-125	2	51	细	35		65	40	70	55	85	60	90	65	95	75	100			
	4	102	中						55		85	60	90	70	105	80	120	85	125	
45"	2 ^{1/2}	64	短		50		105	70	125	90	185	100	150	105	160	125	170			
(1143 mm)	100-200	3	76	细			50		85	55	90	60	95	65	105	80	120			
	6	152	细						100		150	110	165	120	180	125	185	135	200	
51"	2	51	短		60		125	75	150	120	175	125	190	135	200	160	225	175	250	
(1295 mm)	125-200	3 ^{1/2}	89	细		55			110	80	120	85	130	90	140	105	160	130	190	
	5	127	中	细					90		135	95	145	100	155	115	175	140	205	
	6	152	中								125		195	140	215	165	235	190	270	
60"	3	76	短			95			160	125	190	155	230	175	260	190	270	205	290	
(1524 mm)	200-300	4	102	细					120		180	130	195	140	210	160	225	270	240	
	7	178	中										200		300	225	330	250	350	
84"	3	76	短			220			340	270	400	315	460	360	520	420	565	485	645	
(2134 mm)	300-500	5	127	细					320		475	345	525	380	565	450	615	500	670	
	7	178	中								375		565	420	625	465	640	510	680	

表5

500型和600型液压圆锥破碎机技术性能

破碎机 型号	电机 功率 (马力)	给矿口 (毫米)	破碎腔 类型	顶部 臂数	闭合边排料口与处理能力吨/时								
					10 毫米	13 毫米	16 毫米	19 毫米	22 毫米	25 毫米	32 毫米	38 毫米	51 毫米
500	125~ 250	89	细	3	118	150	159	172	181	186			
		127	中细	3		159	168	181	186	190			
		152	中	2或3		154	172	190	209	227	249	286	
		178	中粗	2			181	200	218	236	268	304	
		254	粗	2				209	227	249	281	313	
600	200~ 300	76	细	3		204	218	236	245	258			
		102	中细	3		218	240	254	263	263			
		178	中	2或3			254	268	290	313	349	395	
		254	中粗	2				277	299	331	372	417	508
		305	粗	2					317	349	395	440	553

开路

型号	电机 功率 (马力)	给矿口 (毫米)	破碎腔 类型	顶部 臂数	闭合边排料口与处理能力 吨/时									
					6(毫米)		10(毫米)		13(毫米)		16(毫米)		19(毫米)	
					A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
500	125~ 250	89	细	3	81.6	122	90.7	136	113	177	122	186	132	204
		127	中细	3					122	186	127	195	141	213
		152	中	3							132	204	150	227
600	200~ 300	76	细	3			127	195	154	240	168	254	177	277
		102	中细	3					168	254	181	281	195	299
		178	中	3							195	299	204	313

闭路

表6

碎磨设备能耗和成本相对比较

项 目	新型圆锥破碎机	常规细碎机	半自磨机
运转率 %	0.95	0.95	0.80
设计的功率系数	1.05	1.05	1.25
磨碎比能耗	1.00	1.25	1.53
安装功率	1.00	1.25	1.89
磨碎设备投资	1.00	1.25	1.86
金属磨耗	1.00	1.25	1.53
每吨产品费用	1.00	1.25	1.53
投资回收	100%	60%	25%
与半自磨比较	4倍	2~4倍	1

M. D. Flavel在另几篇文章中更详细地项述了新、旧圆锥破碎机的对比。

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：第一是破碎锥体的锥角、形状和高度；第二是动锥体运动时的偏心摆幅和运转速度。

图12所示之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料而言，物料得到的破碎效果却完全不同。可比较一下，当把这两种形式的破碎机都用于细碎，给料的上限粒度是30毫米，且排料口也相同。

试验结果表明，那台偏心摆幅较小的高深式破碎腔的破碎机(Ⅱ型)，比偏心摆幅较大的短破碎腔破碎机(Ⅰ型)的产品细些。其原因在于物料在前一种破碎机中受到的破碎作用较好，破碎比也较大。

图13表示三种不同形式圆锥破碎机的产品粒度分布情况。

三种细破碎机具有不同的偏心距，给料来自同一个矿仓。细碎机2和3因具有较小偏心距，都可获得更多的细粒产品。细碎机1的排料口比细碎机2和3大40%。

从这些试验中所获得合格产品的占有量(图14)可以看出，功率较大的破碎机所生产的合格粒级产品数量也较多。

日本神户运用压缩层工作原理，放大了排料口尺寸，强化层压破碎作用，运用A-C公司液压圆锥破碎机及其自动控制系统(图15)发展了液压圆锥破碎机技术，于1976年研制出自生细碎机(Auto-Fine Crusher)。

Auto-Fine是自作用细碎之意。该机工作原理介于A-C液压圆锥破碎机和Nordberg旋盘式破碎机之间，吸收两机的优点，共有八种规格(表7)，至1984年已生产了212台，全部用于砂石工业，破碎产品粒度示于图14。

表7 Auto-Fine破碎机的技术性能

规格	电动机功率 kw	处理能力t/h*			已生产台数
		20—60 mm	13—40 mm	5—25 mm	
30AF	50~95	30	86	93	55
35AF	75~130	130	136	147	109
36AF	130~220	229	235	254	38
60AF	220~330	398	417	450	10
80AF	370~750	865	405	978	—

*假比重为1.6t/m³。

这种破碎机的优点是：①对于相同的破碎产品粒度，其排料口宽度和处理能力比惯用的圆锥破碎机大得多；②由于排料口宽度较破碎产品粒度高，故适用于要求破碎产品粒度较细的场合；③破碎力和功率的波动小；④破碎产品中条状或片状颗粒较少。图15为AF型破碎机液压及功率的波动图线。⑤30~150毫米的原块矿可直接破碎至5毫米以下；⑥AF破碎机对破碎物料性质变化不敏感，给料中含水量对破碎机生产能力影响不显著；配备有自动控制装置，保证设备在最佳条件下稳定地连续运转。

图15为Auto-Fine破碎机压缩层破碎过程示意。

表8为36"液压式Auto-Fine破碎机试验结果(石灰石矿)

表8 36"液压破碎机试验结果(石灰石)

给料尺寸	毫米	5~13		10~20	
闭合边排料口尺寸	毫米	6.8	16.1	7.1	18.4
破碎机腔型	毫米	短头	AF	短头	AF
液压压力(最大)	公斤力/厘米 ²	56	31	50	30
液压压力(平均)	公斤力/厘米 ²	26	21	34	26
电功率(千瓦)		75	120	98	101
要求产品粒度	毫米	-5		-10	
处理能力(产重)	吨/时	36.1	76.2	55.6	84.8
单位动力消耗	千瓦时/吨	2.08	1.57	1.79	1.19

表9为产品中不同形状粒子含量。

表9 产品中粒子形状及含量(石灰石矿)

给料粒度mm	10~20	
排料口宽度(闭边)mm	7.1	18.4
粒 状	20%	54%
细 长 形	26%	16%
薄 片 状	22%	26%
薄而长型	32%	4%
合 计	100%	100%

B. Gyradisc圆锥破碎机

为了增大细碎圆锥式破碎机的破碎比,试图在磨矿作业前能较为经济地获得-6毫米的细粒产品。从1960年起,美国Nordberg(现Rexnord)公司就开始研究一种压力式破碎机,称为旋盘式(Gyradisc)圆锥破碎机。其实质是一种改进了破碎腔型式的圆锥破碎机。

旋盘式破碎机从外形看和普通Symons型圆锥破碎机很相似,图9为该机的剖视图。图10为旋盘式破碎机破碎腔剖面及其工作状态。

由图11可以看到,破碎腔的上部形成了一个圆锥漏斗式初碎区,工作时充满了待破碎的物料,形成了类似“压头”的作用,而改善了破碎效果。

旋盘式圆锥破碎机吸收了Symons型圆锥破碎机和冲击作用原理的破碎机结构特点,利用多层颗粒的内部研磨和冲击压力作用破碎矿石和物料。

该机的主要特点是①增大了非控制粒度区破碎腔体积;②在平行区改变了破碎腔结构型式,平行带很短,但角度很平缓,并做成环状“重块式的特殊结构。物料在破碎机中形成很厚的环状“密实的聚积层”。物料在破碎腔内不会自行下滑,是靠锥体运动对物料的推进排出破碎机。破碎腔中的物料一直处于填满状态。机器还设有旋转式给料器使物料均匀地给入破碎腔。

表10为旋盘式破碎机技术性能

表10

旋盘式破碎机性能

旋盘式破碎机规格		圆锥直径 吋(毫米)	破碎机处 理能力 吨/吋	细产品每小时处理能力 吨/吋									标准 C-33 砂样
英 制	公 制			9毫米	6毫米	5毫米	3毫米	2毫米	1.6 毫米	1毫米	0.083 毫米		
36"GD	900GD	26"(914)	75	60	50	35	30	23	18	15	10	20—25	
48"GD	1200GD	48"(1219)	120	105	80	55	45	40	30	25	17	35—40	
54"GD	1400GD	54"(1371)	140	125	90	95	50	45	35	30	20	40—45	
84"GD	2100GD	84"(2131)	230	250	180	130	100	90	70	60	60	80—90	

该机破碎比较大,产品细而均匀,从而减少了磨矿设备的负荷,适用于细碎。

美国Rexnord公司已生产了36", 48", 54", 66", 84"五种规格旋盘式圆锥破碎机。

表11为36"GD旋盘式破碎机给料和排料筛析。表12为旋盘式破碎机排料筛析与普通短头型圆锥破碎排料筛析对比

据美国某铁隧岩选矿厂应用旋盘式破碎机的试验表明,旋盘式破碎机最终破碎产品为9毫米时,可以将该厂碎磨设备流程中第一段棒磨取消。改用球磨机生产,结果电耗可节省2.04千瓦·时/吨。1930年J.C.Motz在《选矿厂设计》一文中指出,在三段开路破碎和棒磨一球磨生产流程中,增加第四段破碎机代替棒磨机,可节约电耗2.2千瓦·时/吨,引人注目。

看来,采用旋盘式破碎机代替棒磨机生产是可以考虑的重要技术方案。“多碎少磨”流程的效果是明显的,这对于节能确有现实意义。

Kexnora公司生产的旋盘式破碎机已在美国、南非和英国大量应用。有人认为采用旋盘式破碎机生产磨矿机的给料,建设投资大为节省。特别是大型84旋盘式破碎机供应市场后,更加引起各国选矿厂工作者的注意。看来,用它代替棒磨机是完全可行的。因为大量地实践已表明84"旋盘式破碎机产品中—6毫米粒级含量高达67%。至于用它代替现场广泛使用的短头型圆锥式破碎更是具有重要的现实意义。

表1

36"GD给料和排料筛析

筛孔尺寸 (毫米)	给 矿 (%)	排 矿 (%)	筛孔尺寸 (毫米)	给 矿 (%)	排 矿 (%)
26.67	100.00		0.83		13.47
18.85	89.11	100.00	0.59		11.44
13.34	44.41	93.36	0.42		9.96
6.68	24.32	66.41	0.29		8.76
4.70	11.78	47.04	0.20		7.56
3.33	4.23	34.86	0.14		6.45
2.36	1.56	62.56	0.10		5.16
1.65	0.89	20.66	0.074		4.24
1.68		16.42	水析		0.00

图18为旋盘式破碎机腔型尺寸和技术参数特性。

C. 超重型短头型圆锥破碎机

美国Rexnord公司近几年为坚硬铁矿的超细碎设计制造了Extra Heavy duty型短头圆锥破碎机。

该机的主要特点是具有独特的破碎腔形状, (图19)。

以7'为例, EXHD型的破碎机安装功率为400马力, 机器高度(可比部分)为3613毫米, 宽度为4020毫米; 而普通型圆锥破碎机为350马力, 高度为3429毫米, 宽度为3613毫米。弹簧破碎予紧力为750吨, 比普通机高150吨; 机器重量前者为89吨, 后者为70吨。由此可见, 起重型短头圆锥破碎机可承担坚硬矿石的破碎。

澳大利亚布干维尔铜选矿厂采用了16台7' ($\phi 2130$)超重型短头圆锥破碎机, 加大了破碎力的作用, 提高了破碎比, 使破碎产品最终粒度(P_{80})由10毫米降至6.5毫米; 同时降低了破碎作业比功率消耗(约为10%), 大大改善了球磨机工作条件。

表13为破碎产品粒度筛析结果, 图20为该厂破碎生产工艺流程。

表13 破碎产品筛析

粒度(m/m)	$\Sigma\gamma\%$	$\Sigma\gamma\%$
+ 13.2	3.7	0.89
+ 9.5	14.9	5.86
+ 6.7	49.9	22.03
+ 0.3	84.0	79.58
+ 0.075	89.6	87.38
- 0.075	10.4	12.62
P_{80}	9160	6968
	普通破碎机(1973年)	起重型破碎机(1978年)

D. 惯性离心式圆锥破碎机

苏联Механодр等从50年代末期就开始进行大破碎比惯性离心振动型圆锥破碎机的试验研究工作。经过近30多年的不断改进和完善, 现已完成了 $\phi 300$, $\phi 600$, $\phi 1750$ 毫米破碎机的试验并已开始定型生产。最近完成了 $\phi 2200$ 破碎机设计。大量生产和试验表明破碎产品粒度可达-6毫米80%。图15为现在生产的破碎机结构示意图。表12为惯性离心振动圆锥破碎机系列型普及技术性能。

表14 惯性圆锥破碎机技术特性

性能	КИД-300	КИД-600	КИД-1750
破碎锥直径 m.m.	300	600	1750
最大给矿尺寸 m.m.	20	50	90
体积处理能力 m ³ /h	1	13	90
破碎产品标准粒度毫米 (P_{80})	2	8	10
电动机功率 kw	10	75	500