

特大型振动磨

及其应用

张世礼
编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

特大型振动磨及其应用

张世礼 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 简 介

本书共分8章,主要包括:国内外振动磨发展概况、特大型振动磨的结构原理、特大型振动磨的动力学、特大型振动磨的零部件设计、特大型振动磨粉磨产品的形貌分析、特大型振动磨的应用工艺、特大型振动磨的应用等。

本书可供科研院所相关专业的工程技术人员、科技人员以及大专院校的师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

特大型振动磨及其应用/张世礼编著. —北京:冶金工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-5024-4295-8

I. 特… II. 张… III. 振动磨机 IV. TD453

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 095172 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩高第街北巷39号,邮编 100009)

责任编辑 杨盈园 美术编辑 张媛媛 版面设计 张 青

责任校对 石 静 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4295-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007年7月第1版,2007年7月第1次印刷

148mm×210mm 7.875印张;247千字;240页;1-3000册

25.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

自首台以细磨和超细粉磨为特点的工业振动磨问世以来,已历经近百年的发展史,在许多行业中取得成功应用。随着设备的不断出新,振动磨技术也得到长足进步,应用也越来越广泛,其中最显著的标志可以归结于两方面:一是振幅由早期的3~7mm提高到12~15mm,使磨机的生产能力得到数倍提高,因结构和设计参数制约的振动磨设备大型化难题可望通过高产得到较好的解决;二是振动粉磨的作用原理向破碎作业拓展,使其高能量利用率、高粉碎比的优势在包括粗碎、细碎和细磨等各个阶段都得以充分利用。对于大振幅所产生的高效应,国际工程界目前已形成广泛共识,并作为衡量振动磨设备性能的分界线;而振动粉磨与振动破碎相结合,则使高细粉体的制备能耗大为降低,效率更加显著。

但随着振动大振幅化也带来了许多问题,如:(1)设备的可靠性差,经常出现轴承发热、抱死现象;筒体或机架开裂;弹簧失效,给设备的正常运转带来许多难以克服的困难,使系统的运转率急剧下降,设备在较短时间内报废。(2)噪声大。由于大振幅,使磨介之间、磨介和筒体之间出现非常大的冲击能,部分能量转化以声音的方式,使噪声达到100多分贝,对环境影响很大。(3)发热量大。大部分过剩冲击能被转化为热量的形式,使磨介、磨筒、被磨物料温度处于较高的水平,一般在100℃以上,其高能耗是显而易见的。

洛阳启星技术开发有限公司为振动磨的大型化采用截然不同的发展模式,在振动磨的大型化技术上取得了很大的成功,其特点为振动器的重心和磨机重心偏离一定的距离,使磨介的运动为椭圆形和直线形的混合模式。使磨介在粉磨腔内为流动状态,而不是圆运动轨迹的被抛起。虽然最大振幅可达12mm以上,但由于磨介没有被抛起,只是在更快的速度流动,使磨机内磨介之间冲击力很少,而主要加强以滚压、剪切和磨碎。椭圆形和直线形的运动轨迹变化,使磨介之间存在较大的运动速度差,使剪切和磨碎作用强化。因此磨机特别适合于细磨和整型,使粉体具有非常高的流动性。由于磨

机的冲击负荷小, 剩余能量低, 产生的噪声水平和热量值远小于普通的振动磨和球磨机, 因此节能效果非常显著。

新型振动磨采用非常简单的单筒大筒径结构, 振动器的旋转中心离开振动磨的重心一定距离, 振动器安装在振动磨的侧边, 便于安装和检修, 同时易于标准化设计。筒体由于结构简单, 因此可靠性高; 采用性能超群的抗振轴承, 使用寿命大幅度提高, 平均寿命可达 2~3 年; 采用金属和橡胶复合弹簧使振动磨在启动和停车通过共振区时, 磨机振幅被限制在一定的范围内, 使所有零部件的受力大小被限制在允许的范围内, 处于永不超载的状态, 以此提高磨机的可靠性。

洛阳启星技术开发有限公司通过近 10 年的发展, 振动磨的筒径实际制造大小从 $\phi 900\text{mm}$ 发展到 $\phi 1800\text{mm}$, 目前已设计出 3500mm 筒径的振动磨, 磨矿室容积可达 10 万升, 装机功率可达 2500kW , 用于二氧化硅、重钙、高岭土、滑石、膨胀珍珠岩、氧化铝、耐火水泥、氧化锆、超细水泥、食品等行业, 有近 100 台在使用中。

本书可供科研院所相关专业的工程技术人员、科技人员以及大专院校的师生参考阅读。编者水平有限, 不妥之处, 欢迎指出。

作者

2007 年 3 月

目 录

1 国内外振动磨发展概况	1
1.1 国外振动磨的发展现状	1
1.2 国内振动磨的发展现状	10
1.3 振动磨发展的突破	24
1.3.1 特大型单筒偏心振动磨	27
1.3.2 中小型单筒偏心振动磨	28
1.3.3 小型高能单筒偏心振动磨	29
1.3.4 MZDS 振动棒磨制砂机	30
1.3.5 MWS 无铁污染制砂机	31
1.3.6 MPWP 无铁污染批量生产振动磨	32
1.3.7 MPWS 深冷偏心振动磨	33
1.3.8 MPW 偏心无铁污染振动磨	34
2 特大型振动磨的结构原理	36
2.1 特大型振动磨的结构	36
2.2 特大型振动磨的工作原理	36
2.3 特大型振动磨的关键技术	39
3 特大型振动磨的动力学	46
3.1 特大型振动磨的动力学模型	46
3.2 特大型振动磨的参数计算	49
4 特大型振动磨的部件设计	50
4.1 特大型振动磨的机体	50
4.1.1 断裂力学基本原理	51
4.1.2 材料的开裂与断裂	52
4.2 特大型单筒偏心振动磨的轴承	56
4.2.1 轴承保持架受力分析	57

4.2.2 振动粉碎机械轴承的性质	59
4.3 特大型单筒偏心振动磨的弹簧	69
4.4 联轴节	69
5 特大型振动磨粉磨产品的形貌分析	71
5.1 描述粉体的一般方法	71
5.2 粉体细度	71
5.3 粉体粒度分布	72
5.4 粉体颗粒形状	73
5.5 颗粒表面特性与综合形状系数	75
5.6 粉体表面羟基数量	80
5.7 研磨机理对颗粒形状的影响	81
5.8 特大型振动磨对粉体粒子的贡献	90
6 特大型振动磨的应用工艺	98
6.1 振动磨的工作方式和分类	98
6.2 特大型单筒偏心振动磨的优点	98
6.3 特大型单筒偏心振动磨的应用工艺	100
6.3.1 特大型单筒偏心振动磨断续磨工艺	100
6.3.2 特大型单筒偏心振动磨连续磨工艺	101
6.3.3 单筒偏心振动磨深冷粉磨工艺	116
7 特大型振动磨的应用	119
7.1 MWS-2000L 无铁污染制砂机生产熔融石英砂	120
7.2 MZDS 制砂机生产人工建筑砂石	123
7.3 特大型振动磨在电工、电力行业的应用	125
7.4 特大型振动磨在电子级熔融硅微粉	131
7.4.1 对封装材料的要求特性	133
7.4.2 研磨二氧化硅填充物的制造方法	136
7.4.3 二氧化硅填充物粒度分布和成形特性	138
7.5 特大型振动磨用于涂料、油漆、塑料级硅微粉	145
7.5.1 路标油漆涂料	148
7.5.2 建筑油漆涂料	148
7.5.3 耐磨耐腐蚀油漆涂料	148
7.5.4 透明塑料薄膜	149

7.6 特大型振动磨在耐火材料行业的应用	152
7.6.1 MPWP-1000L 单筒偏心振动磨在耐火材料 行业的使用	152
7.6.2 耐火材料级熔融硅微粉	153
7.6.3 特大型单筒偏心振动磨精密铸造粉	155
7.6.4 特大型振动磨用于硅酸铝水泥、耐火水泥	160
7.6.5 特大型振动磨用于耐火炉料	161
7.7 特大型振动磨用于陶瓷、化工、玻璃纤维及硅微粉	162
7.8 特大型振动磨用于人造石行业及塑料粘结件硅微粉	166
7.9 特大型振动磨在煤系高岭土行业的应用	167
7.10 特大型振动磨在重质碳酸钙 (GCC) 行业的应用	176
7.10.1 MZD 偏心振动磨配合雷蒙磨生产高 产量 600~1500 目细粉	181
7.10.2 MZD 偏心振动磨生产 600~1500 目重钙	182
7.10.3 食用重质碳酸钙 (GCC) 粉磨	184
7.10.4 改性重质碳酸钙 (GCC) 粉磨	185
7.11 特大型振动磨在膨胀珍珠岩行业的应用	185
7.11.1 表面熔结珍珠岩	186
7.11.2 珍珠岩防水保温制品	186
7.11.3 珍珠岩助滤剂	187
7.11.4 憎水剂	187
7.11.5 珍珠岩填料	187
7.11.6 珍珠岩磨料	188
7.11.7 膨胀珍珠岩微粉生产线	188
7.12 特大型振动磨在电融氧化锆的应用	189
7.13 特大型振动磨普通水泥的粉磨	190
7.13.1 水泥的颗粒形态	190
7.13.2 最紧密堆积理论	192
7.13.3 水泥粉磨设备	195
7.14 特大型振动磨在超细水泥及超细矿渣行业的应用	199
8 特大型振动磨的特种应用	208
8.1 利用单筒偏心振动磨进行深冷粉碎	208
8.1.1 单筒偏心振动磨使用液体氮的低温冰冻粉碎技术	208
8.1.2 单筒偏心振动磨对软物料的深冷超纯粉碎	210

8.1.3 特大型振动磨应用于超纯纳米颗粒制造和分散	212
8.2 特大型振动磨应用于合金研磨	214
8.3 特大型振动磨在环保行业的应用	217
8.3.1 通过单筒偏心振动磨的机械化学 反应脱卤的基本原理	217
8.3.2 单筒偏心振动磨处理建筑石棉的无害化处理	223
8.3.3 单筒偏心振动磨用于废玻璃的回收利用	224
8.4 单筒偏心振动磨对磨料颗粒的整形处理	229
8.4.1 颗粒分布对磨削性能的影响	232
8.4.2 颗粒的细度	233
8.5 特大型振动磨应用于微粉物料混合	236
8.6 特大型振动磨应用于微粉的改性	237
8.7 特大型振动磨的同磨介无污染磨矿	239
参考文献	240

1 国内外振动磨发展概况

1.1 国外振动磨的发展现状

振动磨的最早雏形是一种同心圆的多室磨，于 1910 年由德国 FASTING 公司发明。但真正意义上的第一台振动磨直到 1949 年才由 SIEBTE-CHNIK 公司制造，为单筒体结构，容积 0.6L 采用间歇式粉磨。20 世纪 50~60 年代，振动磨发展为多筒式，其结构几乎包括 2~6 筒体的所有布置形式，设备最大容积也突破 1000L。1962 年德国 KHD 公司研制的 65U 型以偏心体作激振器的振动磨，是当时生产能力较大的机型，有效容积达到 2820L，以产品细度 $43\mu\text{m}$ (325μ) 计的台时产量达 2.5t/h ，功率 132kW ，并依赖产量和细度的优势，使市场覆盖面在十年中已达到 50 多个国家。这种由电机驱动偏心体飞速旋转带动磨体振动的激振方式，后来为各国所仿效。同期进行研制的还有强制通入压缩空气的气流式振动磨、双腔式振动磨等。自此以细磨为目的的振动粉磨技术，不仅在德国迅速发展，而且在全世界都被效仿，尤其以 Humboldt 公司的 Palla 型 50U、65U 型等产品最为著名，也成为欧美等工业发达国家的重要研究内容和应用形式，如图 1-1 所示，其性能参数见表 1-1。

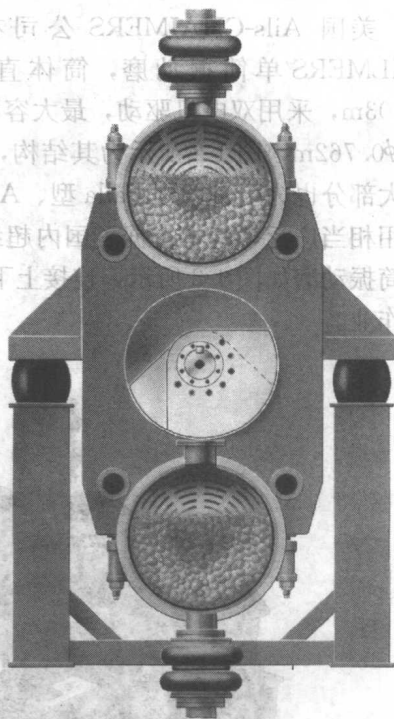


图 1-1 德国 KHD Palla 型双筒振动磨

表 1-1 德国 KHD Palla 型双筒振动磨性能参数

型 号		20U	35U	50U	65U	65UK
磨矿室/mm	内 径	200	350	500	650	650
	长 度	1300	2300	3400	4300	2050
容积/L		68	390	1180	2820	1400
功率/kW		4	18.5	55	110	75
产量/t·h ⁻¹		0.05	0.65	2.5	4	6~12
磨介重 (65%填充)/kg		220	1300	4000	9000	5000
设备重量/kg		380	1600	4900	11000	5000
双振幅: 在振动转速为 1000r/min 时为 10~12mm; 振动转速为 1450r/min 时为 5~6mm						
在中硬物料时, 给料粒度小于 5mm, 产品细度 0~0.2mm						

美国 Ails-CHAIMERS 公司在 20 世纪 50 年代中期研制的 CHLMERS 单筒振动磨, 筒体直径突破了通常的 $\phi 0.65\text{m}$, 达到 $\phi 1.03\text{m}$, 采用双电机驱动, 最大容积为 880L, 但实际可公开的直径只有 $\phi 0.762\text{m}$, 图 1-2 所示为其结构, 其性能参数见表 1-2。英国的振动磨大部分也为引进德国 Palla 型、AUBEMA 型双筒振动磨等技术生产, 应用相当广泛, 基本占据了国内超细粉体加工的主要市场, AUBEMA 双筒振动磨如图 1-3 所示, 连接上下筒的机架倾斜布置, 便于上下筒分别作业。

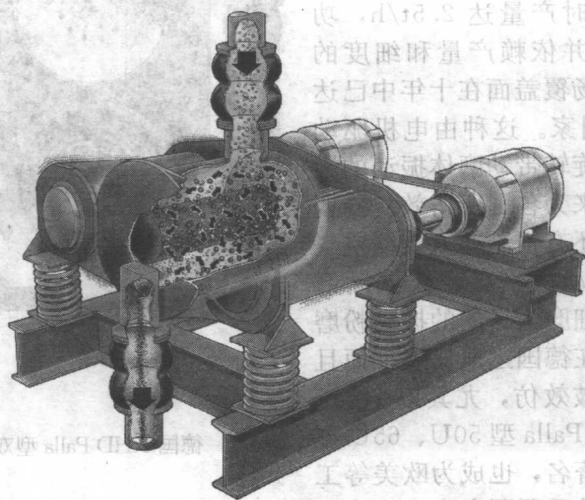


图 1-2 美国 Ails-CHAIMERS 单筒振动磨

表 1-2 美国 Ails-CHAIMERS 单筒振动磨性能参数

型 号	粉 磨 腔		电 机	静 重 (lbs)
	直径/mm	长度/mm	1500RPM	
1518	381	457	2×5.5kW	2700
3034	762	863	2×37kW	13900

前苏联对振动磨的研究重点倾向于设备的大型化,从 1952 年到 1968 年相继研制了 2700L、4000L 甚至 15000L 等大容积振动磨,有效容积大幅度突破了国际当时最大不足 2000L 的局限。但工业应用仍只介于 2000L 以内,例如: M1000-1.0 单筒型,装机功率 70kW; M1000-1.5 双筒型,装机功率 150kW。

日本从 20 世纪 60 年代开始在引进德、美等国技术的基础上进行振动磨技术的研究,发展速度极为迅速,其中以中央化工机械、安川电机、川崎重工等制造商的生产规模为最大,

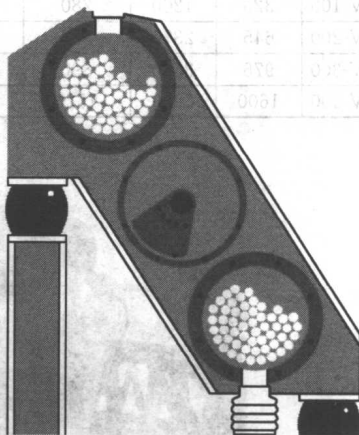


图 1-3 德国 AUBEMA 双筒振动磨

产品最为著名,如 CKC 型、CH 型、RSM 型、VAMT 型、YASR 型、YAT 型和引进的 Palla 型等振动磨在国际上都享有较高的声誉。这些产品并不以容积见长,一般多为 250~1200L,但从材质性能、加工质量和设备的降噪防尘、系统配套等各个技术环节都体现了整体的先进性和工艺完整性,因而市场应用率极高,范围涉及粉磨行业的各种固体物料,图 1-4、图 1-5 所示为其结构,其性能参数见表 1-3、表 1-4。

表 1-3 中央化机双筒振动磨性能参数

型号	容积/L	钢球质量/kg	电动机	机器质量/kg	产量/kg·h ⁻¹
CD-20	65	240	3.7kW×6p×2 台	750	100~200
CD-30	235	870	7.4kW×6p×2 台	2200	300~600
CD-40	550	2000	18.5kW×6p×2 台	3700	600~1300
CD-50	1090	4000	37kW×6p×2 台	7000	1100~2300
CD-60	1910	7000	55kW×6p×2 台	10500	1700~3600
CD-70	3040	11200	90kW×6p×2 台	15600	2600~5500

表 1-4 中央化机单筒振动磨性能参数

型号	金属衬		氧化铝衬		电动机	机器重/kg	产量/L
	容积 /L	磨介重 /kg	容积 /L	氧化铝球 重/kg			
FV-20	65	235	57	95	2.2kW×6P×2台	720	20
FV-30	95	350	80	135	3.7kW×6P×2台	900	30
FV-50	170	600	145	245	5.5kW×6P×2台	1500	50
FV-100	325	1200	280	470	11kW×6P×2台	2200	100
FV-200	645	2370	585	980	18.5kW×6P×2台	3700	200
FV-300	975	3560	890	1490	30kW×6P×2台	5100	300
FV-500	1600	5900	1520	2560	37kW×6P×2台	7800	500

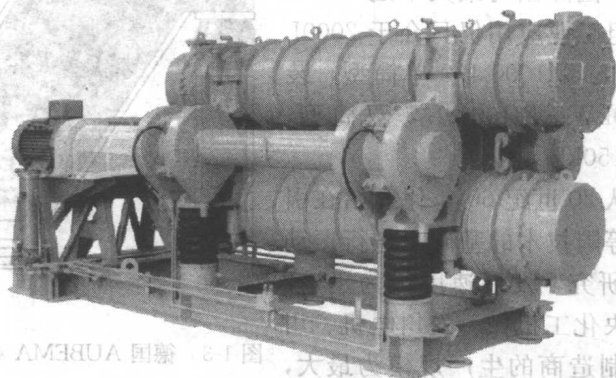


图 1-4 中央化机双筒振动磨

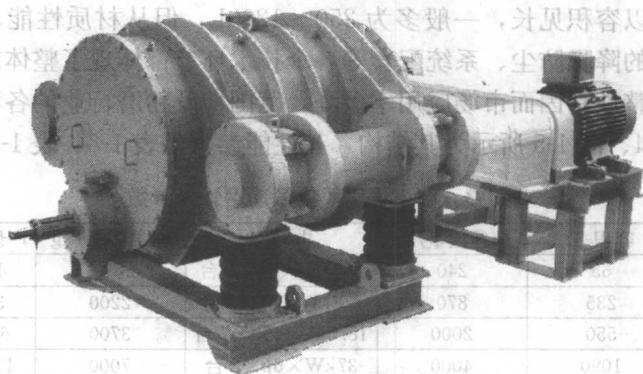
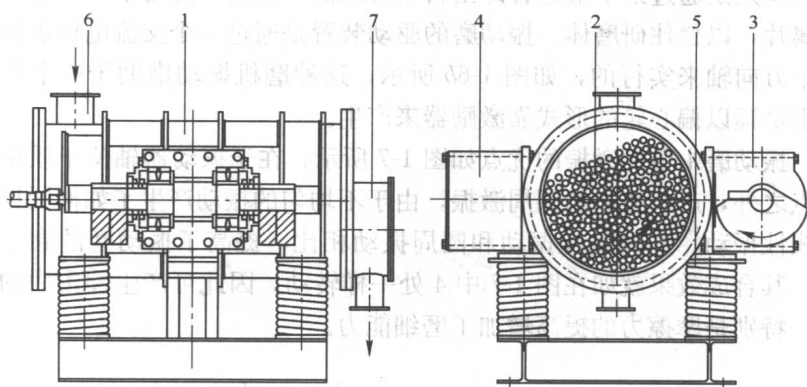
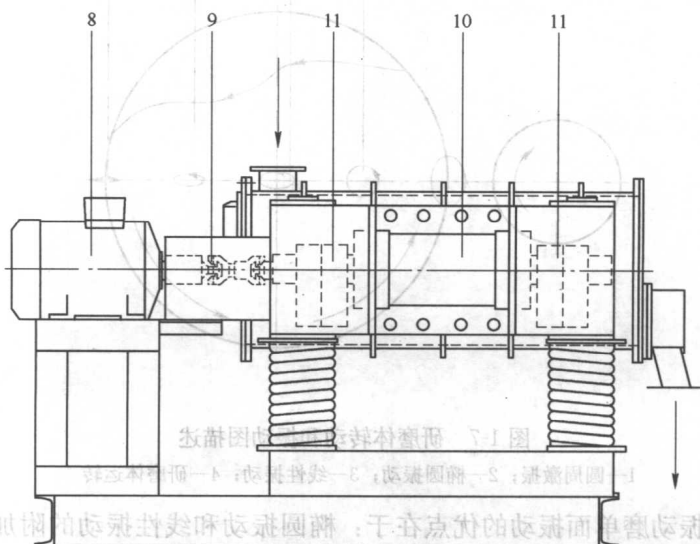


图 1-5 中央化机单筒振动磨

德国 SIEBTE-CHNIK 公司在 20 世纪 90 年代开发一种单筒偏心振动磨，这种振动磨，如图 1-6a 所示，有一带磨介的圆柱形研磨室，在研磨室侧边有一个借助于横梁存在的激振器，它在重力轴和质量中心之



a



b

图 1-6 德国 SIEBTE-CHNIK 单筒偏心振动磨

1—圆柱形研磨室；2—磨介；3—激振器；4—配重；5—螺栓；6—进料口；7—出口口；8—交流电机；9—万向轴；10—轴承座；11—偏心块

外被牢固地固定着。紧靠横梁的是驱动装置，和对面放的配重轴平行，同样也是牢固地固定，研磨室通过螺栓的一个横梁结构被支承着，它可以振动，物料的给入是通过位于研磨室最高处的进料口进行的，研磨好的颗粒则是通过最下端位置即出料口实现的，出料口配备了一个带孔的金属片，以拦住研磨体。振动磨的驱动装置是通过一个交流电机借助于一个万向轴来实行的，如图 1-6b 所示，这种磨机振动借助于一个不平衡重量锤以偏心轮的形式靠激励器来产生。

振动磨中单面激振的优点如图 1-7 所示，在于振动器轴位于质量中心点之外，产生普通的圆周激振，由于不均匀的振动产生了如椭圆振动和线性振动。这种线性振动和圆周振动相比，提高了振动磨的磨介速度，其合成效果就如在图 1-7 中 4 处一样转动，因此可产生冲击力的提高，特别是摩擦力的提高增加了磨细能力。

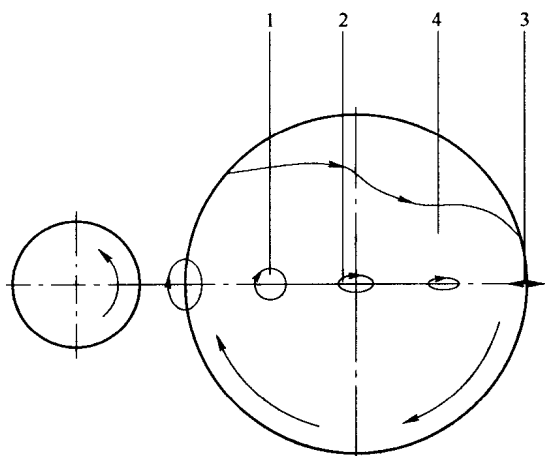


图 1-7 研磨体转动和振动图描述

1—圆周激振；2—椭圆振动；3—线性振动；4—研磨体运转

该振动磨单面振动的优点在于：椭圆振动和线性振动的附加出现，通过磨介圆周循环速度的提高，有助于磨矿能量输送过程的优化，这点对于振动磨的发展进步是有决定性意义的。和传统的制造方式相比，离心式振动磨机有以下的优点：提高了填充料（进料）的松散度，因此可以提高最大进料大小，可达大约 20mm，精简粉碎段数；通过高速的物

料空间优化了运输过程,通过取消分离过程使进料的分布变得均匀;在连续不断地运转中提高特别的物料通过量;降低能源消耗;断续磨运转中缩短碾磨耗时;通过在一台振动磨中安装4~6台电机,使不同的运转方式成为可能。运转方式可为连续式和间断式;坚固的建造方式,把相同的碾磨管直径互相连接,可以制造出满足不同粉碎精度和停留时间的碾磨机,称之为模型建造方式,如图1-8、图1-9所示,表1-5为SIEBTE-CHNIK单筒偏心振动磨性能参数。

振动磨中能量输入的增加方式是把能量缺乏区的部分减少到最低限

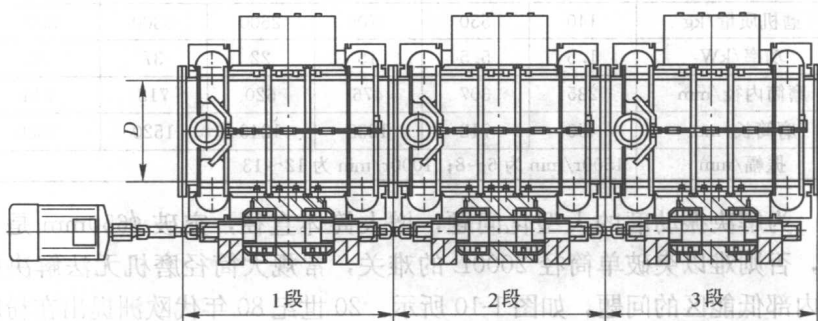


图1-8 德国 SIEBTE-CHNIK 单筒偏心振动磨 (一)

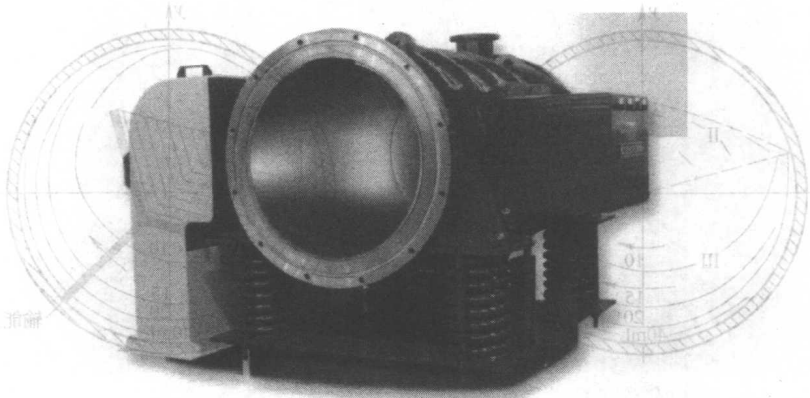


图1-9 德国 SIEBTE-CHNIK 单筒偏心振动磨 (二)

度, 实现超越限制性的碾磨管道直径的上限为 650mm。

表 1-5 SIEBTE-CHNIK 单筒偏心振动磨性能参数

型 号	ESM234 ESM236	ESM324 ESM326	ESM504 ESM506	ESM654 ESM656	ESM756	ESM856
物料量/L	5	17	70	120	190	300
粉磨腔容积/L	19	53	220	370	590	937
磨介体积/L	15	42	176	296	478	750
钢球质量/kg	76	190	830	1400	2250	3530
陶瓷球质量/kg	34	84	380	650	1050	1600
磨机质量/kg	140	550	1700	2600	5300	8500
功率/kW	1.5	5.5	15	22	37	55
磨筒内径/mm	235	307	476	620	712	814
磨筒长/mm	450	712	1232	1246	1520	1800
振幅/mm	1500r/min 为 6~8; 1000r/min 为 12~13					

为解决振动磨的大型化问题, 增大筒体直径, 突破 $\phi 650\text{mm}$ 是关键, 否则难以突破单筒径 2000L 的难关, 常规大筒径磨机无法解决磨机内部低能区的问题, 如图 1-10 所示。20 世纪 80 年代欧洲提出在粉磨腔内添加能量传输装置, 将筒体周围部位的高能量传输到筒体内部的高低能区, 从而使物料在整个研磨断面上受到相同的作用力, 使磨筒中心部位和筒体内壁有同样大小的能量密度, 图 1-11 所示为解决低能区的

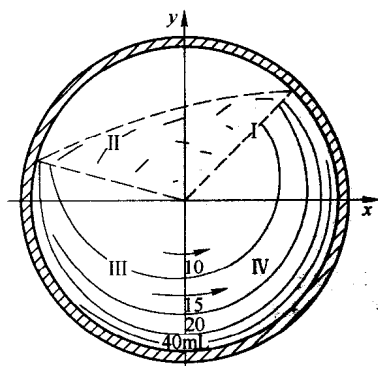


图 1-10 普通振动磨内的低能区

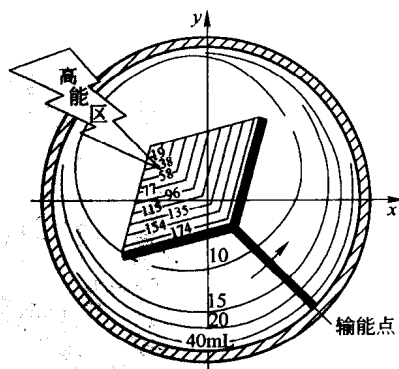


图 1-11 解决低能区的基本原理