

# 惯性圆锥破碎机

Inertia Cone Crusher

夏晓鸥 罗秀建 著

 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 惯性圆锥破碎机

夏晓鸥 罗秀建 著

北京  
冶金工业出版社  
2015

## 内 容 提 要

惯性圆锥破碎机是一种基于层压破碎原理和惯性冲击挤压破碎的高效、大破碎比的破碎机械。该设备的破碎机理非常独特,与国际上任何一种破碎机械原理都不相同。本书内容主要包括:破碎物料及其设备概述;物料特性及破碎理论;圆锥破碎机的结构原理与特点;惯性圆锥破碎机的运动学;惯性圆锥破碎机的动力学;惯性圆锥破碎机主要参数选择计算与调控;惯性圆锥破碎机主要零部件的计算;稳定性分析;基于现代设计方法的惯性圆锥破碎机力学特性分析;惯性圆锥破碎机基本要素与振动参数的测试以及惯性圆锥破碎机的应用。本书适合于从事物料破碎理论研究及设备结构设计的科研人员阅读或作为大学机械设计专业本科以上教学及科研用书,也可供破碎机械生产企业的技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

惯性圆锥破碎机/夏晓鸥,罗秀建著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 2

ISBN 978-7-5024-6838-5

I. ①惯… II. ①夏… ②罗… III. ①圆锥式破碎机  
IV. ①TD451

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004469 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmip.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 徐银河 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6838-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版, 2015 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19 印张; 1 彩页; 463 千字; 277 页

80.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.com.cn

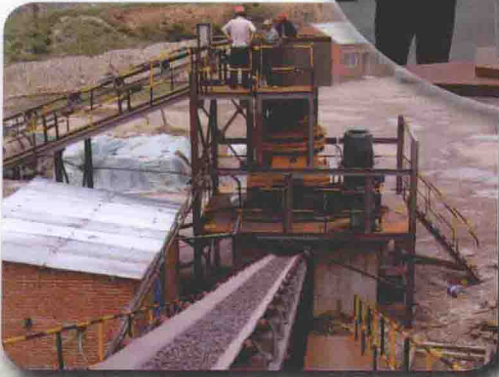
冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)





## 序 言

---

阅读了《惯性圆锥破碎机》书稿，使我心情难以平静。应作者夏晓鸥博士之邀为本书作序，我自感到难以胜任。但是，我还是答应写点文字，谈些自己的感想，因为我觉得有责任和义务将惯性圆锥破碎机的相关背景、本书作者及其他团队的技术创新和产业发展历程介绍给读者，使读者和设备的使用者对这一项技术、装备以及研发团队有多一点的了解。

惯性圆锥破碎机，按着俄文直译叫“圆锥惯性破碎机”。当初我在《国外金属矿选矿》1987年第九期曾撰文介绍米哈诺布尔时，就按字面直译的。但为了突出该破碎机的核心技术为“惯性”的内涵，在我以后进行翻译时，改用“惯性圆锥破碎机”的译名。从技术层面讲，我觉得这样处理较为合适，如今二十多年过去了，业内也已经习惯。而惯性圆锥破碎机是苏联选矿研究设计院（全名为全苏有用矿物机械加工科学研究设计院，即简称“米哈诺布尔”）的专家从20世纪50年代起，历经几十年的努力研究成功的一种基于层压破碎原理和惯性冲击挤压破碎的高效、大破碎比的破碎机械，该设备的破碎机理独树一帜，和国际上任何一种破碎机械原理都不相同。

谈起米哈诺布尔，20世纪70年代以前从事选矿专业的师生和工程技术人员几乎无人不知晓。该院建立于1920年2月，是一个举世闻名的专门从事选矿与烧结专业的大型研究和设计机构，与中国的关系甚为密切。20世纪80年代前，中国选矿厂普遍采用的A型浮选机（如1A~7A），是该院研制的；50年代中国的一些大型选矿厂是该院设计的；至今浮选领域广泛应用的加温浮选分离白钨矿和含钙矿物的著名彼得罗夫法以及用硫化钠解吸脱药分离硫化矿混合精矿的高涅夫法，都是该院学者20世纪50年代初的发明；矿石采样时普遍采用的切乔特公式，是该院学者更早些时候提出的。更重要的一点是，1956年米哈诺布尔帮助中国建立了北京矿冶研究总院并派专家在院指导工作多年，此后

我院也派出多名科技人员去该院学习和工作。由此，苏联人甚至称北京矿冶研究总院是中国的米哈诺布尔，尽管北京矿冶研究总院的专业已比米哈诺布尔拓宽了许多。只是由于众所周知的历史原因，使两院兄弟般的友谊关系中断了二十多年。

首先打破僵局的是原米哈诺布尔的院长、苏联科学院的通讯院士 В. И. 列夫尼夫采夫先生。1986 年 1 月，由苏联有色金属大型研究设计院的院长们组成苏联有色金属科技代表团访问中国，其间代表团参观访问了北京矿冶研究总院。作为院长，列夫尼夫采夫院士深知两院关系的渊源，于是他决定离团又独自在北京矿冶研究总院进行了为期一周的深入交流，正是这一交流使两院关于惯性圆锥破碎机的合作萌生了机遇。

1965 年，我在东北工学院（现为东北大学）选矿专业就读时，曾在一本俄文期刊上看到过有关惯性圆锥破碎机的报道，当时因我专业知识不足和工程实践的缺失，该设备自然未引起我的注意。列夫尼夫采夫院长在北京矿冶研究总院访问时，我以副院长的身份参与了接待。一天，我院两位曾在列宁格勒矿业学院留学的专家，就惯性圆锥破碎机单独与列夫尼夫采夫院士进行了详细的交流，很巧合的是，列夫尼夫采夫院士正是该设备发明研制的主要贡献人，他的论述十分专业。在我主持交流活动的同时也必然关注双方的讨论，联想到大学里我读到的相关文献，立刻激发了我对该设备的兴趣。

之后的数年里，我一直有意识地关注这一设备，只是苦于没有机会见到实物。1990 年，我以北京矿冶研究总院院长的身份随中国有色金属科技代表团访苏，先到阿拉木图的哈萨克米哈诺布尔访问交流，在参观该院的实验大厅时，我第一次见到了惯性圆锥破碎机，当时激动的心情难以形容。接下来到列宁格勒的米哈诺布尔，我在该院的机械制造厂看见了已批量生产的该类破碎机成品摆放了一片，我立刻感觉到，这种设备市场是好的，否则，在以需定产的高度计划经济的苏联，怎么会生产如此多的产品？于是我当即提出了将该破碎机引进中国，两院联合制造和开拓中国市场的建议，得到了苏方的认可。1991 年 5 月，我带领北京矿冶研究总院的专家组专程到米哈诺布尔进行了为期两周的合作交流，受到该院的热列欢迎。这次访问使中苏两大院中断了二十多年的合作

关系得以恢复，从此进入了深入合作的新阶段直至今日。惯性圆锥破碎机作为合作项目自然列为首选。此后，经过一年多的交流、技术谈判和商务谈判，其间又经历了苏联的解体，直到1992年9月30日临近午夜时分，在北京矿冶研究总院终于达成了协议，双方共同签订了建立中俄凯特破碎机有限公司合资企业的合同。时任中国有色金属工业总公司副总经理、原北京矿冶研究总院院长何伯泉先生见证了这一里程碑式的签字仪式。时任北京矿冶研究总院副院长，选矿设备专家郑宝臣先生出任中俄合资企业北京凯特破碎机有限公司的首任董事长；设备研究所副所长方志刚先生担任总经理。本书著者、时任院设备研究所副所长、现任北京矿冶研究总院党委书记兼副院长、选矿设备专家夏晓鸥博士先后接任总经理和董事长。机械研究所副所长、选矿设备专家罗秀建先生接任总经理。他们及其领导的团队为惯性圆锥破碎机的深入研发和产业化作出了重要贡献。

合作初期，协议实施过程比双方预想的要困难得多，复杂得多。

首先，遇到的是技术问题。尽管该设备构思新颖，原理先进，但俄方仅提供了图纸，包括诸如计算说明书之类的核心技术文件并未提供。使中方在消化吸收和制造、生产以及应用时发生了一系列的问题，在包括设计、材料、零件的选择和制造工艺等方面遇到一系列困难。一个典型的实例是，河南洛阳某企业引进俄方原装原产惯性圆锥破碎机，并由俄方专家亲自进行实验，但连续两个月达不到预期指标。夏晓鸥参与了实验的全过程，目睹了该设备的缺陷和须改进的环节。在以后的数年间，夏晓鸥和他领导的团队，针对惯性圆锥破碎机的缺陷以及欲达到改进和完善的目标，辅以博士研究生和硕士研究生的论文选题，决意脚踏实地、埋头苦干，并在争取并获得国际科技合作项目和国家科技攻关项目的大力支持下，经过长期锲而不舍的努力，取得了多项研究成果，科研范围涵盖了设备的运动学、动力学、振动分析、有限元强度分析、润滑、动态仿真等多方面，其研究水平远超米哈诺布尔的同行。在一系列理论研究的基础上进行优化结构设计，受益于相对于俄罗斯更具优势的我国制造业、原材料和配件的国情，优化制造工艺和系统集成，使当今的惯性圆锥破碎机日趋完善，超过了俄罗斯的原产原装设备的性能，得到俄方高度认可，与此同时，一



批精英技术骨干队伍已经形成。如今，从事惯性圆锥破碎机研究、设计、制造、市场开拓和售后服务的工程技术人员，几乎全是专业研究该破碎机毕业的研究生并获得博士和硕士学位的科技人员。

其次，遇到的是市场的考验。合资企业成立恰逢 20 世纪 90 年代全球矿业不景气，亚洲金融危机和国企改革最困难时期，加之设备研制初期存在一系列问题以及用户对该设备的性能、特点缺乏全面了解等因素，一时呈现订货少，设备故障率高的局面，俄方甚至一度也表现出信心不足。在此情况下，中方的管理者和技术专家毫不动摇地坚信自己的技术创新，他们完善了整机设计和制造的各个环节，实施全面质量监控，搞好售后服务。与此同时，在相关学术会议和期刊上发表论文，使业内了解这类设备和创新团队。该团队还有一个特点是，工程技术人员都懂得粉体工程乃至矿物加工工程的工艺技术，他们能根据企业的规模，破碎物料的性质、最终破碎比，选用设备并优化破碎段数，达到多碎少磨，高效节能的目的。现在该设备的市场份额显著增加，用户的信任感倍增，对于硬脆物料，例如钢渣破碎惯性圆锥破碎机几乎是首选。

创业初始阶段还遇到了经费严重不足和加工制造条件差的困境。中俄合作从谈判到签约，再到前期的实施，正值苏联解体前后，俄罗斯卢布贬值，经济衰退，甚至跌到濒临崩溃的边缘。1994 年，我曾在莫斯科花一美元买到一枝冰球杆，到了圣彼得堡，花一美元却仅买了一头大蒜。俄罗斯处在极度困难的环境下，米哈诺布尔的一位副院长，也是我的好朋友，曾几近用乞求的，又是朋友般的口吻对我说：我们处在困难时期，希望你们帮助我们渡过难关，请像 50 年代我们帮助过你们一样帮助我们。在力所能及和政策法规允许的前提下，北京矿冶研究总院也确实提供了帮助。但很显然的是，指望米哈诺布尔投资却绝无可能，他们仅提供了图纸，并且可能还不是最新的图纸，其他的一切只能靠中方自己了。

经历过 20 世纪 80 ~ 90 年代的人都知道，中国在经济转型的时期，各种矛盾交织，也正处于困难的时期。当时北京矿冶研究总院承担了行业的 55 项重点科研项目，其总经费也仅有 56 万元。在此情况下，合资企业凯特公司只有靠借债搞研发和加工制造。在另一方面，合资企业建立初期，加工制造条件并不理

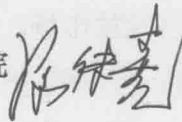
想，整机质量受到影响。如今公司已有自己独立的制造厂，外协零部件也择优筛选，从零部件到整机的加工、制造、装配工艺水平，已发生本质上的变化。

北京凯特破碎机有限公司的创立至今已历经了22年的历程，如今已是较成熟的中俄合资企业。惯性圆锥破碎机的系列产品包括 $\phi 60\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 200\text{mm}$ 、 $\phi 300\text{mm}$ 、 $\phi 450\text{mm}$ 、 $\phi 600\text{mm}$ 、 $\phi 900\text{mm}$ 和 $\phi 1200\text{mm}$ 多种规格，更大型号 $\phi 1500\text{mm}$ 的破碎机也即将投放市场。同时还研发出新型惯性振动颚式破碎机，也已投放市场。合资企业每十年一个合同期已续签了两次。这22年是学术进步、技术创新、产业发展、品牌创立、团队成长和增进友谊的22年。如今，每年从合资企业的分红已是俄方米哈诺布尔的重要经济来源之一。企业的可持续发展可以信赖。

如上所述，建立在北京矿冶研究总院和米哈诺布尔中俄两大研究设计院几十年兄弟般合作基础上的合资企业，以及创新生产的系列惯性圆锥破碎机，既是时代的产物也是历史的必然。由现任董事长夏晓鸥和总经理罗秀建合著的《惯性圆锥破碎机》是作者及其研发团队二十多年间勤奋努力形成的学术思想、取得的科研成果和积累的丰富经验的结晶，也是国内该领域的首部专著。夏晓鸥1982年毕业于南京航空航天大学机械制造专业，曾在军工厂工作，又先后在北京矿冶研究总院和北京科技大学获硕士和博士学位，历任院设备研究所副所长，丹东冶金机械厂副厂长和北京矿冶研究总院副院长兼党委书记，从事选矿机械设备的研发制造已三十多年，获得含国家科技进步二等奖在内的多项国家和省部级奖。罗秀建研究员，1982年毕业于东北大学矿山机械专业，在北京矿冶研究总院从事选矿机械设备的研发、设计和制造长达三十多年，工程实践经验丰富，现任机械研究所副所长，获多项科技成果奖。本书由两位文武双全的行业精英撰写出版，与其说是撰写完成的不如说是通过他们的实干与创新完成的，其理论和实践意义自有业界评说，但我相信，该书的出版在矿山机械和矿物加工领域必将产生积极和深远的影响。

借此机会我衷心感谢夏晓鸥先生和罗秀建先生所做出的贡献，感谢本书前言中已致谢的中方人员。此外，我同样发自内心地感谢为中俄双方在此项目的科技发展和产业合作做出贡献的俄罗斯米哈诺布尔的领导者和专家：列夫尼夫

采夫、阿尔辛基耶夫、瓦依斯别尔戈、杰尼索夫、克鲁巴、切尔嘎茨基、萨达耶夫、扎尔嘎茨基、巴丘林以及他们的合作者。尽管他们之中大多都已退休，有的已辞世，但历史和贡献是永存的。没有他们，同样没有凯特公司的今天，也没有惯性圆锥破碎机技术和产业在中国的发展。

中国工程院  院士

2014年10月

## 前 言

---

物料破碎涉及的领域非常广泛，几乎可应用在各行各业。多年来，广大科技工作者和工程技术人员研究、开发、制造出了各式各样的破碎机械，以满足不同行业、不同物料生产的要求。

物料破碎需要消耗巨大的能量。要达到高效、节能的目标，通常有两种途径：一是研究破碎机理，如选择性破碎，并开发出新型结构的破碎设备；二是改进破碎作业工艺流程，如多碎少磨工艺，缩短流程，减少段数，降低循环负荷，实现开路。惯性圆锥破碎机的诞生，同时在两种途径都迈出了坚实的一步，实现了飞跃。它就像工程技术领域的一朵奇葩，让科技工作者耳目一新，它出类拔萃的性能和优秀的应用效果令世人瞩目，注定要大放异彩，前景无限。

苏联矿物加工研究设计院（现米哈诺布尔技术公司）从20世纪50年代初开始致力于惯性圆锥破碎机的研究，到80年代末投入工业应用实践。时逢国家政体的改变，苏联解体，企业私有化，没有了资金投入继续进行工业应用试验，而科技人员则纷纷寻找出路，不能静下心来继续研究，对结构进行改进、完善，险些酿成这样一项伟大的发明中途夭折和一颗破碎装备领域的新星陨落。

20世纪90年代初，北京矿冶研究总院时任主要领导孙传尧院士、郑宝臣教授等以敏锐的眼光捕捉到了惯性圆锥破碎机的不凡表现和强大的生命力，果断决策，与米哈诺布尔技术公司合作，成立合资企业——北京凯特破碎机有限公司，继承、研究、设计、制造、推广该项技术和设备，在某种意义上拯救了该项技术，并使其发扬光大，在中国大陆及周边国家和地区开花结果。

创业初期，由于在资金、人员、装备上投入严重不足，没有像样的实验室、零部件加工四处求人、寄人篱下的装配场地、试制出的样机又故障频出，

只能靠借债度日，财务状况恶化，举步维艰。得益于凯特公司全体员工的坚强毅力、不离不弃、前仆后继，硬是渡过了一道又一道难关，坚持了下来，取得骄人的业绩，才成就了今天的辉煌。

本书作者及其带领的团队，长期从事惯性圆锥破碎机的理论研究，在引进、消化的基础上不断创新。从基本原理到运动学、动力学、振动分析、有限元计算、动态仿真；从硕士到博士论文、课题研究、国家科技攻关项目；深入一线，发现一个问题解决一个问题，持之以恒，对设备进行改进完善。在现场摸爬滚打，积累了丰富的实际经验，取得了一手的宝贵资料。为了推广先进技术和装备，发挥其卓越的性能和作用，也为了破碎作业的节能减排、工程技术领域的升级改造、行业科技进步和国家经济建设，作者将自己及其团队20年付出心血换来的研究成果和实践所得进行总结，写成本书，供广大科技工作者和工程技术人员借鉴，以飨读者。

感谢北京矿冶研究总院领导和同事的大力支持，感谢共同奋战的赵鸿才、方志刚、刘子河、王健、唐威、王永福、陈帮、刘方明、王旭等默默无闻、长期坚持、脚踏实地、埋头苦干的努力工作和无私奉献，感谢张京京、张梅、康诚等多年来在与国外专家技术交流中提供卓越的翻译工作。

由于作者水平所限，加上时间仓促，书中出现的错误、疏漏敬请读者批评指正。

著 者

2014年10月

## 主要符号表

- $A$ ——章动角速度的幅值、颗粒的投影面积、破碎功、振幅、动锥部件重心；  
 $A_h^*$ ——停车过程中隔振弹簧与机体连接点的水平位移；  
 $A_v^*$ ——停车过程中隔振弹簧与机体连接点的垂直位移；  
 $A_0$ ——最大振幅；  
 $A_1$ —— $m_1$  的等价线性化振幅；  
 $A_2$ —— $m_2$  的等价线性化振幅；  
 $a$ ——隔振弹簧中心所在的圆周半径、间隙量、半裂纹长度；  
 $a'$ ——裂纹扩展速率；  
 $\Delta a$ ——裂纹长度增量；  
 $\boldsymbol{a}$ ——动锥表面任意点的加速度；  
 $a_c$ ——材料失稳时的裂纹长度；  
 $a_e$ ——等效弹簧刚度与基准刚度的比例系数；  
 $a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}$ ——各质量与基准质量的比例系数；  
 $a_2, a_3$ ——各弹簧刚度与基准刚度的比例系数；  
 $B$ ——破碎机给料口宽度、磁路缝隙中的磁感应强度；  
 $\bar{B}$ ——宽径比；  
 $[B]$ ——单元应变矩阵；  
 $b$ ——间隙量、排料口宽度、动锥球面支撑中心到隔振弹簧支撑面的距离、颗粒宽度、与料层特性等有关的待定参数、程度指数；  
 $b_0$ ——排料口闭边尺寸；  
 $b_{\min}$ ——最小排矿口时过铁尺寸；  
 $C$ ——外径和内径之比；  
 $C_c$ ——偏心激振器质心；  
 $C_i$ ——动锥体质心；  
 $C_1$ ——支撑环截面的重心；  
 $c$ ——润滑油的比热容、轴承的半径间隙；  
 $\bar{c}$ ——平均间隙；  
 $c_{\max}$ ——轴套 - 轴摩擦副之间的最大间隙；  
 $c_{\min}$ ——轴套 - 轴摩擦副之间的最小间隙；  
 $c_1$ ——动锥的相对黏滞阻尼系数；  
 $c_2$ ——机体的黏滞阻尼系数；  
 $D$ ——底锥直径、料层变形模量；

- [ $D$ ]——与单元材料有关的弹性矩阵；  
 $D(\xi)$ ——挤压层物料的平均直径；  
 $D_m$ ——破碎前物料的平均直径；  
 $D_p$ ——破碎机工作中的料层变形模量；  
 $D_y$ ——压力机上的料层变形模量；  
 $D_{\max}$ ——最大给矿块尺寸；  
 $d$ ——颗粒名义直径、由动锥支撑球面中心到破碎腔下部边缘的距离；  
 $d_A$ ——投影面积直径；  
 $d_F$ ——定向直径；  
 $\bar{d}_L$ ——长度平均（或算术平均）粒度；  
 $d_M$ ——定向面积等分直径；  
 $dS$ ——物料的破断面的面积增量；  
 $dV$ ——破碎物料块的变形体积的微量；  
 $d_v$ ——等体积直径；  
 $d_d$ ——原料的设计粒度；  
 $d_g$ ——几何平均粒度；  
 $d_k$ ——轴承内径、轴瓦孔径、产品的额定粒度；  
 $d_m$ ——破碎后物料的平均直径；  
 $d_p$ ——设备工作中的实际粒度；  
 $d_r$ ——相对粒度；  
 $\bar{d}_s$ ——表面积平均粒度；  
 $\bar{d}_v$ ——体积平均粒度；  
 $d_0$ ——挤压前的额定粒度；  
 $dA_1$ ——内力的单元功；  
 $dA_2$ ——内力的单元功；  
 $\bar{d}_{sv}$ ——表面积 - 体积平均粒度；  
 $d_{mi}$ ——对应破碎比  $i$  的破碎产品的平均粒度；  
 $d_{pi}$ ——第  $i$  级颗粒的粒径；  
 $\Delta d_{pi}$ ——粒度间隔；  
 $d_{50}$ ——质量中位粒度；  
 $d_{\max}$ ——破碎后物料最大粒度；  
 $d_{\min}$ ——破碎后物料最小粒度；  
 $E$ ——物料的弹性模量、感应电动势、第二类完全椭圆积分；  
 $e$ ——间隙量；  
 $e_x$ ——任意高度的动锥摆幅；  
 $F$ ——破碎力、弹簧总压力、油膜摩擦力、破碎产物的粒度组成；  
 $F(x_1)$ ——由动锥相对位移与相对速度决定的物料层的滞回力；  
 $F(x_1 - x_2)$ ——物料的作用力；

- $F_b$ ——转换至动锥下端的动锥体等效惯性力；  
 $F_c$ ——转换至动锥下端偏心激振器的等效惯性力；  
 $F_j$ ——激振器的摩擦力；  
 $F_k$ ——在空载工况下偏心激振器轴承的最大径向载荷；  
 $F_q$ ——动锥支撑球面瓦的摩擦力；  
 $F_w$ ——动锥受到物料的摩擦力；  
 $F_0$ ——偏心激振器回转所产生的离心惯性力幅值、激振力幅；  
 $F_1$ ——调整环截面面积；  
 $F_2$ ——壳体截面的面积；  
 $\{F_p\}$ ——变换到正规坐标上的激振力；  
 $f$ ——动锥沿定锥滚动的阻力系数、普氏坚固性系数、滑动摩擦系数、系统阻力系数、物料相对动锥表面移动产生的摩擦力；  
 $\Delta f$ ——频率分辨率；  
 $\{f\}$ ——单元内任一点的位移列阵；  
 $f_i$ ——第  $i$  级颗粒发生的质量频率、物料与衬板表面间的瞬间摩擦系数；  
 $f_k$ ——轴承最大径向静载荷；  
 $f_m$ ——动锥母线方向的摩擦力；  
 $F_\beta$ ——原料中  $\beta(\%)$  的物料所小于的粒度；  
 $f_0$ ——滞回力的峰值；  
 $f_1$ ——静摩擦系数；  
 $G$ ——裂纹扩展时的弹性能释放率、动锥自重；  
 $G_i$ ——质量筛下累积频率；  
 $G_w$ ——破碎腔中物料自重对动锥的压力；  
 $G_m(F)$ ——力  $F$  相对于  $M$  点的力矩；  
 $G_D$ ——动态弹性能释放率；  
 $G_0$ ——外壳的反作用力矩；  
 $g_i$ ——第  $i$  级颗粒发生的质量频率密度；  
 $H$ ——测量工作间隙中心位置；  
 $H^*$ ——传给地基的力；  
 $H_n$ ——动锥衬板的初始厚度；  
 $H_w$ ——定锥衬板的初始厚度；  
 $h$ ——壳体厚度、颗粒高度、窄边的衬板间隙、 $Z$  方向油膜位置；  
 $h(\zeta)$ ——被挤压层的厚度；  
 $h_k$ ——对应于  $\varphi_k$  瞬时的各段衬板间的间隙；  
 $I$ ——振动体相对于  $Ox$  (或  $Oy$ ) 轴的转动惯量；  
 $I_b$ ——动锥体相对于通过支撑球面中心的水平轴线的惯性力矩；  
 $I_d$ ——偏心激振器相对其旋转轴的转动惯量；  
 $I_{z_1}$ ——动锥绕  $Z_1$  轴的转动惯量；  
 $I_{z_2}$ ——动锥绕  $Z_2$  轴的转动惯量；



- $i$ ——传动系统的传动比、用破碎前物料最大粒度与产品最大粒度之比计算的破碎比；  
 $i_B$ ——用给料口有效宽度和排料口宽度之比计算的破碎比；  
 $i_m$ ——用平均粒度计算的破碎比；  
 $i_{max}$ ——最大破碎比；  
 $i_{min}$ ——最小破碎比；  
 $J_a$ ——定锥体（机体）相对于通过动锥支撑球面中心的横轴的惯性矩；  
 $J_b$ ——动锥体相对于通过动锥支撑球面中心的横轴的惯性矩；  
 $J$ ——破碎机相对于通过动锥支撑球面中心的横轴的惯性矩；  
 $J_0$ ——滑轮的转动惯量；  
 $J_1, J_2$ ——相对于垂直破碎机纵轴且通过截面重心的轴的截面惯性矩；  
 $K$ ——第一类完全椭圆积分；  
 $[K]$ ——单元刚度矩阵、刚度矩阵；  
 $\Delta K$ ——应力强度因子幅值；  
 $K_A, K_V, K_1, K_2, K_3$ ——与物料特性有关的比例系数；  
 $K_B$ ——由破碎机啮住料块的条件所决定的系数；  
 $K_f$ ——取决于锥面座角度和锥面座摩擦系数的系数；  
 $K_q$ ——预紧系数；  
 $K_I$ ——应力强度因子；  
 $K_{Ic}$ ——临界应力强度因子；  
 $\Delta K_{xl}$ ——裂纹扩展下门槛值；  
 $\Delta K_{sl}$ ——裂纹扩展上门槛值；  
 $k$ ——弹性刚度、弹簧的动刚度、时域采样点编号、比例系数、滚动的稳定性系数；  
 $k_e$ ——等价弹性刚度；  
 $k_h$ ——隔振弹簧的水平刚度；  
 $k_x$ ——比例系数；  
 $k_N$ ——满载荷系数；  
 $k_v$ ——隔振弹簧的垂直刚度；  
 $k_1$ ——松散系数；  
 $k_2$ ——橡胶剪切弹簧刚度、机体和底架之间的弹簧刚度；  
 $k_3$ ——底架和地基之间的弹簧刚度；  
 $L^*$ ——传给地基的力矩；  
 $l$ ——颗粒长度、平行区长度、线圈的长度、偏心激振器离心力作用面到球面座中心的距离、从动锥支撑球面中心到偏心激振器离心力作用平面的距离、从动锥支撑球面中心到偏心激振器重心旋转平面的距离；  
 $l_j$ ——动锥支撑球面瓦对动锥的正压力的作用点到球心的距离；  
 $l_k$ ——轴瓦宽度、轴承宽度；  
 $l_w$ ——激振器到球心的距离；  
 $M$ ——振动体的质量、系统的总质量、诱导质量、破碎机的静力矩；  
 $[M]$ ——质量矩阵；