

粉碎机构学研究的内容和发展前景

董书革^{1,2}, 饶绮麟²

(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044)

[摘要] 论述了粉碎机构学是由机构学衍生而来, 与相关粉碎理论结合, 应用于物料粉碎领域里的一门工程基础学科。随着矿产资源高效节能开发和诸多领域的粉碎作业增多, 对粉碎机械的使用要求不断发生变化, 粉碎机构学越来越成为重要的基础理论, 并逐渐形成新的学科分支。随着现代机械设计理论的发展, 粉碎机构学理论也将在实践中不断得到丰富、发展和完善。

[关键词] 粉碎机构学; 粉碎理论; 粉碎机械

[中图分类号] TD451; TG231.3; TH112 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)04-0089-05

1 机构学基本理论是粉碎机构学形成的基础

1.1 机构学研究的内容^[1,2]

机构学是以运动学和力学理论为基础, 以数学分析为手段, 研究各类机构的基本运动规律、运动和动力分析与综合方法的学科。18世纪下半叶第一次工业革命促进了机械工程学科的迅速发展, 机构学在机械力学基础上成为一门独立的学科, 它来源于机械设计及制造的实践的总结, 为创造新的机械和改进现有机械的性能提供正确的理论和方法。

机构学研究内容主要包括:

- 1) 平面与空间连杆机构的理论研究。主要是利用拆分的方法将复杂杆组简单化, 以简化机构运动和受力分析。
- 2) 机构精度分析与综合研究。通过机构分析, 在设计阶段主动进行多设计方案的比较, 从中选出最佳方案, 为合理使用机构提供必要的依据。
- 3) 机构动力学研究。涉及机械刚体动力学、机械弹性动力学和振动学等。
- 4) 典型机构运动分析与综合研究。研究具有特定功能的典型机构的高精度的综合方法, 其深入

研究有利于改善现有机器的性能, 有利于机器创新设计的深化。

5) 生物机构学研究。它是研究人和动物在运动和休止状态时内力与外力所产生的效果的科学。

1.2 机构学的发展^[3-5]

随着电子技术和信息技术的发展, 20世纪60年代以后, 机构学的研究开始应用计算机, 引进各种数学方法。机械设计与多学科迅速融合, 使机构学有了很大的发展。机构学的发展趋势主要表现为:

- 1) 机构的分析与综合方法向高精度、高速度、可视化方向发展。图解法逐步被废弃, 解析法和数值分析法广泛应用, 解决了过去无法解决的机构设计问题。
- 2) 建模技术的发展、计算机的广泛应用和测试技术的进步, 使机构动力学研究有了很大进展, 机构运动分析的精度不断提高。
- 3) 机械产品概念设计促进了机构及系统设计理论和方法的研究。在概念设计中, 主要是加强机构类型、机构创新设计方法研究, 并进行机构系统设计理论与方法研究。
- 4) 动态设计的发展推动了机构及其系统的动态分析与设计, 为大型设备的研制提供了更加安

全、更加经济的保障。

5) 多学科与机构学交叉、融汇, 形成多种机构学新分支。

机构学是机械研究的基本理论, 是各种机器研究的理论基础。机构学是不断发展的, 并且随着社会的发展和不断提出新的要求而逐渐丰富和深入。

粉碎机构学是应用于选矿、冶金、建筑、水泥等特定领域里的一门基础学科。它是以机构学的基本理论为基础, 在粉碎领域里, 对粉碎机器进行特定要求的分析和设计, 使机器性能达到粉碎目的的理论基础学科。

2 矿产资源的高效开发促进粉碎设备形式的多样化

矿产资源是人类赖以生存和社会发展的物质基础。矿业作为基础工业, 为其他工业部门提供原料和能源, 在社会经济体系中处于举足轻重的地位。

来自采石场的矿石要经过选矿的各个作业, 最后才能得到符合技术要求的产品。选矿作业的主要过程为: a. 准备作业, 包括矿石的破碎与筛分; b. 选别作业, 如浮选、重选等; c. 脱水作业。如图 1 所示。

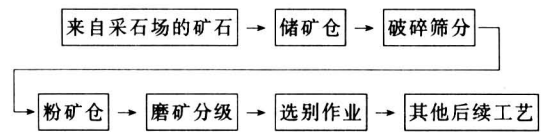


图 1 选矿作业主要过程

Fig.1 Main process of mineral work

破碎作业是选矿的龙头, 只有把原矿破碎到合乎标准的粒度, 才能进行下一工序, 破碎是选矿过程中的重要工艺环节。近 50 年, 矿产资源开采规模日益扩大, 原材料不断消耗, 富矿资源日益枯竭, 矿产资源呈现出贫、细、杂的特点, 但贫矿开采比例仍在增加。由于被粉碎加工处理的固体物料性质复杂, 产品加工要求也变得复杂, 因此, 对粉碎工程提出了新的要求。20 世纪 80 年代以后, 世界能源紧缺, 推出了“多碎少磨”的节能工艺, 为此, 破碎机械向着大型化、高效化、节能化、可靠化和自动化方向发展^[6-11]。

粉碎设备包括颚式破碎机、圆锥破碎机、辊磨机、球磨机、振动磨、高速冲击机等。粉碎设备的理论研究与实践应用已很深入, 并取得了许多重要成果。例如, 对颚式破碎机的研究, 尽管可以分为两大类, 即简摆颚式破碎机和复摆颚式破碎机, 但

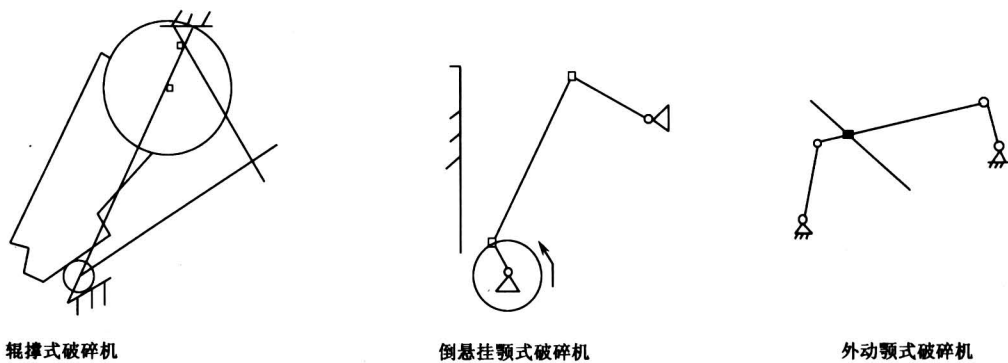


图 2 各种形式的颚式破碎机原理

Fig.2 Work principle of various of jaw crusher

由此衍生的多种结构形式的颚式破碎机已有很多种, 如双腔双动颚破碎机、低矮外动颚式破碎机、倒悬挂颚式破碎机、辊撑式破碎机等已应用于破碎领域, 其理论研究也很深入, 并且开发了计算机程序, 为设备的系列化研究奠定了基础。如图 2 所示^[12-18]。

3 粉碎理论与机构学基本理论相结合形成粉碎机构学

3.1 粉碎理论概述及粉碎设备

物料受外部压力作用会产生压缩变形, 造成内部应力集中; 当应力达到颗粒在某一最弱轴向上的破坏应力时, 该颗粒就会在该轴向发生碎裂和粉碎行为。

物料破碎的形式一般有压碎、劈裂、折断、磨碎等, 如图 3 所示。

无论是哪一种形式的破碎, 都需要在外力的作用下, 在作用力有效方向上有一个行程, 方可使物料产生破裂, 直至破碎。

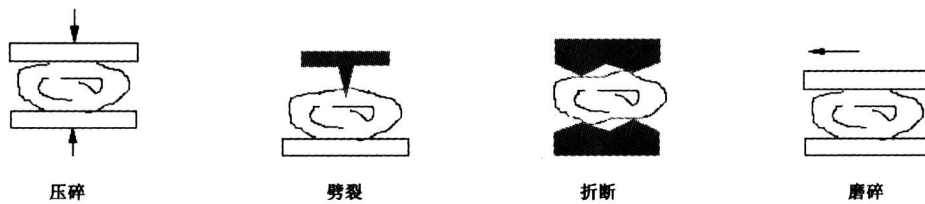


图3 物料破碎的形式

Fig.3 Form of material crushing

破碎的过程是不会自动发生的，必须有外力对物料做功。当外力对物料做功使它破碎时，物料的潜能也由于此功的转化而增加。已有许多粉碎理论阐述物料粉碎机理，阐明破碎过程的输入功与破碎前后物料的潜能变化之间的关系。著名的三大功耗理论学说是：

1) 表面积学说。1867年，R. P. Rittinger 提出破碎所需能量直接与增加的表面积成正比，建立了粉碎耗功的表面积学说。

2) 体积学说。1883年，F. Kick 提出几何上相似的物体在同样工艺状态下发生的类似变化所需的能量与这些物体的体积或质量成正比，并根据此论点，建立了粉碎耗功的体积学说。

3) 裂缝学说。1952年，F. C. Bond 提出，破碎矿石时，外力所做的功首先使物体发生变形，一旦局部变形超过临界点，即生成垂直于表面的裂口。裂口形成后，储藏在物体内的变形能使裂口扩展而生成断面。输入功的有用部分转化为新生表面上的表面能，其他部分则因摩擦而成为热损失。因此，破碎矿石所需的功，应当考虑变形能和表面能两项，此即为裂缝学说。

以上各学说综合起来看，各自代表了粉碎过程的一个阶段，即断裂形成新表面阶段（表面积学说）、弹性变形阶段（体积学说）和开裂和裂缝扩展阶段（裂缝学说）。根据三大功耗理论学说而研制出的粉碎设备有颚式破碎机、圆锥破碎机、磨矿机等。

4) 层压学说。层压粉碎理论是20世纪中期出现的，是当今粉碎工程领域中最新的、最为实用的粉碎机械技术之一，是对三大传统粉碎理论的综合继承和发展。层压粉碎理论的中心内容是：众多颗粒聚集在一起，受到外界载荷作用而产生粉碎，粉碎过程中单个颗粒所受到的接触力来自相邻的其他颗粒或外界的施力体。由于外界的施力是对整个颗粒群体的，因而料层粉碎的机理与单颗粒粉碎不尽

相同。

在粉碎领域使用的粉磨机械，在实现物料的粉碎中都含有料层粉碎的性质。根据层压粉碎理论研制的设备有，1985年德国 Polrsius 公司设计制造的高压辊磨机；前苏联研制的离心惯性圆锥破碎机；英国和日本研制的带有弧线型“平行区”的细碎颚式破碎机等^[19,20]。

3.2 粉碎机构学的定义与研究内容^[8,15]

粉碎机理始于对单颗粒破碎的实验和研究。半个多世纪以来，通过对单颗粒破碎的研究，逐步建立了粉碎物理学，并形成较为完善的理论体系。在近代粉碎工程发展的一个多世纪以来，在粉碎原理上着重研究固体物料的破裂规律及其功耗，建立了三大破碎功耗学说。层压理论的出现，使粉碎机理又有了更完善和丰富的内涵。随着技术的发展，粉碎原理已不再停留在粉碎物理学和粉碎功耗学方面，出现了粉碎动力学、粉碎物理化学、粉碎机构学等新的研究领域。

目前，对粉碎机构学还没有一个完整、准确而系统的定义。在该领域，定义粉碎机构学的中心思想是：粉碎机构学是以机构学的基本理论为基础，结合相关粉碎理论，应用于物料粉碎领域里的一门工程基础学科。粉碎机构学是从传统机构学中衍生而来，与粉碎理论相结合而出现的一个研究领域。粉碎机构学的形成，是总结实践经验，针对特定领域，实现特定目的——粉碎，由专家学者们归纳、概括出来的。

粉碎机构学从理论和实践上研究粉碎机理，通过研究物料的微观变化过程来揭示粉碎的本质和粉碎过程中的各种变化规律。目前，粉碎机构学研究的内容主要包括：

1) 粉碎机构力学行为研究。通过对机构的运动学、动力学、振动学、强度分析等的研究，建立粉碎机构的力学模型。

2) 新型粉碎机械结构研究。创造适合不同物

理特性的物料粉碎、应用于不同的工作环境、具有特定功能的新型机构。

3) 粉碎机构分析与综合方法研究。针对不同形式的粉碎机构,采用数学分析方法,研究具有一定精度的分析与综合方法,从理论上获得理想的参数。

4) 机构参数对粉碎效果影响的研究。通过创建机构数学模型,研究不同的粉碎机构与不同的参数对粉碎机构工作性能的影响,预测粉碎效果,研究粉碎规律,开发有效的粉碎技术。

5) 机构可靠性研究。应用模型技术进行研究结果的转换,提高新产品的设计水平和可靠性,提高新产品对物料的适应性,满足矿物加工工业的新要求,缩短新产品的开发周期。

6) 计算机辅助设计技术研究。利用计算机强大的计算功能,使用具有针对性功能的设计和分析软件,对机构进行各方面的分析,建立粉碎机构的计算机辅助设计模型。

4 粉碎机构学发展前景

粉碎机构学随着粉碎工程领域里不断提出新要求而逐渐形成和发展,其理论的系统总结以及深入发展还需做大量的工作。机构学理论已经很完善,粉碎机构学在机构学理论指导下也将逐渐完善。其发展前景概括为:

1) 矿产资源的高效节能开发促使粉碎设备的研究日渐深入。粉碎工艺是耗能极大的环节,开发节能高效的粉碎设备是当务之急。“多碎少磨”工艺将促使对粉碎设备的研究更加深入。

2) 粉碎理论的发展促进粉碎机构学的发展。许多研究者在不断探索并完善着粉碎理论,力图寻找更好的粉碎工艺。随着粉碎理论研究的不断深入,新的粉碎理论不断更新充实到传统的理论当中,必将推动粉碎机构学研究的深入。

3) 各行业的粉碎工艺研究促进粉碎机构学的发展。在冶金、化工、水泥、建筑等行业,同样有大量的粉碎作业。随着社会的发展,这些行业对高效率粉碎设备提出了更新、更高的要求,粉碎机构学的研究将更加全面和深入。

4) 机构学是不断发展和丰富的,其研究手段和实验装备也在改善。机构学追求的目标是机构运动的高精度,数值分析方法已成为机构设计的重要解决手段,计算机是机构学越来越重要的工具,虚

拟现实技术开创了机械领域新的研究思路。粉碎机构学必将随着机构学的发展而被现代化手段武装起来。

粉碎机构学理论是在实践中不断丰富和发展的。粉碎机构学的研究必将促进新型粉碎设备的开发和新型粉碎技术的革新,从根本上改变粉碎工艺。

参考文献

- [1] 邹慧君,田永利,郭为忠. 现代机构学的形成、基本内容和应用前景[J]. 机械设计与研究,2002, 18(2): 10~12
- [2] 邹慧君,蓝兆辉,王石刚. 机构学研究现状、发展趋势和应用前景[J]. 机械工程学报,1999, 35(5): 1~4
- [3] 路甬祥. 工程设计的发展趋势和未来[J]. 机械工程学报,1997, 33(1): 1~8
- [4] 陆凤仪,徐格宁. 机构学研究现状与展望[J]. 太原重型机械学院学报,2002, 23(2): 130~133
- [5] 邹慧君,郭为忠. 加强现代机构学的研究,推动机械产品创新设计的发展[J]. 机械设计与研究,2001, 17(1): 10~12
- [6] 李本仁. 当前国际破碎机械的动态及破碎技术的发展趋势[J]. 矿山机械,2002, (7): 9~10
- [7] 饶绮麟. 21世纪矿山机械的研究和开发[J]. 矿冶,2003, 12(3): 1~4
- [8] 饶绮麟. 大破碎比颚式破碎机及破碎工艺流程的变革[J]. 中国工程科学,2001, 3(4): 82~87
- [9] 饶绮麟,邓志雄,黄业英. 中国有色矿山现状及发展战略[J]. 中国矿业,1998, 7(1): 13~16
- [10] 郎宝贤. 颚式破碎机现状与发展[J]. 矿山机械,2004, (1): 9~10
- [11] 饶绮麟. 我国有色矿山技术装备的现状及其思考[J]. 采矿技术,2001, 1(2): 6~8
- [12] 孙振帮,析尚正. 双动颚破碎机[J]. 矿山机械,1990, (4): 26~29
- [13] 戴少生. 细碎颚式破碎机破碎腔形的研究[J]. 矿山机械,1998, (7): 26~29
- [14] 饶绮麟,陈伟,张振权. PEWA90120 外动颚低矮颚式破碎机的研制[J]. 采矿技术,2002, 2(4): 22~24
- [15] 饶绮麟. 新型破碎设备——动颚匀摆颚式破碎机[J]. 有色金属,1999, 51(3): 1~5
- [16] 高澜庆,王文霞,马飞. 碎石机的发展现状与趋势[J]. 冶金设备,2001, (4): 13~16
- [17] 王旦容,戴少生,臧人立. PEXD型倒悬挂细碎颚式破碎机的力学行为和特点[J]. 矿山机械,2003, (10): 6~8

- [18] 李本仁. 从国际展会看国际碎石制备机械的发展 [J]. 矿山机械, 1999, (10): 11~13
- [19] 孙成林, 徐正一. PC 破碎机的设计原理与特点 [J]. 中国非金属工业导刊, 2003, (34): 68~70
- [20] 孙成林. 破碎机的最新发展 [J]. 中国粉体技术, 2004, 6(2): 32~39

The Formation and the Research Content and Development Prospect of Crushing Mechanism

Dong Shuge^{1,2}, Rao Qilin²

(1. *Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China*;

2. *Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China*)

[Abstract] Crushing mechanism is an engineering basic subject which is derived from mechanism, combined with interrelated crushing theory, and applied in crushing field. With the high efficiency and energy-saving development of mineral resources, and the change to crushing machine's application, crushing mechanism is becoming a more and more important subject, and forming a new mechanism branch. The modern development of crushing mechanism will accelerate theory's development of crushing mechanism in practice.

[Key words] crushing mechanism; crushing theory; crushing machine

(cont. from p.53)

Time Series Diagnosing Analysis for the Fatigue Crack of Large-scale and Heavyburden Supporting Shafts

Li Xuejun¹, Bin Guangfu¹, Wang Yuqing²

(1. *Institute of Vibration Impact & Diagnosis, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China*;

2. *Mechanical Engineering Department, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China*)

[Abstract] Because of the unobserved sudden fatigue failure of the large-scale and heavyburden supporting shafts, the normal product line is affected seriously. Based on analyzing the relationship between this type of supporting shafts construction characteristics and vibration signal characteristic, the model of the vibration signal is established by the method of time series. Residual (σ_a^2) and normal residue square sum (NRSS) are adopted to identify the fault state, and the degree of supporting shafts' fatigue crack is diagnosed effectively. The result of experiment shows that the method of time series using σ_a^2 and NRSS as the index to diagnose the fatigue crack of large-scale and heavyburden supporting shafts is more sensitive and effective than the normal method using time-frequency domain of amplitude, and has very strong practicability.

[Key words] large-scale and heavyburden machine; supporting shaft; concealment part; fatigue crack; time series