

分形理论在耐火材料生产中的应用

□ 杨道媛¹⁾ 叶方保¹⁾ 徐恩霞¹⁾ 梁敏¹⁾ 胡金明²⁾

Tang B

1) 郑州大学高温材料研究所 郑州 450052

2) 河南省质量技术监督局

摘 要 介绍了分形理论在耐火材料生产过程中的应用, 提出: (1) 在耐火材料破粉碎工序之前加一个冷却处理工序, 应用分形理论研究矿石碎裂机制, 可提高耐火原材料尤其是硬质耐火原料的破粉碎效率; (2) 研究粉体颗粒的分形结构, 既可以预测超微粉体的流动性, 也可以预测粉体在压制过程中的充填状况, 从而改良粉体的制备、存储、输送和运输等过程; (3) 建立受压状态下矿石的分形裂纹结构、矿石构造特征以及施加给矿石的应力应变方式这三者之间的联系, 对完善磨矿工序中的前馈质量控制有帮助; (4) 确定分形级配的颗粒配比, 将有利于提高材料的性能; (5) 在耐火材料中添加分形结构的弥散粒子或纤维, 能有效提高耐火材料的强度和韧性; (6) 加强吸入粉尘分形结构研究, 防治耐火材料行业的职业病。

关键词 耐火材料, 分形理论, 生产过程控制, 质量控制

分形 (Fractal) 是相对整形而言的, 它指的是那种处处不规则、处处不可微、具有自相似性的几何形体。也就是说, 分形结构的几何体应具有下面的典型性质: (1) 具有精细的结构, 即有任意小比例的细节; (2) 很不规则, 以至它的整体和局部不能用传统的几何语言来描述; (3) 通常有某种自相似的形式, 可能是近似的或是统计的^[1]。

自然界的几何体从本质上讲大多都要用分形来描述, 而整形则是一种特例, 甚至在材料的研究开发和应用过程中, 分形理论为解决生产科研中的许多实际问题提供了思路, 指明了方向, 并已取得了丰硕成果^[2-7]。因此, 近几年来, 分形理论与耗散结构理论、混沌理论一样, 成为非线性科学研究的前沿领域。本文将对分形理论在耐火材料生产与科研中的应用予以介绍, 并首次提出一种新思想, 以控制耐火材料的生产过程, 提高耐火材料的性能。

1 提高磨矿效率

提高磨矿效率的方法之一是对矿石进行热力学预处理, 使之产生初始裂纹, 这些裂纹在磨矿时再进一步扩展而使矿石碎裂。

热力学预处理的方法有很多, 笔者认为在磨料之前先把待磨物料进行冷却处理 (如在液化空气或液氮的温度进

行处理), 利用分形理论分析冷却处理后矿石分形破裂情况, 结合破粉碎设备的原理和效率, 预计破磨效率后再磨碎 (即冷却处理再磨碎), 这样就可实现破磨工序的前馈控制, 从而节约能源。即使是采用后馈控制工艺, 冷却处理后将在矿石中产生裂纹, 对提高破粉碎效率, 节约能源, 无疑将是一种有益的探索。

冷却处理使物料产生裂纹, 在热力学上是有其理论依据的。晶体的长度或体积随温度变化而变化的事实, 表明了晶体中相邻原子之间的平衡距离也随温度变化而改变。这种现象很难用原子热运动简谐力在晶格结点附近作微震动的理论来解释, 因为原子做简谐振动, 温度的变化只能改变振幅的大小, 不能改变平衡点的位置, 然而实际上, 原子间除有简谐力相互作用外, 尚有非简谐力存在。从原子间作用力的曲线和热力学曲线示意图可以看出^[8], 势能曲线不是严格对称的抛物线, 而是不对称的复杂函数, 左边较陡, 右边较平滑。因此, 当原子振动后, 随着振幅 (或总能量) 的增加, 平均位移偏右, 即原子间距离随温度升高而增大, 晶体膨胀; 反之, 随着振幅 (或总能量) 的减小, 平均位移偏左, 原子间距离随温度降低而减小, 晶体收缩。

完整晶体收缩均匀, 晶体内部不会产生裂纹。然而, 大多数晶体中由于存在缺陷 (位错和裂纹等), 使晶体不均匀收缩, 这种不均匀收缩所造成的应力积累到一定程度, 超过晶体的断裂阻力时, 晶体内部便出现穿晶断裂。多晶体中存在晶粒边界, 是晶体与晶体之间结合的薄弱环节, 不同晶体之间的不均匀收缩, 则容易造成沿晶断裂。

耐火原材料不仅是多晶体, 而且一般情况下, 还存在多种性质不同的晶体及玻璃相和气孔。不同晶体之间、晶体与玻璃相之间在冷却过程中有不同的收缩系数, 使得材料在冷却过程中产生较大的不均匀收缩, 这种不均匀收缩所造成的热应力积累到一定程度, 材料内部便产生沿晶断裂, 甚至是穿晶断裂。

因此, 可以通过对耐火原料矿石施加热应力来进行这一类研究, 探索不同方法、不同条件下形成裂纹的可能性及

* 杨道媛: 女, 1968 年生, 博士研究生, 讲师。

收稿日期: 2001-11-09

修回日期: 2002-04-29

编辑: 柴俊兰

裂纹的分形维数,以寻找有效提高粉碎和研磨系统效率的方法和途径,这对于破碎和研磨强度高、硬度大的物料,尤其具有重要意义。

2 超微粉体的制备、存储和运输

随着耐火材料生产技术和产品质量的不断提高,超微粉体在耐火材料中的应用越来越多,粉体的流动性是近年来人们日益关注的一个问题。粉体流变学是一门十分难以研究的学科,因为所有影响粉体流动性的因素(如水分、静电力、粉末轮廓的曲折程度和尺寸分布等)都很复杂,而在粉体流动过程(粉体的制备、存储、输送和运输等)中,大多数情况下会有空气流动,这些向外流动的空气,可能把最细的微粒带走,造成浪费及环境污染。

目前,喷射干燥法是制备超微粉体的一种较先进的方法。浆体(微细颗粒高浓度悬浮液)从塔顶喷射下来,遇到干燥气体时水分被蒸发,干燥的粉粒则收集于塔的底部。这些微粒通常是疏松的,尽管在一些处理过程中通过调节干燥条件可得到相对紧密的粉粒,但所得粉粒的体积密度依然较小。

笔者认为在超微粉体制备、存储和运输过程中,研究超微粉体颗粒的多孔分形结构既可以预测超微粉体(包括喷射干燥法所制备的超微粉体)的流动性,也可以预测粉体在压制过程中的充填状况,从而调整超微粉体的制备和收集工艺参数,获得粒度较为均匀而且较为致密的粉体颗粒。另一方面,依据粉体的流体性,从流体力学出发,设计不同类型的料仓和输送管道的结构,以适应不同流动性粉体的存储和输送,也是十分必要的。

麻萨诸塞州州立大学把粉末的分维数与它的流动性及充填性联系起来,在生产实践中取得了显著成效。

3 实现破碎过程质量前馈控制

为了获得性能优良的产品,现代材料工业中使用的矿物原料大多需要富选加工,而选矿工艺的第一步是把粗矿石破碎成小颗粒。另一方面,耐火材料进行配料之前,通常需要将大块物料破碎成不同粒度的颗粒,以保证材料内部最佳的颗粒紧密堆积。在这个破碎过程中,裂纹的扩展至关重要,但是,有关裂纹穿透岩石的详细过程,目前研究得还不够透彻,主要困难在于无法描述裂纹结构和裂纹扩展方式。工业上多采用颚式破碎机、球磨机等设备经过闭路循环,实现对矿物原料的破碎加工,质量反馈控制则是通过检查球磨机产物的组成,调节磨矿和给料速度,以实现对磨矿回路的后馈控制,这种控制法存在一个很大的缺点,即容易造成过磨,产生不必要的过细粒子并且浪费很多能量,如有人曾计算过该过程能量利用率不足1%。因此,我们希望能用前馈控制,即通过检查破碎后的原料,预测所需的磨矿时间及磨矿后产品的尺寸分布,据此控制磨矿过程,减少能量消耗。

实现前馈控制,要解决两方面的问题:

- (1)研究矿石试样的形状和尺寸;
- (2)表征矿石在压力作用下,裂纹扩展、发生破碎的方式。

若要确定新破碎微粒的分维数和导致矿石破碎的裂纹结构之间的关系,必须在测量微粒的分维数之前,避免微粒受到磨损。同理,如果希望根据碎片的分维数找到矿石的碎裂机制,那么靠观察被球磨机磨损后的颗粒就为时已晚。

Laurentian 大学用分维数(分维数可反映由包含分数在内整个维数所覆盖的空间体系的粗糙程度)来描述矿石破碎时裂纹的结构(裂纹的分形结构与细颗粒的分形边界有关,正是这些裂纹使得大块矿物破裂成小块),建立受压状态下矿石的裂纹结构、矿石构造特征以及施加给矿石的应力应变方式这三者之间的联系,对完善磨矿工序中的前馈控制有所帮助。

4 颗粒紧密堆积

要想获得致密材料,靠等径球体堆积显然满足不了要求。因此,制作致密耐火材料时,从堆积的角度考虑,最好的办法是:首先将大块碎石堆到一起,然后将小一些的石块充填到大石堆中;第二步是将更细的砂渗入先前的大石块和较小石块的空隙中,振动这些干燥的被充填的球状物,使各种成分能进入到结构中;最后要加入此结构中去的是稀的泥浆,泥浆中已事先加入有助于润湿的表面活性剂,这种稀浆倒入料堆以后,将整个体系结成一个整体。这是一种多层次的分形体系,可用数学意义上完美的阿波洛尼奥衬垫的分形体系来描述。

当然,在实际应用时,有必要与理论的尺寸分布函数有一定的偏差,以确保各种组分能渗进各种内部空隙,也就是连续地渗到越来越小的颗粒结构中去。实践证明,与其使用连续分布的组分,倒不如有一定的梯度比,而且实际耐火材料中添加的、能够制造出并且能够渗入到整个耐火材料结构的最小颗粒的尺寸显然是有限的。关于这个问题,对不同性能的混凝土的研究已有很多,且已查明,许多由经验确定的粒度分布都是分形体系。因此,在耐火材料的配料过程中,借鉴混凝土的配料经验,确定分形级配的颗粒配比,将有利于提高材料的性能。

5 改善耐火材料的强度和韧性

多年来,人们采用各种方法制作高性能耐火材料,如用弥散粒子强化法提高耐火材料的强度和韧性,因为裂纹碰到粉末粒子时,粉末粒子的“钉扎作用”会使裂纹的方向发生转变,消耗一部分能量,阻止裂纹进一步扩展。另外,也可以通过加入纤维的办法制造高强、韧化耐火材料。显然,如果所添加的粉末粒子或纤维具有分形结构,则这种粉末粒子或纤维在吸收裂纹能量方面能发挥更大的作用。因为

裂纹遇到分形结构添加剂粒子(弥散粉末粒子或纤维)时,其次级结构发生散裂,分形结构的碎片内部可能会残留一些空气,使添加剂具有一定的压缩弹性,再加上其巨大的表面积,从而使添加剂更有效地吸收裂纹的能量。因此,可以构想,在材料中添加分形结构的弥散粒子或纤维,能有效提高耐火材料的强度和韧性。

对添加剂界面附近裂纹的分形结构的研究,还可以推测界面对能量的吸收能力,进而防止裂纹在材料中进一步扩展。

6 职业病的防治

由粉尘引起的职业病——矽肺病是耐火材料工业常见的一种职业病,它是由吸入硅石粉末而造成的。研究表明,吸入粉尘引起的损伤与粉末的物理状态和颗粒尺寸有关。硅石雾常作为流动剂加入到食品和药品的包装袋中,因为硅石雾具有很大的表面积,有利于排除产品包装时可能存在的潮气,同时硅石雾的封入,增加了食品等粉粒之间的摩擦力,能有效防止粉粒在存储和运输时因受压而结块。但打开包装袋时产生的吸入粉尘不会引起矽肺病,因为硅石雾中的硅石粉末是一种非结晶型二氧化硅。而耐火材料工业中引起矽肺病的硅石粉末通常是结晶硅石粉。

研究表明:某些分形结构的粉尘会比简单粉尘增大吸入伤害,如石棉粉尘和香烟粉尘混合在一起表现出特殊的致命危害,其原因之一就是香烟烟雾中的一种致癌物质以一种特殊方式定向吸附在分形结构的石棉纤维的表面上而被化学激活,致癌作用比飘浮在无尘空气中的致癌物对肺的伤害严重得多。可见分形结构的石棉纤维表面(粉尘表面)性质与致癌作用有关且引起更大的伤害。因此,在耐火材料行业的职业病防治方面,应加强分形微粒的研究。

7 结语

本文结合分形理论,通过分析,提出以下几点:

(1)在耐火材料破粉碎工序之前加一个冷却处理工序,应用分形理论研究矿石碎裂机制,从而提高耐火原料,尤其

是硬质耐火原料的破粉碎效率;

(2)研究粉体颗粒的分形结构既可以预测超微粉体的流动性,也可以预测粉体在压制过程中的充填状况,从而改良粉体的制备、存储、输送和运输等过程;

(3)建立受压下矿石的分形裂纹结构、矿石构造特征及施加给矿石的应力应变方式这三者之间的联系,对完善磨矿工序中的前馈质量控制有帮助;

(4)确定分形级配的颗粒配比,将有利于提高材料的性能;

(5)在耐火材料中添加分形结构的弥散粒子或纤维,能有效提高耐火材料的强度和韧性;

(6)加强对吸入粉尘分形结构的研究,防治耐火材料行业的职业病。

事实上,分形理论与耐火材料生产过程中的许多方面都密切相关。如果我们能有意识地运用分形理论研究生产中的实际问题,不断开发分形理论的应用新领域,则可能会给传统的耐火材料加工工业带来巨大的甚至是革命性的变化,解决一些长期困扰我们的难题。总之,分形理论在这方面有着广阔的应用前景,有待于进一步去研究和开发。

参考文献

- 1 张济忠.分形.北京:清华大学出版社,1995
- 2 曾文曲译.分形几何—数学基础及其应用.沈阳:东北大学出版社,1991
- 3 谢和平.分形几何—数学基础与应用.重庆:重庆大学出版社,1991
- 4 文洪杰,彭达岩,王资江,等.分形理论在材料研究中的应用和发展.钢铁研究学报,2000,12(5):70~73
- 5 丁保华,李文超,王福明,等.分形理论及其在无机材料烧结与氧化过程中的应用.硅酸盐通报,1999,18(3):64~68
- 6 吴扣根,马文会,王华,等.分形在材料科学中的应用及发展.云南冶金,1997,26(2):49~53
- 7 李文超,何鸣鸿.分形及其在耐火材料研究中的应用.耐火材料,1997,31(2):113~117
- 8 杨久俊.无机材料科学.郑州:河南科技出版社,1996

Application of fractal theory in refractories production/Yang Daoyuan, Ye Fangbao, Xu Enxia, et al//Naihuo Cailiao. - 2002,36(6):366

Some applications of fractal theory in the production of refractories are introduced. Based on the applications, it is proposed that: Adding cryoprocessing procedure to the crushing and grinding process of the refractory raw materials can improve the efficiency of grinding, particularly can improve that of the hard materials; Studying the fractal structure of the powder can predict the flowability and filling status during press of the powder so as to improve the preparation, storage and conveyance of the powder; Studying the fractal structure of the crack can help to control grinding procedure by pre-feedback; Establishing the fractal grain size distribution can help to improve the property of the refractories; Adding powder or fiber with fractal structure can improve the strength and toughness of the refractories; Enhancing the study on the fractal structure of suction powder to prevent and control the occupational disease in refractories industry.

Key words: Refractories, Fractal theory, Production process control, Quality control

Author's address: High Temperature Ceramics Institute, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

分形理论在耐火材料生产中的应用

作者: [杨道媛](#), [叶方保](#), [徐恩霞](#), [梁敏](#), [胡金明](#)
作者单位: [杨道媛, 叶方保, 徐恩霞, 梁敏\(郑州大学高温材料研究所, 郑州, 450052\)](#), [胡金明\(河南省质量技术监督局\)](#)
刊名: [耐火材料](#) ISTIC PKU
英文刊名: [REFRACTORIES](#)
年, 卷(期): 2002, 36(6)
被引用次数: 1次

参考文献(8条)

1. [张济忠](#) [分形](#) 1995
2. [曾文曲](#) [分形几何-数学基础及其应用](#) 1991
3. [谢和平](#) [分形几何--数学基础与应用](#) 1991
4. [文洪杰](#); [彭达岩](#); [王资江](#) [分形理论在材料研究中的应用和发展](#)[期刊论文]-[钢铁研究学报](#) 2000(05)
5. [丁保华](#); [李文超](#); [王福明](#) [分形理论及其在无机材料烧结与氧化过程中的应用](#)[期刊论文]-[硅酸盐通报](#) 1999(03)
6. [吴扣根](#); [马文会](#); [王华](#) [分形在材料科学中的应用及发展](#) 1997(02)
7. [李文超](#); [何鸣鸿](#) [分形及其在耐火材料研究中的应用](#) 1997(02)
8. [杨久俊](#) [无机材料科学](#) 1996

本文读者也读过(10条)

1. [夏德宏](#). [张省现](#). [吴祥宇](#). [XIA De-hong](#). [ZHANG Sheng-xian](#). [WU Xiang-yu](#) [煤粉碎粒度分布的分形模型](#)[期刊论文]-[矿冶](#)2005, 14(1)
2. [李道忠](#). [邵雷](#). [崔志坚](#) [运用统计技术开展工序质量评价](#)[期刊论文]-[中国质量](#)2005(12)
3. [李道忠](#) [耐火材料企业新产品开发的质量控制](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2004, 38(2)
4. [王刚](#) [对耐火材料生产质量和环境管理系统的浅见](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#)2004, 29(2)
5. [董平](#). [单忠健](#) [超细煤粉粒度分布的分形描述](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#)2004, 14(2)
6. [姚宇新](#). [宋守志](#). [YAO Yu-xin](#). [SONG Shou-zhi](#) [粒度分布指数低于0.89的粉碎能耗分维数](#)[期刊论文]-[矿冶](#) 2005, 14(2)
7. [吴建明](#) [国际粉碎工程领域的新进展摘要](#)[会议论文]-2004
8. [王杰曾](#) [耐火材料生产过程的质量控制](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2005, 39(4)
9. [刘解华](#). [周宁生](#) [第四届国际耐火材料会议论文简要综述](#)[期刊论文]-[中国冶金](#)2003(7)
10. [杨志远](#). [周安宁](#). [曲建林](#) [超细煤粉的颗粒分布分形与球磨工艺关系研究](#)[期刊论文]-[煤炭科学技术](#)2004, 32(1)

引证文献(1条)

1. [李新梅](#) [瓷釉涂层/金属基体界面分形维数和密着性关系研究](#)[学位论文]硕士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200206018.aspx