

气固流化床系统非线性机理研究进展

张延平^{1,2)} 王立¹⁾

1)北京科技大学机械工程学院,北京100083 2)首钢技术研究院,北京100041

摘 要 从近年来气固流化床两相流动的研究成果出发,总结了流化床非线性机理研究的方向.混沌理论研究表明流化床系统是确定型的混沌系统,而耗散结构理论的结果认为流化床系统属于非平衡热力学系统.对流化床系统的随机力分析将随机理论的方法运用到流化床流动机理和气泡分布研究中,有助于揭示流化床内部非线性机理和特性.

关键词 流态化;混沌;耗散结构;随机力

分类号 TB126

随着对流态化系统研究的深入,相关学科的关联和影响日益密切,流态化技术与其他学科的融合成为近些年的研究方向^[1-6].特别是非线性科学^[7]的快速发展,使我们能够突破以往决定论的思维,进一步探讨流态化的本质.

由于流化床反应器中受到诸如流体湍动、气相搅动以及流化颗粒运动等许多复杂因素的影响,其流动行为呈现出高度的无规性、随机性和结构不稳定性(多态性),是非线性瞬态系统^[8,9].若仅采用传统的基于线性原则的分析技术,不仅不能深入地从本质上揭示多相反应器内动态的、非线性的多相流动及传递性能和流动机制,而且使基于稳态处理的多相反应器经验放大法、流动结构模型放大法和计算流体力学(CFD)模型放大法具有较大的局限性^[10].因此,引入非线性理论,运用新方法和新工具探讨流态化系统的机理是十分必要的.

1 非线性科学进展与流态化系统

颗粒流体系统是具有混沌、耗散、有序与无序等复杂特征的非线性系统,文献[11]建立了反映颗粒流体系统非线性特征的数学模型,定性地描述了颗粒流体系统的历经性及其各种流动状态中的主要非线性特征.同时,有研究者^[12]提出认识非线性行为有两种途径:一是把系统进行多方面的分解,即运动分解为极值和动态,能耗分

解为可逆和耗散,过程分解为有序和无序,结构分解为不同尺度等;二是将系统处理为尺度差别很大的两种介质的相互作用并进行计算机图型仿真.

从流态化产生和流化现象来看,流化床系统属于非平衡热力学的范畴,因此在流态化研究中,混沌理论、协同学、突变理论和耗散结构理论已经或正在引起人们的重视,且在某些方面已经被一些学者应用,取得一定的成果.另外,拓朴学、复杂性理论也在流态化研究中有所应用.

2 流化床系统的混沌研究

混沌理论是近年来发展起来的研究非线性动力系统的新方法,主要是考察非周期的、具有渐进的自相似有序性的现象,即所谓的混沌行为.非线性混沌技术是当前各学科研究中的前沿课题,它提供了新的视角和工具,以把握自然界中广泛存在的复杂的非线性动态过程^[10,13].产生混沌的最根本原因在于系统的非线性动力因素.有研究者尝试用混沌理论去研究颗粒流体系统中的现象,并取得了一些定性和定量的结果^[14-18].

由于多相流的行为是一个典型的混沌过程和非线性过程,对于各种床内参数(压力脉动值、局部空隙率、气速、颗粒速度等)的动态变化过程的剖析,可能使研究者获得更深层次的信息,因而近年来已引起广泛的兴趣.

混沌理论用来研究确定性系统中出现的貌似随机的非线性行为,其中心内容就是利用重构

相空间思想去定性或定量刻画混沌吸引子,进而研究系统的动力学行为.定性的研究方法有相图及 Poincare 截面;定量的研究方法有非线性特征量 Lyapunov 指数、Kolmogorov 熵和分维数等.混沌分析需要根据算法思想开发计算机程序在微机上实现^[10].

典型气固流态化系统实验结果表明^[19]:当气速小于最小流化速度时,床层处于固定床,吸引子图上呈现为一个点,Kolmogorov 熵为零,系统表现为定态行为.气速升高,床层到达鼓泡状态,呈现近似周期的波动,具有比较规则的吸引子图,对应的 Kolmogorov 熵较小,系统的混沌程度较低.气速再增加,系统进入湍动流化状态和循环流化状态,床层波动的无规则性剧烈增加,吸引子图不再有明显的规则,Kolmogorov 熵急剧升高,系统的混沌程度相当明显.分析流化床中脉动信号的组成和规律是混沌分析的主要手段,基本研究方法有以下两种.

(1) 分析流化床内脉动信号组成.

当应用功率谱分析、R/S 分析、混沌分析等对气固流化床压力波动信号的性质、组成进行定量解剖时,发现压力波动信号由两部分构成:其一是本质随机性信号,如噪音;其二是本质确定性信号.本质确定性信号又有两种表现形式:周期信号和随机信号.这种表面随机而本质确定性的信号就是混沌信号^[20].另外,用信息理论中熵源或信息流率的概念来判断气固流化床中颗粒碰撞压力信号中存在的混沌现象,分析实测的压力波动信号,同样也证实了该信号为有噪声污染的混沌信号^[21].

利用激光粒子动态分析仪(PDA)测量循环流化床中颗粒脉动速度信号,采用FFT分析脉动信号的宽频谱特征,在此基础上应用小波法分析脉动信号的动态特征,可以得到颗粒脉动速度的微观结构,发现颗粒脉动速度的非线性特征是流化床具有混沌特性的根源^[22].以气液两相鼓泡塔内的压力波动时间序列为分析对象,发现混沌特性随空间位置的变化不显著^[23].

(2) 测定空隙率或颗粒密度,重构时间序列.

采用光纤颗粒测速仪在流化床中测定不同颗粒在不同位置处空隙率的时间序列,重构出空隙率时间序列的吸引子.结果表明,空隙率信号的功率谱和二维吸引子既不类似于周期信号功率谱和吸引子,也不类似于随机信号的功率谱和

吸引子,而具有明显的吸引区和相对稀疏的发散区^[24].通过改变湍动流化床、快速流化床和稀相输送流化床的操作状态,测得密度脉动时间序列.结果表明,Kolmogorov 熵随流型的变化能正确地反映相应流型的特点,可用来描述不同流型下的流动结构^[25].

许多从传热、压力波动、空隙率和化学反应等方面的研究结果认为,气固流化床在很宽的操作条件内表现出显著的混沌行为.有研究者试图利用确定性混沌时间序列分析探讨床内的流体动力学行为^[26-28],虽然取得了很大的进展,但其动力学特征量如奇异吸引子、相关维、Lyapunov 指数和 Kolmogorov 熵等标度不变量本质上仍然是系统宏观的整体统计性质,很难揭示隐藏在复杂流动现象下的流动结构的本质^[22].另一方面,气固反应器流动的非线性混沌特性研究发展较快,但是其研究多处于混沌区域,缺乏对混沌产生机理的研究,同时也缺乏对非线性特征量在空间上的分布以及这些非线性特征量与流动及传递特征量之间定量关系或模化研究.因此,目前对多相反应器流动的混沌特性研究仍属于探索阶段,尚有大量研究工作待继续探索和深入^[10,29-31].

3 基于耗散结构理论的流化床系统研究

理论认为颗粒相和流体相的湍流结构及其相互作用是循环流化床气固两相非均匀结构产生的主要因素.这种非均匀的时空动态结构使其内部复杂的气固两相系统表现为典型的耗散结构^[32].因此,气固流态化系统是一个典型的具有多尺度行为的耗散结构体系^[33].齐茂展^[34]基于耗散结构理论,在流化床的理论研究上做了突破性的工作,并对流态化两相运动规律进行了深入的研究和实验验证.

(1) 流化床中的熵与有序结构.

用耗散结构理论方法研究流态化两相运动规律,突破了流态化理论研究的传统框架,首次把流态化系统作为一个热力学系统,建立了研究流态化系统两相运动规律的新概念和新的方法体系.流化床系统作为一个与环境有能质交换和能量耗散的开放系统,是一个具有非线性动力学机制的多相流系统^[35,36].流化床系统的不均匀性具有典型的耗散结构特征,其运动机理已从耗散

结构理论中得到解释,不同的流化形态对应于不同耗散结构分支^[35].用非平衡态热力学的分析方法分析流化床系统的熵、熵产生、熵流,使热力学第二定律同流化床理论研究有机地结合,使热力学和流体动力学与流化床理论研究、耗散结构分支与系统运动形式的多样性、系统总体稳定与局部非稳定在理论描述上相统一^[35].

研究表明,外界环境在向流化床系统提供能量的同时,也向系统输入了负熵流,系统的非线性机制和能量耗散对系统产生有序结构起着积极作用^[35].流态化系统的定态运行满足床层位势最小原则:在平衡态,系统的熵产生和系统熵均为最大,系统定态的位势最小是无条件的极小;在非平衡态,尽管系统的熵产生渐进最大,但是由于外界环境向系统输入了负熵流,系统熵不为最大,系统定态的位势最小是有条件的极小.

(2)流态化系统的涨落与稳定性.

通过分析湍流管道流动中惯性和粘性的协调作用与气固流态化系统中颗粒运动与流体运动的协调作用之间的相似性,有研究者^[38]提出如下推论:由两种机制共同支配的系统的稳定性条件物理意义上可表达为这两种机制各自独立的极值趋势互为约束的条件极值.对于有两种作用机理共存的非线性非平衡的耗散结构,其稳定性条件可通过分析每一种作用的极值趋势和它们之间的相互约束来得到.

当体系处于平衡态时,发生涨落的概率遵循Einstein 涨落公式

$$P(\{\delta X\}) \propto \exp\left[-\frac{(\delta^2 S)_0}{2k_B}\right] \quad (1)$$

其中, $\{\delta X\} = \{X - X_0\}$ 代表一个广延量 X 对其平衡态的宏观平均值的偏差,即涨落. $P(\delta X)$ 是产生这种偏差的概率, k_B 是 Boltzmann 常数, $(\delta^2 S)_0$ 是伴随这种 X 的偏差所引起的熵的二级偏差.

在没有相变的情况下,比起宏观平均值来说涨落的作用总是小的,通常可以忽略.然而在相变点附近,体系中各点处的粒子数密度和熵密度的涨落可以变得异常的大,并且会出现长程的相关.而且从根本上说,在平衡体系的相变点附近出现的涨落的反常性以及长程的相关皆起源于体系中分子间的微观相互作用.在非平衡和适当的非线性动力学条件下,可以出现像化学振荡和有序花纹一类的时空有序结构.它们的出现意味着在体系中的不同地点以及在不同时刻发生着的分子事件之间有着某种长程的相关.分析这种

相关和非平衡非线性条件以及体系的宏观行为之间的联系,必须研究非平衡体系中涨落的行为.另外,当体系的控制条件超过分支点以后,体系的渐近发展状态可以有多种选择,但宏观的决定性方法并不能确定体现选择某种特定状态的概率,也并不能提供有关不同状态之间如何跃迁的机理^[39].在这种情况下,涨落的作用不再被忽略,而是决定性的.

基于耗散结构框架的流态化系统研究,建立了用非平衡热力学和耗散结构理论研究流态化系统两相运动规律的新概念和方法体系,比如最小位势原则、流化形态的理论判据、临界鼓泡速度的计算方法等.对于流化床的模型计算,特别是定量计算有待进一步的深入研究.另外,涨落在建立有序结构的过程中发挥重要的作用.但是通常把涨落量当作和宏观量一样的连续变量,并且假定涨落的行为同样遵循唯像的热力学关系和宏观的决定性方程.实际上宏观体系中的涨落本质上是分立的.

4 非线性随机理论与流态化系统研究

涨落的发生是一系列不连续的事件,因为物质及其变化在本质上就是分立的.或者说涨落的发生是一种随机事件^[39].对这类随机事件至多只能说它在某个确定的时间间隔内发生的可能性有多大.同样,初始条件和边界条件的规定本质上也是一种随机事件.因此严格说来,对宏观体系的正确描述必须是概率描述^[39].

对许多实际问题来说,通常对体系的微观状态的细节并不十分感兴趣.例如对化学反应,主要关心某一反应物或反应产物的浓度,即某种组分的粒子数,而并不十分关心这些粒子的动量分布或位置分布.为此可将如粒子数等宏观变量取作随机变量,讨论这种随机变量的概率分布函数及其规律,即所谓的随机方法(Stochastic Approach).随机方法可以看作是介于宏观描述方法(例如热力学方法)和微观描述方法(例如统计力学方法)之间的一种方法.在说明随机层次描述的优越性方面,布朗运动是典型的例子.

流态化系统内非均匀流动结构极其复杂,呈现非周期的动态行为^[18, 40, 41].由于对流态化系统非线性机制和现象认识的局限性,以及对其动态

行为量化的复杂性,这类反应器的设计放大仍然主要靠经验,制约了流态化技术的发展和运用.有研究者^[27]通过时间序列重构方法分析了流态化系统非均匀结构的宏观尺度动态行为,利用 Weibull 分布函数定量地刻划了各种操作条件下密相单元、稀相单元及其稀密交替单元大小的分布特征,为量化系统内复杂的非均匀结构提供了基础.但上述研究对流态化均匀结构动态行为所进行的模拟,仅能够体现系统内的流动结构不均匀性及其主体的动态行为,说明这一动态行为具有随机特性.

在流化床中,粒度分布对床层流变性能影响很大,对改善气固流化床的聚式操作也有一定的意义.研究者^[42]发现宽粒度分布体系(白砂糖)流化床中颗粒不是按粗细理想地分布,而是带有随机性.于是根据白砂糖颗粒的固有特点和流态化特征,应用 Markov 过程建立了描述白砂糖流态化的随机模型.这种随机模型认为,床中颗粒既有向上运动的可能,也有向下沉降的可能,颗粒运动具有随机性,可用 Markov 链表示随机运动概率,预测在稳态下宽粒度体系沿床高的质量分布.

文献[43]将布朗运动模型和随机步行理论拓展应用于快速流化床中颗粒的运动,认为空隙度满足 Fokker-Planck 方程,导出了轴向空隙度分布的表达式:

对于稀相,

$$\varepsilon = \varepsilon^* - \frac{\varepsilon^* - \varepsilon_a}{2} \cdot e^{(z-z_0)/A} \quad (2)$$

对于浓相,

$$\varepsilon = \varepsilon_a + \frac{\varepsilon^* - \varepsilon_a}{2} \cdot e^{(z-z_0)/A} \quad (3)$$

其中, ε^* 为稀相中的空隙率, ε_a 为浓相中的空隙率, z_0 为快速床的床层高度, A 为特征长度.

为了把涨落的特性引入理论分析的框架内,以便更好地了解在分支点附近涨落的一般行为和作用,目前大体上有两种途径^[39]:一是临界动力学方法;二是采用多变量 Master 方程的办法.在临界动力学方法中,通过在宏观的反应-扩散方程的右边加上一项适当的随机项(Langevin 力),从而得到某类随机微分方程,然后在局域平衡假设的基础上建立一种类似于平衡相变理论中的 Landau-Ginzburg 位函数,于是利用平衡相变理论中的方法研究各种涨落的行为.在多变量 Master 方程的方法中,首先设想把宏观体系分成

许多小体积元,每个小体积元在微观上保持足够大,具体分析每个小体积元之内涨落的行为.

5 对流态化系统的其他理论研究

运用复杂性参数对气固流化床压力脉动信号进行分析.结果表明,在起始流化至鼓泡转变的过程中,气-固体系会进行一种所谓的“重构”,而气泡的存在是影响压力脉动信号复杂性的重要因素.复杂性参数能明确地指示固定床、鼓泡流化及湍动流化等不同流型的转变,为流型识别提供了新思路^[44].

分形技术是非线性研究中的一个分支,基于分形技术研究气固流化床从固定床向流态化床转变过程中压力信号的有关特性.结果表明,信号的 Hurst 指数在起始流化速度附近有一个强劲的峰值,运用 Hurst 指数可进行流化速度估计^[28].

文献[45]在双流体模型中对两相流动微分方程的解进行了几何拓扑分析,论述了在相空间中奇点出现的条件、奇点位置及类型.

6 结语

随着流态化技术的广泛应用,流态化理论研究得到了不断的发展,并成为一门独立学科.然而,作为一门新兴的学科,无论在理论体系的建立和完善上,还是在实际应用方面,都有很多问题亟待解决.除了流态化机理本身十分复杂,可供选择的实验研究方法受到限制的因素外,理论研究不足是一个主要的原因.因此,在已有的理论和实验研究基础上,开拓新的理论方法揭示流态化系统的本质规律,建立合理的数学模型,是一项极为重要的工作.

参 考 文 献

- 1 戴维森,哈里森.流态化[M].北京:科学出版社,1981
- 2 国井大藏,列文斯比尔.流态化工程[M].北京:石油化学工业出版社,1977
- 3 Mooson K, Jinghai L, Dejin L. Particulate and aggregative fluidization 50 years in retrospect [J]. Power Technol, 2000, 111: 3
- 4 金涌,祝京旭,汪展文,俞芷青.流态化工程原理[M].北京:清华大学出版社,2001
- 5 陈学俊.多相流热物理研究的进展[J].西安交通大学学报,1994,28(5):1
- 6 淮秀兰,王立,倪学样.粒状物料干燥过程中的传热

- 传质分析 [J]. 北京科技大学学报, 1998, 20(5): 484
- 7 胡岗. 随机力与非线性系统 [M]. 上海: 上海科学教育出版社, 1994
- 8 van den Bleek C M, Schouten J C. Can deterministic chaos create order in fluidized bed scale up [J]. Chem Eng Sci, 1993, 48(13): 2367
- 9 Devanathan N, Lapin A. Chaotic flow in bubble column reactors [J]. Chem Eng Sci, 1995, 50(16): 2661
- 10 闻建平, 刘明言, 胡宗定. 多相反应器流动非线性混沌特性研究进展 [J]. 化学工程, 1999, 27(5): 18
- 11 欧阳杰, 文利雄, 李静海. 颗粒流体系统的非线性数学模型 [J]. 西北工业大学学报, 1999, 17(3): 360
- 12 李静海, 葛蔚, 郭友良. 颗粒流体系统的非线性行为 [J]. 化学进展, 1995, 7(3): 231
- 13 Makey M C, Glass L. Oscillation and chaos in physiological control systems [J]. Science, 1977, 197: 287
- 14 van der Stappen M L M, Schouten J C, van den Bleek C M. Application of deterministic chaos analysis to pressure fluctuation measurements in a 0.96 m² CFB riser [A]. Preprint Volume for the 4th International Conference on Circulating Fluid Beds [C]. New York: AIChE, 1993. 55
- 15 Schouten J C, van der Stappen M L M, van den Bleek C M. Scale-up of chaotic fluidized bed hydrodynamics [J]. Chem Eng Sci, 1996(51): 1991
- 16 van den Bleek C M, Schouten J C. Deterministic chaos: a new tool in fluidized bed design and operation [J]. Chem Eng, 1993, (53): 75
- 17 Bai D, Bi H T, Grace J R. Chaotic behavior of fluidized beds based on pressure and voidage fluctuations [J]. AIChE J, 1997, (43): 1357
- 18 Pence D V, Beasley D E, Riester J B. Deterministic chaotic behavior of heat transfer in gas fluidized beds [J]. J Heat Transfer, 1995(117): 465
- 19 文利雄, 李静海. 颗粒流体系统的流域特征及其混沌行为 [J]. 化学反应工程与工艺, 1996, 12(1): 40
- 20 赵贵兵, 李天铎. 气固两相流压力波动信号分析 [J]. 中国粉体技术, 2001, 7(3): 6
- 21 王军, 石炎福, 余华瑞. 信息理论在气固流化床颗粒碰撞压力波动信号分析中的应用 [J]. 化学工程, 2001, 29(2): 69
- 22 周浩生, 陆继东等. 复杂气固两相系统的微观结构 [J]. 实验力学, 1999, 14(2): 190
- 23 刘明言, 胡宗定. 气液两相鼓泡塔流区及其过渡的混沌分析 [J]. 化工冶金, 2000, 21(1): 37
- 24 杨虎, 石炎福. 气固流化床中空隙率研究 [J]. 四川轻化工学院学报, 2001, 14(1): 5
- 25 程易, 魏飞, 王振宇, 金涌. 高速气固流化床局部瞬态行为混沌分析 [J]. 化工学报, 2000, 51(2): 169
- 26 袁竹林, 沈湘林, 徐益谦. 流化床中颗粒运动与壁面换热的混沌特征 [J]. 工程热物理论, 1993, 14(2): 203
- 27 崔和平, 李静海, 安鸿志, 等. 气固流态化均匀结构的随机特性 [J]. 中国科学 (B 辑), 1998, 28(3): 274
- 28 吴贤国, 黄志尧, 王保良, 等. 分形技术在气固流化床起始流化状态研究中的应用 [J]. 浙江大学学报, 2001, 35(3): 289
- 29 Lu H L, Dimitri G, Jacques B. Chaotic behavior of local temperature fluctuations in a laboratory-scale circulating fluidized bed [J]. Powder Technol, 2002(23): 59
- 30 Bouillard J X, Miller A L. Experimental investigation of chaotic hydrodynamic attractors in circulating fluidized bed [J]. Powder Technol, 1994(79): 211
- 31 Berruti F, Chaouki J, Godfroy L, et al. Hydrodynamics of circulating fluidized bed risers: a review [J]. Can J Chem Eng, 1995(73): 579
- 32 Li J, Qian G. Gas-solid fluidization: a typical dissipative structure [J]. Chem Eng Sci, 1996, 51(4): 667
- 33 Li J H, Wen L X, Qian G H, et al. Structure heterogeneity, regime multiplicity and nonlinear behavior in particle-fluid systems [J]. Chem Eng Sci, 1996, 51(11): 2693
- 34 齐茂展. 基于耗散结构理论的流态化两相运动规律研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 1995
- 35 齐茂展, 王立, 倪学梓. 流化床非平衡态热力学分析模型 [J]. 清华大学学报, 1998, 38(5): 15
- 36 Musmarra D, Poletto M, Vaccaro S, et al. Dynamic wave in fluidized beds [J]. Powder Technol, 1995, 82: 255
- 37 伊·普里戈金. 从存在到演化 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986
- 38 李静海, 张忠东, 葛蔚, 等. 有两种机制共存的耗散结构的极值条件 [J]. 科学通报, 1999, 44(6): 613
- 39 李如生. 非平衡态热力学和耗散结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1986, 4
- 40 Musmarra D, Poletto M, Vaccaro S, et al. Dynamic wave in fluidized beds [J]. Powder Technol, 1995, 82: 255
- 41 Buyevich Y A, Kapbasov S K. Random fluctuations in a fluidized bed [J]. Chem Eng Sci, 1994, 49(8): 1229
- 42 谢名洋, 郭祀远, 李琳. 白砂糖流态化随机数学模型 [J]. 华南理工大学学报, 1995, 23(7): 9
- 43 张恒, 谢裕生. 快速流化床轴向空隙度分布的数学模型与计算 [A]. 第五届全国流态化会议文集 [C]. 1990
- 44 黄春燕, 陈伯川. 气固流化床流型特征及其识别的复杂性研究 [J]. 化学反应工程与工艺, 2001, 17(3): 291
- 45 曾丹苓, 敖越, 张新铭. 两相流动解的几何拓扑分析及壅塞流动数学判据的探讨 [J]. 工程热物理论, 1987, 8(2): 101

- 4 王宝雨, 胡正寰. 板式楔横轧接触面的解析分析[J]. 几何分析[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(1): 55
北京科技大学学报, 1995, 17(1): 64
- 5 王宝雨, 胡正寰. 楔横轧楔入轧制接触面几何形式[J]. 北京科技大学学报, 1998, 20(2): 169
- 6 刘晋平, 王宝雨, 张康生, 等. 辊式楔横轧楔入轧制
7 王景梁. 楔横轧精整变形规律及精密整形模具设计
理论研究[D]. 北京: 机械工业部北京机电研究所.
1996

Geometrical Analysis on Right-angle Step Forming Process in Cross Wedge Rolling

DU Huiping, ZHANG Kangsheng, SHI Honglei, HU Zhenghuan

Mechanical Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT Based on geometrical models during the whole process of forming inside right-angled step in cross wedge rolling which were proposed in past years, an effective geometrical model was built through generally analyzing the geometrical influencing factors of forming inside right-angled step. Mathematic representations of the surfaces and turn radius of the part in the whole process of rolling were derived.

KEY WORDS cross wedge rolling; inside right-angle step; forming; geometry

~~~~~  
(上接第 649 页)

## Outlines of Nonlinear Studies in Fluidized Bed System

ZHANG Yangping<sup>1,2)</sup>, WANG Li<sup>1)</sup>

1) Mechanical Engineering School, University Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041, China

**ABSTRACT** Recent studies on two phase flows in gas-solid fluidized beds were retrospected, and the development in nonlinear mechanism studies was outlined. The chaos studies indicate that fluidized bed systems are determinacy chaos systems and the results of the dissipative structure theory attribute fluidized bed systems to non-equilibrium thermodynamic ones. The analyses of stochastic force on fluidized bed systems apply the stochastic theory to flowing mechanism and studies of bubble distribution, and redound to open out the inside nonlinear mechanism and characteristic of fluidized beds.

**KEY WORDS** fluidization; chaos; dissipative structure; stochastic force