

文章编号: 1001-7631 (2009) 01-080-04

工业应用

声发射技术测量卧式搅拌床反应器中的料位

张 斌^{1,2} 翁惠新¹ 阳永荣³

(1. 华东理工大学化工学院, 上海 200237; 2. 中国石化集团上海工程有限公司, 上海 200120;
3. 浙江大学化工系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对工业上普遍采用的核料位计即不安全环保又无法精确测定卧式搅拌床反应器料位的问题, 提出了根据多点声发射信号来确定卧式搅拌床反应器料位的新方法, 在工业规模卧式搅拌釜上进行了在线检测。结果表明, 声发射技术与核料位计检测的料位变化趋势相同, 二者相对偏差在 15% 左右, 多点声发射技术能够检测出床层的高低端料位分布。由此获得了一种简单快捷、非侵入式的卧式搅拌床料位的实时测量技术。

关键词: 卧式搅拌床反应器; 聚丙烯; 料位; 声发射技术

中图分类号: TQ016.1 **文献标识码:** A

卧式搅拌床反应器 (horizontal stirred bed reactor, HSBR) 是较先进的烯烃气相聚合反应器^[1~3]。在聚丙烯卧式搅拌床反应器中, 床层料位高度直接影响到聚丙烯的产量和质量, 生产经验表明, 料位过高或过低都将引起反应器的异常。低料位会引起停留时间缩短, 催化剂产率低, 造成催化剂浪费。高料位会增加聚合物粉末夹带, 同时导致催化剂分布或急冷液分配不均, 致使粉状聚合物床层中产生热点而结块。若能及时准确地检测床层料位, 可维持反应器内聚合反应的稳定, 确保卧式搅拌床反应器在最佳的床层高度下运行, 从而获得高质量和高产量。

目前卧式搅拌床反应器上配备的料位检测仪为 γ -射线料位计 (核料位计)。在反应器一侧设置 γ 射线源, 在另一侧设置接收装置, 通过计算被物料层吸收的射线量可以获得料位值, 但其读数为百分比形式, 没有料位的具体位置; 而当反应器内压力或颗粒堆积密度发生变化时读数会产生变化; 最主要的缺点是当搅拌桨附着有大量絮状块料 (乙丙共聚物) 时, 由于射线被大量吸收, 料位计读数大大高出实际值, 产生料位的假报。上述三个问题最终导致操作人员对于反应器内料位状况无法精确的确定, 而且目前工业上普遍使用的核料位计存在放射源, 过程不安全环保。本研究采用不侵入流场的声发射技术^[4], 在工业卧式聚丙烯搅拌床反应器中, 测量卧式反应器内颗粒撞击壁面的声发射信号, 根据料位附近颗粒运动较为“活泼”的特点, 期望获得声发射料位的特征信号, 从而实现卧式搅拌床反应器内料位的在线检测, 并将声发射技术的工业试验结果跟 γ -射线料位计工厂采集数据进行比较和分析, 以确定该新技术的可靠性。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验在某工业聚丙烯装置上进行, 其卧式搅拌床反应器长 16 m, 内径 2.743 m, 正常操作时搅拌

收稿日期: 2008-09-19; 修订日期: 2008-11-19

作者简介: 张 斌 (1970-), 男, 高级工程师。E-mail: zhangbin@ssec.com.cn

转速为 15 r/min。声波测量仪 (UNILAB 2003, 浙江大学联合化学反应工程研究所开发)^[6] 由声波传感器、前置放大器、主放大器、信号采集卡和信号处理装置等五部分组成。通过耦合剂 (耐高温真空硅脂) 将声波传感器贴于反应器壁面, 采样频率为 500 kHz, 采样时间 10 s。实验装置如图 1 所示。

实验原料为均聚聚丙烯粉料, 其真密度为 905 kg/m³, MFR (中文全称) 为 2.8 g/10 min, 原料的平均粒径 0.298 mm。为了精确测量反应器内料位, 在卧式搅拌釜靠近进料 (距反应器入口端 41 cm) 及粉体出料 (居反应器末端 37 cm) 两端设置测量圈。测量圈中相邻采样点位置间隔为 10 cm, 定义测量圈釜底正中心位置为零点, 各测量点顺搅拌方向为负, 逆搅拌方向为正。

1.2 实验原理

卧式搅拌床反应器内的料位是由物料物性、搅拌桨的几何结构、进出料速率以及底部通入气速率和顶部急冷液流量共同决定的。床层料位附近的声发射信号应与料位高度存在一定的联系, 实验表明^[7], 在密相中的声发射信号的能量大于稀相中的声发射信号的能量, 并且在稀密相界面处的颗粒最活跃。基于这一原理, 提出了根据多点声发射信号来确定卧式搅拌床料位的新方法。

声发射信号的能量 E 是指分析接收装置采集到的声发射信号, 利用快速傅立叶变换做频谱分析, 得到颗粒撞击壁面产生的声发射信号的特征频段, 积分得到能量 E 。

卧式反应器内部的动态声发射信号通过设置在卧式反应器外壁上的声发射信号接收装置进入放大装置进行信号的放大, 以保证信号的长距离输送, 然后进入声信号采集装置进行信号的 A/D 转换, 最后进入声发射信号处理装置 (计算机) 进行处理和分析。

声发射信号的接收装置为一个或多个振动换能器; 信号采集装置为一个或多个信号采集卡 (A/D 转换器); 信号处理装置为带处理软件的处理器。经过反复测试确定, 振动信号接收装置的接收频率为 10~1 000 kHz, 放大装置和信号采集装置放大倍数为 1~10 000。其中接收频率以 30~500 kHz 为佳, 信号放大以 1~100 倍为佳。

设声发射信号的时间序列为 $[x_1, x_2, x_3 \dots, x_N]$, 则各采样点高度上的能量 E :

$$E = \sum / N \quad (1)$$

式中 x_i 是声发射信号, N 是采样次数。

定义声发射信号的均方差 S 和均方差比 BS :

$$S^2 = \sum (x_i - \bar{x}) / N \quad (2)$$

$$BS_{j,j+1} = S_{j+1} / S_j \quad (3)$$

其中 \bar{x} 为声发射信号的数学平均值; j 表示同一测量圈内第 j 个测量点。

由于料位附近床层颗粒运动活跃, 粒子不断冲刷反应器壁面, 由此产生的声发射信号的均方差明显大于料位下方的均方差, 当均方差比达到最大时, 即可以判断料位的位置。

2 结果与讨论

在料位附近, 固体颗粒运动最为活跃, 它们撞击和摩擦壁面的几率也大于其它位置的颗粒, 因此在料位附近的声发射信号拥有较大的平均值和均方差, 但是能量平均值只是表征了振动源的强弱, 由于反应釜内情况复杂, 振动源分布也不为所知, 可能在釜体的任意位置产生峰值, 所以能量的平均值只能作为一个辅助手段。声发射信号的均方差及均方差比明确地反映了颗粒的运动状况, 通过计算各采样点声发射信号的均方差及均方差比, 可获得反应器内料位的分布状况。

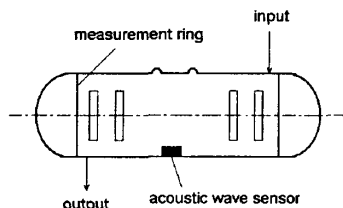


图 1 卧式搅拌床反应器
Fig. 1 Horizontal stirred bed reactor

图2为声发射技术在某工业聚丙烯装置上实测的均方差及均方差比分布。由于反应釜内搅拌桨的作用,导致料位呈现高低分布的状况。从图2可知,距离釜底 6.7° 、 -10.9° 两处位置均方差及均方差比都达到最大值,由此可以判断反应器内的料位高度。

由上述方法测定了某工业装置三个典型牌号生产时的料面位置,通过换算得到百分比(粉料所占测量圈面积/测量圈截面积),并同时与 γ -射线料位计进行对比,具体数据如表1所示。发现两种检测方法得到的料位变化趋势相同,但是核料位计的读数要高于声发射技术的检测结果。究其原因,可能是因为床层物性发生了变化,偏离了核料位计标定时物理特性,从而导致产生了系统误差。

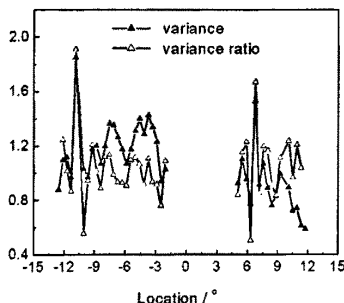


图2 R-K示范装置的内部构件安排
Fig. 2 Internal arrangements of R-K apparatus

表1 声发射技术与核料位计测定的料位比较

Table 1 Comparison of bed levels measured by AE and nuclear level gauge

Samples	Tank	Location	Average bed level measured, %		Relative error, %
			Acoustic emission	Nuclear leveler	
A	Tank 1	Inputside	53.74	62.19	12.5
		Outputside	40.31	43.61	
	Tank 2	Inputside	50.38	56.55	15.9
		Outputside	45.90	55.01	
B	Tank 1	Inputside	47.02	53.12	15.3
		Outputside	36.95	43.68	
	Tank 2	Inputside	49.26	54.50	20.9
		Outputside	41.43	55.13	
C	Tank 1	Inputside	49.26	50.76	14.8
		Outputside	32.47	43.04	
	Tank 2	Inputside	51.50	57.24	18.4
		Outputside	41.43	52.84	

3 结论

利用声发射检测技术,根据颗粒撞击壁面产生声信号且在料面附近稀密相界面处颗粒运动最为活跃机理,结合能量分析和方差分析,发现了多点声发射技术检测料位的判定准则,即当声信号的均方差及相邻位置信号的均方差比达到最大值时的测量点即为卧式反应器的料位。通过在工业聚丙烯装置上采用多点料位检测,得到了与工厂核料位计相同的料位变化趋势,并且二者相对误差维持在15%左右。由此获得了一种简单快捷、非侵入式的卧式搅拌床料位的实时测量技术。

参考文献:

- Caracotsios M. Theoretical Modelling of Amoco's Gas Phase Horizontal Stirred Bed Reactor for the Manufacturing of Polypropylene Resins. *Chemical Engineering Science*, 1992, 47 (9-11): 2591~2596
- Gorbach A B, Naik S D, Ray W H. Dynamics and Stability Analysis of Solid Catalyzed Gas-Phase Polymerization of Olefins in Continuous Stirred Bed Reactors. *Chemical Engineering Science*, 2000, 55 (20): 4461~4479
- James L J, Charles S, Peters E F, et al. Horizontal Reactor for the Vapor Phase Polymerization of Monomers. USA, US4101289. 1978

- 4 曹翌佳, 刘 伟, 姜晓静等. 从噪声到信息-声发射技术在流程工业中的应用. 化工进展, 2007, 26 (12): 1702~1707
Cao Yijia, Liu Wei, Jiang Xiaojing, et al. From noise to Information — Some Applications of Acoustic Emission Techniques in Process Industries. Chemical Industry and Engineering Process, 2007, 26 (12): 1702~1707
- 5 Geldart D. Types of Gas Fluidization. Power Technol, 1973, 7: 285~292
- 6 阳永荣, 侯琳熙, 杨宝柱等. 流化床反应器声波监测的装置和方法. 中国, CN1544140. 2006
- 7 阳永荣, 侯琳熙, 王靖岱等. 声波的多尺度分解与颗粒粒径分布的实验研究. 自然科学进展, 2005, 15 (3): 380~384
Yang Yongrong, Hou Linxi, Wang Jingdai, et al. The Study on Particle Size Distribution in Gas-Solid Fluidized Beds Based on AE Measurement. Progress in Natural Science, 2005, 15 (3): 380~384

Measurement of the Bed Level in the Horizontal Stirred Bed Reactor Based on Acoustic Method

Zhang Bin^{1,2} Weng Huixin¹ Yang Yongrong³

(1. East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. SINOPEC Shanghai Engineering Company Limited, Shanghai 200120, China;

3. Department of Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A new method based on the acoustic emission (AE) signals for measuring the bed level was proposed to solve the insecure and imprecise problems of the nuclear level gauge. The experimental results of industrial Horizontal Stirred Bed Reactors (HSBR) showed that both of AE technology and nuclear level gauge could detect the bed level with fairly good accuracy, and the relative deviation was around 15%. The multi-points AE technology could measure not only the inputside but also the outputside. The criterion would meet the requirements of the online measurements of bed level in HSBR.

Key words: horizontal stirred bed reactor; polypropylene; bed level; acoustic emission

美国 POET 公司中型规模纤维素乙醇装置投产

美国 POET 公司位于南达科塔州的研究中心建设中规模纤维素乙醇装置于 2008 年第 4 季度成功投产, 该装置采用包谷棒子碎料生产 2 万加仑/a 纤维素乙醇。这项投资 800 万美元的项目是投资为 2 亿美元、将于 2011 年投产的商业规模纤维素乙醇装置的前奏。POET 公司是世界最大的乙醇生产商。

该中型规模纤维素乙醇装置位于南达科塔州 Scotland, 该地拥有 900 万加仑/a 淀粉乙醇生产能力。POET 公司正在推进一体化淀粉和纤维素制乙醇生物炼油厂模式, 这一模式可望在其 26 套装置内增加纤维素乙醇生产能力, 这 26 套装置现从谷物生产 15 亿加仑/a 乙醇。

POET 公司工艺具有纤维素乙醇的环境效益, 据 Argonne 国家实验室测算, 纤维素乙醇可比汽油减少温室气体排放 87%, 对环境无大的影响。包谷棒子占整个谷物植物仅 7.5%, 包谷棒子含有地面上生长谷物植物营养的 2%~3%。

声发射技术测量卧式搅拌床反应器中的料位

作者: [张斌](#), [翁惠新](#), [阳永荣](#), [Zhang Bin](#), [Weng Huixin](#), [Yang Yongrong](#)
 作者单位: [张斌, Zhang Bin \(华东理工大学化工学院, 上海200237; 中国石化集团上海工程有限公司, 上海200120\)](#), [翁惠新, Weng Huixin \(华东理工大学化工学院, 上海, 200237\)](#), [阳永荣, Yang Yongrong \(中国石化集团上海工程有限公司, 上海, 200120\)](#)
 刊名: [化学工程与工艺](#) **ISTIC** **PKU**
 英文刊名: [CHEMICAL REACTION ENGINEERING AND TECHNOLOGY](#)
 年, 卷(期): 2009, 25(1)
 引用次数: 0次

参考文献(7条)

1. [Caracotsios M](#) [Theoretical Modelling of Amoco's Gas Phase Horizontal Stirred Bed Reactor for the Manufacturing of Polypropylene Resins](#) 1992(9-11)
2. [Gorbach A B](#), [Naik S D](#), [Ray W H](#) [Dynamics and Stability Analysis of Solid Catalyzed Gas-Phase Polymerization of Olefins in Continuous Stirred Bed Reactors](#) 2000(20)
3. [James L J](#), [Charles S](#), [Peters E F](#) [Horizontal Reactor for the Vapor Phase Polymerization of Monomers](#) 1978
4. [曹翌佳](#), [刘伟](#), [姜晓静](#) [从噪声到信息-声发射技术在流程工业中的应用](#) [期刊论文]-[化工进展](#) 2007(12)
5. [Geldart D](#) [Types of Gas Fluidization](#) 1973
6. [阳永荣](#), [侯琳熙](#), [杨宝柱](#) [流化床反应器声波监测的装置和方法](#) 2006
7. [阳永荣](#), [侯琳熙](#), [王靖岱](#) [声波的多尺度分解与颗粒粒径分布的实验研究](#) [期刊论文]-[自然科学进展](#) 2005(03)

相似文献(5条)

1. 期刊论文 [曹翌佳](#), [刘伟](#), [王靖岱](#), [阳永荣](#), [CAO Yijia](#), [LIU Wei](#), [WANG Jingdai](#), [YANG Yongrong](#) [基于吸引子比较法的卧式搅拌床反应器声发射故障诊断](#) -[化工学报](#)2009, 60(3)

在卧式搅拌床反应器丙烯聚合工艺中, 结块是严重影响装置长期稳定运行和产品质量的隐患之一. 本文以时域分析的角度, 提出了一种基于吸引子比较法的声发射结块检测技术. 该方法通过比较当前状态与正常状态的声发射信号, 并借助统计量S值对两个时间序列的分布进行检验, 从而判断两者是否由同一机理产生. 当S<3时, 则表明当前状态为正常; 当S>3时, 则表明反应器内有95%的可能性发生了结块. 冷模实验结果表明, 在合理选择传感器位置的前提下, 通过对原始声发射信号进行消噪、归一化等预处理后, 吸引子比较法能够灵敏地检测出卧式搅拌床反应器内粒径分布的细微变化, 继而预警结块的发生.

2. 会议论文 [刘伟](#), [曹翌佳](#), [王靖岱](#), [阳永荣](#) [卧式搅拌床反应器的搅拌特性](#) 2008

以聚丙烯气相聚合卧式搅拌床反应器为研究对象, 选取叶片桨和门桨两种桨叶形式, 系统考察了搅拌功率与物料性质、搅拌桨结构、加料系数、搅拌转速以及底部循环气之间的关系. 结果表明, 对于卧式釜中的粉体搅拌, 搅拌功率随着加料系数的增加而线性增加; 搅拌功率与搅拌转速的一次方近似成正比, 底部循环气基本没有影响; 搅拌功率与物料性质密切相关, 且随着粉体流动性能的增加而减小; 相同操作条件下, 不同桨叶搅拌功率不等. 通过引入加料系数、速度准数、加料准数等无因次变量, 结合粉体物性参数, 对搅拌桨的功率准数进行了经验回归, 得到功率准数的经验关联式. 经工业数据检验, 关联式误差小于7%, 达到工程放大的要求.

3. 会议论文 [刘伟](#), [曹翌佳](#), [王靖岱](#), [阳永荣](#) [卧式搅拌床反应器的料位检测及预测模型的建立](#) 2008

以聚丙烯气相聚合卧式搅拌床反应器为研究对象, 选用T型桨和门桨两种桨叶形式, 采用声发射检测技术, 系统考察了料位分布与物料性质、搅拌桨几何尺寸、搅拌转速、加料系数以及底部循环气量之间的关系, 得到了料位的高、低端分布规律, 并提出了料面倾斜角的概念. 通过引入加料系数、速度准数、加料准数等无因次变量, 结合粉体物性, 对各搅拌桨的料位分布数据进行了经验回归, 得到了不同操作条件下的料面倾斜角的经验关联式.

4. 会议论文 [邓世强](#), [是建兴](#) [Montell与Amoco公司聚丙烯生产技术比较](#) 2003

介绍了聚丙烯的生产工艺, 并就Montell公司的环管聚丙烯工艺和Amoco公司的气相法聚丙烯工艺各自特点进行对比. Spheripol工艺是环管反应器进行本体聚合, 在气相流化床反应器进行密相流化式共聚反应. Innovene工艺技术在于卧式搅拌床反应器进行气相反应. 产品范围包括均聚、无规共聚、抗冲共聚, 其工艺各有长短, 但从生产成本上来看, 后者略占优势.

5. 会议论文 [田洲](#), [冯连芳](#), [顾雪萍](#), [王嘉骏](#) [停留时间分布对聚丙烯颗粒粒径分布影响的模拟](#) 2008

以简化的丙烯聚合反应动力学为基础, 考虑链增长和失活、反应条件和催化剂颗粒的破碎, 建立了丙烯聚合反应器中的粒径分布模型, 分别考察了连续搅拌釜反应器(CSTR)和Amoco工艺的卧式搅拌床反应器(hSBR)的停留时间分布对反应器出口聚丙烯颗粒粒径分布的影响. 对于单分散催化剂进料, 模拟结果表明, 停留时间分布对粒径分布影响明显, hSBR出口的粒径分布比CSTR出口的粒径分布均匀; 对于多分散催化剂进料, 聚丙烯颗粒粒径分布受进料催化剂粒径和停留时间分布共同影响. 研究发现, hSBR出口的粒径分布介于CSTR与间歇反应器之间, 间歇反应器中由于不存在返混, 粒径分布最窄, 但在催化剂失活时, 三者的差别减小. 另外, 催化剂的破碎可使粒径分布变宽, 并增加小粒子聚合物的含量.

