

The Application of HIGEE-100 Rotating Packed Bed in Flue Gas Desulfurization

Baozhang Zhu¹, Song Liu², Wei Wang³, Zhihao Feng⁴

College of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, China

Email: bzhzhu@scut.edu.cn¹, l.song@mail.scut.edu.cn²

Abstract: The article introduces a Rotating Packed Bed which can be used in flue gas desulfurization, and its structure and operating principle. The device are constituted by several parts, such as rotating packed bed, gear pump, water ring vacuum pump, refrigerating and heating machine, control panel. The mass transfer-reaction process of removing SO₂ with aqueous ammonium hydrogen carbonate intensified by rotating cross-flow packed bed was analysed. The device with a small size, light weight, high performance, low cost, and many other advantages, is developing tendency of desulphuration process.

Keywords: higee; flue gas; desulfuration

燃煤尾气用 HIGEE-100 超重力脱硫装置

朱宝璋¹, 刘松², 王伟³, 冯志豪⁴

华南理工大学化学与化工学院, 广州, 中国, 510640

Email: bzhzhu@scut.edu.cn¹, l.song@mail.scut.edu.cn²

摘要: 研制的HIGEE-100超重力场脱氧装置主要由旋转填料床、齿轮泵、水环真空泵、冷热水机、控制面板等组成部分。装置的工作原理是通过模拟烟气和碳铵溶液气液两相的逆流接触, 实现气液两相的传质, 使碳铵溶液将模拟烟气中的二氧化硫吸收。这种超重力脱硫装置体积小、质量轻、流程简单、脱硫效果好、运行成本低, 对优化火电厂及中小型燃煤锅炉的脱硫工艺装备具有重要意义。

关键词: 超重力机; 烟气; 脱硫

1 引言

我国是以煤为主要能源的国家, 大气中的SO₂来自燃煤。据有关统计, 2008年全国SO₂排放量2321.2万吨, 居世界第一位^[1]。而SO₂排放又是造成大气环境污染及酸雨不断加剧的主要原因, 所以烟气脱硫已成为今后环保工作的一个重点。烟气脱硫技术作为目前应用最广泛、效率最高的脱硫技术, 是控制SO₂排放的主要手段, 在今后相当长的时间内, 烟气脱硫仍将是控制SO₂排放的主要方法^[2]。燃煤尾气的脱硫方法分为干法、半干法和湿法等三大类, 其中以湿法为主(占85%以上)。湿法脱硫工艺的主体设备为吸收塔, 有板式塔、填料塔和喷淋塔等几种形式^[3-5]。在吸收塔中, 烟气和吸收剂液体逆流接触, 烟气中SO₂从气相扩散到液相中, 来实现气液两相传质。传质效果的好坏, 除与气液接触面积大小、气液流动状况、气液自身物化性质等因素有关外, 还与重力加速度g的大小有关。由于重力场较弱, 液膜流动缓慢, 单位体积内有效接触面积小, 传质过程的体积传质系数低, 故这类设备体积庞大, 空间利用率和设备生产强度低, 设备投资

大^[6-7]。因此, 烟气脱硫技术的推广, 要求脱硫装置能实现快速、高效的传质反应。

HIGEE-100型超重力脱硫装置是华南理工大学设计开发的新产品, 主要用于燃尾气脱硫, 使得SO₂传质吸收过程得到大大强化, 实现烟气高效净化。

2 超重力机脱硫原理

2.1 超重力机内传质机理

气相经气体进口管由切向引入转子外腔, 在气体压力的作用下由转子外缘处进入填料。液体由液体进口管引入转子内腔, 经喷头淋洒在转子内缘上。进入转子的液体受到转子内填料的作用, 周向速度增加, 所产生的离心力将其推向转子外缘。在此过程中, 液体被填料分散、破碎形成极大的、不断更新的表面积, 曲折的流道加剧了液体表面的更新。液体在高分散、高湍动、强混合以及界面急速更新的情况下与气体以极大的相对速度在弯曲孔道中逆向接触, 极大地强化了传质过程。这样, 在转子内部形成了极好的传质与反应条件。液体被转子抛到外壳汇集后经液体出口管

离开超重力。气体自转子中心离开转子，由气体出口管引出，完成传质与反应过程^[8-9]。

碳铵溶液吸收含模拟烟气中的到液相，然后发生下列反应： $2\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{SO}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。

2.2 体积传质系数的计算

实验中碳铵溶液中 NH_4HCO_3 的浓度相对吸收 SO_2 的浓度足够大，超重力可以大大减小液膜阻力，此时，反应面与相界面重合，气相的传质阻力起主要作用，成为纯粹的气膜扩散控制^[10-11]。因此 SO_2 在气膜中扩散速率为

$$N_A = K_y(y - y_e) \quad (1)$$

取旋转床填料内一半径为 r ，厚度为 dr ，长为 H 的体积微元，对该体积微元作反应物A的物料衡算

$$-Gdy = N_A a 2\pi r H dr \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)，得

$$-Gdy = K_y a (y - y_e) 2\pi r H dr \quad (3)$$

式(3)两边同时积分有

$$\int_{y_1}^{y_2} -Gdy = \int_{R_1}^{R_2} K_y a 2\pi r H dr \quad (4)$$

可得

$$K_y a = \frac{G}{\pi H (R_2^2 - R_1^2) \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}} \quad (5)$$

令传质单元数 $NTU = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$ ，则

$$K_y a = \frac{G}{\pi H (R_2^2 - R_1^2)} \cdot NTU \quad (6)$$

当气相浓度很低时

$$NTU = \frac{Y_1 - Y_2}{\frac{(Y_1 - Y_{e1}) - (Y_2 - Y_{e2})}{\ln \frac{Y_1 - Y_{e1}}{Y_2 - Y_{e2}}}} \quad (7)$$

因为碳铵与 SO_2 的反应为快速反应，所以 SO_2 平衡分压可以忽略不计，即 $Y_{e1} = Y_{e2} = 0$ 。所以式(7)可以简化为：

$$NTU = \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad (8)$$

将式(8)代入式(6)，得

$$K_y a = \frac{G}{\pi H (R_2^2 - R_1^2)} \cdot \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad (9)$$

3 实验装置及工艺流程

3.1 实验装置

如图1所示，HIGEE-100超重力脱硫装置是旋转填料床为核心的多组成单元的一个系统，还包括齿轮泵、水环真空泵、冷热水机、控制面板等组成部分。



Figure 1. HIGEE-100 desulfurization equipment

图1. HIGEE-100超重力脱硫装置

该套超重力脱硫装置具有如下特点：

- (1)结构紧凑合理，刚性好，美观大方。
- (2)进料、出料系统计量准确，控制方便，可长时间稳定运行。
- (3)进液、进气温度可调，适宜不同温度测定、研究。
- (4)旋转填料床转速可在300~3000rpm任意调控，开停车快速。
- (5)通过控制面板参数设定可实现整套装置智能运行。

3.2 工艺流程

工艺流程如图2所示，模拟烟气由经转子流量计9进入填料床8，然后沿径向通过填料层进入转子中心。碳铵溶液由进料泵2从储料罐1经换热器泵入转子中心，经过液体分布器喷至转子填料层内圆周，在离心力的作用下，沿径向方向向外通过转子填料层到达填料外圆，并被进一步甩到壳体上。气体和液体在腔体及填料表面并流接触并发生反应。液体由转子内缘沿填料向外缘流动，并被抛到外壳汇集后经旋转填充床下部的液体出口管排入出料罐7。气体经过填料后排气阀6排出，完成二氧化硫的吸收过程。

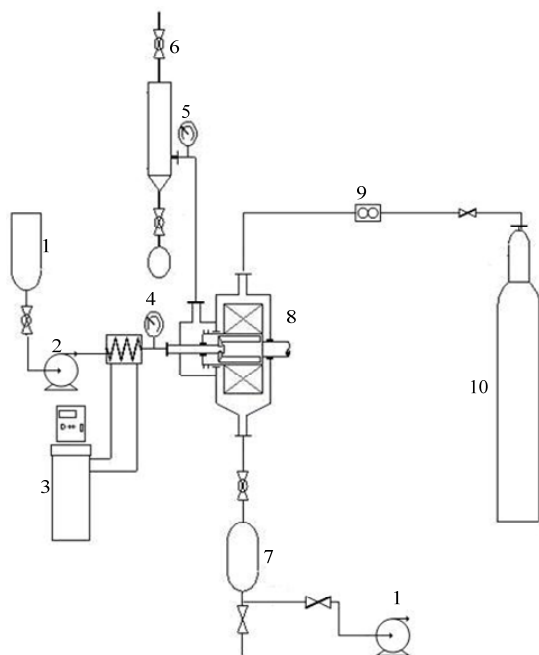


Figure 2. Process flow diagram of desulfurization in hige system

1-storage tank; 2-charging pump; 3-refrigerating and heating machine; 4,5-pressure and vacuum gauge; 6- exhaust valves; 7- discharge tank; 8- Rotating Packed Bed; 9- rotameter; 10-simulated flue gas cylinder

图2. 超重力机脱硫工艺流程图

1-储料罐; 2-进料泵; 3-冷热水机; 4,5-压力真空表; 6-排气阀; 7-出料罐; 8-旋转床; 9-转子流量计; 10-模拟烟气钢瓶

4 主要技术参数

填料内径: 55mm;
 填料外径: 114mm;
 填料径向高度: 24mm;
 液体介质: 碳铵溶液, 6~60L/h;
 气体介质: 模拟烟气, 600~6000L/h;
 进水含氧质量浓度: 3000mg / m³;
 脱除率: ≥90%;
 整机耗电: ≤7.5kW;
 主机转速: 1800rpm;
 操作压力: ≤0. 2 MPa;

5 应用情况

在超重力机中, 采用碳铵溶液采取气液逆流接触方式脱除模拟烟气中的SO₂运行成本低, 脱硫效果好,

设备体积小, 质量轻。与传统塔器脱硫方式相比, 它具有自己独特的优点, 是比较理想的脱硫装置。装置运转前期, 曾出现脱除率低, 吸收剂进料异常等问题。随后做出如下整改: (1) 优化运行条件, 调整转速为1800rpm, 以最佳气液比150进料; (2) 齿轮泵出口处加装单向密封圈。经过调试后, 整机运转平稳正常。

综上所述可知, 超重力技术是一项应用面十分广阔的技术, HIGEE-100超重力机脱硫装置是该技术的一项具体应用。由于具有极好的脱硫效果和稳定性, 可广泛用于火电厂烟气脱硫及中小型燃煤锅炉脱硫。

References (参考文献)

- [1] Committee of Desulfurization and Dust Removal of Boiler and Kiln, China Development Report on Desulfurization & Denitration Industry of Power Plant in 2009 [J], *China Environmental Protection Industry*, 2010, 6, P17-18 (Ch).
中国环境保护产业协会锅炉窑脱硫除尘委员会, 我国火电厂脱硫脱硝行业 2009 年发展综述[J], 中国环保产业, 2010, 6, P17-18.
- [2] Jim Dickermml P E, Melissa Sewell, It is time to rethink SO₂ control technology selection [J], *Power Engineering*, 2007, 111(11), P132-135.
- [3] Ren Rushan, Huang Xuemin, Shi Faen, etl, Research Development on the Wet Flue Gas Desulfurization [J], *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2010, 36(6), P14-15 (Ch).
任如山, 黄学敏, 石发恩, 等, 湿法烟气脱硫技术研究进展[J], 工业安全与环保, 2010, 36(6), P14-15.
- [4] Zhou Qulan, Xu Tongmo, Hui Shien, Development and Application of China's Own Wet Flue Gas Desulfurization Technique [J], *Journal of Power Engineering*, 2006, 2, P261-263 (Ch).
周屈兰, 徐通模, 惠世恩, 我国自主开发的湿法脱硫技术及其应用[J], 动力工程, 2006, 2, P261-263.
- [5] Klaassen R, Achieving flue gas desulphurization with membrane gas absorption [J], *Filtration and Separation*, 2003, 40(10), P26-28.
- [6] Chandra A, Goswami PS, Rao DP, Characteristics of flow in a rotating packed bed (HIGEE) with split packing [J], *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2005, 44(11), P4051-4056.
- [7] Reddy KJ, Gupta A, Rao DP, etl, Process intensification in a HIGEE with split packing[J], *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2006, 45(12), 4270-4277.
- [8] Ramshaw C, Hige distillation an example of process intensification[J], *Chem. Eng.*, 1983, 90(2), P13-14.
- [9] Keyvany M, Gardner N C, Operating Characteristic of Rotating Beds [J], *Chem. Eng. Pro.*, 1989, 9, P48-52..
- [10] Chen Jianfeng, High gravity technology and its application [M], Beijing, Chemical Industry Press (Ch).
陈建峰, 超重力技术及应用[M], 北京, 化学工业出版社, 2003.
- [11] Kumar M P, Rao D P, Studies on a High-Gravity gas liquid contactor[J], *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1990, 5, P29-31