



作者简介 肖国先, 讲师, 34岁, 1992年毕业于南京化工大学, 获工学硕士学位。参加了国家“八·五”攻关项目“磷石膏联产水泥和硫酸技术”的研究工作。现在西安建筑科技大学攻读博士学位, 从事水泥预热分解技术的开发研究, 并承担国家“九·五”攻关课题“气固两相流动和颗粒重力流动的数值模拟”研究工作。

高固气比下粉体预热器系统的热效率研究

肖国先 徐德龙 嵇鹰 李辉

(西安建筑科技大学粉体工程研究所, 西安 710055)

摘要 进行了粉体在高固气比下的多系列热效率的理论研究, 指出双系列预热器系统是较为理想的高固气比预热器系统。针对预热器级数、漏风系数对双系列热效率的影响展开研究, 其规律对新型预热器系统的开发具有指导意义。

关键词 预热器; 热效率; 高固气比

悬浮预热器是较为理想的气固换热设备, 其热效率受诸多方面影响。对于一级预热器, 在进气温度、物料温度不变的情况下, 加入物料越多(即固气比 μ 高), 物料从热气体中获得的热量越多。因此, 对于悬浮预热器整体热效率而言, 固气比是一个重要因素。预热器在理想换热、理想分离的前提下, 热效率 φ 与固气比 μ 的关系如图1所示。

由图1可见, 提高预热器单体的固气比是提高热效率的有效途径。但在现有的串联多级预热器系统中, 固气比绝大多数小于1。因为粉体预热器往往是作为回转窑或反应器的余热利用装置, 粉体加入量往往受窑产量、燃烧产物生成量所限制, 依靠单纯系统地提高固气比有一定难度。若将预热器的气体分流均等地通过平行的多系列预热器上升, 全部粉体从一个系列到另一个系列交替喂料, 同时以串流形式通过所有旋风筒, 即串行料流交叉进入多股平行气流。因此, 在保证全系统固气比不变的前提下, 可使每个预热器的固气比提高数倍。这样提高了每个预热器单体的换热效率, 从而大幅度提高系统的热效率。开展对多系列高固气比预热器系统热效率的理论研究, 可以为新型预热器系统的开发提供理论依据。

1 多系列预热系统热效率

理论推导基于如下假设:

(1) 理想换热和理想分离;

(2) 系统密封和绝热;

(3) 物料、气体比热分别为 $c_p = 1.09 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_g = 1.57 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 随温度变化不大。系统固气比 $\mu_{\text{料/气}} = 1.2 \text{ kg/kg}$ 。

(4) 不考虑碳酸盐分解;

(5)生料入口温度为 50°C , 气体入口温度为 900°C , 为计算方便, 暂对多系列预热器中每系列旋风预热器级数定为一。分别对单系列(传统预热器)、双系列、三系列、四系列进行热效率和热工参数计算, 计算依据为质量平衡、热平衡。多系列情况示意如图2所示。

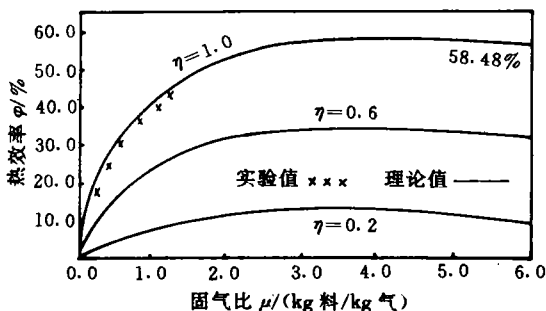


图1 单级预热器热效率的理论值与实验值的比较

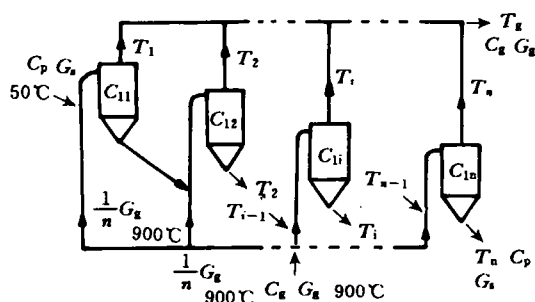


图2 多系列预热器系统

由热平衡可得

$$T_1 = \frac{900 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g} \times 50}{1 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g}} \quad T_2 = \frac{900 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g} T_1}{1 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g}} \quad \dots\dots$$

$$T_i = \frac{900 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g} T_{i-1}}{1 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g}} \quad \dots\dots \quad T_n = \frac{900 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g} T_{n-1}}{1 + n \frac{G_s C_p}{G_g C_g}}$$

系统热效率 $\varphi = \frac{\text{粉体净获得的有效能}}{\text{加入系统的总有效能}} \times 100\%$

$$= G_s C_p (T_n - 50) / (G_s C_p \times 50 + G_g C_g \times 900)$$

气体出预热器温度 $T_g = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / n$

图3、图4分别表示单系列、双系列、三系列和四系列中的热效率和气体温度、物料预热温度。由图3可见, 系列数增加, 系统热效率增加。由单系列→双系列, 热效率增加 $\Delta\varphi = 4.8\%$; 若

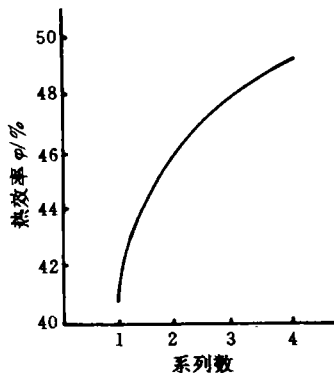


图3 热效率与系列数的关系

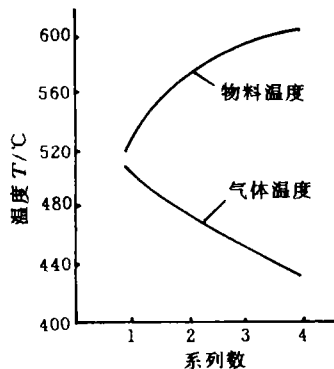


图4 物料温度、气体温度与系列数的关系

系列数再增加, $\Delta\varphi=1\%\sim 2\%$, 热效率增加的幅度较低。由图 4 可知, 增加预热器系列数, 物料温度升高, 气体温度下降。由单系列→双系列, 出口气体温度下降约 45°C , 在双系列后再增加系列数, 物料和气体温度变化不大, 由此可得, 对于多系列预热器系统而言, 选用双系列预热器系统比较合理。此外, 当系统固气比为 1.2 时, 双系列中每个旋风筒的固气比已达 2.4。而三系列和四系列的每个预热单体固气比则为 3.6 和 4.8。由单体热效率研究表明, 在固气比大于 2.5 时, 单体预热器的热效率基本上随 μ 增加而保持恒定。综上所述, 为了提高系统热效率, 应加强对双系列高固气比的预热器系统的开发研究。

2 双系列预热器系统的热效率

对于双系列预热器系统, 研究预热器级数、漏风系数对系统热效率影响, 依据假设, 每级换热基本完成, 气体与粉体预热后相差一恒定温度值 ΔT , 每级漏风系数、散热量相同。

2.1 预热器级数与预热器热效率关系

从广义的观点看, 预热器级数愈多, 愈接近可逆换热, 系统热损失愈小。双系列高固气比的预热级数与热效率关系如图 5 所示。系统热效率随级数的增加而增大, 但增大的幅度随级数增加而减小。如系统由 2 级变为 3 级时, 热效率增加 6%, 3 级增至 4 级时, 再增加 3%, 而 5 级后, 再增加级数, 增加约 1%, 同时增加预热器级数将会提高系统阻力, 增加电耗, 增加窑尾高度, 增大一次性投资。所以双系列系统级数不宜超过 5 级。但若级数在 3 级以下, 热效率过低, 级数也不能低于 3 级。在保证适宜级数的同时, 需相应开发低高度的高效低阻旋风预热器单体。

2.2 漏风与预热器热效率关系

预热器的漏风分内漏风和外漏风。内漏风是下一级的废气通过锁风不严的翻板阀, 自旋风筒出料口倒流入上一级旋风筒, 它虽不增加系统总风量, 但超过一定限度时, 将对该筒的分离效率有明显影响, 内漏风量超过 2% 时, 旋风筒的分离效率开始明显降低, 将引起系统热效率的恶化。本文就外漏风程度(漏风系数)对双系列预热系统换热效率影响进行分析探讨。

假设各级预热器单元均匀漏风。图 6 为外漏风对系统热效率的影响规律。随着外漏风系数增大, 单、双系列热效率下降, 热效率下降与漏风系数基本呈线性关系, 漏风系数每增加 2%, 热效率下降约 1%。当漏风系数为 10% 时, 与不漏风相比, 热效率下降为 5%。这就导致通

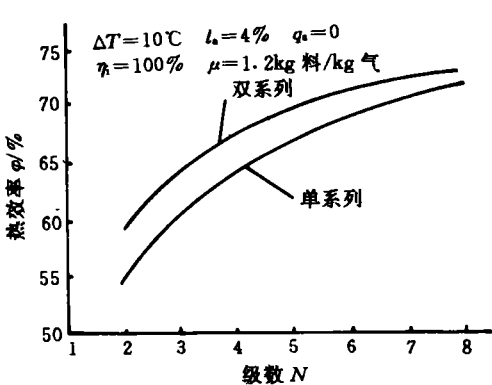


图 5 预热器级数与热效率的关系

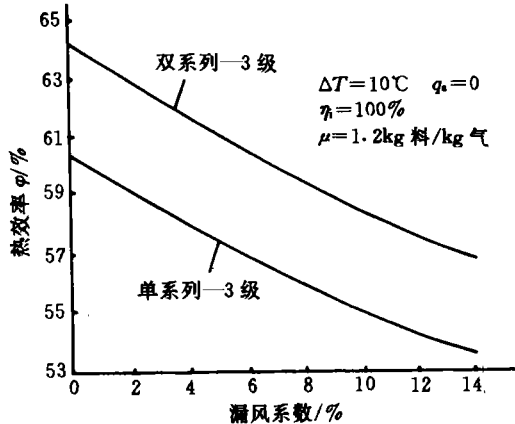


图 6 外漏风系数对系统热效率的影响

过增加系列数而提高热效率的效果因漏风系数增大而抵消其综合热效率的提高。因此应加强设备管理,严防冷空气的漏入,以免降低系统热效率和增加系统处理风量。

3 结 论

(1)通过提高预热器系列的系列数,相应提高预热器单体的固气比,可以提高系统的热效率。在多系列高固气比预热器中,双系列预热器系统热效率的提高幅度最为显著,从系统的热效率和结构复杂程度看,宜采用双系列预热器系统,它在相同条件下,可比单系列热效率高约5%。

(2)在双系列预热器系统中,预热器级数增加,系统的热效率增加,但综合热效率和系统阻力等因素,适宜级数为4~5级。

(3)系统的外漏风对系统热效率影响很大,漏风系数每增加2%,热效率下降约1%,生产中应重视提高设备的密封性。

参 考 文 献

- 1 徐德龙,陈慧霞, Scholz R. 粉体悬浮预热器热效率的理论. 水泥. 1995. (10):6
- 2 胡道和,李昌勇. 各级预热器特征对系统热效率影响的计算与分析. 南京化工学院学报. 1986. (2):1
- 3 朱祖培. 级数对旋风预热器热效率的影响. 内部资料. 1986
- 4 朱祖培. 多级旋风预热器的温度分布. 水泥技术. 1990. (4):1

Research on Thermal Efficiency of Powder Preheater System Under High Solid/Gas Ratio

Xiao Guoxian Xu Delong Ji Ying Li Hui

(Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract The theoretical research on thermal efficiency of powder preheater system under high solid/gas ratio is carried out. The results show that the bi-series preheater system is satisfactory under high solid/gas ratio. The effects of preheater stage and air-leakage coefficient on bi-series thermal efficiency are also researched, its regular patterns are of guide to the development of new type of preheater system.

Key words preheater; thermal efficiency; high solid/gas ratio