

双层滤料过滤床的压降特性研究

杨国华, 周江华

(宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘 要:介绍了双层滤料床的工作原理及其高过滤效率和低压降的过滤特性, 试验测试了双层滤料过滤床的各层压降, 分析了床层总压降、布风器、沙层和膨胀珍珠岩层的压降特性。结果表明, 沙层压降占床层总压降的 75%~90%, 膨胀珍珠岩层压降占 5%~22%。压降特性证明了沙层为表面过滤, 膨胀珍珠岩层为深床过滤, 这是双层滤料过滤床过滤效率高达 99.99%, 床层容尘量达到单层沙床 10 倍的原因所在。

关 键 词: 高温气体; 过滤; 颗粒层; 双层滤料

中图分类号: TK284.5 文献标识码: A

引 言

高温煤气除尘是 IGCC 等先进燃煤联合循环发电技术的共性核心技术之一。颗粒床过滤除尘器因其高温可靠性好, 特别是易于实现多种有害物质的同时脱除, 20 世纪 90 年代以来, 深受各国重视^[1~4]。颗粒层过滤除尘器的滤尘机理和一般的过滤式除尘器相同, 包含有惯性碰撞、截留、扩散、静电和筛滤等效应。研究表明, 颗粒床滤料粒径越小, 过滤效率越高, 但滤料粒径减小, 滤层压降急剧增大。因此, 高过滤效率要求用细滤料, 低过滤压降要求用粗滤料, 这是一对矛盾。现有的单层滤料床(即只由一种滤料或一种混合滤料颗粒组成的过滤层), 无论床层结构如何改进, 都无法解决这一矛盾。为了解决这一矛盾, 提出了双层滤料过滤床除尘新方法。该新型过滤床由上轻下重、上粗下细两层滤料组成的双层滤料过滤床, 其工作原理是: 含尘气先经过上层滤料进行粗除尘, 再经过下层滤料进行精除尘。反吹清灰时, 粗而轻的上层滤料浮于下层滤料之上, 细而重的下层滤料沉于上层滤料之下, 两层滤料独立流化, 互不相混。以筛分粒径 0.5~1 mm, 容重约 1 350 kg/m³ 的海沙为下层滤料, 以筛分粒径 2~5 mm、容重约 70 kg/m³ 普通膨胀珍珠岩颗粒为上层滤料, 经过球磨后的电厂飞灰为试验粉尘(经 MAS-

TERSIZER 2000 激光粒度分析仪测得, 按数量统计, 其 $d(0.9)=2.26 \mu\text{m}$), 试验研究了双层滤料床的过滤特性。结果表明, 过滤效率达到 99.992%~99.994%, 单位面积床层容尘量高达 28.63 kg/m², 为单层沙床的 10 倍^[3], 很好地解决了单层滤料层无法解决的高过滤效率与高容尘量的矛盾。本文讨论该双层滤料过滤床的压降特性。

1 试 验

双层滤料过滤床试验装置见文献[5]。过滤床的矩形横截面尺寸为 120 mm×150 mm。两排 ϕ 6 mm 铜管并行错列排成的格栅, 格栅上依次为高铝球层、沙层、膨胀珍珠岩颗粒层, 如图 1 所示。高铝球层粒径自下而上从 7mm 逐渐减小到 1mm, 其作用是支承细粒沙, 防止格栅堵塞和漏料, 同时也起均匀布风的作用, 格栅和高铝球层一起组成布风器。上、下层滤料及试验粉尘特性如引言所述。双层滤料床压降由 U 型管测量, 压降测点除最上和最下两个测点外, 其余各测点中心间距都是 25 mm。下面根据过滤试验测得的压降数据, 分析双层滤料过滤床的压降特性。



图 1 双层滤料过滤床的 3 层结构

收稿日期: 2006-08-17; 修订日期: 2006-12-08

基金项目: 宁波市博士基金资助项目(02J20101-19); 浙江省科技计划重点基金资助项目(2006C23075)

作者简介: 杨国华(1961-)男, 浙江嵊州人, 宁波大学教授, 博士

2 压降特性分析

2.1 床层总压降

床层总压降是指包括栅条、高铝球层、上下滤料层的总压降。床层总压降随过滤时间的增加而增大,或者说,随床层容尘量的增加而增大,如图 2 所示。从图 2 可以看到:

(1) 单层沙过滤的压降曲线很陡,床层压降随床层容尘量的增加而急剧增加;

(2) 双层滤料过滤的床层压降曲线都比单层沙过滤平缓,且膨胀珍珠岩颗粒层厚度越大,曲线越平缓,表明增加膨胀珍珠岩颗粒层可显著降低床层压降,增加床层容尘量;

(3) 床层压降曲线基本上呈指数关系,这表明过滤后期床层压降随床层容尘量的增加而增加很快,因此,确定合适的清灰周期很重要。

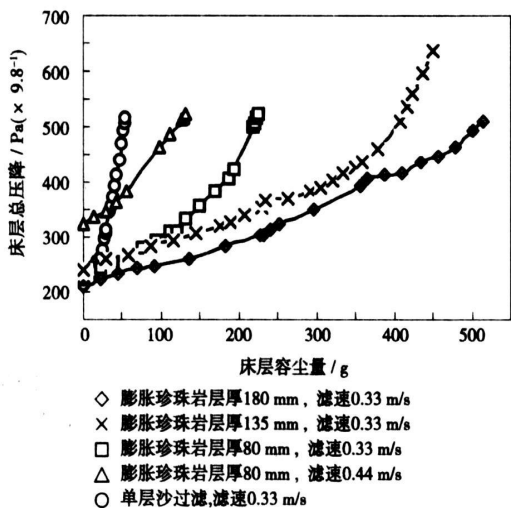


图 2 床层总压降与床层容尘量的关系

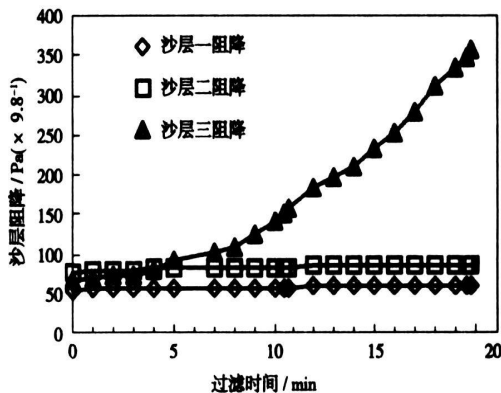
2.2 布风器压降

布风器压降包括格栅压降和高铝球层压降。测试表明,布风器压降在过滤过程中基本上保持不变,与床层容尘量无关,且压降数值很小,滤速 0.33 m/s 时,为 166.7 Pa;滤速 0.44 m/s 时,为 215.7 Pa,在床层总压降中所占比例很小。这个比例在过滤前为 6%~8%,过滤时随着床层总压降的增加而逐渐减小,过滤结束时仅为 3%~4%。

2.3 沙层压降

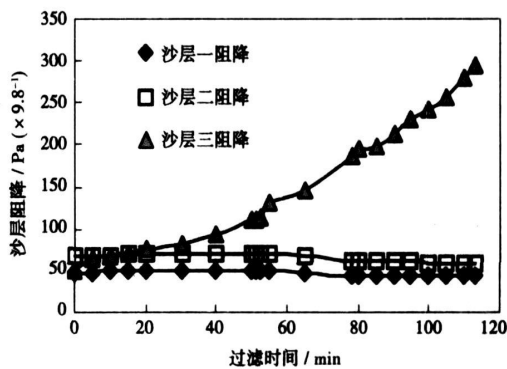
在试验中,沿沙层高(厚)度方向上布置 4 个压力测点,将沙层分为 3 层,每层约 25 mm,可测得各层压降,自下而上分别为沙层一压降、沙层二压降、

沙层三压降,这 3 层压降之和即为沙层总压降。试验结果表明,不论是单层沙床,还是双层滤料床,沙层压降都占床层总压降的大部分。对于单层沙床,沙层压降占床层总压降的 92%~97%,对于双层滤料床,沙层压降占 75%~90%。



单层沙过滤,沙层厚 75 mm;滤速 0.33 m/s;入口粉尘浓度 7.5 g/m³

图 3 沙层阻降特性



沙层厚 75 mm;滤速 0.33 m/s;膨胀珍珠岩层厚 180 mm;入口粉尘浓度 12.74 g/m³

图 4 沙层阻降特性

进一步分析 3 个沙层的压降,如图 3 和图 4 所示,不论单层沙床,还是双层滤料过滤床,也不论膨胀珍珠岩层的厚薄,3 个沙层压降都呈现相同规律,沙层一压降和沙层二压降在过滤过程中基本上保持不变,而沙层三压降随过滤时间的增长而增大,特别是越到后期,沙层三压降增加越快。这一规律表明,细沙层过滤,粉尘主要被截留于沙层表面,很少渗入沙层内部,这和试验中观察到的现象是一致的。从试验观察到沙层表面在过滤过程中会逐渐形成一薄层粉尘,这层粉尘具有以尘滤尘的性能,从而使细沙层过滤具有表面过滤的特性而达到很高的过滤效率。同时,也说明细沙层由于以表面过滤为主,细沙

层的厚度不需要太厚, 25 mm 厚就可以, 考虑到布风器的不平整可能引起沙层厚度的不均匀, 可以取沙层厚度为 40 mm 左右, 这样与厚 75 mm 的沙层相比, 可减少沙层压降约 1 kPa。

2.4 膨胀珍珠岩层压降

在试验中, 沿膨胀珍珠层高(厚)度方向上每隔 25 mm 布置一个压力测点, 将膨胀珍珠岩颗粒层自下而上分成若干层, 除最上层外, 每层厚 25 mm, 每层测一个压降, 分别记为膨胀珍珠层一压降、膨胀珍珠层二压降、膨胀珍珠层三压降、膨胀珍珠层四压降、膨胀珍珠层五压降和膨胀珍珠层六压降等, 各层压降之和即为膨胀珍珠层压降。试验结果表明, 膨胀珍珠岩层虽然拦截了 90% 以上的粉尘量, 但其压降只占床层总压降的 5% ~ 22%, 说明在沙层上增加一层膨胀珍珠岩层, 以小压降换取了大床层容尘量, 与单层沙过滤相比, 技术经济性有了很大提高。

(层一、层二)压降变化很小, 上层(层三)压降变化大; (2) 膨胀珍珠岩层厚为 180 mm 时, 过滤时下 4 层(100 mm)压降没有明显变化, 最上层(厚约 80 mm)压降变化大。

从以上结果可以得到如下结论:

(1) 膨胀珍珠岩层越厚, 积灰层越厚, 增加膨胀珍珠岩层厚度, 可成比例地增加床层容尘量, 证明了膨胀珍珠岩层具有深床过滤特性。

(2) 紧挨沙层处都有一层积灰少的膨胀珍珠岩层, 表明膨胀珍珠岩层未被粉尘穿透, 从而有效地保护了细沙层, 使到达细沙层的粉尘量很少, 阻止了细沙层压降的急剧增大, 延缓了床层总压降的增大, 提高了床层容尘量, 这是双层滤料床的容尘量能够达到单层沙床 10 倍的原因所在。

3 结 论

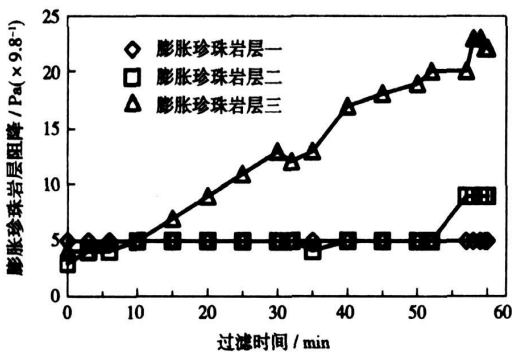
在粒径 0.5 ~ 1 mm 沙为下层滤料、2 ~ 5 mm 膨胀珍珠岩层为上层滤料的双层滤料床中, 沙层压降占床层总压降的 75% ~ 90%, 且在过滤中沙层压降的升高主要来源于沙层表面的粉尘膜, 证明了细沙层为表面过滤, 是双层滤料床高过滤效率的主要贡献者。膨胀珍珠岩层压降占 5% ~ 22%, 且在过滤过程中, 膨胀珍珠岩层的积灰层厚度约占膨胀珍珠岩层厚度的一半以上, 证明了膨胀珍珠岩层为深床过滤, 这也是双层滤料过滤床容尘量可达到单层沙床 10 倍的原因所在。

致谢: 本文工作得到宁波大学王贾诚幸福基金资助。

参考文献:

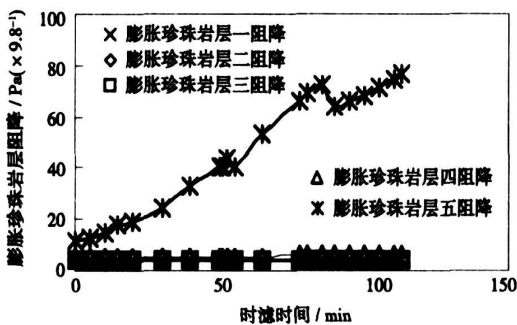
- [1] Hsiao S S, Smid J, Tsai F H, et al. Placement of flow-corrective elements in a moving granular bed with bouvered-walls[J]. Chemical Engineering and Processing, 2004, 43(8): 1037-1045
- [2] Robert C Brown, Shi HuaWei, Gerald Colver, et al. Similitude study of a moving bed granular filter[J]. Powder Technology, 2003, 138(2/3): 201-210
- [3] Hsiao S S, Smid J, Tsai F H, et al. Velocities in moving granular bed filters[J]. Powder Technology, 2001, 114: 205-212
- [4] 夏军仓, 许世森, 鄒时旺, 等. 移动颗粒层过滤高温高压煤气除尘技术的试验研究[J]. 动力工程, 2003, 23(2): 2337-2341.
- [5] 杨国华, 周江华, 舒海平, 等. 双层滤料颗粒床过滤除尘新方法的研究[J]. 动力工程, 2005, 25(6): 891-894.

(编辑 渠 源)



沙层厚 75 mm; 滤速 0.33 m/s; 膨胀珍珠岩层厚 80 mm; 入口粉尘浓度 10.45 g/m³

图 5 膨胀珍珠岩层压降特性



沙层厚 75 mm; 滤速 0.33 m/s; 膨胀珍珠岩层厚 180 mm; 入口粉尘浓度 12.74 g/m³

图 6 膨胀珍珠岩层压降特性

从各层压降分布情况可以看到 (见图 5 和图 6): (1) 膨胀珍珠岩层厚 80 mm 时, 过滤时下 2 层

ment signals from the intermediate parts of a SSS clutch serving as an example. The measures include: the use of dB3 wavelets to conduct a 5-layer dissolution and the selection of heursure soft threshold values to perform a quantification of wavelet coefficient threshold values followed by a restructuring of signals. The tests and analysis show that the use of the wavelet analysis for achieving the elimination of noise from the signals is simple in theory, featuring an ease of its realization and an extremely high reliability. The signals after noise elimination provide a solid basis for fostering the feasibility of power-related maneuverability of the whole system. **Key words:** marine power plant, wavelet analysis, CODOG (combined diesel or gas turbine), signal noise elimination

双层滤料过滤床的压降特性研究= **A Study of the Pressure-drop Characteristics of a Dual-layer Filter-material Filtering Bed** [刊, 汉] / YANG Guo-hua, ZHOU Jiang-hua (College of Sea Transportation under the Ningbo University, Ningbo, China, Post Code: 315211) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 267 ~ 269

The working principle and high filtration efficiency of a dual-layer filter-material filtering bed are described along with its low pressure-drop filtration characteristics. The pressure drop at each layer of the above filtering bed was measured during tests. Analyzed were the total pressure drop of the bed layer and the pressure drop characteristics of a hot gas distributor, sand layer and an expanded perlite layer. The results show that the pressure drop of the sand layer accounts for 75% ~ 90% and that of the expanded perlite layer for 5% ~ 22% of the total pressure drop of the bed layer. The pressure-drop characteristics prove that the sand layer provides a surface filtration and the expanded perlite layer a deep bed one. This is the reason why a dual-layer filter-material filtering bed has a filtration efficiency of 99.99% and the bed layer a dust bearing capacity ten times as high as that of a single layer sand bed. **Key words:** high temperature gas, filtration, granular layer, dual-layer filter material

颗粒层除尘器过滤和清灰方式的优化= **Optimization of the Filtering and Deashing Modes for Granular-layer Dust Precipitators** [刊, 汉] / WANG Zhu-liang, LIU Xiao-hang, DU Bin (College of Energy Source and Power Engineering under Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 270 ~ 273, 283

Analyzed were the issues affecting the dust removal performance of moving-bed granular-layer dust precipitators due to an increase in clearance between granular layers and also granular particle dislocation etc. Through an optimization effort a granular-layer dust precipitator with a new type of structure and filtering method was created to solve the above issues. Its structure and specific features are described, especially a built-up fluidized bed dust removal mechanism, which can accomplish a quick dust removal from the granular layers. A mathematical model featuring the pressure drop of the dust precipitator bed layer has been established. By way of experiments, the authors have identified the regularity of dust removal from a granular fluidized layer and the filtering performance of the precipitator. Both theoretical research and practice have indicated that the new type of granular-layer precipitators has a better dust removal performance than other granular-layer ones, making it possible to realize an integration of dust removal and deashing as well as to simplify the dust removal process. **Key words:** granular layer precipitator, ash removal, fixed bed, moving bed, fluidized bed

燃煤 PM₁₀磁聚并动力学数值模拟= **Numerical Simulation of Magnetic Aggregation Dynamics of Fuel Coal PM₁₀** [刊, 汉] / LI Yong-wang, WU Xin, ZHAO Chang-sui, et al (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 274 ~ 279

A dual-subregion algorithm has been presented for seeking a solution to the magnetic-aggregation dynamics equation of fu-