

电子束湿法烟气脱硫工艺

乔力

(大连冰山集团有限公司 设计研究院, 辽宁 大连 116033)

摘要: 提出一种电子束湿法烟气脱硫工艺的构思, 该工艺由三台立式、湿式设备组成。其中压力式喷雾干燥器既使铵盐溶液干燥、造粒, 又使含 SO_2 和 NO_x 的烟气降温、增湿; 该烟气被立式冷却辐照塔降温、增湿和电子束照射, 生成铵盐气溶胶微粒, 此微粒被筛板式吸收塔分离、清洗成铵盐溶液。本工艺经可行性研究和初步设计显示: 脱硫率 98%、脱硝率 70%、收尘率 99%, 电子束辐照剂量、循环溶液量和烟气流阻同时降低, 流程简单、控制简便、设备少、电耗低、占地小、副产品粒径大。

关键词: 电子束; 湿法; 烟气脱硫

中图分类号: X701 文献标识码: A

1 引言

电子束法烟气脱硫工艺是一种物理与化学相结合的高新技术, 可从燃烧后的烟气中同时去除二氧化硫和氮氧化物, 并利用电子加速器产生的电子束对烟气中的 N_2 、 O_2 和 H_2O 进行照射, 产生出自由基和原子, 它们把烟气中的二氧化硫和氮氧化物氧化成各自的酸物质, 将加入的氨气中和成硫酸铵及硝酸铵, 然后从烟气中分离出来, 以达到洁净烟气的目的。国内外现有电子束法烟气脱硫工艺依据流程中主要设备的运行状况分为干法、半干法两种工艺。

2 电子束干法烟气脱硫工艺

日本 Ebara 公司于 1970 年提出了电子束干法烟气脱硫工艺, 它主要采用干式设备处理烟气, 将已清除飞灰的烟气经锅炉引风机引出后, 流经一台喷淋蒸发冷却塔, 在其中被蒸发水降温、增湿、去尘, 然后流进卧式辐照室, 利用电子加速器产生的电子束对烟气进行照射, 电离其中的 N_2 、 O_2 和 H_2O 分子, 以形成自由基和原子, 进而把二氧化硫和氮氧化物氧化成硫酸和硝酸, 最后再与卧式辐照室中注入的氨气合成硫酸铵及硝酸铵气溶胶微粒。在卧式辐照室中将上水与氨气同时喷入, 以利用水的蒸发潜热吸收反应产生的

热量, 使卧式辐照室的出口烟气温度, 仍保持在进口处的 60°C 左右。这些铵盐气溶胶微粒离开卧式辐照室后, 被一台干式静电除尘器从烟气中分离, 然后经造粒机造粒后, 生成副产品铵盐化肥。脱硫后的净化气经回热器加热后, 由脱硫增压风机送入烟囱排放。

电子束干法烟气脱硫工艺已经在日本名古屋和中国的成都、天津、杭州、贵州等地的火电厂进行运行、建造、设计或可研。该工艺突出的优点是其流程极其简单, 只包括冷却塔、卧式辐照室、干式静电除尘器和造粒机等四个工艺段; 初投资较少, 为商业化打下了基础。但该工艺运行中, 一方面在低温、高湿的烟气控制参数下, 所需烟气吸收辐照剂量可减小; 另一方面铵盐气溶胶微粒的平均直径在 $0.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$, 比表面积大, 加之属亲水性粉尘, 使其在高湿条件下的干式分离设备中, 表现出极强的粘附性; 亦即工艺所要求的烟气温、湿控制参数的改善, 受干式分离设备运行条件的限制, 从而造成如下问题:

(1) 所需烟气吸收电子束辐照剂量偏大; (2) 由于上水在卧式辐照室中的喷淋距离较短, 来不及蒸发的水滴会吸收相当一部分电子束, 从而阻挡电子束对烟气的辐照; (3) 铵盐气溶胶微粒需经过耗电较大的造粒机处理, 方可作为农用化肥销售; (4) 卧式辐照室需要设置喷淋系统及机械刮板装置; (5) 干式静电除尘器中铵盐气溶胶微粒结块, 从而需设阳极板振打装置和机械刮板装置; (6) 逸氨浓度较高; (7) 工艺系统耗电超出火电厂净发电的 3%。

3 电子束半干法烟气脱硫工艺

为解决上述问题, 美国 VAC 公司推出了电子束半干法烟气脱硫工艺。它采用湿式静电除尘器分离、清洗出铵盐溶液, 通过离心式喷嘴从顶部喷入干燥器中蒸发、干燥、造粒, 形成直径在 $100 \mu\text{m}$ 左右的铵盐颗粒; 其中占 55% 的粗颗粒铵盐在重力作用下被直接收集在喷雾干燥器底部的斗仓内; 与此同时烟气被蒸

发水加湿和冷却, 然后流进一台干式静电除尘器中, 由它收集其余 45% 的细颗粒铵盐。烟气流进卧式辐照室之前, 还需经过一个上水与压缩空气的二流多喷嘴冷却塔, 以进一步对烟气降温、增湿, 然后在其出口外的烟道中注入理论化学剂量比为 1 的氨气。液氨首先在一定压力下被贮存在容器中, 和烟气混合之前, 液氨需经节流后在一台蒸发器中气化。在卧式辐照室中, 利用电子束照射烟气中的 N_2 、 O_2 和 H_2O 分子, 以产生自由基和原子, 它们将二氧化硫和氮氧化物快速氧化成各自的酸物质, 最后这些氧化酸与氨气在卧式辐照室及湿式静电除尘器中进行中和反应, 形成直径在 $0.15 \sim 2.0 \mu m$ 的铵盐气溶胶微粒, 并被湿式静电除尘器荷电、分离、清洗成铵盐溶液, 最后送入喷雾干燥器中喷雾、干燥、造粒。从湿式静电除尘器出来的净化气在进入引风机之前, 还需被一台除雾器除雾, 并被加热盘管加热至净化气酸露点以上, 以减少引风机和后续净化气风道的腐蚀。此外, 在卧式辐照室及其至湿式静电除尘器之间的烟道中设置喷嘴, 用于定期把低温、高湿条件下在壁面上积淀的易溶铵盐粘附层清洗成铵盐溶液, 从沉积处排出, 并送至喷雾干燥器中进行喷雾、干燥、造粒。

采用湿式静电除尘器回收铵盐气溶胶微粒的电子束半干法工艺相对于电子束干法工艺, 虽然从原理上说, 部分解决了烟气温、湿控制参数与湿式分离设备运行条件的矛盾, 但美国 VAC 公司在波兰 Kaweczyn 中试装置的运行过程显示, 有其不足之处:

(1) 工艺流程由喷雾干燥器、干式静电除尘器、冷却塔、卧式辐照室、湿式静电除尘器和除雾器等六个工艺段组成, 较电子束干法工艺过程增加了一倍, 从而大幅度提高了工艺系统造价;

(2) 系统控制也增加为六个闭环回路, 系统控制过程复杂;

(3) 湿式静电除尘器的垂直阳极板上为保持 3 mm 厚的自由落体冲洗水膜, 所需循环喷淋溶液的质量流量为处理烟气质量流量的 4 倍, 使得循环溶液泵的电耗几乎与系统引风机相同。

(4) 干式静电除尘器、冷却塔、卧式辐照室、湿式静电除尘器及除雾器等大量采用的卧式设备, 在高湿运行条件下, 仍会存在壁面结块问题, 并且难以借用重力冲刷和排渣, 因而均需辅以定时喷淋冲刷系统, 并且还需为其中每台卧式设备的底部排渣找坡及设置机械括板装置;

(5) 由于即使造粒平均直径最大的压力式喷雾干燥器, 其平均造粒粒径仍低于铵盐氮肥标准粒径的

下限。

4 电子束湿法烟气脱硫工艺

本文的目的是综合电子束干法工艺和电子束半干法工艺的优点, 同时克服其存在的不足之处, 以最小的代价彻底解决电子束干法工艺中存在的烟气控制参数与干式分离设备运行条件的矛盾, 从而提供一种流程简单、控制容易、设备少、电耗低、占地小, 且副产品粒径大的电子束法烟气脱硫新工艺。

本文采用的技术方案, 即电子束湿法烟气脱硫工艺, 见图 1。

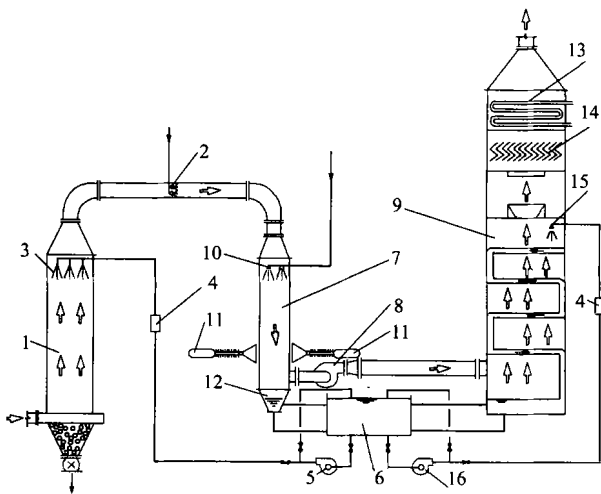


图 1 电子束湿法烟气脱硫工艺

按照图 1 所示的电子束湿法烟气脱硫工艺这样实施: 压力式喷雾干燥器(1)的进气口与待处理烟气的烟道相连接, 干燥器(1)的出气口连接的烟道中装有氨气多喷嘴(2), 干燥器(1)下部的锥形斗仓出口与锁气器连接, 干燥器(1)内部上面的压力式多喷嘴(3)通过管道、过滤器(4)、阀门与压力泵(5)的出液口连接, 压力泵(5)的进液口通过管道、阀门与溶液槽(6)的底部相连接, 压力泵(5)的出液口还通过管道、阀门连接于溶液槽(6)的液面上, 干燥器(1)的出气口所连烟道与立式冷却辐照塔(7)的进气口连接, 辐照塔(7)的下部出气口通过烟道、引风机(8)和筛板式吸收塔(9)的下部进气口连接; 辐照塔(7)上部为冷却系统, 内部设有气、液二相流多喷嘴(10), 辐照塔(7)下部为辐照系统, 外侧装有 1~6 台横置电子枪(11), 电子枪(11)的窗箔嵌于辐照塔(7)的壁面上, 辐照塔(7)的底部为锥形积液槽(12); 吸收塔(9)顶部的出气口与净化气排风管连接, 吸收塔(9)内上

部设有加热盘管(13)和除雾器(14), 吸收塔(9)内中部的循环溶液喷嘴(15)通过管道、过滤器(4)、阀门与溶液泵(16)的出液口连接, 吸收塔(9)内底部为积液箱; 积液槽(12)和积液箱的侧壁通过管道与溶液槽(6)的上部侧壁相连接, 积液槽(12)和积液箱的底部通过管道与溶液槽(6)的下部侧壁相连接, 溶液泵(16)的进液口通过管道、阀门与溶液槽(6)的底部相连接, 溶液泵(16)的出液口通过管道、阀门连接于溶液槽(6)的液面上。由上述设备和部件的连接, 就构成了电子束湿法烟气脱硫工艺流程。

本文介绍电子束湿法烟气脱硫工艺的工作原理, 结合图1说明如下: 从筛板式吸收塔(9)吸收、清洗出来的铵盐溶液, 依重力流入溶液槽(6)后, 被压力泵(5)加压, 经过滤器(4)到压力式喷雾干燥器(1)中, 再经其顶部的压力式多喷嘴(3)向下喷雾、蒸发、干燥、造粒, 形成直径 $> 100 \mu\text{m}$ 的铵盐颗粒, 其中的粗颗粒铵盐副产品在重力和惯性作用下被直接收集在干燥器(1)底部的锥形斗仓内, 其余的细颗粒铵盐, 随烟气进入立式冷却辐照塔(7)和吸收塔(9)中, 被重新分离、清洗成铵盐溶液, 进入下一轮循环, 以确保铵盐副产品粒径更接近于国标要求。与此同时含二氧化硫和氮氧化物的烟气被蒸发水加湿和冷却, 在流进辐照塔(7)之前, 被注入理论化学剂量比为0.5~1.5的氨气, 在辐照塔(7)中, 烟气首先被顶部气液二相流多喷嘴(10)顺流向下喷入的上水继续降温、增湿, 紧接着利用1~6台横置电子枪(11)产生的电子束照射烟气中的 N_2 、 O_2 和 H_2O 分子, 以产生自由基和原子, 它们将二氧化硫和氮氧化物快速氧化成硫酸和硝酸, 最后这些氧化酸与氨气在辐照塔(7)及吸收塔(9)中进行中和反应, 生成直径在0.5~2.0 μm 的硫酸铵和硝酸铵气溶胶微粒, 并被吸收塔(9)中的循环喷淋溶液吸收、分离、清洗成铵盐溶液, 最后经溶液槽(6)送入干燥器(1)中喷雾、蒸发、干燥、造粒, 处理完毕的净化气在离开吸收塔(9)之前, 被直接设于其顶部的除雾器(14)除雾, 并被加热盘管(13)加热至净化气酸露点以上, 以减少后继净化气风道的腐蚀, 在辐照塔(7)、吸收塔(9)及其之间连接烟道的壁面上, 需设置喷嘴, 用于定期把低温、高湿条件下在壁面上沉积的易溶铵盐粘附层清洗成铵盐溶液, 并流经溶液槽(6), 重新送至干燥器(1)中进行喷雾、蒸发、干燥、造粒。

5 电子束湿法烟气脱硫工艺的优点

电子束湿法烟气脱硫工艺经过大连冰山集团有限公司设计研究院的可行性和初步设计显示: 其全部采用了湿式设备和立式设备, 比现有技术电子束半干法烟气脱硫工艺具有如下优点:

(1) 省去了多余的干式静电除尘器, 让小粒径的铵盐进入下一轮循环, 由此提高了副产品平均粒径, 使其更接近于铵盐氮肥的粒径标准;

(2) 把冷却塔和辐照室合二为一, 从而节省了一台设备及其占地;

(3) 由于上水在立式冷却辐照塔的上部经气液二相流多喷嘴的良好雾化, 且喷淋距离较长, 待水滴完全蒸发后, 才进入辐照段, 故避免了水滴对电子束的吸收, 减少其对电子束的阻挡;

(4) 由于全部采用立式设备, 便于借用重力作用提高冲刷和排渣效果, 从而既可减少立式冷却辐照塔、筛板式吸收塔及其之间连接烟道壁面上设置的定时冲刷喷嘴数量, 也可省去各台设备底部的机械刮板装置, 更无需为其排渣而找坡, 同时也节省了设备占地;

(5) 由于把工艺流程中的设备台数, 从干法工艺的4台及半干法工艺的6台, 降为3台, 故而电子束湿法烟气脱硫工艺同时具备: 降低近一半初投资、减少近一半占地、简化控制, 这三个因素是直接促进电子束法工艺商业化的最关键;

(6) 由于在筛板式吸收塔中, 同一水流往返流动构成多层溢流水膜, 这就极大地降低了循环溶液量, 从而节省循环溶液泵的电耗;

(7) 由于工艺流程中的设备台数减半, 使烟气流阻降低, 从而节省引风机电耗;

(8) 电子束湿法烟气脱硫工艺二氧化硫的去除率为80%~98%, 氮氧化物的去除率为20%~80%, 铵盐气溶胶微粒的收集率为99%, 逸氨浓度 $< 0.001\%$ 。

参考文献:

- [1] 徐光, 乔力. 电子射线烟气洗涤工艺研究进展[J]. 自然杂志, 1999, 21(4): 227.
- [2] 毛健雄. 煤的清洁燃烧[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 肖文德, 吴志泉. 二氧化硫脱除与回报[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [4] 唐天同, 刘纯亮. 电子束与离子束物理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [5] 台炳华. 工业烟气净化[M]. 第二版, 北京: 冶金工业出版社, 1999.

(辉 编辑)

rules. The author has come up with a method called "rough set" (or RS for short) to serve as a new method of machine self-learning. The RS can automatically acquire diagnosis knowledge from a huge quantity of rotating machine data, decrease erroneous diagnoses and phenomena of missing diagnosis. Also described are RS working principles, its operating method and practical usage examples. **Key words:** fault diagnosis, rotating machine, machine self-learning, rough set

电子束湿法烟气脱硫工艺 = **Electronic Beam and Wet Method-based Flue Gas Desulfurization Technology** [刊, 汉] / CHOU Qiao-li (Dalian Bingshan Group Co. Design and Research Institute, Dalian, China, Post Code: 116033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4). 405~407

A concept involving an electronic beam and wet method-based technology is proposed for flue gas desulfurization, which comprises three vertical, wet-type equipment items. Among them, a pressure-type fog-spray drying device is used to dry ammonium salt solution, rendering it into grain particles. It also enables flue gases containing SO₂ and NO_x to be cooled and humidified. Then, the flue gases after being cooled, humidified and electron beam radiated by a vertical cooling and radiation tower are made into aerosol micro-particles of ammonium salt to be separated by a sieve-plate type adsorbing tower and washed clean to form an ammonium salt solution. The results of a feasibility study and preliminary design of the process indicate that the latter can attain a desulfurization rate of 98%, NO_x removal rate of 70% and a dust collection rate of 99%. Moreover, the electron beam radiation dosage, circulating solution flow-rate and flue gas flow resistance are all reduced simultaneously. The technology under discussion also features a simple flow process, ease of control, a low requirement for equipment, power consumption and space, and a large particle size of by-products. **Key words:** electronic beam, wet method, flue gas desulfurization

电站锅炉掺烧煤泥可行性研究 = **Feasibility Study of Burning Peat as a Subsidiary Fuel in Utility Boilers** [刊, 汉] / DUAN Shi-fang (Xuzhou Ducheng Electric Power Co. Ltd., Xuzhou, China, Post Code: 221142) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 408~409

A feasibility study of burning peat as a subsidiary fuel in utility boilers indicates such an approach is realistic. A normal operation of boilers with rated parameters can be achieved without any modification of related equipment and systems. This will result in sizable economic and social benefits as well as good environmental conditions. The burning of peat as an added fuel conforms to State policy regarding the comprehensive utilization of energy resources and has wide prospects of development in addition to playing an exemplary role in energy use. The author has also pointed out some issues worthy of due attention during the design and operation of boilers firing peat as a subsidiary fuel. **Key words:** boiler, peat, mixed burning, drying system

轻油预蒸发燃烧中的稳焰技术 = **Flame Stabilization Techniques during the Pre-evaporative Combustion of Light Oil** [刊, 汉] / HE Hong-zhou (Mechanical Engineering Institute under the Jimei University, Xiamen, China, Post Code: 361021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 410~413

The technical principles of pre-evaporative combustion of liquid fuels are described and the problem of flame stabilization during the pre-evaporative combustion of light oil is analyzed. Also highlighted are several measures currently adopted for flame stabilization during the pre-evaporative burning of light oil. **Key words:** light oil, pre-evaporation, combustion, flame stabilization

万丰热电厂2号燃油锅炉改烧水煤浆工程实例 = **The Retrofitting of No. 2 Oil-fired Boiler at Wangfeng Power Plant for Burning Water-coal Slurry** [刊, 汉] / YOU Xiao-bo QIU Zhou-wei, LIU Xue-gui, et al (Wangfeng Thermal Power Plant, Shantou, China, Post Code: 515000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(4): 414~417

The specific features of and difference between oil-fired boilers and coal-fired ones are briefly described and analyzed. Meanwhile, a detailed account is given of the retrofitting of a No. 2 oil-fired boiler at Wangfeng Thermal Power Plant for burning water-coal slurry along with a description of its main operating parameters. **Key words:** oil-fired boiler, water-coal slurry, design study