

燃煤电厂SCR预除尘技术适用性分析

我国大中型燃煤电厂多数采用SCR脱硝技术，锅炉尾部烟气中较高浓度的飞灰对于SCR会产生一定的负面作用，包括导致催化剂堵塞、磨损或中毒，降低脱硝效率，缩短催化剂寿命等。飞灰对SCR下游的空预器也存在较多不利影响，造成空预器积灰、堵塞，特别是在硫酸氢铵的作用下更易形成结垢，导致空预器换热效率下降、漏风率增大、压降显著提高。

为了减轻飞灰对SCR催化剂和空预器等设备的负面影响，在SCR之前设置烟气预除尘装置，其必要性和意义已经逐渐引起行业内的重视。该文分析了不同SCR预除尘技术的物理机制，从脱除效率、压头损耗、技术经济性等方面进行对比，指出了不同技术所适用的实际场合。

1 SCR预除尘的意义和价值

我国燃煤电厂的主要除尘装置通常置于空预器和湿法脱硫塔之间，SCR脱硝系统、空预器处于所谓的高灰环境中，二者以及下游除尘器的运行都会受到烟气中较高浓度飞灰的影响。

1.1 SCR预除尘对SCR脱硝系统的影响

飞灰对SCR脱硝系统的影响主要首先体现在催化剂方面。较粗的飞灰容易堵塞催化剂孔道、磨损催化剂材料；较细的飞灰对催化剂的中毒作用比较显著（尤其是当飞灰中的砷、钙等元素的含量较高时），细小的飞灰可以直接堵塞催化剂的微观孔道。

飞灰对SCR的影响最直接的体现是SCR脱硝效率的变化。实验研究[1]表明飞灰浓度每升高10g/m³，脱硝效率下降幅度可达约2个百分点。

中试试验[2]发现不同的积灰时长（清灰间隔）对催化剂脱硝活性影响明显，实验催化剂积灰6h后脱硝效率由94%降为大约82%。根据此规律可以估计，在清灰时间为6h的情况下，当预除尘效率分别为50%和90%时，由于SCR入口粉尘浓度的降低，两次清灰之间的SCR平均效率将分别提高为91%和92.8%，比无预除尘情况下的平均效率分别增加3%和4.8%，对于脱硝效率的提高将是立竿见影的。

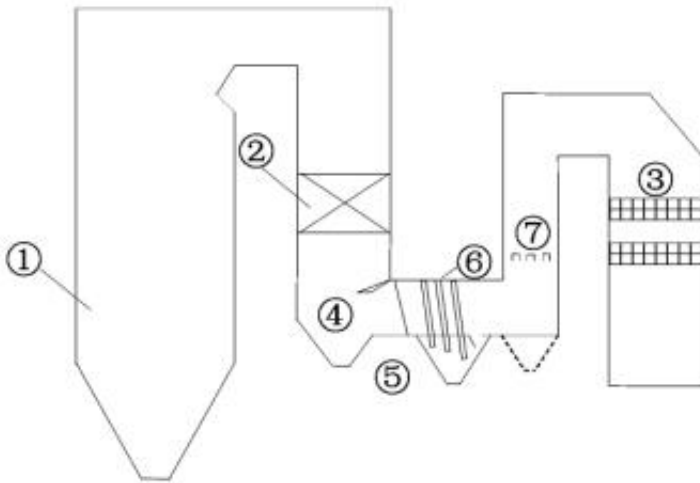
飞灰对催化剂的磨损导致结构强度降低甚至结构破坏，常见的损坏形式是催化剂上层的掏空式或针状破损[3]。另一方面，飞灰对催化剂孔道壁面的过度磨损会导致壁面变薄，严重降低催化剂的整体结构强度。SCR预除尘通过降低脱硝系统入口飞灰浓度，将对减缓催化剂结构损坏起到立竿见影的作用，对于延长催化剂适用寿命和后期再生都具有重要意义。

1.2 SCR预除尘对空预器的影响

飞灰对空预器的直接影响主要是在硫酸氢铵的促进下引起空预器积灰和结垢。SCR存在氨逃逸，并且会促进烟气中SO₂向SO₃的转化，氨与SO₃反应形成硫酸氢铵，在空预器的中低温段凝结形成粘附性特别强的液态状，大量粘附飞灰于换热表面。环境温度和机组负荷越低，煤的硫含量和SCR的氨逃逸量越高，则空预器堵塞速度越快。

空预器堵塞后其压降随之迅速上升，可从设计压降约1kPa上升至2~3kPa，导致漏风率、内部泄漏率和引风机能耗都显著增大，降低引风机运行安全性，运行维护（如停机除垢）

也成为电厂的严重负担。SCR预除尘降低了空预器前烟气中的粉尘浓度，而且由于辅助降低了硫酸氢铵的生成（SCR预除尘改善了SCR脱硝效率从而可降低喷氨量及氨逃逸），将直接改善上述状况。



① 锅炉, ② 省煤器, ③ SCR脱硝装置, 基于空气动力学优化④、过滤⑤、惯性分离⑥⑦的预除尘装置

图1 代表性SCR预除尘技术示意图

1.3 SCR预除尘对主要除尘器的影响

目前燃煤电厂的除尘器以电除尘为主, 其他还包括布袋除尘器和电袋除尘器。应用SCR前预除尘技术后, 主力除尘器的入口浓度将明显降低。相应地, 电除尘器可以采用更少的电场数(比集尘面积), 占地和厂用电率下降;对布袋除尘器来说, 平均运行压降和清灰频率降低, 起到降低厂用电率、延长布袋寿命的作用;对于电袋除尘器, 起除尘作用的静电部分甚至可以取消。

2 SCR预除尘技术适用性分析

2.1 飞灰的粒径分布特征

飞灰的粒径是决定除尘技术的设计/选型的最重要因素之一, 燃煤电厂烟气中飞灰的粒径范围通常十分宽泛, 从几十纳米级到几毫米级都有分布。2.5mm以上的飞灰通常为多孔的爆米花飞灰, 爆米花飞灰占总飞灰量的5%~10%左右。爆米花飞灰由于尺寸与SCR催化剂流道尺寸相近, 因此容易直接堵塞催化剂孔道。稍细的飞灰虽然不能直接形成堵塞, 但质量浓度比爆米花飞灰大几倍以上, 并且可以通过搭桥的方式造成催化剂孔道堵塞。文献报道以及作者实测的国内部分燃煤电厂的飞灰粒径数据表明, 我国燃煤电厂飞灰粒径分布概率密度(PSD)峰值粒径普遍在60 μm以上, 亦有较大比例的电厂100 μm以上[6-9]。较粗的粒径分布有利于以较低的代价获得较高的除尘效率, 从而使得SCR预除尘技术具有较高的可行性、良好的技术经济性和规模化推广的价值。

2.2 SCR预除尘技术及其适用性分析

SCR预除尘技术根据其除尘的主要物理机制的不同, 主要分为以下几类, 即: (1)烟道/灰斗的空气动力学优化; (2)惯性分离; (3)过滤; (4)离心分离。传统低温段除尘技术(静电/布袋/湿式电除尘器等)设备复杂、高温高尘环境下可靠性差, 虽曾有相关尝试和实际应用, 但效果不理想, 因此该文不对其进行深入讨论。

表1 各种SCR预除尘技术的适用性对比

技术类型/原理	适用性(可脱除飞灰粒径)	优点	缺点	工程应用情况
烟道/灰斗空气动力学优化	粗(2.5 mm以上的爆米花飞灰为主)	结构简单、可靠性高、能耗低	脱除效率低	较多
过滤	粗(主要受制于运行压降和过滤装置可靠性)	过滤效果稳定性好,受负荷影响不大	需设置清灰装置,容易堵塞、磨损,压降较高	少数
惯性	较粗(几十至几百 μm 量级以上)	结构较简单,可靠性较高,能耗较低	脱除效率较高	很少
离心分离	较细(20 μm 量级以上)	脱除效率高	设备体积、重量均较大,压降高	很少

2.2.1烟道/灰斗的空气动力学优化

烟道/灰斗的空气动力学优化,原理是通过流场的改变或优化,充分利用飞灰自身的惯性实现预除尘,具有改造量小、投资省、压损低等优点。相关技术如美国巴威公司针对爆米花飞灰提出在省煤器灰斗上方加装专利技术的蝠翼形挡板,解决原有设计中较多烟气的流动路径远离灰斗的问题,优化烟气流向,使飞灰尽可能流经灰斗中并被分离下来(参考图1)。与此相似,还可以在SCR上游竖直烟道的底部增设灰斗,并且在灰斗上方设置挡灰板实现预除尘。在SCR上游竖直烟道进行除尘存在被捕集飞灰与烟气逆流的问题,相比之下在省煤器下方烟道拐弯处除尘能更好地利用重力作用。

2.2.2过滤

过滤是最为简单直接的除尘机制之一,通过几何限制使得超过过滤装置特征通过尺寸的颗粒被拦截下来。过滤装置具体形式如格栅板、多孔介质板等。由于烟气流速较高,被过滤装置阻拦下来的飞灰不易下落,可能造成过滤压降迅速升高,因此该系统通常必须配置清灰装置。

在来流飞灰粒径确定的情况下,此类技术的除尘效果直接取决于过滤装置的特征通过尺寸,而与粉尘的密度、烟气的流动特征关系不大,具有易于设计、除尘效率比较确定等优点。但SCR之前的高温高尘环境以及频繁甚至连续的清灰,意味着不可能采用过密、过细的过滤体,因此该技术仍主要适用于爆米花飞灰的脱除。

2.2.3惯性分离

惯性分离在除尘、除雾等方面应用广泛,实际上基于烟道/灰斗的空气动力学优化的预除尘技术,本身就是着眼于充分利用颗粒的惯性,但其流场尺度较大,若要进一步提高惯性分离效率,则必须在更小的流场尺度上进行分离。现有技术如在水平烟道扩径处设置角形挡板和平板形挡板,但实验表明其效果并不理想,可能与其除尘单元的尺度过大以及飞灰二次携带有关。

相关学者提出在SCR上游的竖直烟道内设置分离器,分离单元优选U型结构,其优点是设备结构简单,但如前文所述,此处进行除尘的弊端是捕集的飞灰难以收集、排出,二次携带严重。针对前述典型问题,部分人员提出了基于惯性拦截单元阵列的SCR预除尘技术,通过设于水平烟道流通截面上的凹槽式的简单结构件,实现对飞灰的捕捉,与此同时还通过除尘结构件倾斜一定角度以及引流少部分烟气等手段,促进收尘、排尘,减少二次携带。

2.2.4离心分离

离心分离是广泛应用的除尘技术,在脱除较粗飞灰方面具有技术较成熟、可靠性较高等优点。典型的技术方案主要有两种:一是采用传统柱锥形旋风分离器进行预除尘,但传统柱锥形分离器在处理大烟气量时,设备尺寸会变得非常庞大,且效率会随之显著下降;二是采用多管式旋风分离器(亦称为旋风管),相关应用如采用耐磨、耐高温的陶瓷多管式旋风分离器进行化工行业锅炉SCR预除尘。多管式旋风分离器相比柱锥形旋风分离器具有效率高、占地紧凑、设备布置灵活性好等优点,但设计难度更大,相关的关键技术包括漩涡稳定、高效叶片设计、防串气等。

2.2.5技术对比及适用性分析

无论是空气动力学、惯性分离还是离心分离，其本质都是基于飞灰相对于流体(烟气)的惯性差异实现分离，而颗粒的惯性可以由无量纲的斯托克斯数(St)描述，相应地上述各技术的分离能力，可以定性地由该分离设备特征结构和运行参数下的颗粒数评价。数的表达式为：

$$St = \frac{\rho_p d_p^2 U}{18\mu L}$$

其中 ρ_p 、 d_p 分别为飞灰的密度和粒径; μ 为烟气的动力粘度; U 和 L 分别为预除尘装置中烟气的特征流速和预除尘装置基本分离单元的特征尺寸。在燃煤电厂中，约为2200kg/m³，可取15m/s。对于空气动力学原理的预除尘，可取烟道宽度，此处以5m作为估计值;对于惯性分离，可取分离单元横截面的迎风面宽度，典型值取0.2m;

对于离心分离，可取旋风分离器(或旋风管)的特征半径，以旋风管为例典型值取0.2m。预除尘技术的分离能力可以定性地以数等于1时对应的颗粒粒径(=1)评估。

在以上参数下，空气动力学、惯性和离心分离的分离能力大致分别为300 μm、60 μm、60 μm。需要说明的是，旋风管中粉尘的停留时间一般明显长于惯性预除尘装置，因此离心分离的效率上限一般优于惯性分离。该文所述各种SCR预除尘技术的适用性对比如表1所示。

3结论与展望

在SCR之前实现烟气预除尘具有提高SCR脱硝效率、缓解空预器堵塞、降低除尘器工作负荷或设备容量等作用，对于燃煤电厂节能减排意义显著。基于空气动力学优化、过滤机制、惯性分离或离心分离的SCR预除尘技术具有不同的适用性，在技术选型和设计时需综合考虑飞灰脱除能力、电厂实际飞灰特性、预除尘目标、空间场地、费用周期等多种因素。我国SCR预除尘技术的研究和应用尚处于发展初期，技术研发的迫切性和潜在的经济社会价值都是十分显著的。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/125252.html>