

# 高温型电除尘器在烟气脱硝中的应用研究

王 磊, 付启文, 卢泽锋

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘 要:** 针对火电厂烟气的特点, 讨论了高温型电除尘器在烟气脱硝工程中应用的可行性, 对脱硝反应器低灰段布置的技术经济性进行了分析, 对高温型电除尘器的材质选择、结构设计、电控方式进行了研究, 并提出了应对高温对除尘器影响的解决之策。

**关键词:** 高温; 电除尘器; 烟气脱硝

## 0 引言

$\text{NO}_x$  是大气主要污染源之一, 会对环境造成严重的危害。我国于 2011 年 7 月 29 号颁布了新的《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011), 该标准规定, 自 2012 年 1 月 1 日起新建的火电机组  $\text{NO}_x$  排放浓度必须  $\leq 100\text{mg}/\text{Nm}^3$ , 现有机组 2014 年 7 月 1 日后亦必须达到这一要求, 这标志着我国对  $\text{NO}_x$  控制标准更加严格了<sup>[1]</sup>。控制  $\text{NO}_x$  排放的方法主要有两种, 即选择性非催化还原法 (SNCR) 和选择性催化还原法 (SCR), SNCR 法脱硝效率仅为 30~50%, 而 SCR 法脱硝效率可达 80~90%。SCR 脱硝方式是当前技术最成熟、应用最广泛的烟气脱硝技术, 是最根本的脱硝措施。我国 SCR 工艺一般采用脱硝反应器高灰段布置方式, 即脱硝反应器安装于锅炉省煤器之后、空预器和电除尘器之前, 此时进入脱硝反应器入口烟尘浓度大都在  $20\sim 50\text{g}/\text{Nm}^3$  之间, 这样高的灰量, 直接进入脱硝反应器中对脱硝系统带来了严重危害。为了克服高灰对脱硝系统的影响, 本文提出另一种 SCR 工艺方式, 即脱硝装置低灰段布置方式, 此时脱硝装置布置于锅炉省煤器和高温电除尘器之后、空预器之前, 烟气经过高温电除尘器除尘后进入脱硝反应器, 该方式中高温电除尘器的研制是难点, 本文对此进行了分析。

## 1 反应器低灰段布置技术经济分析

反应器低灰段布置工艺方式为: 锅炉省煤器→电除尘器→脱硝装置→空气预热器→FGD→烟囱。烟气从锅炉省煤器出来后先经过电除尘器除灰后再进入脱硝装置进行脱硝, 这样做的技术优势是: (1) 解决了高灰量对催化剂的堵塞问题; (2) 消除了飞

灰中的 K、Na、Ca、Si、As 等所引起的催化剂污染或中毒; (3) 消除了飞灰对催化剂与反应器的冲刷磨损; (4) 消除了飞灰复燃可能造成得催化剂烧结问题。而高灰段布置方式, 首先必须解决催化剂因灰堵塞问题, 唯一有效的办法就是增加催化剂的孔径, 孔径一大, 催化剂总体积就跟着增大, 而且这种由于孔径增大导致的体积增加往往相当可观; 其次, 灰量大, 在吹灰间隔中, 大部分的催化剂会被灰所覆盖, 为了保证恶劣情况下的脱硝率和氨逃逸率, 也必须增加催化剂体积, 以保证随时有足够的催化剂表面裸露在外面以供吸附  $\text{NO}_x$  和接触  $\text{NH}_3$ , 这样造成催化剂增加的量也是很大的; 其三, 灰量大, 催化剂受到的冲刷和腐蚀几率也大大增加, 运行一段时间后需要补充的催化剂就多; 其四, 飞灰复燃可能造成催化剂烧结, 也会损耗一部分催化剂。在脱硝工程中催化剂的投资约占总投资额的 50% 左右, 采用低灰段布置方式可大幅减少催化的用量, 因此大幅降低了投资和运行成本。

以一台 300MW 机组为例, 如果进入反应室的烟尘浓度为  $40\text{g}/\text{Nm}^3$ , 所需要的催化剂体积大约在  $450\sim 550\text{m}^3$  之间 (不同催化剂类型, 体积有所变化); 如果在脱硝反应器前装一两电场的高温除尘器, 设每个电场除尘效率均为 50%, 那么电除尘器出口烟尘浓度为  $40 - 40 \times 50\% - 40 \times 50\% \times 50\% = 10\text{g}/\text{Nm}^3$ , 此时催化剂体积仅需  $250\text{m}^3$  左右; 以每立方米催化剂五万元人民币计算, 催化剂投资可以减少 1000 万~1500 万人民币。此外, 烟尘浓度的下降, 不但催化剂体积大幅降低, 而且, 催化剂的寿命会大大提高。在  $40\text{g}/\text{Nm}^3$  工况下, 催化剂寿命如果为三年, 那么在  $10\text{g}/\text{Nm}^3$  工况下, 催化剂寿命可以延长到 5~6 年。一台含尘浓度为  $40\text{g}/\text{Nm}^3$  的

300MW机组, 如果没有高温电除尘器, 那么所需的催化剂一次投资额为  $450\text{m}^3 \times 5 \text{ 万元/m}^3 = 2250 \text{ 万人民币}$  或  $550\text{m}^3 \times 5 \text{ 万元/m}^3 = 2750 \text{ 万人民币}$ , 按均数 2500 万元计。三年后更换催化剂 (只增加一层, 即一半), 又需要 1250 万元, 六年内催化剂总投资额为 3750 万元。如果加装高温电除尘器, 那么, 催化剂一次投资仅为 1250 万元, 三年后无需更换催化剂, 六年内催化剂投资总额仍为 1250 万元人民币。由此可见, 加装高温静电除尘器后, 6 年内催化剂投资额减少了  $3750 - 1250 = 2500 \text{ 万元人民币}$ 。

## 2 高温型电除尘器技术分析

采用反应器低灰段布置方式时, 电除尘器工作在高温 ( $350 \sim 400^\circ\text{C}$ ) 条件下, 所以除尘器结构和控制方式与常规的静电除尘器有较大不同。

### 2.1 温升对电除尘器及其工作性能的影响

高温对烟气的性质、电除尘器的结构和工作性能产生影响, 主要表现在以下几点:

(1) 温度升高, 气体密度变小, 电离效应加强, 引起起晕电压、击穿电压降低, 电弧电压和电晕电压之间的差值变小, 电压工作范围变窄, 影响电除尘器除尘效率和工作的稳定性;

(2) 温度升高, 烟气体积增大, 要保持除尘效率, 除尘器体积需相应增大。

(3) 温度对烟尘的比电阻有影响, 通常, 在  $200^\circ\text{C}$  以下, 粉尘的比电阻随温度的升高而增大, 在  $200^\circ\text{C}$  左右时达最大值, 之后比电阻随温度的升高而下降, 在  $350^\circ\text{C}$  以上时, 粉尘比电阻可降低到  $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  以下, 利于静电除尘器收尘。

(4) 温度升高, 气体的黏性增大, 趋进速度降低, 影响除尘效率。

(5) 热应力易引起电除尘器的构件变形, 振打传动结构移位等。

针对高温的影响, 电除尘器需在材料选取、结构设计、电源控制和运行维护等方面提出相对应的解决措施。

### 2.2 结构设计

#### 2.2.1 钢材的选取

普通电除尘器通常采用的 Q235A 钢作为框架结构, 但在  $400^\circ\text{C}$  高温下, 其抗拉强度和屈服强度只有常温下的 40% 左右, 影响除尘器结构安全, 建议采用 Q345B 作为框架结构的主用钢材。Q345B

属于低合金高强度结构钢, 由于少量合金元素的加入大大提高了钢材的强度, 改善了钢材的高温性能和耐腐蚀性能, 用于高温电除尘器结构较合适, 而且可以节省钢材用量。对于小型的高温电除尘器亦可采用 Q235B, Q235B 比 Q235A 的含硫量低, 热塑性好, 但在设计时壳体强度需乘以相应的温度折减系数。

#### 2.2.2 整体结构的稳定性

为防止电除尘器在高温下失稳, 必须提高整体结构的稳定性。除尘器箱体高度不应过大, 宽度不应过小, 应以增加宽度来提高结构的稳定性。但是, 长高比应大于 1, 否则, 将影响气流分布, 最终影响除尘效率<sup>[2]</sup>。

#### 2.2.3 阴阳极配置

极间距采用宽间距配置, 同极间距 400mm 或 450mm 为宜。阳极板仍采用 spcc 材质, 但在阳极板排中部应增设若干根腰带以提高极板的刚度, 防止阳极板排因高温及振打作用而产生弯曲变形。前级电场阴极采用不锈钢 RS 芒刺线, 材质为 1Cr18Ni9Ti, 末级采用不锈钢螺旋线, 材质为 00Cr17Ni14Mo2(316L)。不锈钢芒刺线起晕电压低, 极线强度高, 耐腐蚀; 螺旋线放电均匀性佳, 其高电压低电流的运行方式, 能有效抑制反电晕的产生, 适宜末级电场细粉尘的捕集。

#### 2.2.4 设置温度补偿装置

在高温电除尘器本体设计中需充分考虑热膨胀效应, 设置相应的热补偿装置。设计时需注意以下问题: 在除尘器底梁立柱下设置单项活动支座和多项活动支座以补偿箱体的热膨胀; 除尘器屋面骨架的热膨胀量与梁的热膨胀量不会相等, 屋骨架安装在顶梁时除选择一个固定点外, 其余都设计成与顶梁可以相对滑动的; 为保证振打轴承受热膨胀时不抱轴, 振打轴应分成若干段, 每段长度宜在 3m 以下, 选择合适的轴承, 如双曲面轴承, 每段应支撑在两个轴承上, 相邻两段之间有一定的间隙, 并将轴的一端固定另一端自由伸长; 轴与轴之间的连接不能采用刚性连接, 而应采用允许较大径向位移的联轴节; 电晕线采用重锤张紧的固定方式, 阴极振打的瓷轴两端设置一组万向联轴节以吸收热膨胀。

### 2.3 电控方式

在高温情况下, 电弧电压和电晕电压之间的差

值变小，电压工作范围变窄，传统的火化供电方式已很难满足电除尘器稳定运行的要求，需采用脉冲供电或高频开关电源供电。脉冲供电提高了峰值电压，同时减小了平均电压，通过改变脉冲频率，可以使电晕电流在很宽的范围内调节，因此，能有效防止因工作电压变窄而造成的电压击穿或电弧的产生，所以适用于高温条件下的灰尘捕集。高频逆变器中的功率开关管采用 IGBT(绝缘栅双极晶体管)，IGBT 为全控器件，开关速度快，可在除尘器火花放电或短路时快速关断 IGBT，封锁电源输出，使电源具有快速动态响应特性，因此，能够应对高温而引起的除尘器工作电压变窄的工况。

### 3 结论

在烟气脱硝工程中，通过在反应器前设置高温型电除尘器，有效降低了烟尘对催化剂的不良影响，

大幅延长催化剂寿命，节省了投资。高温型电除尘器的设计中需充分考虑温度的影响，在除尘器的结构和电控设计中给出相应的解决之策，方可保证其安全可靠运行。

#### 参考文献：

- [1] GB13223-2011, 火电厂大气污染物排放标准 [S].
- [2] 林美连. Ausmelt 炉电除尘器设计[J]. 热加工工艺, 2006, 35(5): 45-46.

#### 作者简介：

王 磊（1975—），男，江苏徐州人，工学硕士，工程师，从事烟气环保领域的研发和设计工作，E-mail: next2004@126.com。