

# 烟道防腐蚀涂层在锅炉烟气脱硫中的应用及性能评估

李 强

国家能源集团宁夏煤业公司煤制油动力厂 宁夏 银川 750001

**摘 要：**烟道作为工业锅炉烟气排放的重要通道，其防腐蚀性能直接关系到设备的安全运行和环保排放。防腐蚀涂层作为烟道保护的关键层，其材料选择、施工技术和性能评估都至关重要。本文旨在全面介绍锅炉烟道防腐蚀涂层的相关知识，从材料特性出发，探讨不同涂层的优缺点；进而深入施工技术应用，确保涂层施工的高效与规范；最后通过严格的性能评估，验证涂层的实际防腐效果，为烟道防腐提供科学依据和实践指导。

**关键词：**烟道防腐；锅炉烟气脱硫；应用；性能评估

**引言：**随着经济的发展，社会的进步推动了我国工业行业建设的步伐，本文全面探讨了烟道防腐蚀涂层的材料特性、施工技术应用以及性能评估方法。在材料特性方面，介绍了有机涂层和无机涂层的各自优势；施工技术应用部分详细阐述了表面预处理、涂层施工方法（喷涂法、刷涂法、辊涂法）以及涂层固化与养护的关键步骤。性能评估部分则通过耐腐蚀性、耐磨性、耐高温性和附着力等多维度测试，确保涂层满足烟道防腐的严格要求。

## 1 烟道防腐蚀涂层材料特性

### 1.1 有机涂层材料

(1) 环氧树脂：具有良好的附着力、耐化学腐蚀性和机械性能，其分子结构中的环氧基团能与金属表面的羟基等活性基团反应，形成化学键，从而牢固地附着在烟道表面。环氧树脂涂层能有效抵抗多种酸性介质和碱性介质的侵蚀，并且具有一定的柔韧性，能够适应烟道在运行过程中的热胀冷缩变形。(2) 聚氨酯：具有优异的耐磨性、耐候性和耐化学腐蚀性。聚氨酯涂层的耐磨性使其能够抵御烟气中颗粒物的冲刷磨损，其耐候性可保证在不同环境条件下长期稳定使用；聚氨酯分子链中的氨基甲酸酯基团赋予其良好的弹性和抗冲击性能，可有效防止涂层因烟道振动或外力冲击而受损。(3) 氟碳树脂：具有超强的耐候性、耐腐蚀性和低表面能特性；氟碳树脂中的氟原子与碳原子之间的化学键键能高，使得涂层具有极高的化学稳定性，能够耐受强酸、强碱、强氧化剂等极端腐蚀环境；其低表面能特性使涂层具有良好的防污性和自清洁性能，不易附着灰尘和污垢，有利于保持烟道的通畅和涂层的长期防腐效果。

### 1.2 无机涂层材料

(1) 陶瓷涂层：通常由金属氧化物（如氧化铝、氧化钛等）或碳化物（如碳化硅等）等无机材料组成；陶

瓷涂层具有极高的硬度和耐磨性，能够有效抵抗烟气中颗粒物的高速冲刷。其耐高温性能优异，可在高温烟气环境下长期稳定工作，一般可耐受数百度甚至上千度的高温，陶瓷涂层的化学稳定性好，对酸性气体和碱性气体具有较强的抗腐蚀能力，其致密的结构能够阻止腐蚀介质的渗透<sup>[1]</sup>。(2) 玻璃鳞片涂层：以玻璃鳞片为填充材料，与树脂（如环氧树脂、乙烯基酯树脂等）复合而成；玻璃鳞片在涂层中呈平行排列，形成多层屏蔽结构，能够有效延长腐蚀介质的渗透路径，从而提高涂层的耐腐蚀性。玻璃鳞片涂层具有良好的附着力和机械性能，其抗裂性能较好，能够适应烟道在温度变化和应力作用下的变形，减少涂层开裂导致的腐蚀风险。

## 2 烟道防腐蚀涂层的施工技术应用

### 2.1 表面预处理技术应用

表面预处理是烟道防腐蚀涂层施工的首要步骤：(1) 对烟道表面进行除锈处理。根据烟道表面的锈蚀程度，可采用机械除锈或化学除锈方法；机械除锈如喷砂、抛丸等，通过物理作用去除铁锈、氧化皮和油污等杂质，使金属基体表面露出金属光泽。化学除锈则是利用化学药剂与锈蚀物发生化学反应，达到除锈的目的；除锈处理后，应确保烟道表面达到Sa2.5级以上的除锈标准，即表面无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和旧漆皮等附着物，且金属表面应具有一定的粗糙度。(2) 对除锈后的表面进行清洗。清洗的目的是去除除锈过程中残留的灰尘、碎屑和化学药剂等，确保表面清洁干燥。清洗可采用压缩空气吹扫和清水冲洗相结合的方式，对于难以清洗的角落和缝隙，可使用刷子或刮刀等工具进行辅助清洗；清洗后，应使用干净的布或吸水纸将表面擦干，确保无水分残留。

### 2.2 涂层施工方法应用

#### 2.2.1 喷涂法

喷涂法作为大面积施工的首选方法, 凭借其高效的施工速度、均匀的涂层厚度以及平整的表面效果, 在烟道防腐蚀涂层施工中占据重要地位。该方法主要分为空气喷涂和无气喷涂两种: (1) 空气喷涂利用压缩空气将涂料雾化, 适用于粘度较低的涂料, 能够确保涂料均匀覆盖在烟道表面。(2) 而无气喷涂则通过高压直接将涂料喷涂到烟道表面, 无需压缩空气, 特别适用于粘度较高的涂料, 提高了施工效率。在喷涂有机涂层材料, 如环氧树脂、聚氨酯等时, 施工人员需根据涂层材料的粘度和施工要求, 精细调整喷涂参数, 包括喷涂压力、喷枪与烟道表面的距离等, 以确保涂层质量。喷涂过程中, 喷枪的移动速度应保持均匀, 避免涂层出现局部过厚或过薄的情况, 从而影响涂层的整体性能和耐久性。对于陶瓷涂层, 可采用热喷涂工艺, 这一工艺将陶瓷粉末加热至熔融或半熔融状态, 然后高速喷射到烟道表面, 形成致密且结合力强的涂层。

### 2.2.2 刷涂法

刷涂法作为一种传统且实用的涂装技术, 因其操作简便灵活和较低的施工成本, 在局部修补及小面积施工领域展现出了独特的优势。在实施刷涂时, 刷子的选择至关重要, 推荐使用质地柔软的羊毛刷或高品质合成纤维刷, 这类刷子能有效避免硬毛刷可能对烟道表面造成的损伤。施工过程中, 施工人员需具备高度的责任心和细致入微的操作技巧, 通过轻柔且均匀的刷涂手法, 确保每一层涂料都能均匀覆盖在烟道表面, 既不过厚也过薄, 从而有效防止流挂、漏刷等常见涂装缺陷的产生。特别对于玻璃鳞片涂层而言, 刷涂技巧更为关键, 施工人员需精心操作, 确保玻璃鳞片在涂层中均匀分散, 避免出现鳞片堆积或取向不一致的情况, 这是保障涂层防腐蚀性能和耐久性的重要一环; 因此, 刷涂法的成功实施离不开施工人员的精湛技艺和严谨态度。

### 2.2.3 辊涂法

辊涂法因其高效的施工速度和可控的涂层厚度, 在平面或曲率较小的烟道表面施工中得到广泛应用。该方法利用辊筒将涂层材料均匀地涂布在烟道表面, 确保了涂层的均匀性和一致性; 辊筒的材质和硬度应根据涂层材料的特性进行选择, 以避免对烟道表面造成损伤。在辊涂过程中, 施工人员应保持辊筒滚动速度均匀, 避免涂层过厚或过薄。过厚的涂层可能导致涂料干燥不充分, 影响涂层的附着力和耐腐蚀性; 而过薄的涂层则可能无法提供足够的防护效果。因此, 施工人员需根据涂料的特性和施工要求, 合理控制辊筒的滚动速度, 确保涂层厚度符合设计要求, 辊涂法特别适用于粘度适中的

涂层材料, 如某些有机涂层的底漆施工。

## 2.3 涂层固化与养护技术应用

涂层施工完毕后, 固化与养护步骤对于确保涂层性能至关重要。针对有机涂层, 以环氧树脂涂层为例, 施工后需经历一段时间以完成固化过程, 这一时间通常在常温下约为72至96小时; 为加速固化, 亦可采取加热方式, 有效缩短固化周期<sup>[2]</sup>。在此期间, 必须确保环境温度与湿度的恒定, 同时严格防范涂层表面遭受任何污染或外力损害, 从而保障涂层能够全面固化, 达到预期防护标准。对于无机涂层, 如陶瓷涂层, 喷涂后则需进行高温烧结处理。这一过程通过高温作用, 显著提升涂层的致密度与结合力, 极大增强其耐腐蚀与耐磨性能。至于玻璃鳞片涂层, 在完成固化后, 还需进行细致的养护工作, 以促使其性能全面展现。

## 3 烟道防腐蚀涂层性能评估

### 3.1 耐腐蚀性评估

#### 3.1.1 实验室模拟试验

为了准确评估防腐蚀涂层的耐腐蚀性, 该试验可采取以下几因素: (1) 试验过程中, 首先将涂覆有防腐蚀涂层的试样置于装置内, 该装置内含有二氧化硫、三氧化硫、水蒸气等模拟烟气成分, 并控制一定的温度、压力和流速条件, 以模拟真实的烟气腐蚀环境。(2) 重点检查涂层表面的腐蚀形貌, 包括是否出现变色、起泡、剥落等明显的腐蚀现象, 这些现象的出现往往预示着涂层耐腐蚀性的下降, 为了更精确地量化涂层的腐蚀程度, 试验还采用称重法和电化学方法等方法来测定涂层的腐蚀速率。(3) 称重法通过比较试验前后试样的重量变化来评估腐蚀程度, 而电化学方法则通过测量涂层的电化学性能变化来反映其耐腐蚀性的强弱。以环氧树脂涂层为例, 经过一段时间的模拟烟气环境试验后, 若涂层表面仅出现轻微变色, 且通过称重法和电化学方法测得的腐蚀速率较低(如小于0.1mm/a), 则可以判断该涂层具有较好的耐腐蚀性, 能够在实际应用中提供有效的防护。

#### 3.1.2 现场挂片试验

尽管实验室模拟试验能够较为准确地评估涂层的耐腐蚀性, 但实际工况下的烟气环境往往更为复杂多变, 因此现场挂片试验成为验证涂层耐腐蚀性的重要补充手段。该试验方法是在实际运行的锅炉烟气脱硫烟道内安装涂覆有防腐蚀涂层的挂片试样, 让试样在真实的烟气环境中进行长期暴露。经过一定周期(如数月甚至数年)后, 取出挂片并仔细观察涂层的实际腐蚀情况, 与实验室模拟试验相比, 现场挂片试验能够更真实地反映涂层

在复杂工况下的耐腐蚀性能。因为实际烟气中的成分、温度、压力、流速等条件都是动态变化的,这些因素都会对涂层的耐腐蚀性产生影响,以某电厂氨法脱硫烟道中的玻璃鳞片涂层挂片试验为例,经过一年的实际运行后,取出挂片发现涂层表面基本完好,仅有少量局部出现轻微腐蚀。

### 3.2 耐磨性评估

除了耐腐蚀性外,耐磨性也是评估防腐蚀涂层性能的重要指标。(1)在Taber耐磨试验机中,涂覆涂层的试样被放置在一定压力下与旋转的磨轮接触;试验结束后,测定涂层的磨损量,以评估其耐磨性能,对于聚氨酯涂层等有机涂层而言,经过规定转数的磨损试验后,若其磨损量较小(如小于50mg),则可以判断该涂层具有良好的耐磨性,能够有效抵抗烟气中颗粒物的冲刷磨损<sup>[3]</sup>。(2)喷砂磨损试验则是另一种常用的耐磨性测试方法。该试验中,以一定压力和流量的砂粒喷射到涂层表面,模拟涂层在实际使用中受到的颗粒冲刷和磨损情况。通过测量试验前后涂层的失重情况,可以评估其耐磨性的强弱,陶瓷涂层等无机涂层在这种试验中往往表现出卓越的耐磨性,其磨损量远低于有机涂层,因此在实际应用中具有更广泛的适用范围。

### 3.3 耐高温性评估

耐高温性评估是涂层性能检测的关键环节,我们采用热重分析(TGA)技术,精确测量涂层在高温下的质量变化,以此评估其耐高温性能。以陶瓷涂层为例,即使在800℃以上的高温环境中,其质量变化也保持较小幅度,展现出卓越的稳定性,为进一步验证涂层的耐高温性,我们将涂覆涂层的试样置于高温炉中,模拟实际使用环境中的高温条件。通过在不同温度下保持一定时间,并观察涂层的外观和附着力变化,我们发现氟碳树脂涂层在200℃以下能维持良好的状态,但随着温度上升,其性能虽有所变化,仍在一定范围内满足烟道防腐蚀的需求。而陶瓷涂层则更为出色,即使在更高温度下,也能保持优异的性能,完全适应高温烟气脱硫烟道

的严苛工况,为烟道提供持久有效的保护。

### 3.4 附着力评估

在烟道防腐涂层的质量评估中,附着力是一个至关重要的指标,为确保涂层与烟道基体之间的紧密结合,我们采用了划格法和拉开法两种测试方法:(1)划格法是一种直观且有效的评估手段;我们在涂层表面划出横竖相交的格子,随后用胶带粘贴并迅速撕下。通过观察涂层脱落的情况,我们可以评定其附着力等级;对于环氧树脂涂层而言,若脱落面积小于总面积的5%,即视为附着力良好,表明涂层与基体间具有较强的结合力<sup>[4]</sup>。(2)而拉开法则通过专用的附着力测试仪来精确测量涂层从基体上剥离所需的力,这种方法能够直接给出附着力的数值,一般来说,附着力值越高,涂层与基体的结合就越牢固;例如玻璃鳞片涂层与金属基体的拉开附着力可达到数10兆帕之上,完全满足烟道防腐涂层对附着力的严格要求。

结语:综上所述,烟道防腐蚀涂层的性能评估是一个涉及多个方面的复杂过程,包括材料特性的选择、施工技术的应用以及最终的性能测试。通过本文的探讨,我们深入了解了各类涂层材料的独特性能和适用场景,掌握了关键的施工技术要点,并建立了完善的性能评估体系。未来,我们将继续致力于烟道防腐蚀涂层技术的研发和创新,以应对更加复杂和严苛的工业环境挑战,为工业生产的持续稳定发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]李晓炜,骆惠,方瑶婧,等.保温层下防腐蚀涂层体系的性能评价与适用性研究[J].石油化工腐蚀与防护,2023,40(3):1-6.
- [2]李梦萱,郭英奎,邹金鑫,等.电厂脱硫塔内壁耐磨防腐涂层的研制[J].电镀与涂饰,2022(002):041.
- [3]李杰.纳米陶瓷内衬耐磨防腐涂层在高含硫净化装置的耐蚀性能研究[J].全面腐蚀控制,2023,37(5):93-97.
- [4]王佳伟,杨振林,吕文泉,等.HVOF涂层性能优化方法与调控机理研究进展[J].摩擦学学报,2023,43(12):1-19.