

# 电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术

刘争光

国能(山东)能源环境有限公司 山东 济南 250000

**摘要:** 电厂锅炉运行产生的含硫、硝废气及粉尘会污染环境,相关脱硫脱硝及烟气除尘技术至关重要。脱硫脱硝技术包括干法、湿法、活性焦炭技术和金属氧化物脱硫脱硝技术。干法在干燥环境操作,防止锅炉腐蚀;湿法以石灰石-石膏法应用广泛;活性焦炭可协同治理多种污染物;金属氧化物能实现脱硫脱硝循环控制。烟气除尘技术有多种,电除尘器高效稳定,布袋除尘器适应性强,旋转电极除尘器占地小、能耗低,机械式除尘器适用于大颗粒粉尘初步处理。

**关键词:** 电厂锅炉; 脱硫脱硝; 烟气除尘技术

引言: 在当今社会,电力是推动经济发展和保障民生的关键能源。电厂锅炉作为电力生产的核心设备,在将化学能转化为电能的过程中,会排放出含有NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>以及粉尘等有害物质的烟气。这些污染物严重影响生态环境,危害人类身体健康,引发酸雨、雾霾等环境问题。随着人们环保意识的提升和政府监管力度的加强,降低电厂锅炉污染物排放成为当务之急。因此,深入研究和应用电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术,对于推动绿色发展、实现经济与环境协同共进具有重要的现实意义。

## 1 电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术意义

在当今社会,工业的飞速发展使得电力的需求日益增长,电厂作为主要的电力供应源,其锅炉的运行至关重要。然而,电厂锅炉在运行过程中会产生大量的污染物,如二氧化硫、氮氧化物和粉尘等,这些污染物对环境和人类健康造成了严重的威胁。因此,电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术具有极其重要的意义。从环境保护的角度来看,该技术能够显著减少污染物的排放。二氧化硫是形成酸雨的主要物质之一,酸雨会对土壤、水体和植被造成严重的破坏,影响生态平衡。氮氧化物会导致光化学烟雾和臭氧层破坏等问题,对大气环境质量产生负面影响。而粉尘则会降低空气质量,引发雾霾天气,危害人们的呼吸系统健康。通过脱硫脱硝及烟气除尘技术,可以有效去除这些污染物,降低其对大气环境的污染,保护生态环境的平衡和稳定。在人类健康方面,该技术的应用也具有重要意义。减少污染物的排放可以降低人们患呼吸道疾病、心血管疾病等的风险<sup>[1]</sup>。特别是对于电厂周边的居民来说,良好的空气质量能够提高他们的生活质量,保障他们的身体健康。此外,该技术还可以减少因环境污染导致的疾病传播,减轻医疗负担,促进社会的和谐发展。从经济发展的角度来看,电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术有助于推动电厂的可持续发展。随着环保要求

的不断提高,采用先进的环保技术可以使电厂符合国家的排放标准,避免因违规排放而面临的罚款和停产整顿等风险。同时,该技术还可以提高电厂的能源利用效率,降低生产成本,增强电厂的市场竞争力。此外,脱硫脱硝及烟气除尘技术的发展也带动了相关环保产业的发展,创造了更多的就业机会,促进了经济的增长。

## 2 电厂锅炉脱硫脱硝技术

### 2.1 干法脱硫脱硝技术

电厂锅炉在运行过程中会产生大量含硫和含硝废气,对环境造成严重污染,干法脱硫脱硝技术是解决这一问题的有效手段之一。(1) 等离子法: 在进行烟气处理过程中利用高能电子将烟气中硫酸铵、硝酸铵等有机物分解,达到减少环境污染的目的,能在干燥环境下完成脱硫脱硝,防止金属锅炉被强酸腐蚀。(2) 荷电干喷法: 将吸收剂作为一种介质,促使反应程度等内容产生改变,进而达成提升脱硝实施成效的最终目标,操作相对简便。(3) 固体吸附/再生法: 以碳质物料或特定吸附剂吸附废气中的硫和硝。如采用活性炭吸附,吸附塔分上下层分别用于脱硝和脱硫,活性炭来回移动与烟雾垂直流动,可除去多种有害物质,还能进行除尘,但可能存在吸附材料轻微中毒问题;另一种吸附剂在达到饱和后可再生,能高效脱除硫和硝,但对设备和成本要求较高。(4) 炉内喷钙法: 通过向炉内喷射钙基吸收剂,在燃烧过程中与二氧化硫反应生成硫酸钙,从而达到脱硫目的。该方法成本较低,但脱硫效率相对有限。(5) 活性炭纤维法: 利用活性炭纤维的高比表面积和丰富的微孔结构,对二氧化硫和氮氧化物进行吸附和催化转化。具有吸附效率高、再生容易等优点,但活性炭纤维成本较高。干法脱硫脱硝技术各有优劣,电厂需根据实际情况选择合适的技术。

### 2.2 湿法脱硫技术

湿法脱硫技术凭借高效稳定的脱硫效果,在电厂锅

炉脱硫领域占据着重要地位。(1) 石灰石-石膏法: 这是目前应用最广泛的湿法脱硫技术。其工作原理是在反应塔中喷淋由石灰石和水配成的石灰吸收浆液, 与烟气中含硫化合物反应形成亚硫酸钙, 再通入氧气氧化成石膏, 最终在脱水机中分离。该方法工艺简单、原材料石灰石价格低廉, 且能实现较高的脱硫效率, 配套产业丰富, 市场占有率超80%。(2) 双碱法: 先使用氢氧化钠等碱性溶液吸收二氧化硫, 生成亚硫酸钠和亚硫酸氢钠, 然后将吸收液送至再生池, 用石灰石或石灰进行再生, 使氢氧化钠得以循环使用。此方法能有效避免结垢问题, 且脱硫效率较高。(3) 氨法: 以液氨或氨水作为吸收剂, 与烟气中的二氧化硫反应生成亚硫酸铵和硫酸铵。该方法脱硫效率高, 副产品硫酸铵可作为化肥使用, 具有一定的经济价值, 但氨易挥发, 需注意防止氨逃逸。(4) 海水脱硫法: 利用海水的天然碱性来吸收二氧化硫。该方法适用于沿海电厂, 无需添加额外的吸收剂, 成本较低, 但对海水水质有一定要求, 且可能会对海洋环境造成一定影响。(5) 氧化镁法: 采用氧化镁作为吸收剂, 与二氧化硫反应生成亚硫酸镁和硫酸镁。氧化镁法脱硫效率高, 吸收剂来源广泛, 且副产品可回收利用, 但氧化镁的价格相对较高。不同的湿法脱硫技术各有特点, 电厂可根据自身实际情况进行选择。

### 2.3 活性炭技术

活性炭技术是电厂锅炉脱硫脱硝中一种行之有效的技术, 在环保领域发挥着重要作用。活性炭以褐煤为主要原料制成, 呈圆柱状, 具有丰富微孔结构和双重性能。在脱硫方面, 当烟气中有足够氧气和水蒸气时, 活性炭对二氧化硫的吸附不仅有物理吸附, 还会发生化学吸附和表面反应。吸附的二氧化硫在活性炭催化氧化下, 与氧气反应生成三氧化硫, 再与水蒸气反应生成硫酸, 大大增加吸附量。在脱硝环节, 在活性炭吸附脱硫系统中加入氨, 可使氮氧化物与氨发生催化还原反应, 生成无污染的氮气和水<sup>[2]</sup>。同时, 加入的氨还有助于提高活性炭的脱硫活性, 降低其消耗。活性炭技术优势显著, 它能同时脱除烟气中的硫氧化物、氮氧化物和烟尘, 实现多种污染物协同治理。活性炭可再生循环使用, 降低了运行成本。而且该技术不产生废水废渣, 避免了二次污染。不过, 活性炭的制备成本和再生过程的能耗是需要进一步优化的方面, 未来可通过技术创新降低成本, 提高该技术的应用范围和效果。

### 2.4 金属氧化物脱硫脱硝技术

金属氧化物脱硫脱硝技术为电厂锅炉污染物治理提供了创新且高效的解决方案。该技术核心在于巧妙利用

载体中的金属氧化物, 与烟气中的二氧化硫、氧气反应生成硫酸盐。这些硫酸盐不仅可固定硫元素, 还能充当催化剂, 加速氮氧化物还原为无害的氮气, 达成脱硫脱硝的双重功效。在锅炉运行动态过程中, 金属硫酸盐展现出独特的循环特性。它能与甲烷反应生成单质金属和金属硫化物, 而烟气中的特定成分又可将其重新氧化为金属氧化物, 实现资源的循环利用与协同控制。此技术优势显著, 脱硫脱硝效率高, 能大幅削减烟气中二氧化硫和氮氧化物含量, 有力减轻对大气环境的污染。同时, 它在一个系统内即可同步完成脱硫与脱硝, 精简了处理流程, 降低了设备投资与运行成本。然而, 该技术也面临一些挑战。金属氧化物的性能易受温度、烟气成分等外部因素干扰, 稳定性有待提升。并且, 部分关键金属氧化物价格偏高, 增加了技术应用成本。

## 3 电厂锅炉烟气除尘主要技术

### 3.1 电除尘器

电除尘器在电厂锅炉烟气除尘中扮演着至关重要的角色, 为改善空气质量贡献显著。(1) 除尘过程: 当含尘烟气进入电除尘器, 粉尘在高压电场中荷电, 在电场力驱动下向集尘极运动并吸附其上, 通过振打使粉尘落入灰斗, 完成除尘。(2) 性能表现: 除尘效率极高, 能有效捕集细微粉尘, 正常运行时可使烟气排放浓度大幅降低, 保障周边环境质量。(3) 适用范围: 广泛应用于各类电厂锅炉, 无论是大型火力发电厂, 还是小型热电联产电厂, 都能发挥良好的除尘效果。(4) 运行成本: 虽前期设备投资和安装成本较高, 但运行中阻力损失小、能耗低, 且能长期稳定运行, 综合成本相对合理。(5) 影响因素: 除尘效果受粉尘特性、烟气温度和湿度等影响。比如高比电阻粉尘会降低除尘效率, 高温高湿环境也可能对设备性能产生一定干扰。总体而言, 电除尘器凭借高效的除尘能力, 仍是电厂锅炉烟气除尘的重要选择。

### 3.2 布袋除尘器

布袋除尘器是电厂锅炉烟气除尘的主流设备, 凭借其高效稳定的性能, 在环保领域发挥着重要作用。锅炉烟气主要来自燃料燃烧, 具有温度波动大、粉尘粒径分布广、含腐蚀性气体等特点。传统除尘技术难以满足需求, 而布袋除尘器成为首选。其工作原理是采用过滤-清灰循环机制。含尘气体经导流装置进入滤袋室, 粉尘被滤料拦截或吸附, 净化气体排出。随着滤袋表面粉尘层增厚, 通过脉冲喷吹等方式清灰, 恢复过滤性能。布袋除尘器优势明显, 它对0.1-100 $\mu\text{m}$ 粒径范围的粉尘捕集效率达99%以上, 尤其适用于超低排放标准。通过选择耐高温、耐腐蚀滤料, 可处理高温、高湿、高腐蚀性烟气。

模块化设计便于维护，清灰系统可减少停机时间。还能与脱硫、脱硝系统协同运行，降低综合治理成本。在某燃煤锅炉改造项目中，改用布袋除尘器后，颗粒物排放浓度降至 $8\text{mg}/\text{m}^3$ ，能耗降低，运维成本下降。

### 3.3 旋转电极除尘器

旋转电极除尘器是电厂锅炉烟气除尘的先进技术，为改善空气质量提供了有力支持。(1) 除尘高效：旋转电极除尘器能有效捕集烟气中的粉尘，尤其是对细颗粒物的去除效果突出。旋转电极的设计增加了粉尘与电极的接触，使更多粉尘被吸附，显著提高了除尘效率。(2) 运行稳定：在运行过程中，它表现出良好的稳定性。通过精确的控制系统，可保持电场强度稳定，即使面对复杂的烟气条件，也能持续高效地工作。(3) 占地较小：与传统除尘器相比，旋转电极除尘器结构紧凑，占地面积小。这一特点使其更适合空间有限的电厂，减少了场地需求。(4) 能耗较低：该除尘器通过优化设计，降低了运行能耗。在保证高效除尘的同时，实现了能源的节约，降低了电厂的运行成本。(5) 适应多样：它对不同煤种和烟气特性具有较强的适应性。无论是高比电阻粉尘，还是粘性粉尘，旋转电极除尘器都能有效应对，确保稳定的除尘效果。

### 3.4 机械式除尘器

机械式除尘器是电厂锅炉烟气除尘中较为基础且实用的技术，在特定场景下发挥着重要作用。它以重力、惯性力和离心力等作为除尘作用力，常见类型有重力除尘器、惯性除尘器和离心除尘器。新型离心除尘器优势众多，构造简单，占地小，价格便宜，操作也不复杂。其材料性能良好，能耐高温、高压和防腐蚀，动能消耗较

小，工作效率却很高。对材料要求低，大颗粒粉尘也能吸入，还易于回收再利用，设备便于管理，通常能吸入 $6\mu\text{m}$ 以上的粉尘颗粒，效率可达80%-90%。不过，机械式除尘器也有局限性<sup>[3]</sup>。它主要适用于烟气中颗粒物较大的情况，对于小颗粒粉尘的处理效果欠佳，并不适用于所有的烟尘环境。在电厂锅炉烟气除尘中，若粉尘粒径较大，可优先考虑机械式除尘器，以较低成本实现初步的除尘。但对于对排放要求较高、粉尘颗粒较细的情况，往往还需结合其他高效的除尘技术，以达到更好的环保效果。

#### 结语：

未来，在环保要求持续趋严的大背景下，电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术将呈现高效化、集成化、智能化的显著发展态势。研发人员会聚焦工艺优化，通过改进流程、采用新型材料等方式，不断提升脱硫脱硝及除尘效率，同时有效降低运行成本。多种技术集成应用会成为主流趋势，整合不同技术优势，实现对各类污染物更全面、精准的控制。智能化监测与控制系统也将深度融合，凭借实时数据反馈，自动精准调整运行参数，确保设备始终稳定且高效运行，为电厂绿色可持续发展筑牢坚实根基。

#### 参考文献：

- [1] 王晓玲. 电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术探究[J]. 中国设备工程, 2025(10): 104-106.
- [2] 安恩政, 何仙平. 探究电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术[J]. 天津化工, 2021, 35(1): 83-85.
- [3] 关忠亮. 锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术分析[J]. 热处理技术与装备, 2025, 46(4): 52-55.