

# 燃煤火电厂超低排放技术路线研究

李 鹏 王海龙 周润琦 江怡诺 朱禹东

华能国际电力股份有限公司丹东电厂 辽宁 丹东 118300

**摘要:** 燃煤火电厂排放问题备受关注, 本文深入探讨超低排放技术路线。针对颗粒物, 研究电除尘优化、袋式除尘核心、电袋复合除尘集成及湿式电除尘深度净化等技术; 对于二氧化硫, 分析石灰石-石膏湿法脱硫优化、半干法脱硫深度净化等多种技术; 对氮氧化物, 阐述低氮燃烧优化、SCR脱硝等技术。同时, 还探讨了多污染物协同控制技术路线, 为燃煤火电厂实现超低排放、提升环境效益提供全面技术参考。

**关键词:** 燃煤火电厂; 超低排放; 颗粒物脱除; 二氧化硫控制; 氮氧化物减排

引言: 随着环保要求日益严格, 燃煤火电厂超低排放成为必然趋势。燃煤火电厂排放的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等污染物, 对大气环境和人体健康危害巨大。实现超低排放, 不仅能有效改善空气质量, 还能推动电力行业可持续发展。当前, 多种超低排放技术不断发展, 但不同技术有各自特点与适用范围。深入系统研究这些技术路线, 有助于电厂根据自身情况合理选择与应用, 实现高效、经济、稳定的超低排放目标。

## 1 燃煤火电厂颗粒物超低脱除技术路线

### 1.1 电除尘优化技术路线

电除尘器在燃煤火电厂颗粒物脱除中扮演关键角色。为达成超低排放目标, 需从多方面进行优化。电极结构改进是重要一环, 传统电极在电场分布和粉尘荷电能力上存在局限<sup>[1]</sup>。新型电极如鱼骨针刺电极, 其独特的形状设计能增强电场边缘效应, 使电场分布更均匀, 提高粉尘的荷电效率。供电系统升级同样不可或缺, 传统工频电源在电压和频率稳定性上欠佳。高频电源凭借高频率特性, 能快速调整输出电压, 为电场提供稳定且高强度的电力支持, 有效提升除尘效率。气流分布优化也不容忽视, 通过在电除尘器入口处设置导流板, 合理引导烟气流动, 避免局部气流速度过快或过慢, 确保粉尘在电场中充分荷电并被捕集。

### 1.2 袋式除尘核心技术路线

袋式除尘技术凭借高效过滤特性在颗粒物脱除领域占据重要地位。滤料选择是袋式除尘核心要点之一。选用具有高过滤精度、低阻力、耐高温、耐腐蚀等特性的滤料, 如聚苯硫醚(PPS)针刺毡、聚酰亚胺(PI)滤料等, 可适应燃煤火电厂复杂烟气环境。并且, 对滤料进行表面处理, 如覆膜处理, 可进一步提高滤料过滤效率, 降低颗粒物排放浓度。清灰系统设计关乎袋式除尘器运行稳定性与寿命。采用脉冲喷吹清灰方式, 合理设置喷

吹压力、喷吹周期及喷吹时间等参数。喷吹压力过高可能损坏滤袋, 过低则清灰效果不佳; 喷吹周期与时间需根据烟气含尘浓度、滤袋积灰情况等因素综合确定, 确保滤袋表面粉尘有效清除, 同时避免过度清灰导致滤袋磨损加剧。此外, 袋式除尘器结构优化也有助于提升性能。优化除尘器箱体结构, 减少气流死角, 降低二次扬尘产生几率。合理设计进出风口位置与气流走向, 使烟气在除尘器内均匀流动, 提高过滤效率。通过以上核心要点把控, 袋式除尘技术可实现燃煤火电厂颗粒物超低排放。

### 1.3 电袋复合除尘集成技术路线

电袋复合除尘技术结合电除尘与袋式除尘优势, 为颗粒物超低脱除提供新途径。在电袋复合除尘器中, 前级电场发挥预除尘作用, 去除大部分粗颗粒物, 减轻后级滤袋负荷。通过优化前级电场参数, 如电场强度、极板极线配置等, 提高预除尘效率, 使进入滤袋区的颗粒物浓度显著降低。后级滤袋区进一步精细过滤剩余颗粒物。滤料选择与袋式除尘相同, 注重过滤性能与适应性。并且, 电袋复合除尘器中电场与滤袋区协同作用需精心设计。合理控制电场与滤袋区间气流速度, 确保气流平稳过渡, 避免因气流紊乱影响除尘效果。同时, 通过智能控制系统实现电场与清灰系统联动, 根据烟气工况与颗粒物浓度变化, 自动调整电场运行参数与清灰周期, 保障电袋复合除尘器高效稳定运行, 达成颗粒物超低排放目标。

### 1.4 湿式电除尘深度净化技术路线

湿式电除尘技术通过水膜清灰实现颗粒物深度净化。在湿式电除尘器中, 阳极板采用耐腐蚀材料, 表面形成均匀水膜。含尘烟气通过电场区域, 颗粒物荷电后向阳极板移动并被水膜捕获, 随水流至灰斗排出。为提升湿式电除尘性能, 需优化喷淋系统。合理设计喷嘴布局与

喷淋量,确保阳极板表面水膜均匀连续,有效冲洗捕获颗粒物。同时,控制循环水水质,防止水中杂质堵塞喷嘴或影响水膜形成。并且,湿式电除尘器与前端除尘设备协同运行至关重要。前端电除尘或袋式除尘等设备先去大部分颗粒物,降低湿式电除尘入口颗粒物浓度,减轻其负荷,提高整体除尘效率,实现燃煤电厂颗粒物深度净化与超低排放。

## 2 燃煤电厂二氧化硫超低控制技术路线

### 2.1 石灰石-石膏湿法脱硫优化技术路线

石灰石-石膏湿法脱硫是燃煤电厂广泛应用二氧化硫控制技术。优化该技术首先从吸收剂制备入手。选用优质石灰石原料,控制其粒度与纯度,确保吸收剂反应活性<sup>[2]</sup>。采用高效磨机将石灰石磨制成合适粒径粉末,提高石灰石溶解速率与反应效率。吸收塔内部优化是关键环节。合理设计吸收塔结构,如喷淋层布置、除雾器选型等。增加喷淋层数量或优化喷嘴布置,提高吸收剂与烟气接触面积与混合程度,增强二氧化硫吸收效果。选用高效除雾器,降低出口烟气流雾滴含量,减少石膏浆液携带,提高脱硫效率与石膏品质。同时优化运行参数对石灰石-石膏湿法脱硫至关重要。根据煤种含硫量、烟气量等变化,实时调整石灰石浆液供给量、氧化空气量等参数,确保吸收塔内化学反应稳定进行,实现二氧化硫超低排放。

### 2.2 半干法脱硫深度净化技术路线

半干法脱硫技术具有节水、占地面积小等优点。实现深度净化需优化脱硫剂制备。采用生石灰消化工艺制备氢氧化钙浆液,控制消化温度、水灰比等参数,将消化温度控制在60-70℃,水灰比控制在0.8-1.0,提高氢氧化钙活性与脱硫剂质量。在脱硫反应器设计方面,合理选择反应器类型,如循环流化床反应器。优化反应器内部结构,如布风装置、文丘里管等,确保烟气与脱硫剂充分混合,延长反应时间,使烟气与脱硫剂混合时间达到3-5s,提高二氧化硫脱除效率。并且,通过控制反应器入口烟气温度、脱硫剂加入量等参数,使反应在最佳工况下进行,将反应器入口烟气温度控制在120-150℃,脱硫剂加入量根据烟气中二氧化硫含量在50-100kg/h之间动态调整,实现半干法脱硫深度净化与二氧化硫超低控制。

### 2.3 干法脱硫高效集成技术路线

干法脱硫技术具有工艺简单、无废水排放等优势。高效集成干法脱硫技术需综合多种手段。选用高效脱硫剂,如活性炭、金属氧化物等,提高对二氧化硫吸附与反应能力,使活性炭对二氧化硫的吸附容量达到50-80mg/g。采用多级脱硫工艺,将不同脱硫原理设备串联或并联。例

如,先通过干法吸收塔初步脱除二氧化硫,再利用催化氧化装置将剩余二氧化硫进一步转化为硫酸盐等稳定物质。同时优化各设备间气流分配与参数匹配,确保各设备间气流分配均匀性偏差控制在±5%以内,确保整个干法脱硫系统高效稳定运行,实现二氧化硫高效脱除与超低排放。

## 2.4 脱硫副产物协同处理技术路线

脱硫副产物如石膏、硫酸盐等若处理不当会造成二次污染。协同处理技术将脱硫副产物资源化利用与污染控制相结合。对于石膏副产物,通过优化脱硫工艺参数,提高石膏品质,使其满足建筑、化工等行业需求,实现资源化利用。对于硫酸盐等副产物,探索与其他工业过程协同处理途径。例如,将硫酸盐用于化肥生产原料,或与其他废弃物协同处理制备新型材料。通过脱硫副产物协同处理,不仅减少环境污染,还实现资源循环利用,提升燃煤电厂综合效益。

## 3 燃煤电厂氮氧化物超低减排技术路线

### 3.1 低氮燃烧优化技术路线

低氮燃烧技术通过控制燃烧过程减少氮氧化物生成<sup>[3]</sup>。优化燃烧器结构是重要手段。采用低氮燃烧器,如浓淡分离燃烧器、分级燃烧器等,合理组织燃料与空气混合,形成局部还原性气氛,抑制燃料型氮氧化物生成。控制燃烧参数对低氮燃烧效果影响显著。调整一次风与二次风比例、风速及风温等参数,控制燃烧区域温度与氧浓度分布。降低燃烧初期氧浓度,延长燃料在还原性气氛中停留时间,减少热力型与燃料型氮氧化物生成。并且,根据煤种特性与锅炉负荷变化,实时调整燃烧参数,确保低氮燃烧技术稳定有效运行,实现氮氧化物源头减排。

### 3.2 选择性催化还原(SCR)脱硝技术路线

SCR脱硝技术利用催化剂在合适温度窗口将氮氧化物还原为氮气与水。催化剂选型是SCR技术核心。根据烟气成分、温度等条件,选用合适催化剂活性成分、载体及制备工艺。确保催化剂在燃煤电厂复杂烟气环境中具有高活性、高选择性及长寿命。优化反应器设计对SCR脱硝效率至关重要。合理确定反应器尺寸、催化剂层数及布置方式,确保烟气均匀通过催化剂层,提高反应接触面积与时间。同时控制反应器入口烟气温度、氨氮比等参数,使反应在最佳条件下进行,实现氮氧化物高效脱除与超低排放。

### 3.3 选择性非催化还原(SNCR)脱硝技术路线

SNCR脱硝技术无催化剂条件下,将还原剂喷入炉膛合适温度区域,将氮氧化物还原。还原剂选择影响SNCR技术效果。常用还原剂如氨水、尿素等,根据锅炉

结构与运行工况选择合适还原剂。喷嘴布置与还原剂喷射参数优化是关键。合理布置喷嘴位置与数量,确保还原剂均匀喷入炉膛,与烟气充分混合。控制还原剂喷射速度、流量及喷射角度等参数,使还原剂在合适温度窗口与氮氧化物充分反应,提高脱硝效率,实现氮氧化物减排目标。

#### 3.4 SCR-SNCR联合脱硝集成技术路线

SCR-SNCR联合脱硝技术结合两者优势。在炉膛内合适位置采用SNCR技术进行初步脱硝,降低进入SCR反应器氮氧化物浓度,减轻SCR负荷。利用SCR技术进一步深度脱硝,提高整体脱硝效率。通过智能控制系统实现SCR与SNCR系统协同运行。根据锅炉负荷、烟气成分等变化,自动调整SNCR还原剂喷射量与SCR氨氮比等参数,确保联合脱硝系统在不同工况下稳定高效运行,实现燃煤电厂氮氧化物超低减排。

#### 4 燃煤电厂多污染物协同控制技术路线

##### 4.1 烟尘-二氧化硫-氮氧化物协同脱除技术路线

该技术路线将颗粒物、二氧化硫与氮氧化物脱除设备集成优化。例如,在电袋复合除尘器后串联石灰石-石膏湿法脱硫装置与SCR脱硝装置<sup>[4]</sup>。通过优化各设备间连接方式与气流分配,减少设备间相互影响,提高整体污染物脱除效率。同时,开发具有协同脱除作用新型材料与技术。如研发同时吸附颗粒物、二氧化硫与氮氧化物多功能吸附剂,或采用催化氧化一体化技术,在一个反应器内实现多种污染物协同脱除,降低设备占地面积与运行成本,实现多污染物超低排放。

##### 4.2 烟气协同治理系统集成优化技术路线

烟气协同治理系统集成优化从整体角度出发,对燃煤电厂烟气治理各环节进行统筹规划。将除尘、脱硫、脱硝等设备作为一个整体系统,通过建立数学模型与仿真平台,优化系统布局与参数匹配。考虑各设备间物质流与能量流传递关系,实现资源高效利用。例如,利用脱硫塔余热预热进入SCR反应器烟气,提高反应效率;将除尘器收集粉尘与脱硫副产物协同处理,实现废弃物资源化利用。通过系统集成优化,提升烟气协同治理效果与经济性。

##### 4.3 末端深度净化与前端燃烧优化协同技术路线

末端深度净化技术如湿式电除尘、高效脱硝催化剂等对污染物深度脱除发挥重要作用。前端燃烧优化通过低氮燃烧等技术减少污染物生成。将两者协同可实现更高效多污染物控制。根据前端燃烧调整情况,实时优化末端深度净化设备运行参数。如低氮燃烧使氮氧化物生成量减少,相应调整SCR脱硝系统氨氮比,降低氨逃逸风险。通过末端与前端协同,实现燃煤火电厂多污染物超低排放与稳定运行。

##### 4.4 协同控制技术的能耗优化技术路线

协同控制技术运行伴随一定能耗。能耗优化从设备选型、运行参数调整及能量回收利用等方面入手。选用高效节能设备,如高效风机、泵等,降低设备自身能耗。通过智能控制系统优化运行参数,使设备在最佳效率点运行。并且,加强能量回收利用,如利用烟气余热产生蒸汽或热水,用于厂区供暖或其他生产过程。通过能耗优化,降低协同控制技术运行成本,提升燃煤电厂经济与环境效益。

#### 结束语

燃煤电厂超低排放技术路线涵盖多方面,颗粒物、二氧化硫、氮氧化物脱除及多污染物协同控制技术各有特点与优势。通过不断优化各技术路线,从设备改进、参数调整到协同控制,可有效降低污染物排放。同时应注重能耗优化,提升经济与环境效益。这些技术路线的应用与完善,对燃煤电厂适应环保要求、实现可持续发展具有重要作用,为电力行业清洁生产提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]时岩,邢蕾,欧云,等.火电厂超低排放技术路线对比分析[J].电工技术,2022(19):188-191.
- [2]张华,刘建国.燃煤电厂超低排放改造与能效提升的协同优化研究[J].电力环保,2022,38(4):1-7.
- [3]李斌,王伟.火电厂超低排放技术改造与运行能效分析[J].中国电力,2023,56(3):82-88.
- [4]吕璐.火电厂超低排放改造技术应用研究进展[J].资源节约与环保,2020(09):1-2.