

某燃煤电厂烟气脱硝催化剂再生工程实例

董 宇

大唐南京环保科技有限公司 江苏 南京 211111

【摘 要】：为实现燃煤电厂超低排放目标并降低运行成本，选择性催化还原（SCR）脱硝催化剂的再生技术已成为关键手段。本文以某燃煤电厂超期服役三年的 SCR 脱硝催化剂为工程案例，系统阐述了其再生全过程。通过对失活催化剂的性能评估，确认其具备可再生性，并采用包含物理清灰、化学清洗、活性组分选择性浸渍及分级煅烧等的综合再生工艺进行处理。结果表明：再生后催化剂的微观比表面积由 $32.0 \text{ m}^2/\text{g}$ 显著恢复至 $57.4 \text{ m}^2/\text{g}$ ，有害杂质（如 SO_3 、碱金属）含量大幅降低，活性组分得以有效补充。工艺性能上，催化剂活性由 27.9 m/h 提升至 40.2 m/h （恢复至新鲜催化剂水平的 95%），在维持 86.7% 脱硝效率的同时，氨逃逸由 13.5 ppm 降至 1.2 ppm ， SO_2/SO_3 转化率由 1.50% 降至 0.96%。本工程实例证明，科学的再生工艺能高效恢复催化剂性能，显著降低喷氨成本与环保风险，为同类电厂催化剂的循环利用与降本增效提供了可靠的技术借鉴和实证数据。

【关键词】：SCR 脱硝催化剂；再生；工程实例；性能评估；活性恢复；某燃煤电厂

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.067

引言

氮氧化物（ NO_x ）是燃煤电厂烟气排放的主要大气污染物之一，是形成光化学烟雾、酸雨和细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）的重要前体物，对生态环境和人体健康构成严重威胁。为此，我国实施了日益严格的环保标准，要求燃煤电厂 NO_x 排放浓度不得高于 $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ （超低排放要求）^[1,2]。选择性催化还原（Selective Catalytic Reduction, SCR）技术因其高脱硝效率和技术成熟度，已成为国内外燃煤电厂控制 NO_x 排放的首选工艺。

SCR 系统的核心是催化剂，其性能直接决定着脱硝效率、运行成本及系统稳定性。通常，商用 SCR 催化剂（如 V_2O_5 - WO_3 /TiO₂ 系）的设计寿命约为 3-5 年。在实际运行中，催化剂会因飞灰堵塞、碱（土）金属（K, Na, Ca 等）中毒、砷（As）中毒、硫酸堵塞、热烧结等多种物理化学因素而逐渐失活^[2,3]。失活导致催化剂活性下降，为维持规定的脱硝效率，往往需大幅提高喷氨量，这不仅增加了运行成本，还会导致氨逃逸升高，引发下游空气预热器堵塞腐蚀、粉煤灰品质下降等一系列问题^[4]。

面对失活催化剂，传统做法是直接更换新催化剂。然而，新催化剂成本高昂，且废弃的催化剂作为危险废物，其处置费用高且存在环境风险。相比之下，催化剂再生技术通过对失活催化剂进行清洗、活性组分补充和热处理，恢复其催化性能，成为一种兼具经济效益与环境效益的绿色解决方案^[5]。成功的再生不仅能恢复催化剂活性，还能显著降低电厂的运营成本和固体废物产生量，符合循环经济的理念。

目前，虽然催化剂再生技术在理论上已被证明可行，但在实际大型燃煤电厂机组中的应用效果、长期运行的稳定性以及具体的经济效益仍需更多的工程实例数据支撑与验证。不同电厂因煤质、锅炉类型、运行工况差异，催化剂的失活机理和程度各不相同，因此，针对特定案例的再生工艺优化与性能评估研究具有重要意义。

本研究基于某燃煤电厂#X 机组 SCR 脱硝催化剂的再生工程实例，旨在：详细阐述针对超期服役、复合失活催化剂的性能评估与再生工艺流程；通过对比再生前后催化剂的理化性能（比表面积、化学成分、机械强度）与工艺性能（活性、氨逃逸、 SO_2 / SO_3 转化率），科学评估再生效果；总结该再生工程的经济与环境效益，为同类型机组的 SCR 催化剂延寿与降本增效提供切实可行的工程借鉴和决策依据。

1 项目概况

某电厂烟气量为 $1010698 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ （BMCR），其中 NO_x 排放量约为 $1200 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ （干基，6% O_2 ）。为了达到 NO_x 排放量降低至 $160 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，该电厂采用双反应器采用氨气 SCR 法脱硝工艺，反应器催化剂共设计 3+1 层，催化剂为平板式催化剂。SCR 催化剂选用活性成分为 V_2O_5 、TiO₂、 MoO_3 的平板式脱硝催化剂。设计运行温度范围为 $333\sim 420^\circ\text{C}$ ，设计脱硝效率 86.7%（ $1500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 至 $160 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）。再生前催化剂投运约五年，超过设计年限三年。

经再生前抽样性能评估与技术经济分析，将该批次 399.6m³ 催化剂交于大唐南京环保科技有限公司再生处理。再生后，催化剂理化性能和工艺性能指标满足设计和使用要求，既能实现资源循环利用，也能大幅节省生产运行成本。

2 再生工艺

（1）性能评估

失活催化剂能否再生，与催化剂失活原因及再生的难易程度相关。较易再生的失活催化剂状况包括：磨损、积灰或金属氧化物等，而对于永久性的重度中毒或热烧结引起的失活则则很难或根本无法再生。因此，对于入厂的废旧脱硝催化剂，应在前期进行失活诊断，判断其再生价值及可使用率^[6,7]，其步骤具体如图 1 所示。

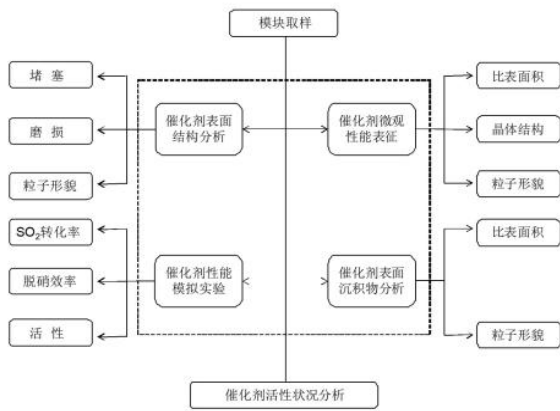


图1 催化剂性能评估流程图

(2) 再生工艺

经过严格的性能评估和失活诊断后，挑选出可再生的废旧催化剂进行再生处理。一般来说，SCR脱硝催化剂再生包括以下几个步骤：物理清灰、化学清洗、超声处理、离子去除、预干燥、选择性浸渍、干燥及分级煅烧等^[3,8]。催化剂再生工艺流程图如图2。

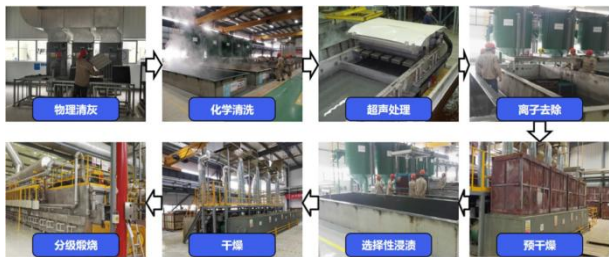


图2 催化剂再生工艺流程图

3 应用效果

某燃煤电厂再生前、后催化剂理化性能指标如表1所示，再生前、后催化剂工艺性能指标如表2所示。

表1 再生前、后催化剂理化性能指标

项目		再生前	再生后
微观比表面积/(m ² /g)		32.0	57.4
成分检测	TiO ₂	66.5	88.1
	MoO ₃	1.63	0.70
	V ₂ O ₅	0.46	1.43
	SiO ₂	13.8	4.03
	SO ₃	7.40	0.53

	CaO	1.45	0.68
	MgO	0.20	0.06
	Na ₂ O	0.77	0.03
	K ₂ O	0.23	0.02
	As ₂ O ₃ [®]	0.14	0.04
磨损强度/(mg/100U)		118.6	82.4

从表1可以看到，再生后催化剂比表面积增大近一倍，说明该再生工艺能有效清除脱硝催化剂表面及孔道中的飞灰和杂质；再生后由粉尘沉积和硫酸氢铵生成的产生的SiO₂和SO₃含量大幅降低，碱金属(Na、K)、碱土金属(Ca、Mg)含量和重金属(As₂O₃)含量下降，而TiO₂、MoO₃、V₂O₅等主要活性组分含量增加，说明通过多级清洗和活性组分浸渍，催化剂失活中毒状况明显好转，活性组分得以恢复。

表2 再生前、后催化剂理化工艺性能指标

项目	再生前	再生后
活性/ m/h	27.9	40.2
氨逃逸/ppm	13.5	1.2
整体脱硝效率/%	86.7	86.7
SO ₂ /SO ₃ 转化率/%	1.50	0.96

通过催化剂性能测试(表2)，再生后催化剂活性由27.9 m/h提升至40.2 m/h，据测算催化剂活性值已恢复到新鲜催化剂初值的95%。在保证脱硝效率不低于86.7%的条件下，氨逃逸由再生前的13.5 ppm下降至再生后的1.2 ppm，既能避免NO_x超标的环保风险，也能大量节省喷氨成本。而SO₂/SO₃转化率由1.50%显著下降至0.96%，能够有限避免硫酸氢铵的生产以及下游空预器的堵塞。

4 结论

该燃煤电厂催化剂失活催化剂经性能评估和再生处理后，催化剂表面及孔道中的飞灰和杂质有效去除，催化剂失活中毒状况明显好转，活性组分得以恢复；再生后催化剂活性由27.9 m/h提升至40.2 m/h，氨逃逸由再生前的13.5 ppm下降至再生后的1.2 ppm，既能避免NO_x超标的环保风险，也能大量节省喷氨成本；而SO₂/SO₃转化率由1.5%显著下降至0.96%，能够有限避免硫酸氢铵的生产以及下游空预器的堵塞。既能实现资源循环利用，也能大幅节省生产运行成本。

参考文献:

- [1] 胡颂(Hu Song),邓斯雅(Deng Si Ya).环境保护科学,2025,51(02):112-119.
- [2] 文朝璐(Wen Chao Lu).山西大学,2024.
- [3] 陈福泰(Chen Fu Tai).废弃脱硝催化剂五氧化二钒再生利用技术与工艺研究.
- [4] 张佳新(Zhang Jia Xin).化工管理,2025,(18):72-75.
- [5] 李国峰(Li Guo Feng),仲超(Zhong Chao),郭凯凌(Guo Kai Ling),郭景虎(Guo Jing Hu),黄纪荣(Huang Ji Rong).能源化工,2023,44(06):68-72.
- [6] 王峰(Wang Feng),于存河(Yu Cun He),罗瑞峰(Luo Rui Feng),张洋(Zhang Yang),余占鹏(Yu Zhan Peng),张世晟(Zhang Shi Sheng).清洗世界:1-3.
- [7] 齐莹莹(Qi Ying Ying),同召建(Tong Zhao Jian),李帅(Li Shuai),于艳科(Yu Yan Ke),何焜(He Chi).环境保护科学,2022,48(06):6-15.
- [8] 郭博闻(Guo Bo Wen),胡凯妮(Hu Kai Ni).化工管理,2023,(22):4-7.