

捣固焦炉烟道气脱硫脱硝装置运行实践及改进

余洲

贵州盘江电投天能焦化有限公司

摘要：2012年国家发布了《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB16171-2012)，对炼焦化学工业企业的SO₂和NO_x排放给出了明确的限值，开始对SO₂和NO_x的排放进行逐步的和有效的控制。为了满足国家标准要求，贵州盘江电投天能焦化有限公司决定进行技术改造，建设焦炉烟道气脱硫脱硝装置，满足国家对环保的指标要求。该装置建设对改善当地环境空气质量，提高人民群众的生活质量水平有重要意义，同时还可以回收焦炉烟道气经脱硫脱硝装置后所排出的烟气显热，节约能源。

关键词：捣固焦炉；脱硫系统；脱硝系统；问题与改进

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.10.112

一、工艺介绍

(一) 总述

贵州盘江电投天能焦化有限公司焦炉烟道气脱硫脱硝装置主要由脱硫塔、除尘脱硝一体化装置、余热锅炉、引风机、烟气管道等组成。



从焦炉总烟道抽取焦炉烟道气，首先进入脱硫塔，在脱硫塔内进行脱硫，主要脱除烟气中的SO₂、H₂S等；从脱硫塔出来的脱硫后烟气进入除尘脱硝一体化装置，烟气在除尘脱硝一体化装置内先经布袋除尘，除尘后的烟气与喷氨装置喷入的稀释氨气充分混合。混合后的烟气进入脱硝催化剂层，在催化剂作用下发生SCR脱硝反应，脱除烟气中的NO_x。净化后的洁净烟气经过余热锅炉回收显热，产出0.6MPa低压蒸汽和90℃热水，最后烟气再由引风机经总烟道送回烟囱排入大气。净化烟气的排气温度大于145℃，满足烟囱热备要求。

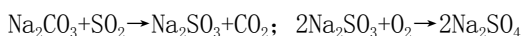
(二) 脱硫系统

从焦炉总烟道开孔抽取的烟气在脱硫塔的上部经过烟气分配器均匀分布后进入脱硫塔，在脱硫塔中间部分脱硫剂溶液与烟气充分接触反应吸收SO₂、H₂S等酸性气

体，生成脱硫灰的大颗粒从脱硫塔底部排出。

脱硫塔设有脱硫剂溶液顶罐及旋转雾化器，顶罐内的脱硫剂溶液自流入脱硫塔顶部雾化器，溶液经雾化器旋转雾化成50 μm的雾滴，与脱硫塔内烟气接触迅速完成吸收SO₂等酸性气体的反应。由于Na₂CO₃溶液是极小的雾滴，增大了脱硫剂与SO₂接触的比表面积，反应极其迅速且有极高的脱除SO₂效率。由于喷入塔内的Na₂CO₃溶液是极细的雾滴，在180~280℃温度条件下，Na₂CO₃溶液遇热蒸发，完成反应后的脱硫产物也为极细的颗粒，因此完成反应的同时也迅速干燥。脱硫塔内未反应的Na₂CO₃与反应生成的Na₂SO₃、Na₂SO₄干粉大部分与烟气一同经脱硫塔出口管道进入除尘脱硝一体化装置。

烟气脱硫主要化学反应方程式：



(三) 脱硝系统

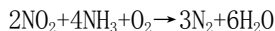
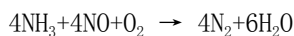
脱硫后烟气进入除尘脱硝一体化装置除尘部分完成气固分离。除尘器分离出来的脱硫副产品收集在灰斗内，由气动排尘阀溜入输灰刮板输送机，再汇入集料刮板输送机，经斗式提升机送入脱硫灰仓外运或作为脱硫溶液补充。

除尘净化后的烟气与氨气充分混合后，进入催化剂层，发生SCR脱硝反应，脱除烟气中的NO_x。

SCR脱硝技术是一个燃烧后NO_x控制工艺，整个过程包括将还原剂氨(NH₃)喷入焦炉烟气中，含有氨气的混合烟气在催化剂的作用下，氨气同NO_x发生还原反应，转化成无害的氮气(N₂)和水蒸气(H₂O)。

在反应过程中，NH₃可以选择性地和NO_x反应生成N₂和H₂O，而不是被O₂所氧化，因此反应又被称为“选择性”。

其主要反应式为：



装置使用的脱硝催化剂主要成分：V-Mo-TiO₂（矾、钼、钛氧化形态），催化剂采用均匀蜂窝状，模块化放在反应器内部的支撑梁上。

(四) 余热回收及引风机

余热回收系统主要由热管蒸发器、省煤器、预热器、汽包、除氧水箱、除氧水箱、除氧器、除氧水泵、锅炉给水泵、加压泵等组成。烟气先经过蒸发器，后经过省煤器，最后经过热管预热器。主要作用是吸收烟气中的余热，最终产生90℃热水和0.6MPa低压蒸汽外送。

引风机采用离心风机，通过永磁调速器来调节压力和流量，既能满足焦炉加热吸力调整要求，又可以达到

节能目的。

二、运行实践及存在的问题

装置投运后，通过参数调整，可以实现设计目标，甚至在优化调整后可以实现超低排放，达到《炼焦化学工业大气污染物排放标准》（征求意见稿）大气污染物排放限值要求，但也存在一些问题。

1. 配合煤水分重、焦炉持续满负荷时，焦炉加热用煤气量增加，产生的废气接近引风机的设计负荷，造成分烟道吸力不够，影响焦炉正常燃烧，焦炉烟气中CO含量偏高，焦炉燃烧室部分立火道内出现“黑雾”。

2. 除尘脱硝一体化装置除尘段布袋达到10米长，在烟气的冲击下容易出现摆动，造成布袋出现磨损导致通洞甚至断裂，导致烟囱冒灰。

3. 入口SO₂指标投运初期波动较大，甚至提高喷液量的情况下无明显效果，烟气在线监测结果与取样色谱分析结果差异大。

4. 脱硫雾化器采用循环水冷却，由于循环水含有一定的矿物质及盐类，长期在高温烟气烘烤下，雾化器雾化轮容易结垢，造成雾化器振动值增大甚至跳停，导致烟气出口SO₂指标波动。

5. 装置采用SDA半干法脱硫，脱硫剂为碳酸钠（Na₂CO₃），配制溶液过程存在溶液泄漏污染环境的风险。脱硫溶液呈碱性，具有一定温度，对设备设施有一定的腐蚀性，同时脱硫液冷却后会结晶堵塞管道，需要一直搅拌。脱硫后产生的脱硫灰以硫酸钠（Na₂SO₄）、亚硫酸钠（Na₂SO₃）为主，处理存在一定难度。

6. 装置主要设备如引风机为单系统运行，引风机及其电机维护不便，特别是出现故障时容易造成烟气出口指标超标；余热锅炉无旁路，余热锅炉内检或故障时需停运脱硫脱硝装置，易造成烟气出口指标超标，进而导致公司生产经营和生存发展出现风险。

三、技术改进措施

焦炉烟道气脱硫脱硝装置运行是一个系统工程，要从焦炉燃烧系统优化、脱硫脱硝装置差压控制和工艺参数优化控制等方面入手。

（一）焦炉燃烧系统优化

1. 稳定配合煤水分，同时根据配合煤水分、焦炉负荷及时调整焦炉加热制度，跟踪执行情况，保证焦炉严密性，对标《炼焦团体标准》，在确保焦炭成熟的情况下使用最少的焦炉煤气，从而产生最少的燃烧废气。

2. 建设焦炉加热精准控制系统。焦炉加热精准控制系统包括立火道红外线测温系统、加热控制系统、单燃烧室自动控制系统等。通过数据采集与分析、模型控制，实现焦炉自动测温、单燃烧室控制，从而达到以下目的。

①节约煤气用量≥1%。

②提高焦炉温度的稳定性，直行温度日均匀系数≥0.9。

③根据燃烧室立火道平均温度与标准温度的偏差，自动调整加热煤气流量，使直行温度日安定系数达到0.9以上。

④实时监测燃烧室立火道温度，根据温度测量结果自行调整，实现单燃烧室温度自动控制。

⑤焦炉直行温度实现自动控制，减少测温工测温频次和温度处理频次，降低了劳动强度，改善了工作环境。

3. 建设焦炉燃烧废气回配系统。在焦炉地下室间台设置焦炉烟气引风机和附属管道等设备设施，焦炉烟气从焦炉地下室机、焦侧分烟道顶部或侧壁开孔分别引出，经引风机加压后掺配到上升废气盘空气中，从而降低入炉空气的含氧量，进而使煤气在燃烧室立火道燃烧时燃烧速度降低，燃烧火焰拉长，在提高火焰高度和高向加热效果的同时降低了火焰燃烧温度，避免了燃烧高温点，降低了燃烧废气中NOX生成量，即降低了焦炉烟道气NOX初始浓度，减小了烟气脱硝装置处理压力；焦炉燃烧时立火道加热更加均匀，也降低了加热用煤气量，进而降低了燃烧废气生成量，减轻了脱硫脱硝装置引风机负荷压力。

（二）脱硫脱硝装置差压控制

1. 除尘脱硝一体化装置差压控制在1200Pa左右。过大，系统阻力偏大，引风机运行吃力，烟气分配不均匀，出口指标波动大。过小，布袋外壳挂料（碳酸钠）少，脱硫反应效果不稳定，出口SO₂指标波动。

布袋脉冲吹扫系统要正常运行，要定期检查喷吹管是否吹歪或脱落，检查布袋是否通洞或脱落；检查金属泡沫层、催化剂层是否明显积灰，催化剂模块之间密封条是否脱焊脱落。发现异常及时彻底处理。

2. 余热锅炉差压控制在1400Pa左右，定期清理余热锅炉底部积灰，减少运行阻力。

3. 定期对烟气管道进行红外透视检查，确认管道内部是否明显积灰，特别是弯道大的区域。发现明显积灰及时清理，减小运行阻力。

（三）脱硫脱硝装置工艺参数优化控制

1. 原脱硫脱硝装置回风管道只与焦炉总烟道相连，净化后的烟气经总烟道从烟囱排入大气。现利用焦炉烟囱原烘烟囱孔，从回风管道引出一根支管直接接入烟囱，利用烟囱本身吸力辅助引风机将烟气抽入烟囱排向大气，在一定程度上提高了引风机机后吸力，降低引风机负荷压力。

2. 利用余热锅炉系统锅炉给水泵，在锅炉给水泵出水管引出一根支管，将脱硫塔雾化器冷却水由循环水改为除氧水，同时在雾化器进料管新增Y型过滤器，过滤掉脱硫剂溶液中的大颗粒，以上改造大大改善了雾化器雾化轮结垢和堵塞情况，确保了雾化器长期安全稳定运行。

3. 对现有SDA半干法脱硫工艺进行改造，采用SDS干

法脱硫或将脱硫剂由碳酸钠改为高活性氢氧化钙，这样可以避免脱硫溶液对环境的污染风险，产生的脱硫灰硫酸钙（CaSO₄）、亚硫酸钙（CaSO₃）为主，可以用来掺配炼焦或者销售往水泥厂，处理比较容易。

SDS干法脱硫系统中干脱硫剂制备系统通过气力输送将经过研磨的脱硫剂（超细粉）喷入脱硫段烟气管道中，钠基或钙基粉体在高温废气中激活热分解，与废气中的SO₂充分接触、发生化学反应，进行SO₂吸收净化。整个系统属于全干系统、无需用水，系统无需严格防腐更无废水产生。

4. 在余热锅炉增加旁路。从余热锅炉入口新增旁路至原引风机出口，同时在余热锅炉入口、原引风机出口及旁路安装隔断阀，系统新增一台引风机，实现烟气切换。可将余热锅炉单独停运进行维护保养和故障处理，同时两台引风机一用一备，有足够的时间进行引风机维护保养和故障处理，提高脱硫脱硝装置整体运行稳定性，降低环保风险，提高生存力。



5. 采用褶皱布袋。脱硫脱硝装置除尘脱硝一体化装置原设计采用平滑覆膜布袋，布袋长达10米。布袋过长，容易出现摆动。布袋上的玻纤复合针刺毡覆膜容易磨损掉落，布袋频繁出现通洞破损情况，导致除尘装置满足不了环保需求。

为提高装置运行稳定性，将平滑覆膜布袋（φ160×10020mm）更型为覆膜褶皱布袋（φ160×8000mm），同时对袋笼进行了升级。不仅布袋长度变短了，减少摆动和磨损，降低了布袋通洞和折断频次，烟囱冒烟次数大大减少，隔仓检查更换布袋的作业频次大大降低，有效降低了工人劳动强度。同时，在不改变布袋条数的前提下，整个除尘器布袋的过滤面积增加了10%，除尘器内过滤风速减小，进一步降低了过滤风速对布袋的冲击，还提高了过滤效果和脱硫剂在布袋表面的挂料量，提高了烟气二次脱硫效果，使出口指标更加稳定可控。

6. 在线监测仪表升级改造。原烟气出口在线监测装置测量SO₂采取非分散红外吸收法（NDIR），原理是利用分子吸收红外光的特性来测量样品中特定气体的浓度。NDIR技术使用的红外光源通常是一种可调谐的激光二极管或红外灯。样品气体与红外光发生作用时，特定波长的光被吸收，这个波长与样品中气体的分子结构有关。被吸收的光通过检测器测量，产生一个与气体浓度成正比的信号。

在实际监测过程，由于烟气中存在一定浓度的CH₄，非分散红外吸收法的吸收光谱显示SO₂在波长为

7.2~7.6 μm和8.4~9.0 μm段有2个特定吸收峰，其中7.2~7.6 μm吸收峰的吸收强度更明显；CH₄的吸收峰在波长为7.2~8.3 μm之间，两者在波长为7.2~7.6 μm之间存在明显的重叠，原烟气SO₂在线监测仪使用波长为7.3 μm，出现明显重叠干扰，导致SO₂在线监测显示结果偏高。

将出口烟气SO₂在线监测仪表改为紫外吸收法原理，SO₂对紫外光区内190~230nm或280~320nm特征波长光具有选择性吸收，根据朗伯—比尔定律定量测定废气中二氧化硫的浓度，可排除CO、CH₄等烟气中其他组分对SO₂在线监测结果的干扰，提高测量结果准确性，有效指导参数调整，确保出口烟气在线监测指标真实有效、稳定达标。

（四）其他

1. 对脱硫脱硝装置地面进行防渗透处理，特别是采用钠基脱硫时，防止脱硫灰外泄时对地面、土壤和地下水造成污染。

2. 定期更换余热锅炉预热器、省煤器和蒸发器，提高换热效果，降低引风机入口烟气温度，进而降低工况风量和引风机负荷压力。

3. 对焦炉蓄热室进行清灰，避免蓄热室阻力过大增加引风机运行压力。定期检查总烟道，确认内部是否掉砖、积水，发现异常及时彻底处理。

4. 根据出口烟气指标控制要求，增加脱硝催化剂层数，提高烟气脱硝效果。

5. 根据《炼焦化学工业大气污染物排放标准》（征求意见稿）大气污染物排放限值要求全面梳理短板和不足，制定分级管控措施并严格落实。

四、结语

通过以上优化操作和技术改造，焦炉烟道气脱硫脱硝装置运行稳定性得到巩固，焦炉有组织排放风险得到有效管控，企业环保风险有效降低，市场竞争力得到加强，同时有效履行了社会职责。随着焦炉设计及建造技术的不断升级和完善，焦炉烟道气脱硫脱硝源头预防和过程管控越来越系统化，焦炉本质安全环保性越来越得到体现！

参考文献

[1] 炼焦热工管理/刘武镛，孙红艳主编. —北京：冶金工业出版社，2011. 1
 [2] 炼焦学/姚昭章，郑明东主编. -3版. —北京：冶金工业出版社，2005. 06
 [3] 刘芳. 焦化厂焦炉烟气脱硫脱硝工艺技术分析[J]. 中国资源综合利用，2019（09）：90-92.
 [4] 王永民. 焦化厂焦炉烟气脱硫脱硝工艺技术分析[J]. 天津冶金，2017，（5）：27-29.
 [5] 祁大鹏. 焦炉烟气脱硫脱硝工艺及控制技术[J]. 化工设计通讯，2018，44（10）：215.