

1025t/h 锅炉脱硫、脱硝改造工程实践

王玉龙, 张晓兰, 张剑茹, 张 杰

(太仓港协鑫发电有限公司, 江苏 太仓 215433)

摘 要: 本文针对太仓港协鑫发电有限公司 1025t/h 锅炉脱硫、脱硝系统改造工程实例, 介绍了 1025t/h 锅炉脱硫、脱硝系统改造方案的选择、应用及实际运行效果, 为同类型机组脱硫系统改造提供借鉴和参考。

关键词: 锅炉; 微油点火; 低 NO_x 燃烧器; 脱硝; 空预器; 脱硫; 烟囱

0 引言

太仓港协鑫发电有限公司四台 300MW 机组原烟气脱硫工程采用苏源环保工程有限公司石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺技术, 为两炉一塔设计, 脱硫系统设置旁路挡板门、GGH, 每台炉配置一台 100% 容量的增压风机。

为满足国家“十二五”环保要求公司将 4 台 300MW 机组脱硫系统改造成一炉一塔, 同步取消烟气旁路挡板、GGH、升压风机, 对烟囱进行防腐改造, 对锅炉燃烧器进行微油点火改造, 采用“三合一”引风机。同时新建四台 SCR 脱硝装置, 同步进行低 NO_x 燃烧器改造, 空预器改造。

1 脱硫系统改造

脱硫系统进行一炉一塔升级改造, 取消脱硫烟气旁路挡板, 为提高系统可靠性及降低运行能耗同步取消 GGH、升压风机, 对烟囱进行防腐改造, 对锅炉燃烧器进行微油点火改造。

1.1 取消旁路后影响系统可靠性的因素

(1) 锅炉点火方式

由于取消了旁路, 在锅炉点火时, 烟气中大量的油、灰进入吸收塔, 极易造成塔内浆液污染、中毒, 导致塔内浆液起泡溢流、反应效率降低, 及石膏品质不合格等一系列问题; 因此, 要求锅炉点火尽可能无油点火或微油点火方式。

考虑到投资成本, 我司锅炉点火方式改为微油点火方式, 四支微油点火枪出力为 75+75kg/h, 机组冷态启动耗油约 4t。同时为了缩短锅炉点火时间, 还增加了锅炉炉底加热系统, 保证锅炉点火前炉水温度加热到 60℃ 以上。

(2) 电除尘投运方式

在锅炉点火前即投入后三个电场, 保证启动时大量的油、灰不进入吸收塔。

(3) 塔内排油方式

虽然对锅炉点火方式进行改造, 及电除尘投运方式进行优化, 机组启动时还会有少量的燃油进入吸收塔。因此, 在吸收塔高液位处设置排油口, 在机组启动时, 根据浆液取样情况进行排油。

(4) 吸收塔保护

为防止锅炉尾部再燃等原因造成吸收塔内超温, 对脱硫系统启、停及保护逻辑进行优化。还在塔入口烟道应增设事故冷却系统, 和工艺水、消防水等相连, 以保证在事故情况下保护塔内部件和衬里的安全。主要保护逻辑说明如下:

FGD 保护动作	
A	三台循环泵全停。(延时 3min 向主机 DCS 发“脱硫解列”)
B	吸收塔出口温度 $\geq 70^\circ\text{C}$; 延时 60S 向主机 DCS 发“脱硫解列”(取吸收塔出口温度(三取二))
C	原烟气进口温度 $> 180^\circ\text{C}$, 延时 5min 向主机 DCS 发“脱硫解列”(取吸收塔入口烟道温度(三取二))
逻辑关系: A+B+C (或)	
FGD 烟气投入允许	
A	运行的循环泵数量 ≥ 2
B	搅拌器至少 3 台在运行
C	净烟道挡板门打开
逻辑关系: A&B&C	

(5) 冗余设计

FGD 系统对故障率高的系统要提供冗余设计。例如氧化风机、石膏浆液排出泵、石灰石浆液泵、除雾器冲洗水泵、工艺水泵等重要设备都采用一运一备的方式配置。对浆液循环泵, 考虑到同时发生故障的可能性非常小, 因此可不设置备用, 但应设置 1 套泵的备用叶轮, 并保证叶轮使用寿命不低于 10 年。此外对重要的起调节保护的测量仪表, 均考虑冗余, 如液位计、pH 计等。

1.2 取消 GGH 的可行性分析

取消旁路后, GGH 的安全运行直接威胁着 FGD 和整个机组的安全运行。无旁路系统是否需要设置

GGH, 需进行详细的经济性和可靠性分析:

(1) 对比有、无 GGH 方案可知, 因 GGH 存在漏风的原因, 安装 GGH 两者在脱硫效率方面相对低 1~2 个百分点。

(2) 根据目前国内已投运的 GGH 情况看, 大多数 GGH 的运行情况不佳。随着运行时间增加, 腐蚀的问题完全暴露出来, 目前主要的问题是换热元件堵塞, 甚至造成 FGD 及机组停运。

(3) GGH 的投资和运行费用非常昂贵, 对于 1 台 300MW 机组安装 GGH 总投资为 1500 多万元, 旧有 GGH 改造的费用约需 500 万元, 约占 FGD 系统总投资的 15% 以上, 年运行、维护费用约 500 万元。在 20 年寿命内整体投资内, 不安装 GGH 的 FGD 系统节省约 7000 万元。

(4) 取消 GGH 后, 烟气抬升高度将会受到一定影响。但本次脱硫改造同步新增烟气脱硝装置, 因此通过核算, NO_x 、 SO_x 的最大落地浓度均在标准范围之内。

因此无论从设备的可靠性考虑, 还是从经济性比较来看, 对于无旁路脱硫系统, 取消 GGH 可使脱硫系统及机组运行更加安全、可靠、经济。

1.3 取消 GGH 后需解决以下问题

(1) 石膏雨问题

由于取消 GGH, 净烟气问题一般在 50°C 左右, 虽然其满足排放要求。但由于扩散能力相对较弱, 容易产生石膏雨现象, 因此除雾器选型及布置方式尤为重要。本次脱硫改造的除雾器采用屋脊式, 布置在塔内, 除雾效果好, 便于冲洗。

(2) 烟囱防腐问题

取消 GGH 后, 进入烟囱的烟气温度只有 $45\sim 50^\circ\text{C}$ 左右, 并且含有大量的水蒸气。在排烟过程中, 由于扩容和散热作用在烟囱内壁上会有大量的凝结酸水, 烟囱内壁长期处于浸泡状态, 烟囱为“湿烟囱”。湿烟囱的烟气温度低, 密度大, 烟囱的自抽吸能力低, 造成了烟囱内正压区范围的扩大, 烟气向外壁渗透对筒壁造成的腐蚀加大。因此烟囱的防腐工艺的选择成为了一个重要的环节。

a) 烟囱防腐的设计原则是根据烟囱腐蚀程度的轻重而采取不同的对策, 在此基础上, 结合目前行业内相同类型烟囱改造后的现状和普遍存在的问题, 涂料、胶泥类防腐材料一般不适用于老机组烟囱改造。

b) 在现有烟囱改造案例中, 应用砌块类防腐材料目前有部分短期成功运行经历。根据专家获取

的信息来看, 在砌块类防腐材料中, 有两种比较可行, 一是含硼量在 12% 以上的玻璃砖, 二是发泡陶瓷砖。砌块类砌筑胶应选择硅胶类或“宾高德”配套胶, 且用胶量每平方米不少于 12kg。但由于其施工要求极高, 很难达到, 往往因施工质量造成砌块脱落, 短时间内便出现渗漏腐蚀现象。

c) 目前, 采用钛钢复合板钢内筒是目前最为安全、可靠和经济的防腐方案。

因此, 本次烟囱防腐改造, 采用技术先进、可靠性较高的钛钢复合板单钢内筒烟囱方案。烟囱增设钢内筒, 内筒直径 7.0m。材质为钛复合板, 钢板厚度 16mm, 钢钛板 1.2mm。

1.4 取消增压风机可行性

取消旁路后及 GGH 后, 系统阻力约 2000Pa, 比原来减少近 2000Pa, 原有的增压风机出力偏大。同时考虑到动调风机的可靠性, 由于工作环境恶劣, 故障频繁, 在取消旁路后其直接影响机组的可靠性。在本次引风机增容改造时, 通过论证取消增压风机, 采用“三合一”引风机。从系统的安全性和经济性考虑, 使系统大为简化, 减少系统阻力, 提高系统可靠性。

1025t/h 锅炉原有烟气系统阻力 3569Pa, 改造后脱硝系统增加阻力 800Pa, 预留电除尘改造增加阻力约 955Pa, 电除尘至引风机入口烟道改造增加阻力 50Pa, 脱硫系统含烟囱改造后系统阻力 1640Pa。因此 BMCR 工况下, 引风机入口压力为 -5374Pa, 出口压力为 1640Pa。考虑引风机有 10% 的流量余量, 20% 的压力余量, 10°C 的温度余量, 因此风机的入口全压需达到约 -9.7kPa。

风机的压头与转速的 2 次方成正比, 静调风机由于无法设置成两级, 因此只有通过提高转速来克服系统阻力。风机压头高于 7000Pa 时, 风机的转速已经很高, 风叶的线速度也很高; 风机压头如果超过 8000Pa, 风叶的线速度无法控制在临界速度 140m/s 以下, 风机的强度设计、气动性能和噪声均难以满足要求。因此, 若满足本次风机改造性能参数, 静调风机存在一定的技术难度, 基本无法实现风机结构上只能选择双级动调或双吸离心引风机。

1.5 引风机选型分析比较

(1) 《大火规》对煤粉锅炉的引风机选型给出要求: “大容量锅炉的吸风机宜选用静叶可调轴流式风机或高效离心式风机。当风机进口烟气含尘量能满足风机要求, 且技术经济比较合理时, 可采用动叶可调轴流式风机。”因此, 目前电除尘效率设计值

达 99.7% 以上, 粉尘浓度一般低于为 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$, 可以选择动调轴流风机。下面对两种结构风机的整体方案进行简单比较。

(2) 设备可靠性

由于风机的工作环境较差, 烟尘、 SO_x , 还有烟气中的水分, 对于双级动调风机可能存在不利因素。譬如会频繁发生叶片卡涩、漂移等造成振动, 从而导致液压缸、轴承箱等漏油现象, 液压缸控制头中心变化进一步造成风机振动等。而且每次检修都要对风机进行解体检查, 检修工作量非常大。

若选用双吸离心风机, 上述问题基本可以避免, 维护工作量非常小。

(3) 设备成本

近年来由于变频器的普及, 采用变频双吸离心风机设备费用略低于双级动调轴流风机, 双级动调风机如采用国产转子, 则整体费用差别不大。

(4) 施工成本

采用双吸离心引风机, 由于基础和烟道变动很大, 施工成本相对较高, 但总额不是很高。

(5) 施工难度及工期

采用双吸离心引风机, 由于基础和烟道变动很大, 工程量适当增加, 施工工期也相对较长, 但一般能在 30 天之内完成。

(6) 平面布置

选择双吸离心风机时, 引风机进口法兰端面(配套补偿器)到风机叶轮轴线距离不大于 4m, 进气箱、调节门和进口膨胀节采用标准产品, 夹角为 60° , 进口膨胀节与进口烟道配供弧形过渡烟道, 这样既能很好地对接, 也可减小入口阻力, 风机进出口烟道采用集中布置, 更好的满足风机运行需求, 同时节省了空间, 可以很方便的在离心风机后布置脱硫塔, 使新建脱硫塔方案可行, 停机接口也只需 30 天左右。

(7) 运行成本

在机组不同工况下, 两种方案风机的效率很接近, 根据《300MW/ 600MW 锅炉引风机的优化型式》(成都电力机械厂)文献分析, 机组负荷高于 80% 时, 离心风机(调速型)效率略低, 比双级动调风机低 1%; 机组负荷低于 80% 时, 离心风机(调速型)效率优势明显, 从 80%~50% 负荷区间, 离心风机(调速型)效率比双级动调风机效率高 1%~12%。

(8) 维护成本

从设备构造和制造工艺上看, 离心风机维修简

单, 费用较低。只是转子重量偏重, 近 15t 左右, 拆装略显笨重。离心风机出力存在一定极限, 在 60 万及百万级机组基本采用双级动调引风机。

综上所述, 综合各方面比较分析, 从目前的趋势来看, 受烟气参数制约, 大机组基本采用双级动调引风机。但对于 1025t/h 锅炉引风机改造, 根据烟气参数选型, 从可靠性、经济性、投资成本等方面综合比较, 采用双吸离心风机(变频调速)相对来讲是一个更好的选择。

1.6 一炉一塔改造方案选择

原脱硫装置为两炉一塔, 现改造为一炉一塔, 必须新建一座吸收塔, 另一座吸收塔由老塔改造还是新建, 方案的选择需要通过论证比较。

(1) 对老塔改造

对原有吸收塔进行吸收区变径改造, 同时改造相应的喷淋层、除雾器、循环泵、氧化风机、石灰石浆液泵。该方案最大的困难是改造工期, 至少需要四个月, 在此期间, 机组停运将损失发电量, 机组运行将付出高额的排污费。

(2) 新建一座吸收塔

新建一座吸收塔, 配置新的喷淋层、除雾器、循环浆液泵、氧化风机、石灰石浆液泵、搅拌器等。机组只需停运 30 天, 完成相关接口工作即可。

两种方案在投资成本上相差不多, 关键是看影响机组发电量或排污费的问题。很明显选第二种方案较为可行。

1.7 改造前后系统对比

见图 1、2。

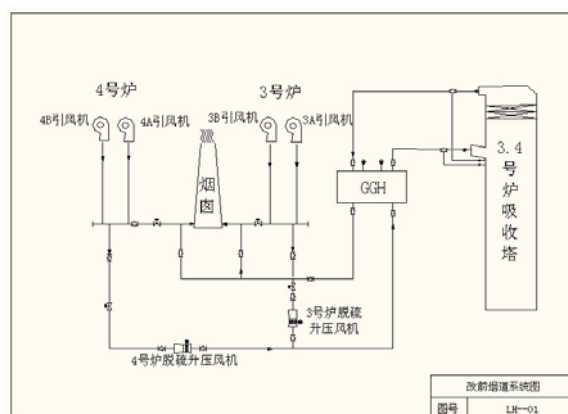


图 1 改前系统图

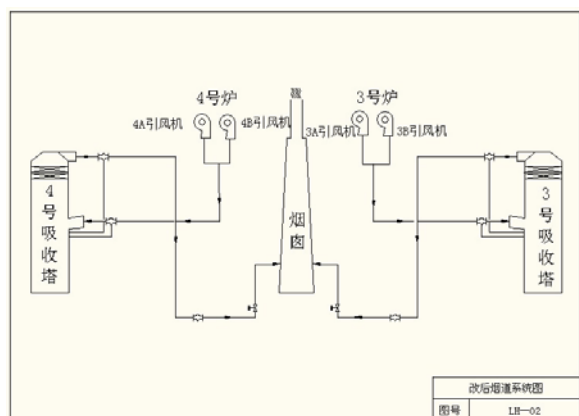


图2 改后系统图

2 脱硝系统改造

1025t/h 锅炉原设计采用紧凑型低 NO_x 燃烧技术，即燃烧器上部设计两层 OFA、一层 SOFA 燃烬风。锅炉原设计未提供 NO_x 排放值，根据机组历次大修后燃烧优化试验报告， NO_x 排放值受到煤种、配风、氧量、负荷波动等因素的影响较大，一般在在 350 mg/Nm^3 左右，高值达到 450 mg/Nm^3 左右。因此，若只采用烟气脱硝（SCR 技术），则其入口 NO_x 设计值应按 450 mg/Nm^3 考虑。

根据《火电厂氮氧化物防治技术政策》，及经调研分析，采用低 NO_x 燃烧控制+烟气脱硝（SCR）相结合的技术方案，在可行性、投资成本、施工难度、运行成本等方面是最佳的组合方案。

2.1 低 NO_x 燃烧器

太仓港协鑫发电有限公司 1025t/h 锅炉，常用煤种挥发份较高，有利于采用低 NO_x 燃烧技术。通过调研及可行性分析，最终选用双尺度低 NO_x 燃烧器，满足燃烧稳定、高效、可靠、低 NO_x 的要求。同步对燃油系统进行了微油点火装置改造，采用微油点火技术后，锅炉冷态启动耗油量不超过 4t。

双尺度低 NO_x 燃烧器为国内较先进的产品，燃烧器箱壳由隔板分成若干风室，各风室出口处布置喷嘴，风室的入口处布置二次风门挡板，顶部二次风喷嘴（OFA）为手动，单独摆动。燃烧器上部布置有 16 只燃烬风(SOFA)风口，分四层布置，燃烧器立面图如图 3 所示。

2.2 烟气脱硝（SCR）装置

太仓港协鑫发电有限公司 1025t/h 锅炉烟气脱硝装置采用选择性催化还原(SCR)技术，脱硝装置如图 4 所示。采用高尘布置方式，即将脱硝装置布

置在省煤器与空预器之间，该方式是应用最广泛的布置方式。如图 4 所示。

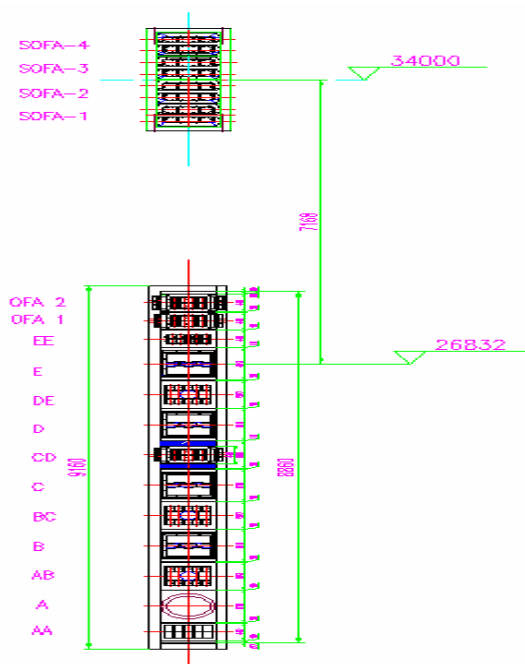


图3 低 NO_x 燃烧器立面图

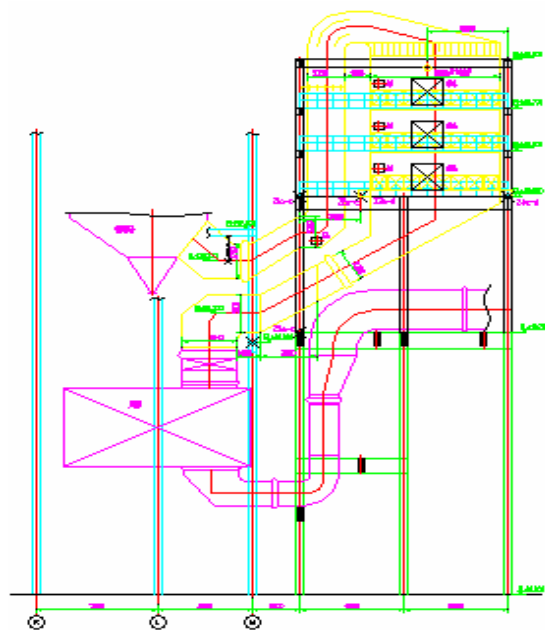


图4 SCR 立面示意图

为了以后在选择催化剂方面得到更大的自由度，满足不同型式、厂家的产品，本工程反应器结构设计按较重的蜂窝式催化剂进行。脱硝催化剂布置两层，备用一层。三层设计脱硝率 80%，二层，设计效率 65%。

(1) 烟气流程

由于 SCR 系统所要求的烟气温度为 300~400℃, 故本工程 SCR 反应器放置在省煤器和空气预热器之间, 这里的烟气温度为 362℃, 满足反应要求。气氨与空气均匀混合后, 通过喷氨格栅与烟气均匀混合后进入反应器。烟气经过烟气脱硝过程后经空气预热器热回收后进入电除尘器和 FGD 系统后排入大气。

(2) SCR 反应器

反应器的上部安装有导流板、整流装置, 在反应器的竖直段装有催化剂床。

反应器采用固定床平行通道型式, 安装两层, 并预留一层位置。

每个反应器按 3 层设计, 层之间空间高度为 3.2~3.6m。每层催化剂前端有耐磨层, 减弱飞灰对催化剂的冲刷作用。

反应器为直立式焊接钢结构容器, 内部设有触媒支撑结构, 能承受内部压力, 地震负荷、烟尘负荷、催化剂负荷和热应力等。反应器壳外部设有加固肋及保温层, 催化剂顶部装有密封装置, 防止未处理过的烟气短路。

(3) 氨喷射系统

氨和空气在混合器和管路内借流体动力原理将二者充分混合, 再将混合物导入氨分配总管。氨喷射系统包括供应箱、喷雾格栅和喷孔等。喷射系统配有手动调节阀来调节氨的合理分布, 在对 NO_x 浓度进行连续分析的同时, 调节必要的氨量从喷氨格栅中喷出, 通过格栅使氨与烟气混合均匀。

2.3 锅炉附属设备改造

增加了烟气脱硝 SCR 装置后, 烟气成分、阻力和系统布置均发生了变化, 为了保证下游设备的正常运行, 同步对锅炉附属设备进行了相关改造。

(1) 空预器改造

SCR 装置安装在现有省煤器与空预器之间以后, 逃逸的氨将与三氧化硫反应, 在空预器中温段换热元件和低温段换热元件上生成硫酸铵和硫酸氢铵。其中硫酸氢铵在该处温度区间内为粘着的沉积物, 从而限制了烟气的流动和降低传热效率。

为了避免空预器发生低温腐蚀, 兼顾设备运行后的出口烟风温度、压降、硫酸氢铵沉降, 将空预器进行相关改造。将原来高、中、低温三段改造为 2 层布置: 即热端低碳钢元件和冷端耐腐蚀元件。

(2) 锅炉钢架的改造

脱硝装置的水平力由脱硝装置的柱网承担, 锅炉支架在设计时没有考虑此力, 根据脱硝装置的荷载对部分锅炉支架改造加固。同时原有设计的锅炉尾部 M 排钢架存在大的斜支撑, 无法安装增加的 SCR 进、出口烟道, 同步进行了改造加固。

3 改造后运行情况分析

3.1 微油改造

机组冷态启动由原来 40t 下降为 4t, 节油 90%, 同时避免了燃油污染浆液。

3.2 低 NO_x 燃烧器+SCR 改造

进行低 NO_x 燃烧器改造后, 锅炉出口 NO_x 均值 (6% 标态) 由改造前 350mg/Nm³ 下降至 180 mg/Nm³, 两层催化剂脱硝效率达到 70%, 烟囱排口 NO_x 均值 (6% 标态) 在 60 mg/Nm³。

3.3 脱硫系统改造

脱硫系统进行升级改造后, 实际运行脱硫效率由 93% 提高到 95%, 全年削减 SO₂ 排放量约 1000t, 并且提高脱硫系统取消旁路后的运行可靠性, 同时进行升级改造脱硫+引风机单耗下降约 0.25%, 具有极大的经济效益。

作者简介:

王玉龙 (1980-), 男, 工程师, 从事锅炉运行(含脱硫、脱硝)专业的技术管理;

张晓兰 (1971-), 女, 工程师, 从事多年电厂运行和仿真机培训工作;

张剑茹 (1981-), 女, 江苏太仓人, 工程师, 从事发电机组运行工作;

张 杰 (1966-), 男, 江苏太仓人, 工程师, 从事发电机组锅炉设备管理工作。