

燃煤锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术的应用

张小斌

(大唐宝鸡(宝二)发电有限责任公司 陕西宝鸡 721000)

摘要: 现代化建设中, 燃煤锅炉为工业发展提供重要支持。与此同时, 基于燃煤锅炉的结构和特点, 其在应用过程中产生的烟气中包含大量的二氧化碳、氮氧化物和颗粒物等物质, 这些物质对生态环境有严重负面影响。随着环境保护、节能减排等理念持续宣传推广, 从环保性角度对燃煤锅炉进行改造成为重点内容。文章以某燃煤锅炉为研究对象, 围绕燃煤锅炉的应用进行分析, 探究烟气脱硫、脱硝、除尘改造方案, 并详细总结技术应用要点。通过文章分析, 旨在为同类型燃煤锅炉改造提供借鉴, 以及为我国环境保护工作开展提供更多支持。

关键词: 燃煤锅炉; 烟气脱硫; 烟气脱硝; 烟气除尘; 技术改造

引言: 随着工业化进程的加速推进, 燃煤锅炉在能源供应中扮演着重要的角色。然而, 其烟气排放中的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等污染物, 日益引起对环境和人类健康的担忧。为解决这一问题, 燃煤锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术的应用逐渐成为工业领域关注的焦点。基于现代化技术发展和以往多年的经验, 烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术日益先进。燃煤锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术的应用, 不仅是对环境污染的一次有力回应, 也是推动清洁能源发展、促进可持续发展的实际行动。这些技术的应用将为我们创造更为清洁、安全、可持续的生产和生活环境奠定坚实基础。基于此, 文章就这一问题展开分析有现实意义。

1 研究案例阐述

1.1 设备信息

文章以某供热企业的 NG-130/9.8-M3 型号锅炉为研究对象, 该锅炉以煤为主要燃料, 锅炉的主蒸汽流量为 130t/h, 过热蒸汽出口压力为 9.8MPa。为了更好地满足应用需求, 按照循环流化床单炉腔的方式进行布置, 并采取固定排渣处理方式处理燃烧废弃物。

随着时代发展, 节能环保、低碳绿色成为时代主题。此时该类型燃煤锅炉已经无法需求。其产生的烟气中含硫量、含硝量及颗粒物等超出标准。基于此, 企业结合最新排放标准, 对该类型锅炉进行技术改造, 通过优化增强锅炉烟气脱硫、脱硝及除尘效果。

1.2 结构阐述

从结构组成角度来看, 该类型锅炉烟气系统复杂。原本的烟气脱硫、脱硝及除尘系统主要由脱硫层、除尘层、脱硝层和汽水分离层、回收液处理装置以及喷淋液回收槽几部分组成, 该系统结构可以在一定程度上达到烟气脱硫、脱硝、除尘的目的, 但随着时代发展, 新的排放标准出现, 仍依赖传统结构难以满足需求, 需要结合结构详细分析, 对燃煤、脱硝、除尘器、脱硫、引风机、烟道阻力情况、烟囱防腐、机组检修工期等现状进行综合评估, 提出最佳改造方案。

在原有的烟气处理系统结构组成上, 提出新的烟气处理系统结构设计方案^[1]。改造方案预测未来煤种的变化

趋势, 统筹考虑低氮燃烧器、脱硝、除尘、脱硫、烟囱等设施的相互影响, 充分发挥各环保设施对污染物的协同脱除能力, 在满足烟气污染物达标排放的同时, 实现环保设施经济高效运行。

1.3 技术应用原理

燃煤锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术的应用在当代工业中具有重要意义。燃煤锅炉作为常见的能源生产设备, 其烟气排放中含有的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等污染物对环境和人类健康构成威胁, 因此对其进行治理显得尤为迫切。

首先, 引入如石灰石等吸收剂, 实现燃煤锅炉产生烟气高效脱硫。其次, 应用选择性非催化还原(SNCR)技术将烟气中的氮氧化物转化为氨和水, 减缓了对大气的氮氧化物污染。最后, 通过袋式除尘手段, 将烟气中的颗粒物截留下来, 防止其进入大气中。

2 燃煤锅炉脱硫、脱硝、除尘的改造要点分析

2.1 系统设计预期目标

在进行技术改造过程中, 应避免对锅炉功能和结构产生较大影响, 且需要注意, 避免改造方案影响锅炉正常运行。从此方面来看, 改造时应结合锅炉应用功能、结构组成和作业环境进行思考。同时在改造时需要尽可能选择便于维护、便于施工的方案, 从而降低成本支出。

除此之外, 需要确保改造之后的烟气处理系统达到如下表 1 所示要求。

表 1 改造后技术要求

序号	参数名称	参数值范围
1	脱硫效率	≥ 90%
2	二氧化碳排放浓度	≤ 100mg / Nm ³ , 且需要保证锅炉含氧量不高于 13%
3	脱硝效率	70%—80%
4	氮氧化物排放浓度	≤ 50mg / Nm ³ , 且应保证锅炉含氧量不高于 13%, 烟气温度在 850℃—1100℃范围内
5	除尘效率	≥ 99.5%
6	粉尘排放浓度	≤ 10mg / Nm ³ , 且需要保证锅炉含氧量不高于 13%

2.2 技术应用流程

燃煤锅炉产生烟气后，废气先进入除尘层，此过程中，需要实时、全方位监控除尘质量。此过程中，除尘层中的灰尘收集锥形槽负责收集灰尘，其通过集尘板实现目标。经过除尘层处理后，烟气经由设备管道上升，进入脱硫系统，该系统中先借助脱硫液喷淋装置，喷洒脱硫液，此时烟气中的部分物质和喷淋的石灰石浆液发生反应，可以有效去除存在的二氧化硫气体。反应结束之后，脱硫液储放装置会收集剩余的脱硫液，并对其进行回收处理，以便再次利用。经过脱硫系统后，烟气剩余气体随着管道流动，在流经途径会再次与脱硫液相接触，确保充分除去烟气中存在的二氧化硫。当剩余气体流经气液分离器时，会对其中的液体进行拦截，并通过活性炭吸附其中颗粒物等物质。在正式外排之前，需要通过换热器对气体进行冷却，并进行检验，达到排放国家标准才能对外排放。

3 燃煤锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造技术应用分析

3.1 除尘系统改造

现阶段，我国在燃煤锅炉环保性改造方面积累大量经验，该供热锅炉应用麻石水浴除尘器，该类型除尘器技术虽应用较广，但随着新技术发展，逐渐被更先进设备替代。基于此，在改造过程中如果仍保留该设备，会出现诸如燃煤煤质不稳定造成除尘效率不达标、脱硫设备损坏等问题。基于此，文章从安全性、稳定性角度思考，选择用布袋除尘器替代原有的麻石水浴除尘器。且在设计过程中，对原有的全过滤风速、过滤面积进行优化^[2]。

具体来看，选择 XMC-448-1 布袋除尘器作为替代设备，并将除尘器全过滤风速设置为 0.89m/min，过滤面积设定为 448m²。除尘器按照 1 灰斗、1 仓室的模式设置，且每排设置 32 个电磁脉冲阀，每个阀中设置 14 条布袋，并应用 PPS 材质的履带对布袋表面进行覆膜处理，提升除尘效果。

3.1.1 除尘器的设计

应用布袋除尘器替代传统的麻石水浴除尘器后，需要对整体单元进行改造。结合布袋除尘器组成分析，该设备进行除尘处理后，气体会随着引流装置进入滤室，并通过烟气导流装置排除设备灰斗。此过程中，布袋底部和进风口之间的垂直距离较高，烟气可以除了通过引流进入，还可以依靠自然流动方式进入过滤室。同时除尘设备可以借助沉降方式实现烟气中的颗粒物隔离，并促使其最终落入灰斗中，剩余的粉尘会随之进入箱体过滤区，大部分粉尘被滤袋吸附，进而被排风管排出^[3]。

除此之外，滤袋中灰尘可以借助压缩空气进行处理，依靠布袋除尘器中的电喷吹管、磁脉冲控制阀、气包等可以有效喷吹灰尘。为了保证上述过程有效完成，需要在滤袋口处设置喷管，并在喷吹管下侧设置喷吹口，且

为了实现智能化管控，需要保证每根喷吹管均设置脉冲阀体，且具备和压缩空气联通的管道。清灰阶段，打开脉冲阀，此时压缩空气随之发挥作用，在滤袋底部形成振动波，从而实现从内到外的反吹气流，确保清灰目标达成。对于清理出来的灰尘，则借助布袋抖落的方式去除。围绕上文阐述，除尘器设计如下图 1 所示。

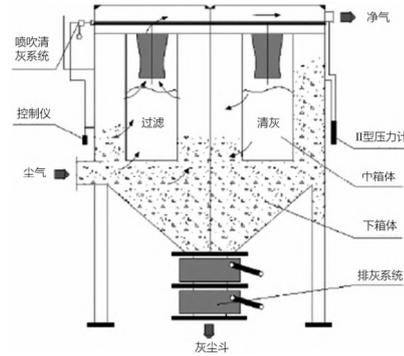


图 1 除尘器设计图示

3.1.2 除尘器本体结构设计

为了充分发挥布袋除尘器除尘优势，在原本结构基础上进行改造。改造方案如下：在保证原本壳体完整基础上，将电除尘器内部结构全部拆除，全部用布袋结构及逆行替代。应用的布袋选择由 PPS 纤维和 PIFE 基布组成的纤维滤袋。除尘器和袋笼和滤袋均设置为圆形，滤袋温度设置为 160℃ 下，瞬时可以承受 190℃ 高温。滤袋表面应用强环布形式设计，提升袋底的抗冲刷能力。滤袋袋口选择不锈钢弹性袋口方式设计。滤袋设计完成后，需要进行荧光粉试验，确保其密封性符合要求^[4]。

另外，单台炉除尘器顺气流方向的 AB 侧通道设置 AB 引风机，除尘室进出口设置挡风板。为了满足锅炉除尘需求，每条通道设置 6 个除尘室，不同除尘室介质钢梁结构进行细化。且为了实现布袋清洁，通道中需要设置喷吹脉冲阀。同时，应用行脉冲喷吹型清灰系统替代原有结构，该系统组成如下图 2 所示。

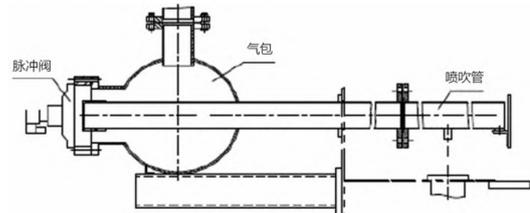


图 2 行脉冲喷吹清灰系统结构图示

3.2 脱硫系统改造

基于原有系统结构，提出如下改造方案：采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，该工艺技术是目前最为先进、成熟、可靠的烟气脱硫技术，更由于其具有吸收剂资源丰富，成本低廉等优点，成为世界上应用最多的一种烟气脱硫工艺，也是我国行业内推荐使用的烟气脱硫技术烟气脱硫装置。其主要优点是能广泛地进行商品化开发，且其吸收剂的资源丰富，成本低廉，废渣既可抛弃，也可作为商品石膏回收；其缺陷主要表现为设备的积垢、

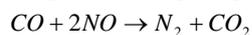
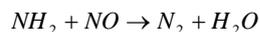
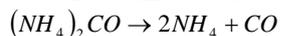
堵塞、腐蚀与磨损。石灰石-石膏湿法脱硫工艺采用石灰石作脱硫吸收剂。石灰石经破碎磨细成粉状与水混合搅拌制成石灰石浆液，石灰石浆液经泵打入吸收塔与烟气充分接触，使烟气中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙进行反应生成亚硫酸钙，从吸收塔下部浆池鼓入氧化空气使亚硫酸钙氧化成硫酸钙，硫酸钙达到一定饱和度后，结晶形成二水石膏。从吸收塔排出的石膏浆液经浓缩、脱水，使其含水量小于 10%，然后用输送机送至石膏贮仓堆放。脱硫后的烟气经过除雾器除去雾滴后，由烟囱排入大气。该工艺适用于任何含硫量的煤种的烟气脱硫，脱硫效率可达到 95%以上。石灰石-石膏湿法脱硫是目前世界上技术最为成熟、应用最多的脱硫工艺。该工艺的机组容量约占电站脱硫装机总容量的 90%，单塔容量已达 1000MW。

脱硫整体采用不锈钢材料进行设计，内部设置三层喷淋结构，并科学设计除尘器，增加防护措施。同时，设计停运清洗处理系统、清洗工艺水系统，且采取措施，限制除尘装置出口粉尘浓度，保证其不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

脱硫系统应用过程中，实现二氧化硫有效吸收是重点。因此，脱硫系统内部设置石灰石浆液喷淋装置，通过化学反应达成目标。并设置除雾器，去除烟气雾珠干扰。浆液循环泵发挥提供吸收剂的作用，且确保气液两相接触，最大限度吸收二氧化硫。且设置氧气区域，将烟气中未氧化的 SO_3 、 HSO 等被氧化从而得以去除^[5]。

3.3 脱硝系统改造

该方面采取选择性非催化还原 (SNCR) 技术进行改造。第一，借助 SNCR 技术实现氮氧化物去除。也就是通过设置可以喷射 NH_x 基的还原剂，确保其与烟气中的氮氧化物反应，并通过加热，生成更环保的氮气排放^[6]。该过程的化学反应方程式如下所示：



结合上述化学方程式来看，应用非催化还原法脱硝时，温度和炉膛喷入点设置会影响去除效果，基于此，结合相关研究来看，将温度设置为 800°C – 1100°C ，并限制还原剂在炉膛中的停留时间，可以有效保证去除效果^[7]。

4 应用效果阐述

应用上述改造方案对燃煤锅炉进行改造之后，按照日常应用步骤，对改造后的锅炉性能进行验证。以结果为基础证明应用效果。

对改造后的锅炉进行运行试验，为了保证结果的可信度，试验开展 10 天，每日收集并记录相关数据，结果如下表 2 所示，以结果为基础证明效果。

表 1 脱硫、脱硝、除尘装置运行结果总结表

时间/日	颗粒物/ (mg/m^3)	折算/ (mg/m^3)	$\text{SO}_2/(\text{mg}/\text{m}^3)$	折算/ (mg/m^3)	$\text{NO}_x/(\text{mg}/\text{m}^3)$	折算/ (mg/m^3)
1	13.42	13.45	78.12	79.23	46.52	47.43
2	13.74	13.51	61.46	61.32	50.31	51.23
3	7.52	9.14	47.31	50.12	59.34	79.13
4	6.65	8.44	58.34	78.52	53.21	72.33
5	7.47	10.74	50.33	64.33	61.45	79.34
6	8.23	11.22	26.61	33.22	75.32	95.45
7	8.61	11.25	36.32	43.25	84.21	100.14
8	14.74	14.31	79.55	83.46	72.13	76.54
9	11.73	12.55	69.34	74.34	37.56	40.24
10	13.16	14.73	59.43	64.34	38.84	41.67

结合上述数据发现，改造之后，除尘效果最高达到 99.62%。脱硫系统中锅炉燃料用煤的含硫量为 0.67%，经过处理之后， SO_2 的浓度为 $34.3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均脱硫效率达到 93.6%。脱硝系统应用之后，烟气中含有的 NO_x 浓度最大为 $49.4\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均脱硝效率达到 77.43%。从中可知，改造之后，三方面均满足排放需求。同时，从成本角度来看，该改造方案可以每年为企业节约接近 60 万元。

结语

在燃煤锅炉烟气治理领域，脱硫、脱硝、除尘等改造技术的应用不仅在根本上减少了工业生产对环境的不良影响，也为构建可持续发展的社会奠定了基础。基于此，文章以某燃煤锅炉为研究对象，结合该锅炉具体信息，详细阐述改造技术应用要点，并通过实践验证改造技术应用的优势，最终结果表明，改造之后，燃煤锅炉的二氧化硫排放最大不高于 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，氮氧化物的最大排放量低于 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，且烟尘的最大排放量低于 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，足以满足排放标准需求。希望本文研究，可以为同类型燃煤锅炉改造提供更多参考，并为生态文明建设提供更多支持。

参考文献：

- [1] 程文斯. 燃煤锅炉烟气脱硫除尘技术[J]. 化工设计通讯,2021,47(7):41-42.
- [2] 赵运东,巴恩栋,盖涤浩,等. 燃煤锅炉烟气脱硫废水再处理工艺[J]. 山东化工,2022,51(19):229-231.
- [3] 郑贤明,陆英伟. 关于燃煤锅炉烟气脱硫除尘超低排放技术研究[J]. 科学与财富,2022,14(4):245-247.
- [4] 王建朋,段璐,王乃继,等. 燃煤锅炉烟气脱硫技术对颗粒物排放影响研究进展[J]. 洁净煤技术,2020,26(2):34-42.
- [5] 周军武. 燃煤锅炉烟气脱硫的技术现状及发展趋势[J]. 中国化工贸易,2020,12(8):97,99.
- [6] 邹旋. 燃煤锅炉 烟气脱硫除尘环保设施改造及应用[J]. 百科论坛电子杂志,2020, 3(8):1666-1667.
- [7] 黄彦翔. 燃煤锅炉烟气脱硫除尘技术研究[J]. 中国化工贸易,2019,11(5):72.