

生物质锅炉烟气治理新技术与案例分析

傅海波

北京铝能清新环境技术有限公司 北京 100036

摘要：随着环保要求的日益严格，生物质锅炉烟气治理成为关注的焦点。本文深入探讨了生物质锅炉烟气治理的新技术，涵盖高效除尘、脱硫、脱硝以及多种技术的组合工艺等，详细阐述了各技术的原理、特点及适用范围。同时，通过对案例的分析，阐述不同技术在不同场景下的应用效果、优势与不足，旨在为生物质锅炉烟气治理提供科学依据和实践参考，推动生物质能源行业的可持续发展。

关键词：生物质锅炉；烟气治理；新技术；案例分析

1 引言

生物质能源作为一种可再生能源，具有来源广泛、碳中性等优点，生物质锅炉在供热、发电等领域得到了广泛应用。然而，生物质锅炉在燃烧过程中会产生含有颗粒物、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）等污染物的烟气，对环境造成一定影响。因此，研发和应用高效的烟气治理技术，降低生物质锅炉烟气排放，对于保护环境、实现能源的可持续利用具有重要意义。

2 生物质锅炉烟气特点及治理难点

生物质锅炉烟气具有独特特点且治理难度大。其烟气中，颗粒物粒径分布广，含微小亚微米级颗粒，易悬浮并携带重金属危害健康；不同生物质燃料硫含量差异明显，虽总体硫含量低，但燃烧仍会产生一定量SO₂；NO_x生成机制复杂，受燃料氮含量、燃烧温度和氧气浓度等因素影响，排放浓度高、治理不易。治理难点在于，生物质燃料种类多、成分差异大，致使烟气成分复杂多变，给治理技术选择设计带来挑战；运行工况不稳定，燃料供应和燃烧易受多种因素干扰，导致烟气参数波动大，影响治理设备稳定运行与效果；此外，在满足环保要求的同时，还需平衡经济性，一些高效治理技术因成本高，限制了大规模应用，这是行业亟待解决的重要问题。

3 生物质锅炉烟气治理新技术

3.1 高效除尘技术

3.1.1 电袋复合除尘技术

电袋复合除尘器结合了电除尘器和布袋除尘器的优点。在电除尘区，烟气通过高压电场时，其中的颗粒物在电场力的作用下荷电，并向收尘极运动，被收尘极捕获。未被电除尘区收集的微细颗粒物进入布袋除尘区，在滤袋的拦截、惯性碰撞、扩散等作用下被捕集。具有除尘效率高、对微细颗粒物捕集效果好、运行阻力相对较低等优点。对于生物质锅炉烟气，电袋复合除尘器可

有效去除烟气中的颗粒物，排放浓度可稳定达到10mg/m³以下。同时，它对烟气温度和湿度的适应性较强，能够在较宽的工况范围内稳定运行。适用于各种规模的生物质锅炉，尤其适用于对颗粒物排放要求较高的场合，如城市供热锅炉、生物质发电厂等。

3.1.2 湿式电除尘技术

湿式电除尘器利用高压电场使烟气中的颗粒物荷电，并在电场力作用下向收尘极运动。与干式电除尘器不同的是，湿式电除尘器的收尘极表面形成一层连续的水膜，颗粒物被水膜冲刷收集，随水流排出。对微细颗粒物、酸雾等有更好的去除效果，且不存在二次扬尘问题。在生物质锅炉烟气治理中，湿式电除尘器可进一步降低烟气中颗粒物和酸雾的排放浓度，满足更严格的环保要求^[1]。此外，湿式电除尘器还能有效去除烟气中的汞等重金属污染物。适用于对颗粒物和酸雾排放要求极为严格的场合，如大型生物质发电厂、化工企业自备生物质锅炉等。

3.2 脱硫技术

3.2.1 氨法脱硫技术

氨法脱硫以氨水或液氨为吸收剂，与烟气中的SO₂发生化学反应，生成亚硫酸铵和硫酸铵。反应方程式为：2NH₃+SO₂+H₂O=(NH₄)₂SO₃；(NH₄)₂SO₃+SO₂+H₂O=2NH₄HSO₃；2NH₄HSO₃+NH₃=(NH₄)₂SO₃。通过氧化和结晶等工艺，可将亚硫酸铵进一步转化为硫酸铵，硫酸铵是一种优质的氮肥，可实现资源的循环利用。具有脱硫效率高、副产物可回收利用等优点。在生物质锅炉烟气治理中，氨法脱硫技术可根据烟气中SO₂浓度和流量进行灵活调节，脱硫效率可达95%以上。同时，氨法脱硫系统占地面积小，运行成本相对较低。适用于对SO₂排放要求较高且有硫酸铵回收需求的场合，如大型生物质发电厂、化肥企业自备生物质锅炉等。

3.2.2 有机胺脱硫技术

有机胺脱硫技术利用有机胺溶液对SO₂的高选择性吸收特性,将烟气中的SO₂吸收下来。有机胺与SO₂反应生成不稳定的中间产物,然后通过加热解吸等方式将SO₂富集回收,有机胺溶液可循环使用^[2]。反应方程式因有机胺种类的不同而有所差异,但基本原理相似。具有脱硫效率高、可回收高纯度SO₂等优点,适用于对SO₂回收有需求的场合。在生物质锅炉烟气治理中,有机胺脱硫技术可实现SO₂的高效脱除和资源化利用。但该技术设备投资较大,运行成本相对较高。适用于对SO₂回收价值较高且对脱硫效率要求严格的场合,如化工企业、硫酸生产企业等自备生物质锅炉。

3.3 脱硝技术

3.3.1 选择性非催化还原(SNCR)技术

SNCR技术是在高温(850-1100℃)条件下,将含氮还原剂(如氨水、尿素溶液等)喷入炉膛内,与烟气中的NO_x发生选择性还原反应,生成氮气和水。反应方程式为:4NH₃+4NO+O₂=4N₂+6H₂O(以氨水为还原剂);2CO(NH₂)₂+4NO+O₂=4N₂+2CO₂+4H₂O(以尿素溶液为还原剂)。具有投资成本低、设备简单、占地面积小等优点,但脱硝效率相对较低,一般在30%-60%之间。在生物质锅炉中,SNCR技术可作为一种预脱硝手段,与其他脱硝技术联合使用。适用于中小型生物质锅炉,尤其是对脱硝效率要求不是特别高且投资预算有限的场合。

3.3.2 选择性催化还原(SCR)技术

SCR技术是在催化剂的作用下,将含氮还原剂与烟气中的NO_x在较低温度(280-420℃)下发生选择性还原反应,脱硝效率可达80%-90%以上。常用的催化剂有钒钛系催化剂、分子筛催化剂等。反应方程式与SNCR技术类似,但在催化剂的作用下反应速率更快,反应温度更低。脱硝效率高、运行稳定,但催化剂成本较高,且对烟气中的粉尘、SO₂等杂质敏感,容易导致催化剂中毒和堵塞。在生物质锅炉烟气治理中,SCR技术需要结合高效的除尘和脱硫技术,以保证催化剂的正常运行。适用于对NO_x排放要求严格的大型生物质锅炉,如生物质发电厂的主锅炉等。

3.3.3 低温SCR技术

针对生物质锅炉烟气温度较低的特点,低温SCR技术采用特殊的催化剂,可在较低温度(150-280℃)下实现高效的NO_x脱除。这些特殊催化剂通常具有较高的低温活性和抗中毒性能,能够在生物质锅炉烟气条件下稳定运行。具有能耗低、对烟气温度适应性强等优点,为生物质锅炉烟气脱硝提供了新的解决方案^[3]。但低温SCR技术

的催化剂研发难度较大,成本相对较高。适用于烟气温度较低的生物质锅炉,如生物质成型燃料锅炉、部分中小型生物质直燃锅炉等。

3.4 组合工艺技术

3.4.1 SNCR+SCR联合脱硝技术

SNCR+SCR联合脱硝技术结合了SNCR技术和SCR技术的优点。首先利用SNCR技术在炉膛内进行初步脱硝,降低烟气中NO_x浓度,然后烟气进入SCR反应器,在催化剂作用下进一步深度脱硝。可提高脱硝效率,同时减少SCR反应器的催化剂用量,降低投资和运行成本。该技术能够充分发挥SNCR技术的低成本优势和SCR技术的高脱硝效率优势,实现经济与环保的平衡。适用于对脱硝效率要求较高且希望控制投资成本的生物质锅炉,如大型生物质发电厂、工业园区自备生物质锅炉等。

3.4.2 除尘+脱硫+脱硝一体化技术

除尘+脱硫+脱硝一体化技术将多种烟气治理技术集成在一个设备或系统中,实现烟气的同步治理。例如,一些新型的湿式电除尘-脱硫-脱硝一体化设备,通过合理的工艺设计和设备布局,在同一设备内完成颗粒物、SO₂和NO_x的去除。具有占地面积小、运行管理方便等优点^[4]。一体化技术减少了设备之间的连接管道和附属设施,降低了系统的复杂性和运行成本。同时,由于各治理环节在一个设备内协同作用,能够提高整体治理效果。适用于场地有限、对运行管理要求较高的生物质锅炉,如城市内的生物质供热锅炉、小型生物质发电厂等。

4 案例分析

4.1 案例一:国能生物发电集团有限公司某生物质发电厂烟气治理项目

国能生物发电集团有限公司是我国生物质发电行业的领军企业之一。其某生物质发电厂装机容量为2×25MW,采用生物质直燃锅炉。该地区环保要求严格,原烟气中颗粒物排放浓度约为60mg/m³,SO₂排放浓度约为220mg/m³,NO_x排放浓度约为320mg/m³,不满足当地超低排放标准要求。综合考虑治理效果、运行成本和场地条件等因素,该项目采用了电袋复合除尘+氨法脱硫+SNCR+SCR联合脱硝的组合工艺。在除尘环节,利用电袋复合除尘器的高效除尘性能,确保颗粒物达标排放;脱硫采用氨法脱硫技术,实现SO₂的高效脱除和硫酸铵的回收利用;脱硝先采用SNCR技术进行初步脱硝,再通过SCR技术进一步深度脱硝,提高脱硝效率。经过治理后,烟气中颗粒物排放浓度稳定在3mg/m³以下,SO₂排放浓度低于25mg/m³,NO_x排放浓度低于40mg/m³,各项污染物排放指标均满足当地超低排放标准要求。同时,氨

法脱硫技术回收的硫酸铵作为优质氮肥销售,为企业带来了一定的经济效益。该案例表明,对于大型生物质发电厂,采用多种技术组合的烟气治理工艺可有效实现污染物的达标排放。在技术选择时,应充分考虑燃料的特性、锅炉的运行工况以及当地的环保要求,进行合理的工艺设计和设备选型。同时,加强运行管理,定期对设备进行维护和检修,确保治理设备的稳定运行。此外,对于有副产物回收价值的治理技术,应注重副产物的综合利用,提高项目的经济效益。

4.2 案例二:山东某生物质成型燃料供热企业烟气治理项目

山东某生物质成型燃料供热企业拥有多台10t/h的生物质成型燃料锅炉,为周边企业和居民提供供热服务。随着环保要求的不断提高,原烟气中颗粒物排放浓度约为 $70\text{mg}/\text{m}^3$, SO_2 排放浓度约为 $130\text{mg}/\text{m}^3$, NO_x 排放浓度约为 $230\text{mg}/\text{m}^3$,需要进行烟气治理改造。考虑到项目投资成本和运行维护的简便性,该项目采用了布袋除尘+低温SCR的治理工艺。布袋除尘器对生物质成型燃料锅炉产生的颗粒物有较好的去除效果,且运行稳定可靠;低温SCR技术针对生物质锅炉烟气温度低的特点,实现了高效的 NO_x 脱除。同时,由于该企业周边对 SO_2 排放要求相对较低,且生物质成型燃料硫含量较低,未采用专门的脱硫设备,仅通过优化燃烧控制来降低 SO_2 排放。改造后,烟气中颗粒物排放浓度降至 $7\text{mg}/\text{m}^3$ 以下, SO_2 排放浓度低于 $18\text{mg}/\text{m}^3$, NO_x 排放浓度低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$,达到了当地的环保排放标准。低温SCR技术的应用有效解决了生物质锅炉烟气温度低的问题,保证了脱硝效率。对于中小型生物质供热锅炉,在选择烟气治理技术时,应注重技术的

经济性和实用性。布袋除尘器和低温SCR技术的组合,在满足环保要求的前提下,降低了投资和运行成本。同时,对于 SO_2 排放要求不高的场合,可通过优化燃烧控制来减少 SO_2 的生成,避免不必要的设备投资。此外,在项目实施过程中,应充分考虑场地的实际情况,合理布局设备,确保治理系统的顺利运行。

结语

生物质锅炉烟气治理对生物质能源行业可持续发展至关重要。文中介绍的多种新技术,如高效除尘、脱硫脱硝及组合工艺等,在不同场景成效显著,合理选用并结合锅炉特点与环保要求,可有效降低污染物排放,实现达标或超低排放。未来,该技术将向更高效、经济、环保迈进,需加强新技术研发创新,降低成本,注重技术集成优化,开发一体化设备。同时,微量污染物治理将成为热点,推动技术进步,助力生物质能源应用与环保。

参考文献

- [1]何治洪,何顺永,沈诚,等.生物质锅炉烟气超净排放技术路线探讨[C]//中国环境科学学会.第二十六届大气污染防治技术研讨会论文集.武汉森源蓝天环境科技工程有限公司,2022:257-262.
- [2]方平,生物质锅炉烟气污染物深度减排与管控技术研究.广东省,生态环境部华南环境科学研究所,2022-10-11.
- [3]曹剑,张召磊,刘颖峰,等.生物质层燃锅炉烟气治理技术探讨与应用[J].工业炉,2022,44(01):57-59+72.
- [4]吴炜彬,王妨,刘颖,等.高温干法脱硫与复合滤筒尘硝协同脱除装备在生物质锅炉烟气治理领域的应用[J].中国环保产业,2022,(10):47-49.