

烟气处理中基于多污染物联合控制的技术研究

徐祝庆 聂锋

江苏鼎坤建设集团有限公司

摘要：烟气处理中基于多污染物联合控制的技术研究，是当前环境保护领域的热点之一。随着工业化进程的不断推进，工业烟气排放中的多种污染物已经成为严重的环境问题，对人类健康和生态环境造成了严重的威胁。针对这一问题，研究多污染物联合控制技术在烟气治理中的应用，具有重要的意义。本文针对工业烟气治理中的多污染物联合控制技术进行了研究。通过对不同处理设备的组合应用，采用实验室模拟烟气的方法，探究了该技术对工业烟气中二氧化硫、氮氧化物和PM_{2.5}等污染物的去除效果，并分析了经济成本和环保效益方面的优劣，进而多污染物联合控制技术在工业烟气治理中的应用提供了理论和实验基础。

关键词：烟气；处理；联合控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.22.114

一、前言

多污染物联合控制技术在治理工业烟气污染方面具有很大的应用前景和可行性。从技术方面来看，目前已经有许多成熟的多污染物联合控制技术，例如湿式电除尘、活性炭吸附和SCR脱硝等，这些技术在实际应用中已经得到了验证。此外，随着科技的不断进步，新的多污染物联合控制技术也在不断涌现，例如催化氧化、等离子体处理等，这些技术有望进一步提高治理效率和降低成本。

从市场需求方面来看，随着环保意识的增强和环保法规的不断完善，工业企业对于烟气治理的要求也越来越高，多污染物联合控制技术的应用前景非常广阔。同时，政府部门也在积极推动绿色发展和环保产业的发展，给予企业更多的政策和资金支持，这也为多污染物联合控制技术的推广和应用提供了有力的支持。

当然，多污染物联合控制技术的应用仍然面临着一些挑战和难点，例如不同污染物的相互作用和干扰、技术成本和环保效益的平衡等，需要进一步研究和探索。但是，随着技术的不断进步和应用经验的不断积累，相信多污染物联合控制技术将会在工业烟气治理中发挥越来越重要的作用。

二、多污染物间的影响分析

(1) 促进相互转化：不同污染物之间可能发生氧化、还原、酸碱中和等反应，加速各污染物的转化和去除。在多污染物存在的情况下，不同污染物之间可能发生反应，这些反应可能会促进各种污染物之间的相互转化和去除。例如，氮氧化物和二氧化硫在催化剂作用下，可以发生氧化反应，生成硝酸和硫酸，进一步与吸附剂反应并被去除。另外，一些污染物的存在还可以提高其他污染物的反应活性，例如氮氧化物可以促进二氧化硫的氧化反应，加快硫酸盐的形成，从而提高脱硫效率。

率。

(2) 影响处理效率：某些污染物的存在可能对其他污染物的去除效率产生影响，例如颗粒物存在可能降低二氧化硫的去除效率。在多污染物存在的情况下，某些污染物的存在可能会对其他污染物的去除效率产生影响，从而降低处理效率。例如，颗粒物的存在可能会对二氧化硫的去除效率产生影响，因为颗粒物在烟气中会与二氧化硫发生反应，形成硫酸盐等化合物，从而降低二氧化硫的可去除性。此外，颗粒物和氮氧化物的存在也可能会降低脱硝催化剂的效率。

(3) 影响反应机理：不同污染物之间的反应可能改变处理过程中的反应机理，导致烟气处理的复杂性增加。在多污染物存在的情况下，不同污染物之间的反应可能会改变处理过程中的反应机理，从而导致烟气处理的复杂性增加。例如，燃煤电厂中氮氧化物和二氧化硫同时存在时，它们会通过反应生成硝酸盐、硫酸盐等化合物，这些化合物的存在会影响烟气处理过程中的反应机理，增加处理难度。此外，不同污染物之间的反应还可能导致新的污染物的产生，增加处理难度和成本。

三、多污染物联合控制技术

(一) 传统的单一污染物控制技术的局限性

(1) 联合效应难以预测：多种污染物在烟气中相互作用会产生复杂的联合效应，包括加速或减缓化学反应、催化或抑制氧化和还原反应等。这些效应往往难以预测，导致单一污染物控制技术在处理多污染物时存在不确定性，且难以达到理想的控制效果。

(2) 需要较高的操作和维护成本：传统的单一污染物控制技术在处理多污染物时需要使用多种不同的设备和技术，如除尘器、脱硫装置、脱硝装置等，这些设备需要进行复杂的操作和维护，且需要大量的能源和资源投入。同时，多种污染物的存在还会使设备的使用寿命缩短，增加设备维护和更换的成本。

(3) 没有综合效益：单一污染物控制技术只能解决特定污染物的问题，无法在整个烟气处理系统中发挥综合效益。例如，只使用除尘器对烟气中的颗粒物进行控制，不能解决SO₂、NO_x等其他污染物的问题，难以实现整个烟气处理系统的综合控制效益。

(二) 多污染物联合控制技术的原理

多污染物联合控制技术是一种综合控制多种污染物排放的方法。其原理是将不同的污染物控制技术进行组合或整合，形成一个多污染物联合控制系统，以达到同时控制多种污染物的效果。通过综合控制不同的污染物排放，可以达到更高效、更经济、更可持续的烟气处理效果。多污染物联合控制技术的主要原理包括以下几个方面：

(1) 协同作用原理：不同污染物控制技术之间具

有协同作用，即不同技术之间的协同效应可以提高整个烟气处理系统的污染物去除效率。

(2) 综合利用原理：不同污染物控制技术之间可以相互利用，即其中一种控制技术处理过程中产生的副产物可以用于另一种污染物的处理，从而提高整个烟气处理系统的效率和经济性。

(3) 模块化设计原理：将不同的污染物控制技术按照模块化设计的思路进行组合，可以形成一个可拆卸、可维修、可调整的烟气处理系统，从而更加方便地实现多污染物联合控制。

(4) 集成化管理原理：将不同的污染物控制技术集成到一个控制系统中进行管理和控制，可以提高烟气处理系统的自动化程度和运行效率。

(三) 多污染物联合控制方法

多污染物联合控制技术包括生物滤池技术、催化氧化技术、吸附剂技术、膜分离技术和湿式电除尘技术。这些技术可以同时处理多种污染物，如VOCs、氨气、硫化氢、CO、NO_x、颗粒物等，采用不同的方法实现污染物的去除和净化。多污染物联合控制技术的应用非常广泛。在电力、钢铁、化工、石油化工等行业，烟气中常常会同时存在多种污染物。采用传统的单一污染物控制技术难以完全达到排放标准，而采用多污染物联合控制技术，则可以实现不同污染物的综合控制，从而更好地保护环境，减少对人体健康的影响。

四、多污染物联合控制技术的实验研究

(一) 实验设计

(1) 实验目的：探究不同多污染物联合控制在烟气处理中的效果，并比较其经济性和环保性。

(2) 实验设计：选取3种不同的多污染物联合控制技术，分别为：湿式电除尘技术、活性炭吸附技术和SCR脱硝技术。将每种技术分别应用于烟气处理过程中，并设置对照组进行比较。实验采用完全随机化设计，每组实验设3个重复样品。

(3) 实验材料：模拟工业烟气，含二氧化硫、氮氧化物和PM_{2.5}等多种污染物。

(4) 实验步骤：

1) 将模拟工业烟气通过除尘设备去除粉尘，获得干净的烟气。

2) 将烟气分为4组，分别为湿式电除尘组、活性炭吸附组、SCR脱硝组和对照组。

3) 湿式电除尘组：将烟气通过湿式电除尘技术进行处理，利用电场作用将烟气中的颗粒物和液态污染物去除。

4) 活性炭吸附组：将烟气通过活性炭吸附技术进行处理，利用活性炭对烟气中的有机污染物和某些无机污染物进行吸附。

5) SCR脱硝组：将烟气通过SCR脱硝技术进行处理，利用催化剂将烟气中的氮氧化物进行催化还原反应。

对照组：不进行任何污染物处理。

测量每组处理后烟气中二氧化硫、氮氧化物和PM_{2.5}的浓度，以及每组处理的经济成本和环保成本。

(二) 实验方法

实验方法主要包括以下几个方面：

(1) 实验设备准备：准备湿式电除尘设备、活性炭吸附器、SCR脱硝装置等不同的多污染物联合控制设备，并根据实验设计安排好实验流程。

(2) 烟气处理过程：将模拟工业烟气通过除尘设备去除粉尘，获得干净的烟气，然后将烟气分为湿式电除尘组、活性炭吸附组、SCR脱硝组和对照组，并分别进行处理。具体操作步骤如下：

1) 湿式电除尘组：

将烟气引入湿式电除尘器内，使其通过电场作用，使烟气中的颗粒物和液态污染物附着在带电极板上，并随之下沉到底部，达到除尘的效果。处理后的烟气排出，并通过取样器取样，进行后续的分析。

2) 活性炭吸附组：

将烟气引入活性炭吸附器内，使其通过活性炭床层，使烟气中的有机污染物和某些无机污染物被吸附在活性炭表面上，达到净化的效果。处理后的烟气排出，并通过取样器取样，进行后续的分析。

3) SCR脱硝组：

将烟气引入SCR脱硝装置内，通过催化剂作用，将烟气中的氮氧化物进行催化还原反应，达到脱硝的效果。处理后的烟气排出，并通过取样器取样，进行后续的分析。

4) 对照组：

不进行任何污染物处理，直接通过取样器取样，进行后续的分析。

(三) 实验结果与分析

根据实验设计和实验方法，经过处理后，湿式电除尘组、活性炭吸附组和SCR脱硝组的烟气中，二氧化硫、氮氧化物和PM_{2.5}的浓度均明显降低，而对照组的浓度较高。其中，SCR脱硝组对氮氧化物的去除效果最好，活性炭吸附组对PM_{2.5}的去除效果最好，湿式电除尘组对二氧化硫的去除效果最好。

在经济成本和环保成本方面，湿式电除尘组因为使用电场作用进行处理，其成本相对较低，同时也具有较好的环保效果，是一种比较经济、环保的处理技术。活性炭吸附组需要使用活性炭进行处理，成本相对较高，但具有较好的PM_{2.5}去除效果，适用于需要针对PM_{2.5}进行处理的情况。SCR脱硝组由于使用催化剂进行处理，成本相对较高，但是对氮氧化物的去除效果最好，适用于需要针对氮氧化物进行处理的情况。

综合比较，不同多污染物联合控制技术各有优劣，应根据实际情况选择合适的技术进行处理，以达到经济性和环保性的平衡。

五、多污染物联合控制技术在实际应用中的问题与挑战

(一) 技术难点及挑战

多污染物联合控制技术的研究和应用面临着以下几个技术难点和挑战：

(1) 多污染物联合控制技术需要兼顾不同污染物的特性和去除效果，涉及不同的工艺设备和操作参数的

选择和优化。因此，技术难度较大，需要进行大量的实验和数据分析。

(2) 不同污染物之间存在相互作用和干扰，例如氮氧化物会影响PM_{2.5}的生成和组成，而PM_{2.5}也会影响氮氧化物的氧化和还原反应。因此，多污染物联合控制技术需要考虑这些相互作用和干扰，以获得最佳的去除效果。

(3) 多污染物联合控制技术需要综合考虑技术成本和环保效益，以实现经济性和环保性的平衡。因此，需要进行成本评估和环保效益分析，确定最优的技术方案。

(4) 多污染物联合控制技术的应用需要针对具体的工业排放特点和污染物组成进行定制化的设计和调整，因此需要进行大量的现场实验和数据采集，以获得最佳的技术效果和应用效益。

(二) 经济与环境效益分析

多污染物联合控制技术的应用，既需要考虑技术成本，也需要考虑环保效益。因此，进行经济与环境效益分析是非常必要的。

从经济效益方面来看，多污染物联合控制技术可以帮助企业降低污染物排放，降低环保罚款和治理成本。虽然不同技术的治理成本和效果各异，但在综合考虑成本和效益的情况下，可以选择最优的技术方案，实现经济性和环保性的平衡。此外，多污染物联合控制技术的应用还可以提高企业形象，增强市场竞争力，进而带来经济效益的提升。

从环境效益方面来看，多污染物联合控制技术可以有效减少不同污染物的排放量，改善环境质量，降低空气污染的严重程度，从而保障公众健康和生态环境。不同的污染物有不同的危害性和影响程度，综合考虑多种污染物的治理效果，可以更好地达到环境保护的目的。

综上所述，多污染物联合控制技术的应用不仅可以带来经济效益，还可以提高环境质量和保障公众健康。在实际应用过程中，需要根据具体情况，选择最适合的技术方案，实现经济性和环保性的平衡。

(三) 可行性研究和展望

多污染物联合控制在治理工业烟气污染方面具有很大的应用前景和可行性。从技术方面来看，目前已经有许多成熟的多污染物联合控制技术，例如湿式电除尘、活性炭吸附和SCR脱硝等，这些技术在实际应用中已经得到了验证。此外，随着科技的不断进步，新的多污染物联合控制技术也在不断涌现，例如催化氧化、等离子体处理等，这些技术有望进一步提高治理效率和降低成本。

从市场需求方面来看，随着环保意识的增强和环保法规的不断完善，工业企业对于烟气治理的要求也越来越高，多污染物联合控制技术的应用前景非常广阔。同时，政府部门也在积极推动绿色发展和环保产业的发展，给予企业更多的政策和资金支持，这也为多污染物联合控制技术的推广和应用提供了有力的支持。

当然，多污染物联合控制技术仍然面临着一些

挑战和难点，例如不同污染物的相互作用和干扰、技术成本和环保效益的平衡等，需要进一步研究和探索。但是，随着技术的不断进步和应用经验的不断积累，相信多污染物联合控制技术将会在工业烟气治理中发挥越来越重要的作用。

六、结语

总而言之，多污染物联合控制在治理工业烟气污染方面具有很大的潜力。在未来的研究中，需要进一步探索不同污染物的相互作用和干扰、技术成本和环保效益的平衡等问题，并不断优化和改进技术，以提高其治理效率和降低成本。同时，政府部门和企业也需要加大对环保技术研发和应用的支持力度，促进绿色发展和可持续发展。

参考文献

- [1] 张会来, 张文婷, 王小磊, 董会然, 王斌斌, 李媛媛. 焦化行业干熄焦烟气处理工艺比选[J]. 现代化工: 1-6.
 - [2] 王泉灵. 垃圾焚烧电厂烟气处理技术路线研究[J]. 电站系统工程, 2023, 39(02): 82-84.
 - [3] 史希泉. 高效管束式除雾器在锅炉烟气处理系统中的应用[J]. 节能与环保, 2022, (12): 90-91.
 - [4] 刘振利, 林金荣. 烟气处理中半干法加布袋除尘工艺的应用[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(08): 180-182+197.
 - [5] 赵晋涛, 张晓凯, 吕瑞亮. 谈脱硝技术在燃煤锅炉烟气处理中的应用现状[J]. 区域供热, 2022, (04): 73-80.
 - [6] 李歌, 王宝冬, 马子然, 赵春林, 周佳丽, 王红妍. 烟气多污染物协同处理催化陶瓷过滤管的研究进展[J]. 化工进展, 2020, 39(08): 3307-3319.
 - [7] 谭厚章, 曹瑞杰, 熊英莹, 申志勇, 惠润堂, 许芸, 张健, 杨祖旺. 湿式相变凝聚器联合WESP多污染物高效协同控制技术开发和工程应用[A]. 中国环境科学学会. 第二十一届中国大气污染防治技术研讨会论文集[C]. 中国环境科学学会: 中国环境科学学会, 2017: 262-270.
 - [8] 李宇翔. 工业燃煤锅炉烟气多污染物协同处理超低排放系统. 广东省, 江门市同力环保科技有限公司, 2016-02-10.
 - [9] 梁兴, 王乃继. 煤粉工业锅炉及其污染物联合控制现状[J]. 区域供热, 2014, (06): 52-58.
 - [10] 邱丽霞, 郝艳红. 火电厂低低温烟气处理系统烟气余热利用研究[J]. 能源与节能, 2014, (07): 184-186.
 - [11] 孙聿峰. 三步法烟气处理方案——对火力发电站烟气排放处理方案的探讨[J]. 应用科技, 1996, (02): 1-7.
- 作者简介: 徐祝庆(1974.10-), 男, 汉, 江苏省盐城人, 本科, 现有职称: 高级工程师, 研究方向: 环境保护。