

燃煤电厂烟气中重金属排放控制技术研究

张 弘

国家能源集团元宝山发电有限责任公司 内蒙古 赤峰 024000

摘 要: 燃煤电厂作为主要的能源供应方式,在满足全球电力需求的同时,其排放的烟气中的重金属污染物对环境和人类健康构成了严重威胁。因此,对燃煤电厂烟气中重金属排放控制技术进行深入研究至关重要。本文将从重金属的来源及危害、现有控制技术、技术发展趋势与展望等方面进行全面探讨,旨在为燃煤电厂环保改造提供有益的参考和指导。

关键词: 燃煤电厂; 烟气; 重金属排放; 控制技术

引言

随着全球能源需求的不断增长,燃煤电厂在能源供应中占据重要地位。然而,燃煤电厂排放的烟气中含有大量的重金属污染物,如汞、铅、镉、铬等,这些重金属元素对环境和人类健康造成了严重影响。因此,研究和开发高效的重金属排放控制技术已成为燃煤电厂环保改造的重要任务。

1 燃煤电厂烟气中重金属的来源及危害

1.1 重金属的来源

燃煤电厂烟气中的重金属污染主要源于煤炭的燃烧过程。煤炭作为一种复杂的矿物质燃料,其内部含有多种金属元素,包括一些对人体和环境有害的重金属。在煤炭燃烧的高温环境中,这些矿物质会发生一系列的物理变化和化学反应,导致重金属元素从煤炭中释放出来。部分重金属元素在高温下会挥发成气态,随着烟气排放到大气中;另一部分则会凝结成颗粒物,以固态形式存在于烟气中。这些气态和固态的重金属污染物在排放过程中,会对电厂周边的空气质量和生态环境造成严重影响。因此,深入了解燃煤电厂烟气中重金属的来源和生成机理,对于制定有效的污染控制措施具有重要意义。

1.2 重金属的危害

燃煤电厂烟气中的重金属元素因其毒性大、易在生物体内积累等特点,对环境和人类健康构成了严重的威胁。这些重金属一旦进入人体,就会对多个系统造成损害。例如,汞元素能损害人体的神经系统,特别是对大脑和肾脏的毒害极大,长期暴露可能导致严重的健康问题。铅元素对儿童的危害尤为突出,它能影响儿童的智力发育和行为能力,对成人的神经系统和消化系统也有不良影响。镉元素则主要影响人体的骨骼和肾脏,长期摄入镉污染的食物或水可导致骨质疏松和肾功能异常。此外,这些重金属元素在大气中的迁移和转化还可能对

生态系统产生长期影响,破坏生态平衡,对生物多样性构成威胁。因此,必须高度重视燃煤电厂烟气中重金属的排放问题,采取有效措施加以控制。

2 燃煤电厂烟气中重金属排放控制技术

2.1 燃烧前脱除技术

燃煤电厂在燃烧煤炭之前,通常会采用一系列物理或化学方法对煤炭进行预处理,以降低其重金属含量。这种预处理技术被统称为燃烧前脱除技术,是控制燃煤电厂烟气中重金属排放的重要手段之一。燃烧前脱除技术的核心在于通过物理或化学方法将煤炭中的重金属元素分离或转化为低毒性、低挥发性的形态。常见的燃烧前脱除技术包括洗煤、选煤和配煤等。洗煤主要是利用煤炭与杂质在物理性质上的差异,通过水洗、筛分等工艺将煤炭中的灰分、硫分以及部分重金属元素去除。选煤则是通过更精细的物理或化学方法,如浮选、磁选等,进一步提高煤炭的品质和降低重金属含量。配煤则是将不同品质、不同来源的煤炭按一定比例混合,以达到优化燃烧性能和降低重金属排放的目的。然而,燃烧前脱除技术在实际应用中面临着一些挑战和限制。首先,脱除效果受煤炭品质和洗选工艺的影响较大。不同品质、不同产地的煤炭其重金属含量和赋存形态差异较大,因此同一种脱除技术可能在不同煤炭上表现出不同的效果^[1]。其次,燃烧前脱除技术难以实现深度脱除。由于煤炭中重金属元素的赋存形态复杂多样,部分重金属元素与煤炭中的有机质紧密结合,难以通过物理或化学方法将其完全去除。为了克服燃烧前脱除技术的局限性,未来研究可以关注以下几个方面:一是开发新型高效的洗选工艺和设备,提高重金属脱除效率和降低能耗;二是研究煤炭中重金属元素的赋存形态和迁移转化规律,为制定针对性的脱除方案提供理论依据;三是加强废弃物处理和资源化利用研究,减少环境污染并实现

资源循环利用。

2.2 燃烧中控制技术

在燃煤电厂的运行过程中，燃烧中控制技术是减少烟气中重金属排放的关键环节。该技术主要通过调整锅炉的燃烧工况或使用特定的助燃剂，以降低重金属元素的挥发性，确保它们在炉膛内以固态形式存在，并最终随炉渣一同排出。具体来说，燃烧中控制技术包括多种方法。其中，低氮燃烧技术是一种常用的手段。该技术通过优化锅炉内的空气动力场和温度场，降低燃烧过程中的氮氧化物生成量。在这一过程中，重金属元素也得以更好地固定在炉渣中，从而减少了它们在烟气中的排放^[2]。此外，流化床燃烧技术也是一种有效的燃烧中控制

技术。该技术利用流态化的床层进行燃烧，床层内的物料在高温下与空气充分接触，实现了高效燃烧和脱硫脱硝（表1）。同时，流化床内的特殊环境也有利于重金属元素的捕集和固定。然而，燃烧中控制技术在实际应用中也面临着一些挑战。首先，锅炉的运行工况对技术的实施效果有着显著影响。例如，锅炉的负荷变化、煤种变化等因素都可能导致燃烧工况的波动，从而影响重金属元素的挥发性和固定效果。其次，煤炭的品质也是影响燃烧中控制技术效果的重要因素。不同品质的煤炭其重金属含量和赋存形态不同，因此同一种控制技术可能在不同品质的煤炭上表现出不同的效果。

表1 燃烧中控制技术应用效果示例表

控制技术	重金属排放减少率	二氧化硫排放变化	氮氧化物排放变化	一氧化碳排放变化	燃烧效率变化
低氮燃烧技术	30%-40%	轻微增加	减少10%-15%	增加5%-10%	轻微降低
流化床燃烧技术	40%-50%	减少20%-25%	减少25%-30%	轻微增加或不变	显著增加

注：实际数据可能因电厂规模、煤种、燃烧技术和其他因素而异。以上数据仅用于说明目的。

为了克服这些挑战，未来研究可以关注以下几个方面：一是开发新型高效的燃烧中控制技术，提高重金属元素的固定效果和降低其他污染物的排放；二是研究锅炉运行工况和煤炭品质对燃烧中控制技术效果的影响规律，为制定针对性的控制方案提供理论依据；三是探索多种技术联合使用的可能性，通过技术集成实现优势互补和协同增效；四是加强在线监测和智能控制技术的研发和应用，实现燃烧过程的实时优化和调整。通过这些努力，可以进一步推动燃烧中控制技术的发展和應用。

2.3 燃烧后捕集技术

在燃煤电厂的烟气处理中，燃烧后捕集技术占据着举足轻重的地位。作为目前应用最为广泛的重金属排放控制技术之一，它通过除尘器、湿法烟气脱硫装置等设备，有效地捕集烟气中的重金属污染物，从而显著降低其对环境对人类健康的危害。除尘器是燃烧后捕集技术中的重要组成部分。它的主要作用是去除烟气中的颗粒物，包括固态的重金属元素。这些颗粒物不仅本身对环境有害，还可能作为重金属元素的载体，将其带入大气中。除尘器通过物理或化学方法，如重力沉降、惯性碰撞、静电吸附等，将颗粒物从烟气中分离出来，从而达到净化烟气的目的。同时，部分气态的重金属元素也可能在颗粒物表面被吸附或凝结，随颗粒物一同被除尘器捕集。除了除尘器外，湿法烟气脱硫装置也是燃烧后捕集技术中不可或缺的一环（图1）。该装置主要利用碱性溶液吸收烟气中的二氧化硫和部分重金属元素。在湿法烟气脱硫过程中，烟气与碱性溶液充分接触，二氧化硫

与溶液中的氢氧根离子反应生成硫酸盐，同时部分重金属元素也与溶液中的离子发生反应，生成难溶性的化合物而被固定在溶液中。这样，不仅去除了烟气中的二氧化硫，还同时捕集了部分重金属元素，实现了多重净化效果。然而，燃烧后捕集技术在应用中也面临着一些挑战和问题。首先，设备投资和运行费用较高。除尘器和湿法烟气脱硫装置都需要大量的资金投入和持续的维护运行费用，这增加了电厂的运营成本。其次，废弃物处理问题也需要引起关注^[3]。

3 重金属排放控制技术的发展趋势与展望

3.1 技术融合与创新

在燃煤电厂烟气重金属排放控制领域，单纯依赖某一种技术往往难以达到理想的脱除效果。因此，将现有技术进行优化组合或创新开发出更加高效、经济的技术手段显得尤为重要。这种技术融合与创新的思路为重金属排放控制提供了新的可能。一种有效的技术融合方法是将燃烧前脱除技术与燃烧中控制技术相结合。燃烧前脱除技术主要通过物理或化学方法预处理煤炭，降低其重金属含量；而燃烧中控制技术则通过调整锅炉燃烧工况或使用助燃剂等方法来降低重金属的挥发性。将这两种技术相结合，可以实现多重脱除效果，既在燃烧前就减少了重金属的含量，又在燃烧过程中进一步控制了其挥发，从而显著降低烟气中的重金属排放。除了技术融合，创新开发新型材料也是提高重金属捕集效率和选择性的的重要途径。例如，研发新型吸附剂、催化剂等材料，这些材料具有更高的吸附容量和选择性，能够更有

效地捕集烟气中的重金属元素。这些新型材料的开发不仅可以提高重金属脱除效率，还可能降低设备的运行成本和维护难度，为燃煤电厂带来实实在在的经济效益和环境效益。技术融合与创新在燃煤电厂烟气重金属排放

控制领域具有巨大的潜力和应用前景。通过不断优化组合现有技术和创新开发新型技术手段，我们可以更加高效、经济地控制燃煤电厂烟气中的重金属排放，为保护环境和人类健康做出更大的贡献。

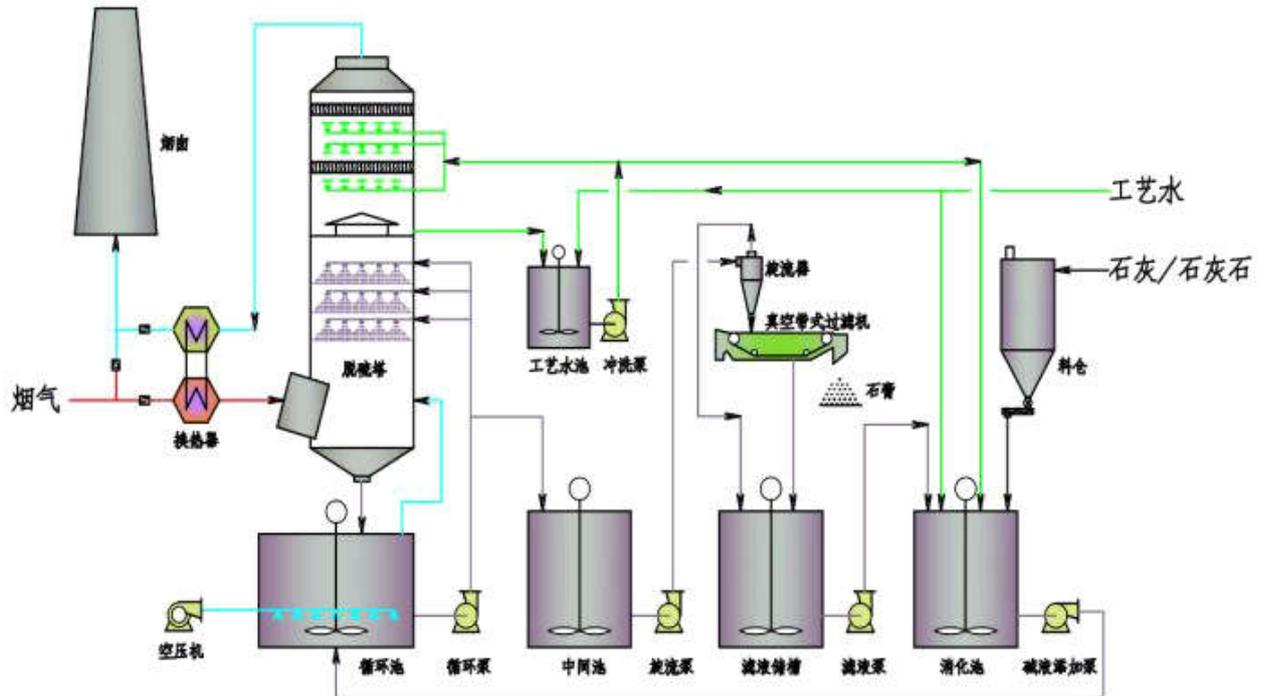


图1 湿法烟气脱硫工艺流程图

3.2 多污染物协同控制

在燃煤电厂烟气处理中，重金属排放控制并非孤立的任任务，而是需要与其他污染物的减排需求相协同。这种多污染物协同控制的理念，旨在通过综合性的技术手段，同时降低烟气中多种污染物的排放，实现环境效益的最大化。为了实现多污染物协同控制，研发多功能一体化设备成为关键。这类设备能够在—个处理单元内同时完成多种污染物的去除任务。例如，通过精心设计的吸附剂或催化剂，一体化设备可以同时捕集烟气中的重金属、二氧化硫（SO₂）和氮氧化物（NO_x）等污染物。这种一体化处理不仅提高了处理效率，还简化了处理流程，降低了设备投资和运行成本。此外，集成化技术方案也是实现多污染物协同控制的重要途径。这种方案将多种单一污染物处理技术进行有机整合，形成一个协同作用的整体。通过优化组合各种技术手段，集成化技术方案可以实现多种污染物的高效去除，并可能产生有价值的副产品，实现资源化利用^[4]。多污染物协同控制不仅有助于降低燃煤电厂对环境的影响，还能提高电厂的经济效益。

3.3 智能化发展

在当今的工业发展趋势中，智能化已经成为引领各行业创新和升级的关键动力。对于燃煤电厂而言，借助智能化手段来控制重金属排放，不仅能够提升环境效益，还能够实现运行效率和经济效益的同步提升。先进的监测和控制系统是实现燃煤电厂重金属排放智能化管理的基石。这些系统能够实时监控烟气中的重金属含量，并根据实际排放情况进行优化调整。例如，当监测系统检测到某一重金属元素的排放超标时，控制系统可以迅速响应，调整燃烧工况或启动相应的处理设备，以确保排放符合环保标准。随着人工智能和大数据技术的快速发展，燃煤电厂的运行状态分析和预测能力得到了极大提升。人工智能算法可以对海量的运行数据进行深度挖掘和分析，找出影响重金属排放的关键因素，并为电厂提供精准的运行优化建议。而大数据技术则可以实现对电厂运行历史数据的全面整合，通过模式识别和趋势预测，提前发现潜在的重金属排放风险，为电厂提供及时的预警和应对策略。智能化发展还为燃煤电厂的重金属排放控制带来了更多可能性。例如，通过与其他污染物控制系统的联动，实现多种污染物排放的协同优化；或者与供应链管理系统相结合，从源头上控制煤炭

中重金属元素的含量。

结语

燃煤电厂烟气中重金属排放控制技术研究对于推动燃煤电厂的环保改造和可持续发展具有重要意义。针对当前存在的问题和挑战,本文提出以下建议:一是加强政策引导和监管力度,推动燃煤电厂环保改造的实施;二是加大科研投入和人才培养力度,推动重金属排放控制技术的创新与发展;三是加强国际合作与交流,借鉴国外先进经验和科技成果,推动我国燃煤电厂环保改造水平的提升。

参考文献

- [1]赵维愚,宋晓晨,张士元等.CeO₂在燃煤烟气汞脱除中的研究进展[J].应用化工,2021,50(09):2598-2601+2608.
- [2]李扬,刘冰,杨赫等.MnOx-TiO₂吸附剂对燃煤烟气中汞的脱除[J].燃料化学学报,2020,48(05):513-524.
- [3]曾泽锋,刘天昕,李红明等.燃煤烟气脱汞吸附剂研究进展[J].应用化工,2023,52(04):1170-1174.
- [4]赵毅,聂国欣,贾里杨.燃煤电厂烟气脱汞技术的研究[J].华北电力大学学报(自然科学版),2019,46(02):103-110.