

污泥电厂掺烧烟气二次污染物来源及控制标准分析

纪括 平利晖

建投承德热电有限责任公司

摘要: 烟气二次污染物是指在一次污染物排放到环境中后, 经过物理、化学或生物作用, 进一步转化生成的新的污染物。这些二次污染物对环境的危害通常比一次污染更为严重, 且由于其形成机理复杂, 防治工作也面临较大的挑战。本文分析了污泥电厂掺烧烟气中二次污染物的来源、对环境和人体健康的影响, 以及控制策略和技术措施。烟气二次污染物主要来自未完全燃烧的碳粒、灰渣, 以及二氧化硫、氮氧化物等有害气体。这些污染物对大气环境、生态系统和人体健康都会造成严重危害。控制策略包括源头控制、燃烧过程优化、烟气净化技术以及加强监测和管理。通过综合采取多种措施, 可以最大限度地减少烟气二次污染物的排放, 促进污泥电厂的可持续发展。

关键词: 污泥电厂; 掺烧烟气; 二次污染物; 环境影响; 控制策略

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.10.084

引言: 随着城市化进程的不断推进, 污水处理厂产生的污泥量也在持续增加。如何合理、高效地处理和处置这些污泥, 是当前城市环境治理面临的重大挑战。近年来, 污泥电厂掺烧得到了广泛应用, 不仅实现了污泥的资源化利用, 还为电厂提供了可再生能源。然而, 在污泥电厂掺烧过程中, 会产生一定量的二次污染物, 如果不能得到有效控制, 将会对环境和公众健康造成新的威胁。

一、污泥电厂掺烧过程

污泥电厂掺烧过程是一个精密而复杂的工艺流程, 涉及多个关键环节和参数的严格把控。首先, 污泥需要经过预处理, 如脱水、干燥、破碎等步骤, 以降低含水率、提高热值, 为后续的燃烧过程做好充分准备。预处理的质量直接影响着最终的燃烧效率和污染物排放水平。其次, 经过预处理的污泥需要与合适的燃料按照一定比例进行混合, 确保混合物具有理想的化学组成和热值, 为稳定燃烧提供基础条件。不同污泥和燃料的特性都需要专门设计掺烧配比, 以实现最佳的燃烧状态。混合物被输送至锅炉燃烧室后, 便进入了掺烧的核心阶段。在这一阶段, 炉膛温度、氧气含量、二次风量等参数都需要经过精心调控, 以保证燃烧的充分性和稳定性。适当的温度不仅有助于燃料的完全氧化, 还可以减少一氧化碳、烟尘等污染物的产生; 而恰当的氧气供给则能够最大限度地避免由于缺氧造成的不完全燃烧。同时, 燃烧过程中产生的热量也需要通过高效的热交换系统加以回收利用, 以提高整个系统的能源利用效率。掺烧过程结束后, 产生的烟气和炉渣需要进行深度净化处理, 确保排放满足环保法规的严格要求, 实现污泥的无害化处理和资源化利用。通过这一系列精细的工艺流程, 污泥电厂不仅能够妥善处置大量城市污泥, 还可以

回收利用其中蕴含的热能, 为电厂提供可再生能源, 促进了电力行业的节能减排和可持续发展。

二、烟气二次污染物来源

在污泥电厂的掺烧过程中, 烟气二次污染物的产生主要源于两个方面: 未完全燃烧和燃烧副产物的形成。首先, 尽管采取了精细的工艺控制, 但由于污泥和燃料的复杂性, 仍难以避免少量碳粒和灰渣在燃烧过程中未被完全氧化。这些未完全燃烧的残留物会随着烟气一并排放, 成为颗粒物污染的重要来源。其次, 污泥和燃料中所含的硫、氮等元素, 在高温燃烧过程中会发生化学反应, 分别生成二氧化硫和氮氧化物等有害气体。这些气态污染物虽然在后续净化处理中会被部分去除, 但由于其反应活性较强, 在排放过程中仍会对大气环境造成一定程度的污染。此外, 污泥和燃料中还可能含有少量重金属元素, 如铅、汞等, 这些重金属在高温下会汽化并随烟气排放, 对生态环境和人体健康带来潜在风险。燃烧条件的优劣也会直接影响污染物的生成量, 如果温度过高或过低、氧气供给不足等, 都可能导致二次污染物的排放量增加。

总的来说, 从未完全燃烧的残渣到燃烧副产物的生成, 再到重金属元素的携带排放, 污泥电厂掺烧烟气中的二次污染物来源是多方面的。这些污染物一旦排放到大气中, 不仅会对空气质量造成直接影响, 还可能通过酸雨、雾霾等途径, 对土壤、水体乃至整个生态系统造成破坏, 同时也给人类的呼吸健康带来严重威胁。因此, 如何有效控制和减少这些二次污染物的排放, 是污泥电厂环保工作的重中之重。

三、烟气二次污染物对环境的影响

(一) 大气环境的直接污染

大气环境的直接污染主要体现在烟气中的二氧化

硫、氮氧化物等气态污染物与大气水汽发生反应而形成的酸雨。酸雨对环境的危害是全方位和深远的，它不仅会对建筑物造成腐蚀，更会对土壤和水体产生严重污染。当酸雨落入土壤时，会溶解并带走土壤中的有益矿物质，破坏土壤结构，降低土壤肥力，影响农作物的生长发育。而落入湖泊、河流等水体后，酸雨会改变水体的pH值，破坏水生生态系统的平衡，引发藻类等有害物种大量增长，导致水体富营养化，给饮用水源带来安全隐患。酸雨对建筑物的腐蚀作用也是显而易见的，它会加速金属、石材等建筑材料的风化，缩短建筑物的使用寿命，给城市经济建设带来沉重负担。除了直接的物理和化学腐蚀，酸雨还会对大气环境造成不可逆转的污染，如果长期暴露在酸雨环境中，人们呼吸的空气质量将大幅下降，健康受到严重威胁。因此，控制烟气中酸性气体的排放，减少酸雨的形成，是保护大气环境、维护公众健康的当务之急。

（二）颗粒物污染

除了气态污染物外，烟气颗粒物尤其是细小的PM_{2.5}颗粒物对环境和人体健康也构成了巨大危害。由于其微小的粒径，PM_{2.5}可以长时间悬浮在空气中，不仅直接降低了空气质量，还会阻隔阳光，影响大气能见度，引发严重的雾霾天气。近年来，雾霾天气已经成为许多大城市的顽疾，不仅给公众的正常生活和交通出行带来严重影响，也会直接损害公众的呼吸健康，增加患呼吸系统疾病的风险。值得注意的是，PM_{2.5}颗粒物本身还富含重金属等有毒有害物质，一旦吸入人体内，不仅会损害机体免疫功能，还可能引发癌症等重大疾病。此外，这些有毒物质也会通过大气沉降以及食物链的途径，进入土壤和水体，对农作物和野生动植物的生长造成毒害，破坏整个生态系统的平衡与稳定性。因此，加强对烟气颗粒物特别是细小颗粒物的控制和治理，是维护大气环境质量、保护公众健康的关键一环，也是实现可持续发展的必由之路。

（三）重金属等有毒物质的排放

重金属等有毒物质在烟气二次污染物中的存在，给环境和公众健康带来了隐患和危机。烟气中可能含有铅、汞、镉等重金属元素，这些元素具有极高的生物毒性和环境累积性。一旦进入环境，它们不仅会对当代生物造成直接危害，更可能通过食物链的传递，在生物体内不断富集和放大，给后代生物带来基因突变和生态风险。重金属污染对人类的危害尤为严重。当人们长期生活在重金属污染的环境中时，这些有毒物质会通过呼吸、饮食等途径不断进入体内。少量的重金属积累虽然

可能无明显症状，但长期积存的大量重金属却会导致肝肾损害、神经系统紊乱等一系列慢性中毒症状，严重者还可能引发癌症等重大疾病。此外，重金属对人体免疫系统也有明显的抑制作用，会加重其他疾病的症状，降低机体的抗病能力。值得注意的是，儿童和老年人由于新陈代谢旺盛或生理机能下降，对重金属的耐受性较低，更容易受到这些有毒物质的伤害。一旦暴露在高浓度的重金属环境中，他们患病的风险会成倍增加。因此，控制重金属等有毒物质的排放，是环境保护和公众健康防护的迫切需求。

（四）对人体健康的严重影响

烟气二次污染物对人体健康的危害是全方位和深远的。首当其冲的就是呼吸系统的损伤，长期吸入烟气中的细小颗粒物和有毒气体，会导致气道黏膜受损、肺功能下降，从而增加患哮喘、肺炎等呼吸道疾病的风险。更为严重的是，这些污染物还可能通过血液循环，进入全身各个脏器，引发心血管疾病、神经系统疾病等一系列并发症。其中，颗粒物中常见的重金属物质和致癌物质，一旦进入体内长期累积，就有可能诱发畸胎、白血病等重大疾病，对生命安全构成严重威胁。值得重视的是，烟气二次污染物对儿童和老年人的危害尤为显著。儿童由于新陈代谢旺盛、机体发育尚未完全成熟，极易吸收并累积有毒物质；而老年人则是由于生理机能下降，抵抗力减弱，一旦暴露在污染环境中，容易患上呼吸、心血管等慢性疾病。此外，免疫功能较弱的人群如艾滋病人、肿瘤患者等，也是受烟气污染影响的高危人群。他们的机体更容易受到污染物的侵害，加重原有疾病的症状。因此，控制烟气二次污染物的排放，维护空气质量，不仅关乎当代公众的身体健康，对于子孙后代的健康发展也具有深远的影响，是环境保护工作中最为重要的一环。

四、控制策略与技术措施

（一）源头控制策略

针对烟气二次污染物的源头控制策略主要包括以下几个方面：首先是优化污泥预处理工艺，有效降低污泥本身的污染潜力。以某大型污水处理厂为例，近年来他们引进了国内先进的污泥脱水和干燥技术，将污泥含水率控制在20%以下，同时对污泥进行机械破碎，增大比表面积，为后续燃烧过程做好充分准备。与此同时，他们还通过化学药剂调节和厌氧消化等方式，降低了污泥中有机物和硫化物的含量，减少了燃烧过程中二氧化硫等污染物的产生。其次是优化燃料配比，选用低硫低氮的清洁燃料。在上述污水处理厂，传统燃料为煤炭，

含硫量高达1%左右,极易在燃烧过程中生成大量二氧化硫。为此他们逐步将燃料替换为天然气,硫含量仅为万分之几,并调整了掺烧比例,使得污泥热值占总热值的40%左右,整个系统的燃烧效率和稳定性都得到了大幅提升。第三是对污泥和燃料进行均匀混合,避免不均匀导致燃烧不稳定。该厂采用了双轴桨叶式混合机,将预处理后的污泥与天然气充分混合搅拌,形成均匀的混合燃料,极大降低了不完全燃烧的可能性,同时减少了炉温波动,避免了污染物生成量剧增。

(二) 燃烧过程优化

在污染物形成后的燃烧优化控制阶段,关键在于火焰温度和空气流量的精准调节。以上述污水处理厂为例,他们在锅炉燃烧室安装了先进的低氮燃烧器和分级供风装置,既保证了足够的高温使污染物充分燃烧分解,又减少了高温区产生的热态氮氧化物,并在降温区追加部分空气,进一步将剩余碳化合物和一氧化氮彻底氧化。整个燃烧过程温度在1200-1300℃之间波动,始终保持在最佳污染物控制温度范围内。另一方面,他们还优化了炉膛空间的流场设计,确保了足够的驻留时间,让污染物在高温区得到充分分解和氧化。与此同时,通过实时监测系统,对二次风量、过剩空气系数等参数进行动态调整,始终保持最佳的燃烧状态,避免由于供氧不足而产生大量碳粒和一氧化碳等未完全燃烧污染物。通过源头优化和燃烧控制的双重措施,该污水处理厂的污泥焚烧系统已经成为同行业内污染物排放控制的典范。

(三) 烟气净化技术

针对烟气二次污染物,采取有效的净化技术也是控制污染的关键一环。针对烟气中的不同污染物种类,业内通常采用脱硫、脱硝、除尘等多种技术路线并重,以实现协同治理的效果。以某大型电厂为例,针对烟气中的二氧化硫,他们采用了国内最先进的石灰石-石膏湿法脱硫技术。工艺流程是将石灰石粉与烟气中的二氧化硫反应生成石膏,同时喷入的氨水也可以有效去除氟化物、氯化氢等酸性气体。整个脱硫系统的二氧化硫去除率可达99.5%以上,完全达到国家环保排放标准。脱硝方面,该电厂使用了选择性催化还原技术,在高温烟气路线中布置催化剂层,利用尿素或氨作为还原剂,将氮氧化物还原为氮气和水。这套脱硝系统投资高达数亿元,但稳定运行后的氮氧化物去除率可达90%以上,彻底解决了烟气中氮氧化物排放的难题。对于烟气中的颗粒物,电厂引入了静电除尘和布袋除尘的组合技术。静电除尘器通过高压放电原理,使烟尘粒子带正电荷,吸

附在负极收尘极板上,去除了绝大部分粗颗粒物。而后续的袋式除尘器则利用玻璃纤维滤袋,将细小尘粒彻底过滤掉,确保颗粒物排放浓度低于10mg/m³的国家标准。值得一提的是,该电厂的烟气净化系统还设置了重金属捕集装置,通过喷射活性炭粉末吸附烟气中的重金属元素,避免其随烟气排放造成污染。此外,电厂内部还建有污水处理站,将各净化系统排出的废水经处理后循环利用,将“三废”的排放降到了最低限度。

(四) 监测与管理措施

除了上述端头控制和净化技术之外,全面高效的监测和管理也是实现污染物排放长期稳定控制的关键。以上述电厂为例,他们在厂区各个关键点位安装了CEMS(烟气连续排放监测系统),实时在线监控烟气中各种污染物的浓度变化。一旦发现异常,系统会立即发出预警并自动调整净化装置的运行参数,以消除异常。与此同时,电厂还建立了完善的监测数据管理系统,所有排放数据都会实时上传至省级环保平台,接受政府监管部门的远程监控和核实,确保数据的真实可靠。除此之外,电厂内部还定期组织第三方环保机构进行实地抽查,同时建立了严格的环境管理制度,环保绩效与员工绩效薪酬直接挂钩,确保污染控制工作的长期落实。当前,这座电厂已连续多年获得国家级绿色电厂荣誉,成为国内污染物排放控制的典范。不仅如此,电厂还定期举办环保开放日,向公众展示他们的环保工作成果,普及环保意识,形成全社会的良好氛围,共同推进生态文明建设。

结束语:烟气二次污染物的控制是污泥电厂实现可持续发展的关键。只有从源头到终端全过程采取综合治理措施,才能最大限度地减少污染物排放,降低对环境和公众健康的影响。对此,政府需要制定更加严格的环保法规,加大监管力度;企业需要增强环保意识,加大资金和技术投入;公众也应当积极参与,共同为建设美好生活环境贡献力量。只有全社会的共同努力,才能最终实现污泥电厂污染物的有效控制,促进生态文明建设,实现经济社会可持续发展。

参考文献

- [1] 王滨, 廖国权, 李皎等. 燃煤电厂排烟温度控制协同减排效益分析[J]. 环保科技, 2021, 27(05): 5-8.
- [2] 洪志刚, 张杨, 刘永生等. 燃煤电厂烟气非常规污染物检测与协同控制技术研究综述[J]. 发电技术, 2020, 41(05): 517-526.
- [3] 燃煤电厂低成本高效烟气污染物脱除技术及示范工程. 山西省, 晋能长治热电有限公司, 2020-07-24.