

垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理技术

文 / 王 维 沈阳新基环保有限公司

摘要：垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理技术是通过将垃圾渗滤液经过预处理后回喷至焚烧炉内，实现渗滤液的高温氧化处理。该技术不仅能够显著降低渗滤液中有害物质的含量，还能有效提升焚烧炉的燃烧效率，减少环境污染。本文探讨了垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理技术原理、流程及关键因素，分析该技术对焚烧炉运行工况的影响，以期垃圾焚烧发电行业提供技术参考。

关键词：垃圾焚烧发电厂；渗滤液；回喷处理技术；燃烧效率；优化运行策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.114

引言

渗滤液含有高浓度的有机物、重金属和有毒有害物质，如果处理不好，渗滤液中含有人体、重金属及有毒有害物质的高浓度有机物，将严重影响环境和人类健康。作为高效、经济地处理渗滤液回喷处理技术，渗滤液经焚烧炉回喷高温氧化，实现渗滤物无害化、资源化利用。该技术不但可以有效地将渗滤液中的有机物、有毒有害物质去除，而且还可以使焚烧时产生的二次污染物减少，整体环保效益得到提高。同时，渗滤液回喷处理技术还可以减少渗滤液的排放量，为随后的处理系统减负，同时也为处理费用降低而减少处理成本。因此，研究开发渗滤液回喷处理技术，对提高垃圾焚烧发电厂的环保水平和经济效益意义重大。

一、渗滤液的特性分析

（一）难降解

渗滤液中含有大量芳香族化合物、杂环化合物、长链脂肪酸以及多环芳烃（PAHs）等难降解有机物，这些难降解有机物结构复杂，化学稳定性高，不易被常规的生物处理工艺所分解。芳香族化合物，如苯酚、苯胺等，因其苯环结构的稳定性而难以生物降解；杂环化合物，如吡喃、吡啶等，由于含有杂原子，增加了生物降解的难度；长链脂肪酸，如硬脂酸、油酸等，因其碳链较长，不易被微生物直接利用；而多环芳烃更是因其高度的化学稳定性和生物累积性，成为渗滤液处理中的棘手问题^[1]。

（二）危害大

渗滤液中含重金属（如铅、镉、铬）、持久性有机污染物（POPs）、内分泌干扰物（EDCs）等多种有毒有害物质。重金属具有累积性和不可降解性，可通过食物链进入人体，造成重金属中毒；持久性有机污染物在自然环境中难以降解，可长距离迁移，对全球生态系统造成危害；内分泌干扰物则可干扰人体和动物的内分泌系统，影响生殖、发育和免疫系统。渗滤液中的这些有毒有害物质若未经妥善处理而直接排放，将对水体、土壤和大气造成污染，进而威胁人类和生态系统的健康与安全。

（三）腐蚀性强

渗滤液的腐蚀性很强，主要是因为它的无机酸和有机酸浓度很高。渗滤液中的无机酸，如硫酸、盐酸等，

以及PH值常较低、腐蚀性强的有机酸，如乙酸、丙酸等。渗滤液的腐蚀性除了对处理设施造成腐蚀损害、设备寿命缩短、维护费用增加外，还可能造成对自然环境的腐蚀污染，如地下水、土壤等。因而，对金属材料腐蚀速度加快、对渗滤液处理系统稳定运行构成影响。此外，还有渗滤液中的氯离子、硫酸根离子等腐蚀性离子，也会加速金属材料的腐蚀速率。

二、渗滤液回喷处理技术原理

作为垃圾渗滤液处理的创新途径，渗滤液回喷处理技术的基本原理是利用垃圾焚烧炉高温环境对渗滤液进行处理，该技术流程见图1所示。该技术将经过适当预处理的渗滤液通过特定的喷射装置均匀地喷洒到焚烧炉内，从而达到高效无害化处理渗滤液的目的。其核心是在高温条件下，渗滤液能很快蒸发，并能热解，而且能氧化。在处理时，首先收集渗滤液，并将它送入净化预处理系统。由于能将渗滤液中的大颗粒杂质去除，调节其酸碱度，使有机物浓度降低，并进行脱氮除磷等处理，因此，此预处理步骤是必不可少。

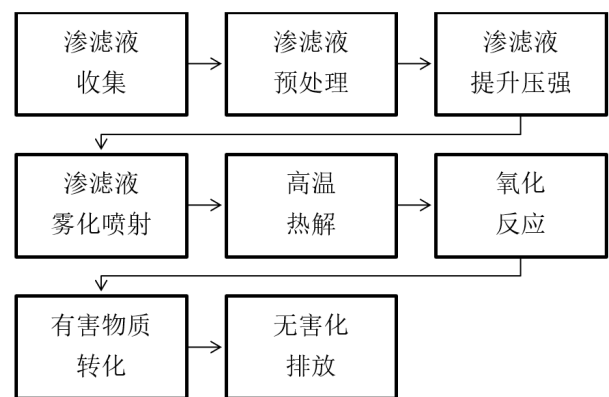


图1 渗滤液回喷处理流程

这些预先处理措施保证了符合回喷处理要求的渗滤液，奠定了后续高效无害化处理的基础。经过预处理后，通过高压泵将渗滤液提升压强，然后送入专用喷射装置。这些装置一般都有精密的雾化喷头，可以将渗液雾化成细小的液滴，这样就可以很快而均匀地分布在炉膛里。当这些细微的渗液滴进入焚烧炉高温环境时，它们会很快蒸发出来，并发生CO₂、水蒸气等一系列复杂的热解

和氧化反应。渗滤液中的有机物质在高温下迅速分解成二氧化碳和水蒸气等小分子气体。随后这些气体又参与燃烧过程，与焚烧炉中的其他气体一起，最终转化为无害的排放物。同时，在高温下固化或转化为稳定的化合物，渗滤液中的重金属等有害物质也会降低它们对环境潜在的危害^[2]。

三、垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理技术应用

(一) 渗滤收集

在垃圾焚烧发电厂中，主要通过垃圾仓底部的渗滤液收集系统来实现渗滤液的收集，主要是在垃圾储存和发酵过程中产生渗滤液。该系统通常由设计合理的采集点和流控装置的一系列收集管路和渗滤液收集池组成，以保证全面高效地收集渗滤液。在实际操作中，渗滤液的收集量会受到多种因素的影响，包括垃圾的种类、含

水量、贮存时间，以及垃圾仓的密封性等，渗滤液的收集量一般情况下，大型垃圾焚烧发电厂的渗滤液收集系统，为了满足后续回喷处理的要求，每天都可以将随后送入预处理系统进行过滤、调整 pH 值、降低有机物浓度、脱氮除磷等处理的几十吨甚至上百吨渗滤液收集起来^[3]。

(二) 渗滤预处理

在进行加工过程当中，首先采用格栅及筛网等物理过滤装置对渗滤液进行物理过滤，这一步骤能够去除粒径大于几毫米的固体颗粒物。随后，渗滤液进入混凝沉淀池，通过加入混凝剂使悬浮物聚集成较大的颗粒并沉淀下来，此过程可以去除 80% 以上的悬浮物。另外，为了保证后续生物处理的效率，预处理系统还会通过调节 pH 值的装置来将渗滤液的 pH 值调整到合适的范围内。

表 1 渗滤预处理技术指标

技术指标	常规数据
物理过滤	
(1) 格栅及筛网过滤粒径	<5mm
(2) 固体颗粒物去除率	≥ 90%
混凝沉淀	
(1) 混凝剂种类	聚合氯化铝 (PAC)、聚丙烯酰胺 (PAM) 等
(2) 悬浮物去除率	≥ 80%
pH 值调节	
(1) 目标 pH 值范围	6.5 ~ 8.5
(2) 调节方式	加酸或者加碱
预处理后水质	
(1) 悬浮物浓度 (SS)	≤ 50mg/L
(2) 化学需氧量 (COD)	降低至原浓度的 50% ~ 70%
(3) 生物需氧量 (BOD)	降低至原浓度的 40% ~ 60%
(4) pH 值	6.5 ~ 8.5

(三) 渗滤升压

渗滤液在经过预处理系统后，其悬浮物、有机物浓度和 pH 值等指标均已达到回喷处理的要求。此时，渗滤液被送入高压泵进行升压。高压泵通常采用多级离心泵或柱塞泵等高效能泵型，以确保渗滤液能够获得足够的压力。

一般情况下，渗滤液升压系统的高压泵设计压力为 2.0 ~ 3.0 MPa，实际运行压力则根据渗滤液的流量和喷射装置的要求进行调整。在升压过程中，渗滤液的压力从预处理系统出口的低压小于 0.5 MPa，迅速提升至高压泵的出口压力，这一升压过程通常能够在几秒钟内完成，以确保渗滤液能够连续、稳定地供给后续的雾化喷射装置。升压后的渗滤液压力足、流速快，可以通过专用喷雾器顺利雾化。雾化喷雾器通常装有能将渗滤液雾化成粒径通常在数十微米至数百微米之间的细微液滴的精密喷嘴。

(四) 渗滤雾化

渗滤液在经过升压处理后，进入特制的雾化装置进行雾化。雾化装置通常采用离心式或气流式雾化器，这些雾化器能够将渗滤液雾化成细小的液滴。对于离心

式雾化器，其雾化轮转速一般高达数千至数万转 / 分钟，产生的液滴粒径主要取决于雾化轮的转速、渗滤液的如黏度和密度。在优化的运行参数下，离心式雾化器能够产生粒径分布均匀的细小液滴，其体积平均直径通常小于 200 微米，且大部分液滴的粒径集中在几十微米范围内。例如，当雾化轮转速为 10000 转 / 分钟，渗滤液流量为某一定值时，产生的液滴体积平均直径可能约为 100 微米，其中小于 50 微米的液滴占总数量的比例较高^[4]。

(五) 渗滤回喷

焚烧炉高温区域一般会发生渗滤回喷，这样可以保证渗滤液蒸发快、分解快。在这一环节中，首先是通过压力通常维持在 2.0 ~ 3.0 MPa 之间的高压泵将渗滤液送到焚烧炉的特定位置，保证渗滤液在高温烟气中顺利渗透，达到预期雾化效果。根据焚烧炉的负荷及渗滤液浓度来调节渗滤液流量，一般情况下，渗滤液流量控制在几十吨 / 小时的范围内。喷淋时，渗滤液经专用喷头雾化，形成细密的滴液。这些水滴的粒径一般在数十微米到数百微米之间，具体数值视喷头设计、压力大小、流量大小等因素而定。雾化后的渗滤液可以与炉内烟气进

行更充分的混合,蒸发分解效率更高。其中的有害物质,如有机物、氨氮等,会随着渗滤液在炉膛内的蒸发分解而被高温氧化分解,转化成二氧化碳、水蒸气等对人体无害的小分子气体。同时,渗滤液回喷量与渗滤液成分、喷射量、焚烧炉运行工况等密切相关的烟气中氮氧化物(NO_x)浓度也能明显降低,减排效果通常能达到10%以上的减排率。

(六) 渗滤液高温处理

渗滤液高温处理过程中,主要将渗滤液送入焚烧炉高温区,经过前期预处理、升压、雾化、精确测量等工序后,再进行处理。在焚烧炉内,渗滤液雾滴迅速暴露在高温烟气中,保证渗滤液充分蒸发并高效分解,通常炉内温度维持在850摄氏度至1100摄氏度之间。渗滤液中的有机物质在高温作用下1秒钟被氧化为二氧化碳和水蒸气,氨氮等有害物质则变成氮气和水。这一工艺既做到了快速无害化处理渗滤液,又实现了有毒物质减排。一般来说,根据烟气温度、流速和雾滴粒径、初始浓度的不同,渗滤液雾滴在高温烟气中的蒸发速度也不同。在最优化的运行状态下,通常蒸发的速度很高,这样就能保证在短时间内彻底蒸发掉渗滤液。同时,二氧化碳和水蒸气是由高温烟气中的氧气和渗滤液中的有机物质发生剧烈氧化反应而产生^[5]。

(七) 渗滤液净化

渗滤液净化过程中,经过多个阶段的净化,渗滤液首先进入烟气净化系统。烟气中的二氧化硫在脱硫阶段主要通过通常能达到90%以上脱硫效率的湿法脱硫装置处理,以保证二氧化硫在烟气中的浓度降到较低水平。随后烟气进入脱硝阶段,通过同样可达到90%左右脱硝效率的选择性催化还原法(SCR)或选择性非催化还原法(SNCR)去除氮氧化物,使烟气中的氮氧化物含量显著下降。随后,烟气进入除尘阶段,将烟气中的微粒通过高效除尘设备进行捕集和分离,如袋式除尘器或电除尘器。

四、垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理技术的效果

(一) 有机物去除率

有机物质去除效果显著的是垃圾焚烧发电厂渗滤液回喷处理工艺。在渗滤液回喷过程中,由高压装置喷入焚烧炉进行高温氧化处理后,经收集、过滤后将渗滤液喷入炉内进行处理。这一过程不但使燃烧率得到提高,而且使渗滤液中的有机物质得到有效分解。研究显示,渗滤液中化学需氧量(COD)的去除率可以达到94%以上,通过深度处理工艺,如混凝、电化学、好氧处理以及活性炭吸附等组合工艺,系统出水COD浓度可降至较低水平。尤其是回喷处理技术对于大分子腐殖质等难降解有机物而言,同样表现出很好的去除效果,使渗滤液中的有机物含量得到有效降低,从而为后续处理减轻了负担。

(二) 有毒有害物质去除

对有毒有害物质去除的渗滤液回喷处理工艺,其作

用同样显著。在焚烧炉内高温环境下,重金属离子、持久性有机污染物等有毒有害物质的渗滤液可以有效分解或固化在渗滤液中。这些有害物质通过高温氧化作用转化成无害或低毒的物质,从而减少潜在的环境危险性。另外由于渗滤液中的某些成分可以与二恶英前驱物发生化学反应,从而降低其生成量,因此渗滤液回喷还可以减少焚烧过程中产生的二恶英等有毒有害物质的排放。因此,渗滤液回喷处理技术不仅对去除渗滤液中的有毒有害物质有一定的帮助,而且对焚烧过程中有毒有害物质的排放量也有所降低,整体环境保护效益也得到了提升。

(三) 降低恶臭与腐蚀性

渗滤液回喷处理技术也有积极的作用,可以减少异味和腐蚀性。渗滤液中含有大量容易发酵产生恶臭气体的有机物和无机盐,在积累过程中会对设备、管线产生腐蚀作用。渗滤液中的有机物质经回喷处理技术,经高温氧化分解,使恶臭气体的产生量降低。同时,焚烧炉内的高温环境对渗滤液中的腐蚀性物质的排除也有一定的帮助,减少腐蚀设备及管线的危险。另外,渗滤液回喷还能减少渗滤液的排放,使其在处理成本和环境污染方面进一步降低,从而减轻了对渗滤液处理系统的负担。

结语

总之,渗滤液回喷处理技术,它作为垃圾焚烧发电厂渗滤液处理的一种高效方法,具备一定的环境效益以及经济效益。该技术在运用的过程中通过利用高温氧化处理的方式,能够全方面的去除渗滤液的有机物以及有害物质,能够减少这些物质对环境造成的影响。同时,该技术在运用的阶段中也能够减少焚烧产生的二次污染,提高环境水平。然而,垃圾焚烧发电厂在生产的阶段中存在的渗滤液量比较大,而如何有效地降低处理成本,提高处理效率,作为目前仍需要进一步研究的内容。因此,在往后研究中还需要综合实际情况,引进智能化高消化的处理方式,达到垃圾焚烧发电厂渗滤液处理的标准需要。

参考文献

- [1] 段付岗. 煤气化渣场渗滤液返厂生化处理的研究及应用[J]. 中氮肥, 2020, (04): 5-8.
- [2] 粟颖. 生活垃圾渗滤液膜浓缩液处理工艺探讨[J]. 广东科技, 2021, 30(11): 68-70.
- [3] 刘锐, 傅梦凯, 卢志明, 等. 生活垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工艺及回用[J]. 广州化工, 2019, 47(15): 125-127+130.
- [4] 吕萍. 焚烧发电厂城市生活垃圾渗滤液处理技术[J]. 化工管理, 2021, (24): 49-50.
- [5] 李德鲲, 张冰, 黄国洪, 等. 危废处置安全填埋场渗滤液处置工艺研究进展[J]. 广东化工, 2023, 50(23): 80-81+94.