减风提浓 +RTO 热力燃烧工艺在涂布烘箱废气治理中的实践研究

黄荣贵

(东莞市康莱环保科技有限公司, 广东 东莞 523000)

摘要 随着我国涂布行业的发展,涂布烘箱废气排放问题日益凸显。本文聚焦于减风提浓+RTO热力燃烧工艺在该领域废气治理中的应用,深入剖析工艺原理,并引入实际工程案例,详尽阐释工艺流程、技术特性及治理成效。研究表明,该工艺在处理涂布烘箱废气时展现出高效能、节能且环保的显著优势,可确保废气达标排放。本研究旨在为相关行业的废气治理工作提供有益的借鉴,有助于推动行业的绿色发展,实现环境保护与经济增长的良性互动。

关键词 减风提浓; RTO; 热力燃烧工艺; 涂布烘箱; 废气治理

中图分类号: X7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.01.006

0 引言

在环保要求渐趋严格的当下,涂布行业深陷废气治理困境。涂布烘箱生产时产生富含挥发性有机物(VOCs)的大量废气,严重威胁环境与人体健康。传统废气处理手段成效欠佳,无法契合愈发严格的排放标准。新兴的减风提浓+RTO热力燃烧工艺则展现出显著优势,其高效、节能且环保。对该工艺于涂布烘箱废气治理中的实践加以研究,意义重大,既能助力企业削减环保成本、提升生产效率,又可为整个涂布行业的可持续发展提供强有力的技术支撑与借鉴,推动行业向绿色低碳转型。

1 减风提浓+RTO+余热利用热力燃烧工艺原理

1.1 减风提浓原理

传统的烘箱通风设计,为了保障工作环境的安全以及产品的质量,往往会采用较大的通风量,从而导致排出的废气风量大,且VOCs浓度偏低。减风提浓的关键在于,在不影响生产工艺和产品质量的前提下,恰当地调整通风系统的相关参数,例如通风口的尺寸、风机的转速等,以此来降低废气的产生量^[1]。当风量降低时,废气在烘箱内的停留时间会延长,使得VOCs能够更充分地挥发,浓度得以提升。提高废气中VOCs的浓度具有诸多好处,既能够减少后续处理设备需要处理的废气总量,缩小处理设备的规模,降低设备的投资成本和占地面积,又能够在后续处理中更有效地利用能源和处理药剂,节省运行成本。

在减风提浓过程中,安全是至关重要的考量因素。为确保安全,采用爆炸下限(Lower Explosive Limit, LEL)等仪器进行实时监测,保证废气中VOCs浓度始终在爆炸下限25%以下。通过LEL仪器的监测,可以及时调整通风系统的参数,避免因VOCs浓度过高而引发爆炸事故。同时,结合完善的通风系统设计和安全联锁装置,一旦监测到浓度接近危险值,能够迅速采取应急措施,如加大通风量、停止生产等,确保生产过程的安全稳定。

1.2 余热利用原理

气气换热是余热利用的一种常见方式。在该方式中,高温的废气与需要加热的新鲜空气进行热交换。高温废气中的热量传递给新鲜空气,使其温度升高。升温后的新鲜空气可以回用至烘箱,减少烘箱的能源消耗。气气换热的优点在于换热效率高,能够直接将废气中的热量传递给新鲜空气,实现能源的快速回收利用。但需要注意的是,气气换热对设备的密封性和耐腐蚀性要求较高,以确保换热过程的稳定和高效。

气水换热则是通过将高温废气与水进行热交换,使水升温。升温后的水可以用于生产过程中的其他环节,如加热物料、提供生活热水等。与气气换热相比,气水换热的适应性更强,对于废气温度和流量的波动有较好的承受能力。同时,水作为换热介质,具有较高的比热容,能够储存较多的热量。

1.3 RTO热力燃烧原理

蓄热式热力氧化炉(Regenerative Thermal Oxidizer,

RTO) 属于高效的 VOCs 处理技术。其原理为将废气加热至高温, 从而促使其中的 VOCs 发生氧化分解, 进而转变为二氧化碳和水。废气首先进入 RTO 燃烧室, 借助燃烧器或其他加热装置迅速升温到 760 °C 以上。在这种高温环境中, VOCs 分子与氧气剧烈反应从而分解为无害物质^[2]。为了提高能源利用率, RTO 采用具备优良蓄热性能的陶瓷蓄热体, 在废气加热时吸收大量热量, 在废气处理后的冷却阶段释放出来, 用于预热即将进入燃烧室的废气, 极大地降低了运行过程中的能源消耗。

RTO 运行通常划分为进气、燃烧和排气这三个阶段, 通过周期性的切换, 达成热量的高效回收与利用。在进气阶段, 废气进入蓄热室进行预热, 与此同时蓄热体冷却; 在燃烧阶段, 预热后的废气在燃烧室发生氧化反应; 在排气阶段, 处理后的高温废气经过另一蓄热室传递热量后排空。

2 工艺流程

2.1 废气收集

对于涂布烘箱来说, 合理设置集气罩是废气收集的关键所在。集气罩的设计要综合考虑烘箱的尺寸、形状、操作方式以及废气的产生特点。集气罩的位置应当靠近废气源, 其形状要最大程度地覆盖废气散发的区域。集气罩与管道的连接必须紧密且密封良好, 避免废气泄漏^[3]。管道的材质需要耐腐蚀并且具有一定的强度, 能够承受废气的温度和压力, 其布局也要合理, 减少弯头和阻力, 确保废气传输通畅。另外, 废气收集系统还需要配备压力传感器、流量监测仪等监测设备, 以便实时了解系统的运行状况。

2.2 减风提浓系统

减风提浓系统凭借先进的通风控制技术, 成为实现风量降低与浓度提升的关键核心。借助精准的气流控制与调节装置, 诸如变频器、调节阀等, 能够依据实际生产情况动态地调控风量。在减风过程中, 需要依靠智能控制系统对风量予以精确监测和调控。此系统能够实时采集废气的流量、浓度等参数, 并依照预设的算法和策略, 自动调节通风设备的运行参数, 以达成减少风量以及提升废气浓度的目的。为确保系统稳定可靠, 还应当配置备用通风设备以及应急处理机制, 保证在设备出现故障或异常时能够及时切换, 维持生产的连续性以及废气处理的效果。该系统的有效运行, 不但能够减轻后续处理设备的负荷, 还能够提高废气中有机物的浓度, 提升 RTO 处理系统的燃烧效率, 降低运行成本。

2.3 RTO 处理系统

当废气进入 RTO 处理系统时, 首先进入预热环节。在这一环节中, 废气与高温蓄热体进行热交换, 温度迅速升高, 为后续的燃烧做好准备。燃烧阶段是 RTO 处理系统的关键环节。经过预热的废气在燃烧室内与适量空气混合, 于高温下发生氧化反应, 促使废气中的挥发性有机物 (VOCs) 转化为二氧化碳和水等无害物质, 燃烧产生的高温热能被蓄热体吸收并储存^[4]。在蓄热阶段, 蓄热体储存的热能用于对新进入的废气进行预热, 实现能量的回收利用, 提高系统的热效率。RTO 处理系统的蓄热体通常选用陶瓷材料, 因为其具有出色的耐高温和热交换性能。为了确保系统稳定运行和高效处理效果, 需要严格控制并优化燃烧温度、停留时间、废气流量等参数, 同时配备完备的安全保护装置, 例如防爆阀、温度传感器、压力传感器等, 以预防系统在异常情况下发生安全事故。

2.4 尾气排放

处理后的尾气经烟囱达标排放是整个工艺的最终环节。在排放之前, 必须对尾气展开严格的监测与检测, 确保其中污染物的浓度符合国家和地方的排放标准。尾气监测设备应当具备高精度、高灵敏度以及实时性, 能够精确测量尾气中各类污染物的含量, 诸如 VOCs、颗粒物、氮氧化物等^[5]。倘若监测表明尾气未达标, 应当立即调整处理系统的运行参数或者采取进一步的处理举措, 例如增加活性炭吸附、催化氧化等, 一直到尾气达标排放为止。烟囱的高度和结构设计需要符合相关规范的要求, 从而保证尾气能够充分扩散, 降低对周边环境的影响, 并且应当定期进行检查和维护, 以保障其结构的稳定以及排放的安全。

3 技术特点

3.1 高效去除 VOCs

减风提浓与 RTO 热力燃烧技术的协同作用, 在挥发性有机化合物 (VOCs) 的去除领域呈现出极为出色的效能, 多种 VOCs 的去除率能够超过 95%。在减风提浓环节, 对废气收集与输送系统进行了精心优化, 于风量削减的同时提高废气中 VOCs 的浓度, 使得进入 RTO 燃烧装置的废气具有更高的污染物浓度, 为燃烧反应的充分进行创造了有利条件, 从而增强了去除效果。RTO 热力燃烧技术凭借高温氧化的原理, 将 VOCs 分子裂解为无害的二氧化碳和水, 高温环境有力地激活了化学反应, 确保了对各类复杂有机化合物的高效处理。并且, RTO 设备内的陶瓷蓄热体能够实现热量的回收与再利用, 进一步提高了燃烧过程的能量利用效率, 强

化了对 VOCs 的去除能力。

3.2 显著的节能成效

减风提浓技术在降低风量之际，同步减少风机运行功率与能耗，凭借精准的风量把控，规避不必要的能源损耗，压低系统运行成本。RTO 中的蓄热体在加热阶段吸纳燃烧生成的热量，待废气切换时释放所储热量以预热待处理废气。这种蓄热回收机制显著降低维持燃烧所需的外部能源投入，提高能源利用效率。相较于传统燃烧技术，减风提浓与 RTO 热力燃烧技术的综合节能效果可达 30% 以上，不但削减企业能源开支，更契合可持续发展的诉求。

3.3 运行稳定且可靠

先进的控制系统是保障减风提浓+RTO 热力燃烧设备得以长期平稳运作的核心要素。此控制系统能够对废气的流量、浓度、温度等重要参数进行实时监测，并依据预先设定的运行策略，自动调控设备的运行状态。比如，当废气浓度出现较大幅度波动时，控制系统会即刻对燃烧温度与风量予以调整，切实保障燃烧反应平稳推进，有效规避温度异常、燃烧不完全等不良状况。此外，设备的关键组件，像燃烧器、风机、阀门等，皆选用高品质、可靠性卓越的产品，以确保在长期运行过程中性能始终稳定如一。

3.4 适应性出色

对于小规模涂布烘箱而言，通过科学合理的设计与配置，能够达成高效的废气处理，在满足环保要求的同时，避免造成过高的投资与运行成本压力。而面对大规模的涂布生产企业，该技术借助模块化的设计与组合方式，能够灵活地拓展处理能力，从而适应不断增长的废气排放需求。无论是水性涂料抑或溶剂型涂料的涂布烘箱废气，此技术均可进行有效处理。针对诸如苯系物、醇类、酯类等不同类型的 VOCs 成分，均能达到稳定的去除成效。另外，该技术还能够良好地适应涂布烘箱废气排放的间歇性与波动性特征。通过对控制系统和蓄热体设计的优化，即便在废气流量和浓度发生较大变化的情况下，依然能够维持优良的处理性能。

4 工程案例分析

4.1 项目概况

某涂布企业具备一条年产能达 5 000 万 m^2 的涂布生产线，主要生产各类功能性涂布材料。在其生产进程中，涂布烘箱会生成大量的有机废气，废气成分主要涵盖甲苯、二甲苯、乙酸乙酯等挥发性有机物(VOCs)。

依据企业的实际监测数据，废气排放风量约为 50 000 m^3/h ，初始废气浓度约为 500 mg/m^3 。

4.2 工艺设计

4.2.1 减风提浓系统

为了提高废气浓度，降低处理风量，从而降低处理成本和设备投资，采用了烘箱内部循环风提浓的策略。通过优化烘箱的通风系统，增加内部循环风的比例，减少了向外排放的风量。具体来说，将原本直接排放的部分风进行内部循环，使排风量从 50 000 m^3/h 降低到了 30 000 m^3/h ，从而使废气浓度从 500 mg/m^3 提升到了 800 mg/m^3 左右。这一举措不仅减少了后续处理设备的规模，还提高了处理效率。

4.2.2 RTO 热力燃烧系统

RTO 热力燃烧系统作为核心处理环节，能够高效地氧化分解 VOCs。该系统主要由蓄热室、燃烧室和切换阀等组成。废气首先进入蓄热室，被预热到一定温度后进入燃烧室进行高温氧化反应。燃烧后的高温气体再经过另一个蓄热室进行热量回收，从而降低能耗。RTO 系统的设计温度通常在 800 ~ 1 000 $^{\circ}C$ 之间，停留时间约为 1 ~ 2 秒，确保 VOCs 充分氧化分解。该企业的 RTO 系统的处理能力为 30 000 m^3/h ，能够满足减风提浓后的废气处理需求。经过 RTO 处理后，废气的排放浓度稳定在 30 mg/m^3 左右，去除率达到了 96.25%，远远超过了企业设定的 90% 去除率目标。

5 结束语

减风提浓+RTO 热力燃烧工艺于涂布烘箱废气治理方面具备显著优势。借由实际工程案例的应用，证实了此工艺能够达到高效的废气治理效果，符合环保排放标准，并且兼具节能、运行稳定以及经济可行等特性。随着技术的持续进步与完善，该工艺有望在更多的领域获得广泛运用，为优化环境质量做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 康炎平.锂电池极片涂布机NMP回收系统的设计与研究[D].天津:河北工业大学,2016.
- [2] 祝春芳.锂电池涂布机烘箱废气中NMP回收工艺研究[J],2024,25(09):147-150.
- [3] 赵胤.热氧化废气回收装置在多条涂布生产线上的应用[J].中国包装报,2008(11):22.
- [4] 刘树岭,李勇,卢主飞.蓄热式焚烧炉RTO阀门密封研究[J].中国设备工程,2024(10):91-92.
- [5] 李野,汤南南,刘晨,等.RTO装置火焰温度型分析仪日常维护探讨[J].机械工程师,2024(07):102-103.