

有机废气 (VOCs) 蓄热式热氧化技术

Regenerative Thermal Oxidation Process

Treatment for Volatile Organic Compounds Off-gas

周运志 (中石化上海工程有限公司, 上海 200120)

Zhou Yunzhi (SINOPEC Shanghai Engineering Co., Ltd, Shanghai 20020)

摘要: 介绍了蓄热式热氧化技术的工作原理及处理有机废气的典型工艺流程。蓄热式热氧化炉 (RTO) 具有 VOCs 去除效率高、热回收效率高、节约能源、排气温度低等优点, 是一种很有市场发展前景的 VOCs 气体治理工艺。随着国内企业设计制造水平的提升, 国产 RTO 的市场占有率正不断提高。

关键词: 蓄热式热氧化技术; RTO; VOCs

Abstract: This paper introduces the work principle of regenerative thermal oxidization and typical treatment process for VOCs off-gas. Regenerative Thermal Oxidizer (RTO) has the advantages of high removal efficiency, high heat recovery efficiency, energy saving, low exhaust temperature and so on. It is a treatment process of VOCs gas with great market development prospect. With the improvement of the design and manufacturing level of domestic enterprises, the market share of domestic RTO is increasing.

Keywords: Regenerative Thermal Oxidization Technology, RTO, Volatile Organic Compounds

挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 在强烈紫外光照和高温条件下易发生光化学反应形成光化学烟雾污染, 是形成臭氧 (O_3) 及细颗粒物 (PM_{2.5}) 的重要前体物, 对气候变化也有影响。近年来, 我国相继出台了《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》《重点行业挥发性有机物综合治理方案》《2020 年挥发性有机物治理攻坚方案》《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知 (征求意见稿)》等系列文件, 全面加强了 VOCs 治理的顶层设计, 对 VOCs 排放提出了更为严苛的限制。因此, 治理 VOCs 排放成为我国当前阶段急需解决的环境问题。

在 VOCs 的控制技术中, 末端治理技术 (对必须排放的 VOCs 废气进行独立处理) 是适用最广泛的技术^[1]。末端治理技术主要包括回收技术 (如冷凝、吸附、吸收、膜分离技术)、销毁技术 (如燃烧、生物处理、光催化降解、低温等离子体技术) 和 2 种及以上单一技术组合的联合治理技术^[2]。经过多年的工程实践, 有些处理技术逐渐淡出, 而有些处理技术得到肯定和重视, 其中蓄热式热氧化技术就是被市场认可的一种处理技术。

1 蓄热式热氧化技术

蓄热式热氧化技术是在直接燃烧的基础上, 通过使用高热容量的陶瓷蓄热体床层充分利用回收燃烧后烟气的热量, 与传统的直接燃烧、热力燃烧、催化燃烧相比, 热回收效率达 95% 以上, 节约燃料, 降低运行费用, 在

有机物的浓度达到一定值时可实现自供热操作。

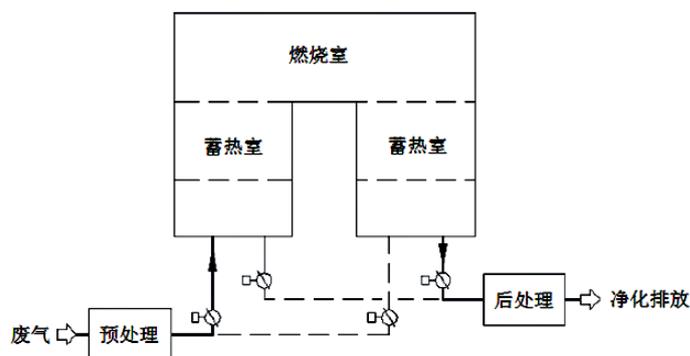


图 1 固定式两室蓄热燃烧工艺流程

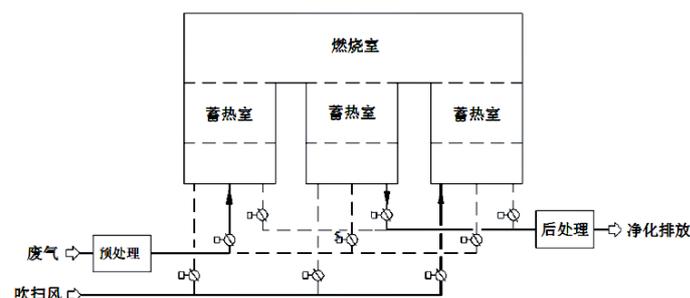


图 2 固定式三室蓄热燃烧工艺流程

蓄热式热氧化技术治理 VOCs, 即是用蓄热式热氧化炉 (Regenerative Thermal Oxidizer, RTO) 来处理 VOCs 废气。工作原理是: 有机废气通过一个“热的”储有热

能的陶瓷蓄热体吸热升温后进入燃烧室，此时废气的温度基本上能够达到预先设定的温度（通常要求 760℃ 以上），如果预热后废气温度达不到设定的需要温度，则可以通过燃烧器补充燃料的燃烧来提高炉膛的温度。如果有机废气中含有一定浓度的 VOCs，则不需要补充额外的燃料。废气在通过入口蓄热体和燃烧室的时间内，气流中的 VOCs 都被迅速地氧化分解成 CO₂ 和 H₂O，生成的高温烟气通过另一个“冷的”尚未储有热能的陶瓷蓄热体回收热量后排放，冷的蓄热体升温而储存热能用于预热新进入的有机废气。然后，RTO 通过周期性地有序改变气流的方向从而维持炉膛温度稳定，连续运行。

典型的蓄热式热氧化处理工艺有如下几种，分别是固定式两室蓄热燃烧工艺流程，如图 1；固定式三室蓄热燃烧工艺流程，如图 2；旋转式蓄热燃烧工艺流程，如图 3。

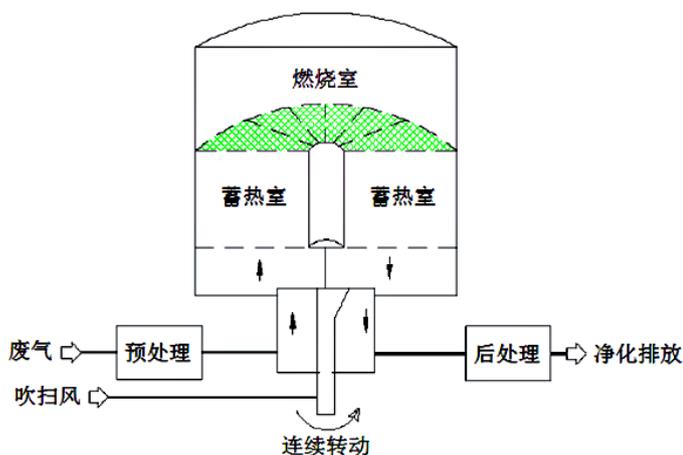


图 3 旋转式蓄热燃烧工艺流程

2 RTO 的优缺点

RTO 比较适合处理 VOCs 浓度为 1~8g/m³ 的有机废气^[1]，其优点主要有：①几乎可以处理所有的 VOCs 废气，对废气中夹带的少量固体颗粒、灰尘不敏感；②可以处理大风量、低浓度的有机废气；③处理废气流量的弹性很大，能适应废气中 VOCs 的浓度和组成的波动、变化；④热效率高达 95% 以上，净化效率可达 99% 以上，系统压降损失一般低于 3kPa；⑤在合适的 VOCs 浓度条件下能实现自供热操作，不需要添加辅助燃烧；⑥维护工作量少，操作安全可靠。

RTO 的缺点主要有：①因采用陶瓷蓄热体，使得 RTO 设备容积大，重量大；②一次投资费用相对较高；③存在一定的爆炸风险；④开工启动时需要消耗燃料升温，因此要求尽可能连续操作。

3 RTO 在国内的应用及市场现状

3.1 应用现状

目前 RTO 在国内的石化、化工、工业涂装、包装印刷、油品储运销等诸多行业领域已有应用但并不广泛，这主

要由于 RTO 的一次投资费用相对较高，国内缺乏相应的设计制造标准，不同 RTO 制造商的工艺设计和材料选择随意性较大，有的难以实现长期稳定达标运行，而且燃烧 VOCs 气体存在爆炸隐患问题，使得 RTO 的推广应用存在一定的难度。

为了规范和指导 RTO 用于工业有机废气治理工程的设计、建设、施工和运行，生态环境部于 2020 年 1 月 14 日发布并实施了我国第一部关于 RTO 的标准规范 HJ 1093-2020《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》，其开题论证资料显示，我国所使用的 VOCs 治理工艺设备中，RTO 设备已超过 300 套，并呈不断上升趋势。

目前 RTO 制造商普遍选用具有吹扫功能的奇数蓄热室 RTO，根据废气处理量的大小，一般是由 3、5、7、9 个蓄热室组成。经实践应用，三室式 RTO 装置可以兼顾到处理效率和经济性要求，是目前的主流实用装置^[3]。

3.2 市场现状

近几年来，随着我国 RTO 技术的不断成熟，国内行业企业已经从过去的单纯引进发展到自主研发设计、制造并应用。目前，国外在华生产制造 RTO 的企业主要有德国的杜尔、奥地利的西蒂贝、美国的恩国环保等，由于其技术相对成熟，业绩众多，一直以来受到部分企业的青睐，但产品价格相对较高；国内的部分企业如江苏瑞鼎、上海 711 所等已经可以设计生产，其产品性能基本能达到国外同类产品的水平，市场占有率也在不断扩大，由此也大幅拉低了国外产品的价格。

尽管 RTO 装置中的许多设备、部件我国都能自给，但在燃烧器方面大多还依赖从国外进口，例如采用 North America、Eclipse 或 Hauck 等的燃烧技术。

4 结束语

蓄热式热氧化处理技术在减少 VOCs 污染和节约能源方面具有很大优势，该技术在海外，尤其是德国、美国、奥地利等国家已经很成熟，但由于成本、安全等原因，在我国尚未普及应用。在当前国家环境政策要求越来越严的背景下，组织力量研发并积极推广使用该项技术，将有利于促进我国建设资源节约和环境友好型社会实现可持续发展战略。

参考文献：

- [1] 石晓薇,王帆,刘哲.挥发性有机物(VOCs)的防控[J].世界环境,2018(1):44-45.
- [2] 武宁,杨忠凯,李玉等.挥发性有机物治理技术研究进展[J].现代化工,2020,40(2):17-22.
- [3] 付守琪,方晓波,朱剑秋.RTO(蓄热式氧化炉)应用调研分析研究[J].环境科学与管理,2017,42(9):132-136.

作者简介：

周运志(1986-),男,工程师,硕士,主要从事废物焚烧炉、火炬的设计。