

[热力氧化设备]

蓄热式热力氧化设备（RTO）电控系统设计与应用

文/何淼¹ 常昂^{1, 2} 刘彰¹ 李晓星¹ 石珍贵¹

1. 航天凯天环保科技股份有限公司; 2. 长沙工研院环保有限公司

对蓄热式热力氧化设备（RTO）的电控系统设计与应用进行了较为系统的研究。电控系统采用模块化设计，实现设备安全、高效和稳定运行，同时通过现场仪表、PLC控制系统以及可视化HMI之间的信息互通，实现系统的自动控制。系统通过PID算法来控制炉膛温度，快速反应及时调节，保证处理烟气达标排放；软件程序采用模块化的设计，在现场工艺作出调整时，只需要将相应程序接口参数进行调整即可满足设备使用需求；在现场信号采集方面，吹扫阀门组的信号采集采用脉冲沿的方式设计，增加设备的运行稳定性；系统通过现场各仪表与控制器之间的信号交互，达到提前预判、提前控制的目的，从而降低运行成本，有良好的环保和经济效益。

VOCs即挥发性有机化合物的英文简称，是工业废气的重要组成部分，同时也是工业废气污染防治的难点和重点。随着我国工业化进程加速，VOCs废气排放对大气环境产生严重影响。尤其在印刷包装、石油化工和煤化工等行业，这些行业产生的废气量超出传统设备的废气处理能力^[1]。处理VOCs废气的策略主要分为回收和销毁两种。回收技术涵盖了吸附、吸收、冷凝以及膜分离等方法。销毁技术则涉及燃烧、光催化、等离子体以及催化氧化等手段^[2]。在处理VOCs废气时，首先需评估其成分浓度来决定是否值得回收。对于那些不具备回收价值的、混合型VOCs，最终的处理通常依赖于销毁技术。这种技术能够将有害的有机废气转换为无害物质，确保排放达到环保标准。氧化法因其高效的净化能力、稳定的处理效果和长期的使用寿命而在销毁技术中得到广泛应用。氧化法可以根据热能回收的效率不同，分为直接氧化和蓄热氧化两种方式^[3]。蓄热式热力氧化技术因其高效的净化能力、彻底的污染物分解、高换热效率、节能特性、

低阻力和小型风机功率需求等优势，在VOCs处理方面被广泛应用，展现出广阔的应用潜力。其利用陶瓷蓄热体来储存有机废气分解时产生的热量，并用陶瓷蓄热体储存的热能来预热和分解未被处理的有机废气，从而达到很高的热效率，氧化温度一般在800~850℃之间，最高达1100℃。蓄热式热力氧化设备主要用于有机废气浓度较低而废气量较大的场合，在有机废气中含有腐蚀性、对催化剂有毒的物质和需要较高温度氧化某些臭气时也非常适用。

蓄热式热力氧化设备的整体装备性能取决于很多方面，如蓄热体材质的选择、工艺参数的设置和电控系统的设计等多个方面。其中，本文对蓄热式热力氧化设备的电控系统设计以及应用进行了较为系统的研究。

蓄热式热力氧化设备（RTO）工艺流程介绍

蓄热式热力氧化设备（RTO）是一种有机废气处理设备，以蜂窝陶瓷蓄热体为核心材料，有机废气首先经过蓄热室预热，然后进入氧化室加热升温

到850℃左右，使废气中的VOC_s氧化分解成CO₂和H₂O，氧化净化后的高热气体再通过下一个蓄热室进行换热，最后进入余热利装置经烟气排放系统达标排放。

设备工作原理及流程主要为，首先设备预热至氧化室温度达到700℃后导入有机废气，通过相应阀门组的切换来控制有机废气的流向，以三室设备

为例，基本原则为，1进2出1吹扫，2进3出2吹扫，3进1出3吹扫的流程来进行循环切换，阀门组的切换时间根据相应蓄热室的温度来自动进行调整。其次当有机废气进入氧化室后通过温度的平均值来控制燃烧器电动机的开度，使其在850℃左右进行充分地燃烧。最后充分燃烧后的气体经过烟气排放系统进行达标排放。具体工艺流程如图1如示。

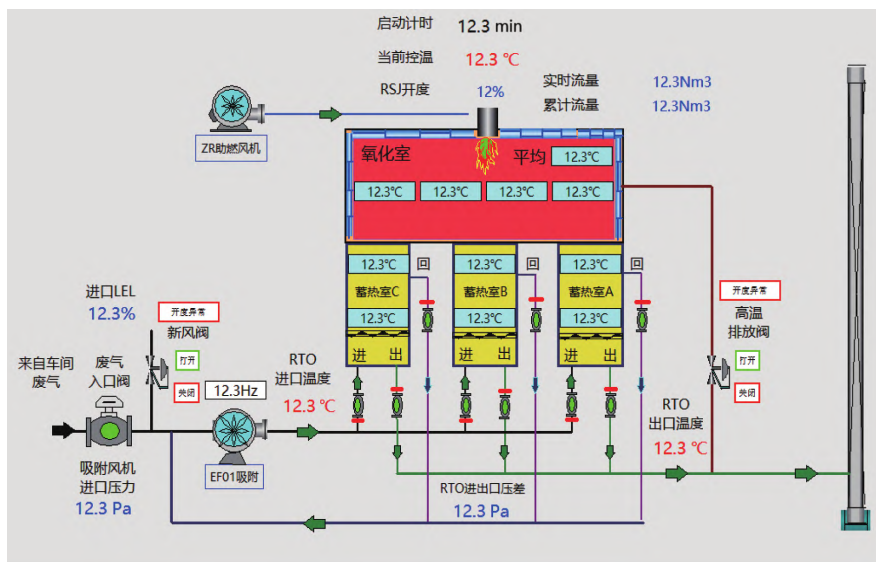


图1 蓄热式热力氧化设备 (RTO) 工艺流程

蓄热式热力氧化设备 (RTO) 电控系统设计

1. 电控系统总体设计

由于此设备实际运行时现场条件比较恶劣，且需长时间保持在运行温度850℃左右，这样不管是对控制系统还是设备本身都具备严格的挑战，所以整个系统采用模块化的设计，由可视化HMI及现场远程IO架构组成，现场关键参数信号由信号采集模块统一采集之后再经过信号分析模块进行统一分析调制，最终做出相应响应。同时设备运行的各种参数需要以历史数据的形式进行保存（如温度、压力和LEL浓度等），方便设备出现故障或者排放不达标的情况下进行数据分析，从而找出设备故障点。现场操作人员还可以通过HMI流程监控画面对设备整体运行情况进行监控，具体电控系统总体设计如图2所示。

2. 电控系统的主要硬件设计

此设备主要用于有机废气处理，现场多为防爆区域，系统在硬件选型时应多从电气安全、控制稳

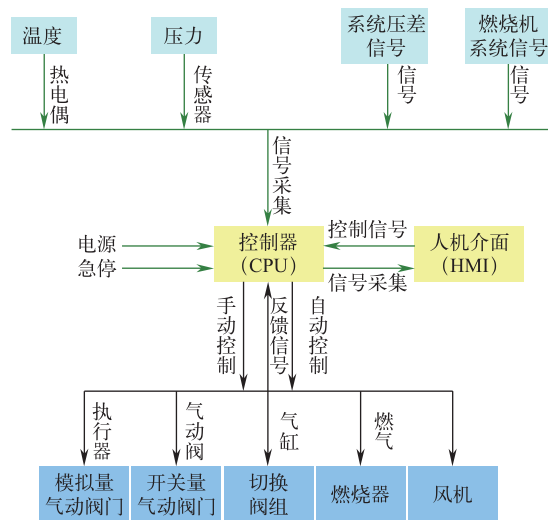


图2 电控系统总体设计

定性和维护简单等方面方便方面出发。

(1) 控制器选型

控制器作为系统的核心控制元件，其快速的响应时间、精准的数据运算处理性能和强大的通信功

能是保证此系统安全稳定运行的关键，同时考虑到其经济性和适用性，故此系统采用西门子S7-1200加ET200SP的架构进行控制。S7-1200CPU本体不但具备数字量输入输出和以太网通信的功能，其本身还具备强大的扩展接口，并且内存存储空间较大，具有良好的性价比。ET200SP作为从站的接口模块，可根据实际情况自由方便地搭配IO模块从而满足现场工艺的控制需求。

(2) 现场仪表的选型

设备能否正常达标排放，温度控制是关建，如果设备运行时氧化室温度不能正常控制在850℃左右则废气不能充分地燃烧分解。在控制温度时，必须保证现场数据采集的真实性和有效性。为防止现场温度采集出现失真或者断线的情况，氧化室热电偶选型时采用防爆型双支热电偶且信号传输方式为4~20 mA电流型。现场压力、压差变送器等其他仪表均选用防爆型，信号传输方式为4~20 mA电流型，同时具备就地显示功能，电控系统主要硬件设备选型见表1。

表1 电控系统主要硬件设备选型

序号	硬件名称	主要技术参数及规格型号
1	控制器	西门子1214C DC/DC/RLY, ET200SP IM155-6PN ST
2	热电偶变送器	K型双支 WRN232;0-1300℃; 插深400 mm; 总长500 mm; $\phi 16$; 固定螺纹M27×2; 4~20 mA变送输出; 电气接口M20×1.5; 材质2520
3	压差变送器	±5 kPa, 4~20 mA输出; 防爆, 电气接口M20×2; 带显示EJA110系列
4	LEL可燃气体检测仪	数字显示, DC 24 V供电; 量程0~100%LEL; 防爆型, 4~20 mA输出。SD-1RI

3. 电控系统的电气图样设计

蓄热式热力氧化设备(RTO)主要由废气引入的引风机、废气助燃的助燃风机、废气燃烧的燃烧器及外围的相应检测仪器仪表组成。引风机选用西门子的变频风机，功率为75 kW，助燃风机选用高压风机，功率为11 kW。系统通过主引风机将有机废气导入设备，再由助燃风机提供燃烧器的风压使废气在氧化室充分燃烧分解，主回路电气原理如图3所示。

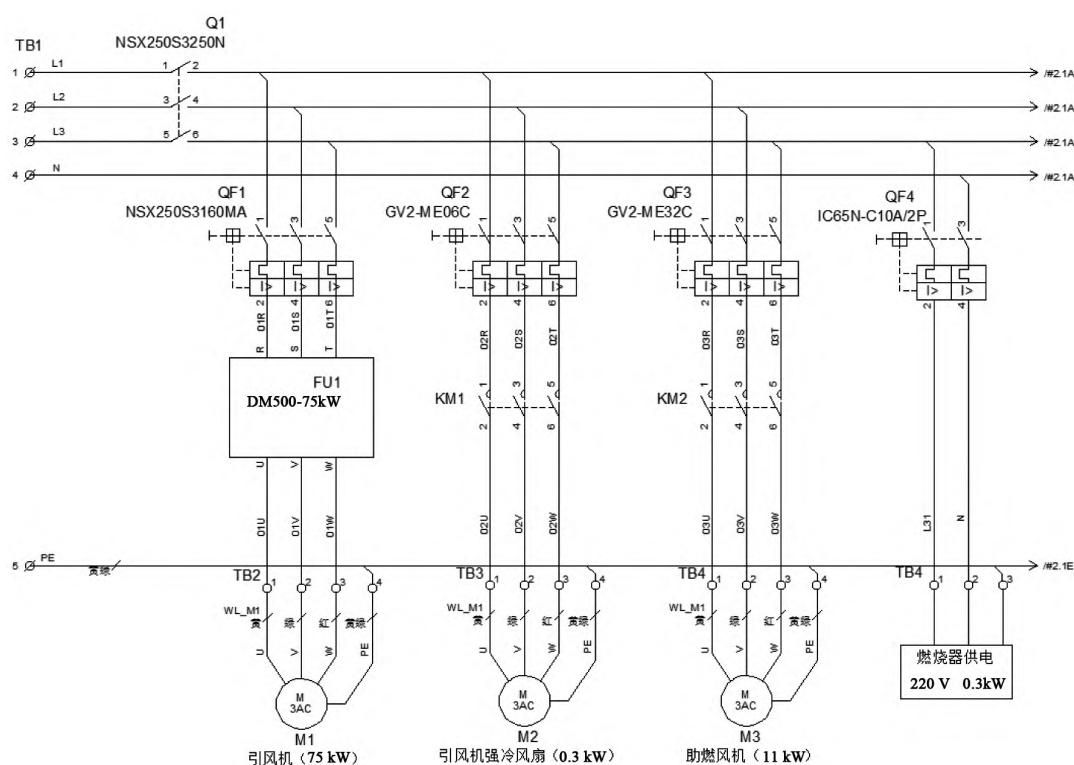


图3 主回路电气原理图

由于此系统主要用于汽车、造船等重工企业的喷涂车间废气治理，车间用电系统较为复杂，多为

焊接的感性负载，如果直接用车间的三相五线进线则可能会出现现场传感器采集数据波动或者不准

的情况，因此如何消除传感器采集数据的电气干扰成为图样设计的重点。为防止现场传感器采集数据失真、波动等情况，在进行电气设计时将设备控制系统、检测仪表等弱电接地设计为现场单独接地系统接地，而电动机、风机等大功率设备可用车间原系统接地。弱电接地系统材料见表2。

表2 弱电接地系统材料清单

序号	硬件名称	主要技术参数及规格型号
1	接地网	40×4镀锌扁铁
2	接地极	40×4镀锌角钢
3	接地线	25 mm ² 以上软铜线

4. 电控系统的软件设计

设备安全稳定运行需要靠强大的软件系统作为支撑，蓄热式热力氧化设备（RTO）的软件系统总体分为自动模式、保温模式、手动模式和停机模式四大块，具体控制逻辑流程如图4所示。

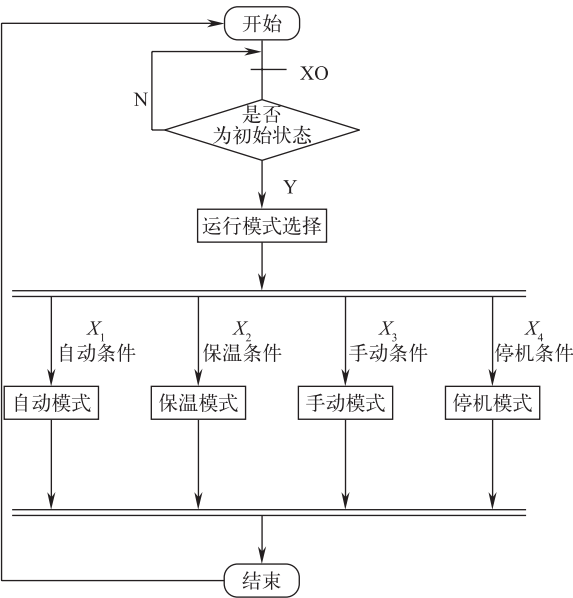


图4 控制逻辑流程图

(1) 初始状态

设备在开机前需将各执行机构复位，回规到最初始状态，为系统起动做准备。一般在设备停机后系统会自动回到这一状态，如遇到特殊情况则需要手动回初始状态。

(2) 自动模式

自动模式分为系统自检、系统吹扫、系统点火、系统预热和系统连线五个阶段。设备进入自动模式后首先会进行系统自检，自检通过后进入吹扫

阶段，吹扫阶段的主要目的是检验各提升阀运行是否正常，阀门信号采集是否正常，吹扫阶段设定时间一般为5 min。吹扫阶段完成之后进入进点火阶段，点火阶段控制的关键参数为助燃风压及天然气流量。点火阶段完成之后进入预热阶段，预热阶段的主要目的是将设备炉膛温度预热至可以导入有机废气的温度，预热阶段控制的关键参数为升温速率，一般为5 ℃/min。预热阶段完成之后系统进入连线阶段，连线阶段的主要目的是将要处理的有机废气通过系统引风机导入到设备进行正常处理，连线阶段控制的关键参数为有机废气的浓度，浓度过高则会引起设备起火或者爆炸的风险。

系统吹扫阶段提升阀门组的信号采集与预热阶段炉膛升温速率是控制关键。由于设备提升阀门组的动力来源于系统压缩空气的压力，当系统压缩空气压力出现波动或者不稳定的情况下就会使阀门组开到位、关到位的信号采集出现异常，从而影响设备正常运行。为解决这一问题，在设备调试时将开到位信号磁环传感器安装在开到位最大行程向前调1 cm位置，取上升沿脉冲信号；关到位信号磁环传感器安装在关到位最大行程向前调1 cm位置，取上升沿脉冲信号，具体如图5所示。预热阶段炉膛升温速率主要由蓄热室中蓄热体的材料组成和结构强度所决定，升温速率过快会导至蓄热体材料老化或者开裂等现场，过低则影响热效率，正常情况下升温速率一般为5 ℃/min。

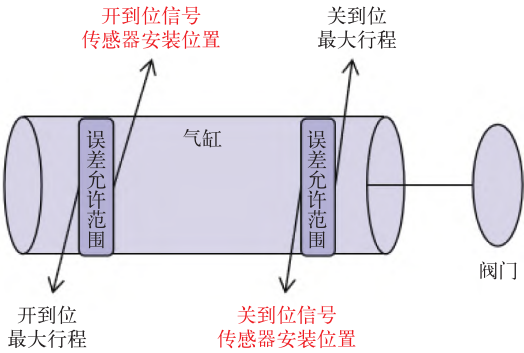


图5 提升阀信号检测位置关系图

示范应用及推广

蓄热式热力氧化设备（RTO）电控系统应用于江苏某造船厂、衡阳某造车厂等有机废气处理项目，示范应用项目设备现场运行如图6所示。设备

自动化水平高，运行安全稳定可靠，经过设备处理之后的烟气排放指标满足并优于当地地方标准，烟气排放关键指标浓度曲线如图7所示。

设备在运行过程中通过现场仪表、PLC控制系统和可视化HMI之间的信息交互实现系统的自动控制，系统在自动运行时还会根据现有炉膛温度来预判升温速率趋势，从而提前调节天然气的使用量，达到节约运行成本的目的。



图6 蓄热式热力氧化设备 (RTO) 废气治理示范应用项目现场运行图

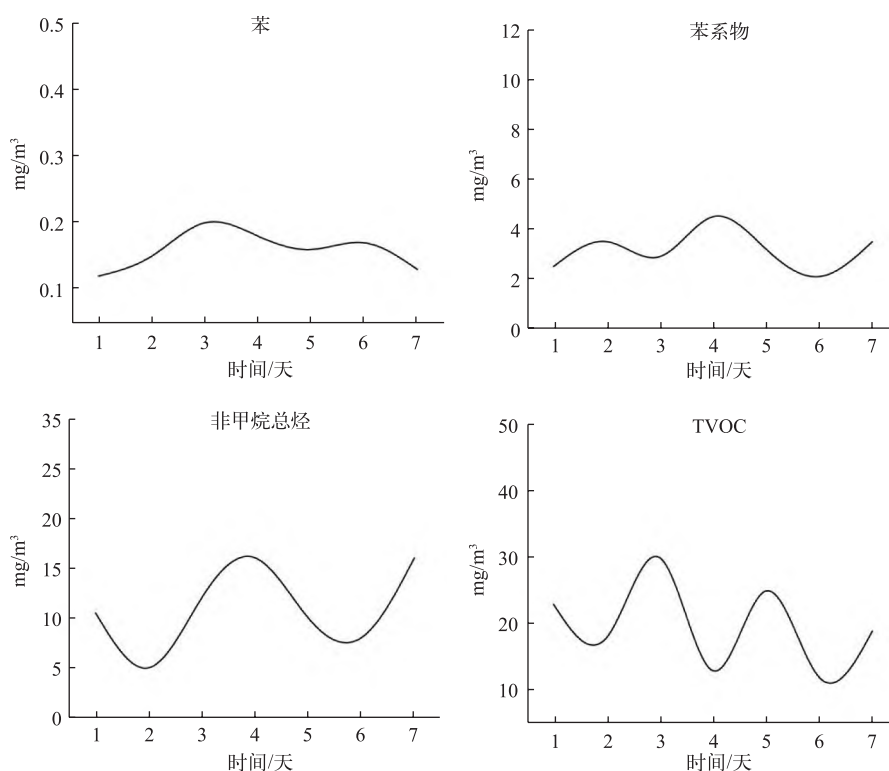


图7 烟气排放关键指标浓度曲线图

结束语

蓄热式热力氧化设备 (RTO) 运行稳定、处理高效，在喷涂有机废气处理中得到广泛的应用，效果明显。设备系统基于PLC的全自动控制，通过各仪表之间的信号交互达到提前预判、提前控制的目的，从而降低运行成本，有良好的环保和经济效益。控制系统通过PID算法来控制炉膛温度，快速反应及时调节，保证烟气达标排放。控制系统软件程序采用模块化的设计，在现场工艺作出调整时只需要将相应程序接口参数进行调整即可满足设备使用需求。吹扫阀门组的信号采集采用脉冲沿方式设计，增加设备的运行稳定性。EA

(收稿日期：2024-12-05)

参考文献

- [1] 张云, 李彦锋. 环境中 VOCs 的污染现状及处理技术研究进展[J]. 化工环保, 2009, 29(5): 411-415.
- [2] 关昱, 施建中, 张明锦. 挥发性有机物(VOCs)治理技术及其研究进展[J]. 上海节能, 2020, 39(1): 45-48.
- [3] 魏显珍, 赵玉海, 赵斌. 典型印刷工业 VOCs 排放特征及其污染防治效果分析[J]. 能源环境保护, 2022, 36(4): 91-98.