

Energy-saving Design and Application of Vehicle Skid Mounted Regenerative RTO in Mobile Environment

Junbo Li Fenglin Li* Wu Jiang

Sichuan Yuanzhilan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Mianyang, Sichuan, 621000, China

Abstract

Fixed regenerative thermal oxidation furnace (RTO) for VOCS treatment uses natural gas as fuel, which has the advantages of high treatment efficiency and low energy consumption when the concentration reaches, but it cannot reflect its advantages in some mobile environments. This paper mainly aims at the energy-saving significance of changing electric heating RTO to electromagnetic heating RTO, analyzes the characteristics of medium and high concentration VOCS produced during the waste liquid cleaning of the reaction reactor of idle or bankrupt chemical enterprises, and expounds the safety design and application of vehicle skid-mounted electromagnetic heating RTO in mobile environment. It is a safe, energy-saving, safe and environmentally friendly VOCs efficient treatment device, which is suitable for dealing with occasions of high concentration of small air volume in mobile environment, especially in the field of VOCS management without natural gas or in the environment that needs to be moved at any time, and has a greater application prospect.

Keywords

moving; RTO; electromagnetic; vortex; energy conservation

车载撬装式蓄热式 RTO 在移动环境的节能设计与应用

李俊波 李泮林* 蒋武

四川源之蓝环保科技有限公司, 中国·四川 绵阳 621000

摘 要

固定蓄热式热力氧化炉RTO治理VOCS以天然气作为燃料,具有处理效率高、浓度达到时能耗较低等优势,但在部分移动式环境下无法体现其优势。论文主要针对将电加热RTO改为电磁加热RTO的节能意义,分析了在闲置或破产化工企业反应釜的废液清理时产生的中高浓度VOCS的特点,阐述了车载撬装式电磁加热RTO在移动环境的安全设计与应用,结果表明它是一种安全节能、安全、环保持续达标的VOCs高效治理装置,适合处理移动式环境下小风量中高浓度的场合,特别是在无天然气或随时需要移动的环境下VOCS治理领域,具有较大的应用前景。

关键词

移动; RTO; 电磁; 涡流; 节能

1 引言

对于闲置或破产化工企业反应釜的废液清理工作时,需对釜内物料的成分、浓度等工况进行有效准确的识别,采取针对性的安全有效的措施方案来保证人身安全和设备安全,清理的方法常采用人工手工清除、化学清洗、高压水射流清洗的方式,无论哪种清理方式,都存在釜内的 VOCS

向空气中散发,需要对其散发出来的 VOCS 有效的收集与现场的达标处理。但是由于大部分反应釜内都有残留或残存的液体溶剂,挥发性浓度较高,活性炭吸附较难达标排放,故采用移动式撬装 RTO 来进行处理,一般 RTO 是采用天然气加热升温,而现场大都是无水无电无气的状态,只能考虑租用发电机来解决现场的能源问题。RTO 采用电加热来升温,常规加热装置热能效率低下、热效果较差、配置功率太大、一般小型发电机较难满足其要求等问题,电磁感应加热 RTO 是一种有效的设计方法。文章通过案例设计介绍了涡流电磁感应加热蓄热式热力氧化炉RTO的工艺原理与设计。通过对比,涡流电磁加热装置加热速度快,加热效率高,温度均匀,设备安全可靠,比传统的加热装置具有较大优势,可以应用在移动环境下治理 VOCs 领域。该工艺处理效率高且在移动环境下 VOCS 治理具有一定的推广价值。

【作者简介】李俊波(1972-),男,中国四川绵阳人,本科,高级工程师,从事大气污染控制与治理工程技术应用研究。

【通讯作者】李泮林(1994-),男,中国四川绵阳人,本科,工程师,二级建造师,从事大气污染与处理技术与工程应用研究。

2 涡流电磁加热器的基本原理

涡流式电加热器是利用电磁感应原理，将电能以涡流形式转换为热能的一种能量转换过程装置。当线圈流过高频交变电流时会在其周围产生交变磁场，如果该磁场靠近金属表面，则在金属中能感应出漩涡状的电流，简称涡流（见图1）。涡流的大小与金属材料的导电性、导磁性、几何尺寸有关。涡流本身也会产生磁场，其强度取决于涡流的大小，其方向与线圈电流磁场相反，因而抵消部分原磁场，它与线圈磁场叠加后形成线圈的交流阻抗，导致线圈的电感量发生变化（减小）。这些涡流消耗电能，在感应加热装置中，利用涡流可对金属进行加热。涡流的大小与金属的电阻率 ρ 、磁导率 μ 、厚度 h ，金属与线圈的距离 δ ，激励电流角频率 ω 等参数有关。

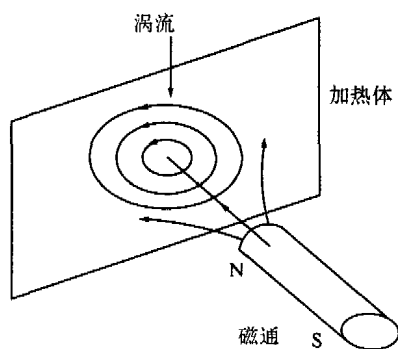
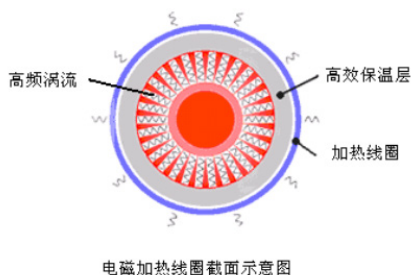


图 1 涡流

主电路将工频 380V 三相交流电压整流为直流电压，再经过 IGBT 逆变为频率为 5~20kHz 的电压，通过中央控制板及 IGBT 驱动板来调节逆变后交流电的频率及输出占空比。由电磁感应原理可知，当高速变化的交流电流，通过涡流装置电磁加热器线圈时，在涡流装置电磁加热器线圈周围会产生极速变化的交变磁场，这种变化的磁场会在涡流装置表面产生很多个小涡流，使涡流装置自行极速发热。当空气在涡流装置内部流动时，会带走涡流装置本身发出的热能。当 RTO 内部温度达到设定值时，加热电流慢慢变小。如果 RTO 超温时，控制电路会自动断电，从而发出报警信号。直到涡流装置壁温度降到安全值时，才会再次加热。

涡流式电磁感应加热器主要由 4 个部分组成：分别是电磁加热单元、功率驱动单元、中心控制单元和供电控制单元，如图 2 所示。



电磁加热线圈截面示意图

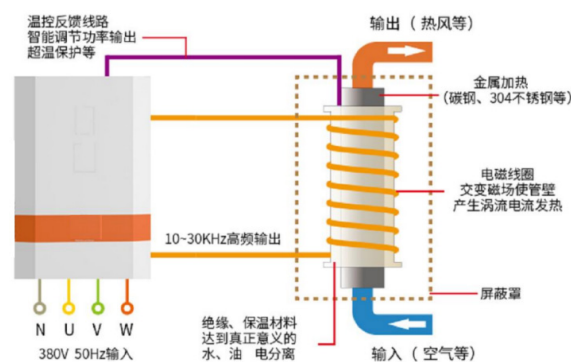


图 2 电磁加热线圈截面示意图

将被加热体和电磁感应加热线圈结合在一起，中间留有 2~4mm 的间隙，电磁感应加热线圈通过高频交变电流，便相当于在电磁感应加热线圈和被加热体之间形成无数个小交变磁场，这些小磁场的磁通变化，在被加热体表面产生涡流，涡流的能量转化为热能，达到加热的目的。

3 电磁加热蓄热式 RTO 的基本原理

蓄热式燃烧技术是目前国内外高效的 VOCs 治理技术之一，市场上 RTO 主要由壳体、陶瓷纤维保温棉、蓄热体、切换阀、天然气燃烧机、检测报警仪表、电控系统等组成。其原理是通过天然气把炉内温度加热到 760℃ 以上，使废气中有机组分在高温下氧化分解成无毒无害的二氧化碳及水。氧化产生的高温气体流经蓄热体床，使陶瓷体升温而“蓄热”，此“蓄热”用于预热后续进入的有机废气，每个蓄热室依次经历蓄热—放热—清扫等程序，周而复始，连续工作，从而节省废气升温的燃料消耗。

而电磁感应加热蓄热式 RTO，其加热方式主要利用电磁感应原理，通过涡流发热装置、缠绕线圈、高性能高频电源发生器及其他控制系统组成，并全部整合在一个保温的柜体内。高频电源发生器通过缠绕线圈对装置施加高频脉冲磁场，在装置壁形成强大的涡流，使装置壁迅速升温，加热装置内空气介质而逐步升温。可在 1~2s 内使管壁温度达到 100℃ 以上，配以高性能感温元件和精确的控制系统，具有加热迅速、反应灵敏的特点。系统具有热效率 $\geq 90\%$ 以上；IGBT 过热保温度：85℃ $\pm$ 5℃；工作频率：15~30kHz；有软启动加热 / 停止模式，使用灵活；有加热线圈短路保护功能；平均无故障时间两年以上等优势设计。

电磁加热蓄热式 RTO 整个系统如图 3 所示。

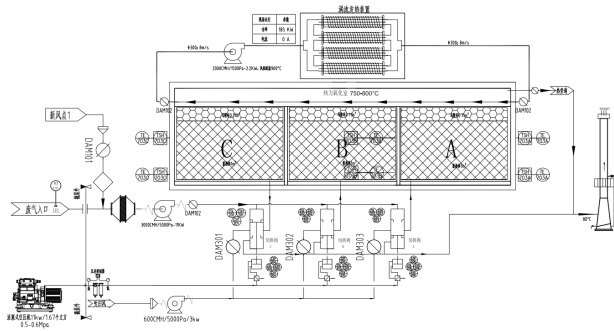


图 3 电磁加热蓄热式 RTO 系统

4 电加热 RTO 与电磁加热 RTO 成本分析

以 3000m³/h RTO 为例,持续加热空气,从常温 25℃加热到 800℃,计算分析电加热和电磁加热,每小时分别需要用电量多少:

4.1 电加热所需要的有效功率(热值)

$$\text{kW 电加热} = Q1 / \eta_1$$

其中, Q1 为空气加热需要的功率; η_1 为电加热的综合效率,取均值 50%。

$$Q = C \times m \times \Delta t$$

其中, C 为比热容, Kcal/kg×℃; m 为质量, kg; Δt 为所需温度和初始温度之差,℃。

按照 25℃升至 800℃取 $\Delta T=775^\circ\text{C}$,物料比热容 C 取值 0.239Kcal/kg℃,则:

假设空气视为理想废气:1 个大气压下,25℃,相对湿度 40%,空气密度:1.178kg/Nm³,风量:3000m³/h,则 RTO 进气速率为:

$$3000 \times 1.178 = 3534 \text{ kg/h}$$

则:

$$Q1 = 0.239 \times 3534 \times 775 = 654585.15 \text{ Kcal/h}$$

考虑 3%热损失量(RTO 散热),5%排出热量(热回收效率 95%),则 RTO 从 25℃升温到 800℃的需求热量:

$$Q1 = 654,585.15 \div (1 - 0.03) \div (1 - 0.05) = 710347 \text{ Kcal/h}$$

RTO 升温时间需求 2 小时,则每小时需求热量:

$$710,347 \div 2 = 355,173.5 \text{ Kcal/h} \approx 426 \text{ kW}$$

根据 kW 电加热 $= Q1 / \eta_1 = 426 \div 50\% = 852 \text{ kW}$,工业用电取平均费用:0.9 元/kW·h,折算费用为 766.8 元/小时。

4.2 电磁式加热器所需要的功率

$$\text{kW 电磁加热} = Q2 / \eta_2$$

其中, Q2 为空气加热需要的功率; η_2 为电加热的综合效率,取均值 95%。

$$Q = C \times m \times \Delta t$$

其中, C 为比热容, Kcal/kg×℃; m 为质量, kg, Δt 为所需温度和初始温度之差,℃。

按照 25℃升至 800℃取 $\Delta T=775^\circ\text{C}$,物料比热容 C 取值 0.239Kcal/kg℃,则:

假设空气视为理想气体:1 个大气压下,25℃,相对湿度 40%,空气密度:1.178kg/Nm³,风量:3000m³/h,则 RTO 进气速率为:3000×1.178=3534kg/h,则:

$$Q1 = 0.239 \times 3534 \times 775 = 654585.15 \text{ Kcal/h}$$

考虑 3%热损失量(RTO 散热),5%排出热量(热回收效率 95%),则 RTO 从 25℃升温到 800℃的需求热量:

$$Q1 = 654,585.15 \div (1 - 0.03) \div (1 - 0.05) = 710347 \text{ Kcal/h}$$

升温时间需求 2 小时,则每小时需求热量:

$$710,347 \div 2 = 355173.5 \text{ Kcal/h} \approx 426 \text{ kW}$$

$$\text{kW 电磁} = Q2 / \eta_2$$

$$\text{kW 电加热} = 426 \div 95\% = 448 \text{ kW}$$

工业用电取平均费用:0.9 元/kW.h,折算费用为 403.2 元/小时。

根据以上计算结果:

在同等条件下电磁感应加热比电加热可以节约成本 = (766.8-403.2) / 766.8 = 47.42%。

5 结语

在移动环境使用的蓄热式热力氧化 RTO,将电加热 RTO 改为电磁加热 RTO 具有重要意义,节省效果显著提升 47%以上,RTO 处理 VOCs 效率>99%以上。电磁感应加热技术具有高效能和精准控制的特点,提高了能源利用率,避免了传热过程中的能量损耗,从而节约能源成本。由于它不需要燃烧,减少了 NOx 污染物的产生,避免燃烧产生的火灾和爆炸风险,符合节能减排政策,特别是低氮排放的要求,所以采用电磁加热 RTO 系统取代传统的电加热 RTO 系统是未来发展的必然趋势。

参考文献

- [1] GB/T 39288—2020蓄热型电加热装置[S].
- [2] GB/T 19065—2011电加热锅炉系统经济运行[S].
- [3] JB T 2379—2016金属管状电热元件》机械行业标准[S].
- [4] GB 3836.1—2010爆炸性环境第1部分:设备通用要求[S].
- [5] GB/T150.1(2.3.4)—2011钢制压力容器[S].
- [6] 李定宣,丁增敏.现代高频感应加热电源工程设计与应用[M].北京:中国电力出版社出版,2010.