

旋转浓缩-蓄热氧化法处理涂装废气的 中试研究

崔龙哲¹, 蔡俊雄², 申哲昊³, 朴泰善⁴, 容 誉², 凌海波²

(1. 中南民族大学化学与材料科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省环境科学研究院, 湖北 武汉 430072;
3. Seohae Environment Science Institute, Korea 565854; 4. H-Plus ENG Ltd., Jeonllanam-do, Korea 555260)

摘要:用旋转浓缩-蓄热氧化(RC-RTO)系统对某车轮厂涂装废气进行了中试处理研究,以废气处理前后总挥发性有机物(T-VOCs)浓度及苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯浓度的变化为指标,考察了 RC 转速对吸附性能、RTO 氧化效果的影响。结果表明,RC 转速对吸附效果及进入 RTO 单元浓缩气体中 VOCs 浓度有较大的影响,RC 转速过高或过低均不利于系统稳定高效的运行。系统在 RC 转速为 3r/h 的条件下连续运行 1 个月,期间系统不需外加能源即可维持热量平衡,且 RC 单元及 RTO 单元排气中 5 种 VOC 物质浓度均远低于国家规定的排放标准(GB16297—1996)。

关键词:蓄热氧化系统;涂装废气;吸附;挥发性有机物(VOCs)

中图分类号:TE992.1

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2009)12-0075-04

Pilot study on treatment of painting exhaust-gas by RC-RTO system

CUI Long-zhe¹, CAI Jun-xiong², Chul-ho SHIN³, Tae-Seon PARK⁴, RONG Yu², LING Hai-bo²

(1. College of Chemistry and Material Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2. Hubei Provincial Research Institute of Environmental Science, Wuhan 430072, China;

3. Seohae Environment Science Institute, 565854, R.O.Korea; 4. H-Plus ENG Ltd., Jeonllanam-do, 555260, R.O.Korea)

Abstract: Painting exhaust-gas of a wheel factory is treated by rotating concentration-regenerative thermal oxidizer (RC-RTO) system. The effects of rotating rate of RC on adsorption and oxidation efficiencies are evaluated by comparing the concentrations of T-VOCs and benzene, toluene, ethyl benzene, *p*-xylene, *o*-xylene in inlet and outlet gas. The results indicate that the rotating rate of RC has relatively big influence on the adsorption efficiency and the VOCs concentration in RTO inlet gas. Too low and too high RC rotating rates are not beneficial to VOCs removal efficiency of the system. This RC-RTO system is continuously in operation for one month under the rotating rate of 3 r/h, and the results indicate that the system maintains thermal balance by itself. The concentrations of benzene, toluene, ethyl benzene, *p*-xylene and *o*-xylene in outlet gas of RC and RTO are all far lower than the value of the national standards that set it up in the national emission standards (GB 16297—1996).

Key words: regenerative thermal oxidizer (RTO); painting exhaust-gas; adsorption; volatile organic compounds

涂装是指对金属和非金属表面覆盖保护层或装饰层,是产品表面保护和装饰采用的最基本的技术手段。随着涂装技术的飞速发展,涂装自动化生产有了明显的进步。但是,目前涂装所采用的基本都是有机溶剂型涂料,涂装作业过程中排放的有机废气处理难度大是涂装污染处理中最棘手的问题。涂装有机废气主要来自喷涂室及干燥室,主要污染物为苯、甲苯、二甲苯等挥发性有机物。涂装废气的治理有 2 条途径:一是将废气中的有机溶剂回收利用,如活性炭吸附法、液体吸收法和冷凝法;二是将废气中的有机污染物氧化分解为 CO₂ 和 H₂O,如燃烧法、紫外-臭氧法及微生物分解法等^[1-3]。燃烧法是目前常用的处理方法之一,但其对中、高浓度废气较适

用,对低浓度废气存在燃料用量大的缺点。此外,在燃烧法处理有机废气体系中设置热交换器,将高温排气的热能回收利用用于废气燃烧前的预热,是减少燃料用量的基本途径^[4-5]。鉴于此,本文中采用旋转浓缩-蓄热氧化系统(RC-RTO)进行了处理涂装废气的中试研究,并对该系统的处理效果及性能进行了评价。

1 试验部分

1.1 涂装废气的来源

该试验在东风汽车车轮有限公司随州车轮厂现场进行。随州车轮厂是轻型车、轿车、载重卡车钢制车轮专业生产厂,年生产规模为 150 万只轮胎。

收稿日期:2009-07-16

基金项目:国家环境部中韩环境技术共同研究项目

作者简介:崔龙哲(1968-),男,博士,副教授,研究方向为吸附及高级氧化技术,cuilonger@hotmail.com。

该厂喷涂工序主要包括喷漆和烘干,共有喷漆室和烘干室各 2 间,在生产过程中产生大风量低浓度的挥发性有机废气。本试验选取喷漆室 II 产生的废气为处理对象,废气量为 $750 \text{ m}^3/\text{min}$,废气主要成分为苯、甲苯、二甲苯、乙苯等。

1.2 分析方法

试验中以处理前后废气中苯、甲苯、乙苯、对(间)二甲苯、邻二甲苯浓度的变化为指标来评价系统运行的效率,采用热脱附-气相色谱联用仪(TD-GC,TD:QUI-0002;GC:2010,岛津)检测。废气中总挥发性有机物(T-VOCs)浓度以苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯 5 种物质浓度总和计。

1.3 中试工艺流程及主要装置介绍

1.3.1 工艺流程

旋转浓缩-蓄热氧化(RC-RTO)系统工艺流程如图 1 所示,设备主要由旋转式浓缩单元(RC)和蓄热式氧化单元(RTO)2 部分组成。有机废气处理工艺流程分为预处理、吸附、脱附和氧化 4 个阶段。喷涂车间的有机废气先经过滤预处理去除颗粒物之后,进入 RC 单元进行吸附处理,经吸附净化的气体直接排放(称为 RC 单元排气);吸附于 RC 单元吸附

剂上的有机成分用通过热交换器加热的热空气进行脱附,浓缩成高浓度的有机废气进入 RTO 单元,浓缩废气中的 VOCs 在氧化室经高温氧化分解成 CO_2 和 H_2O ,经热交换器降温排放(称为 RTO 单元排气)。

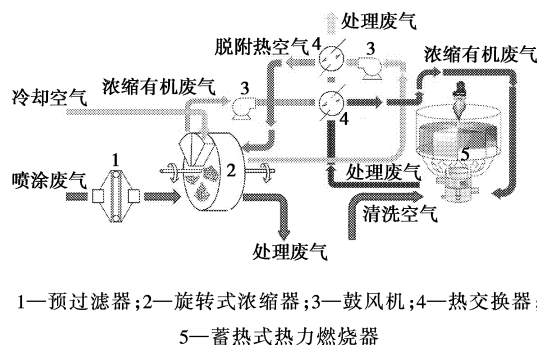


图 1 RC-RTO 系统工艺流程示意图

1.3.2 主要装置

(1)旋转式浓缩单元。旋转式浓缩单元采用转盘式设计,选用疏水性瓦片式沸石分子筛作吸附剂,整个吸附转盘由 6 个吸附块组成,6 个吸附块交替工作。当 1 个吸附块达到吸附饱和之后,即被旋转进入脱附单元,在脱附单元,吸附在吸附剂上的有机物经高温热空气脱附,有机废气被浓缩,吸附剂再生。

(上接第 74 页)

稳定运行,甲烷体积分数降至 40% 时为燃气发动机利用的下限,必须通过控制技术,使装置能适应煤层气浓度、压力、温度等的大范围变动,保证压缩装置的稳定运行。气体发动机与螺杆压缩机匹配方案示意图如图 3。

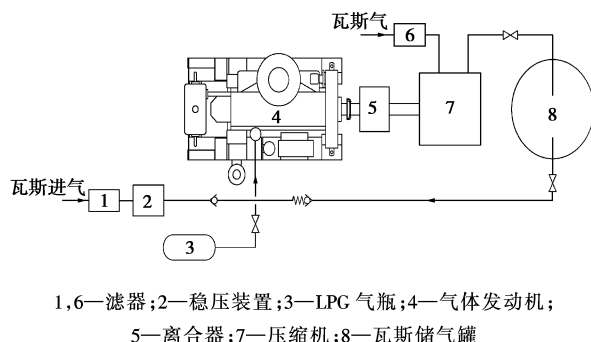


图 3 气体发动机与压缩机匹配方案简图

(3)燃气发动机与车载式煤层气压缩装置的匹配特性。由于压缩装置使用燃气发动机进行驱动,在启动瞬间,由于螺杆压缩机的启动扭矩较大,要保证螺杆压缩机的启动,控制压力稳定,必须解决装置匹配问题,包括优化设计计算、燃气发动机和螺杆压缩机的选型。螺杆压缩机启动扭矩较大,可考虑通过离合器的方式与气体发动机连接,启动时离合器

脱排,发动机空载启动,待发动机工作稳定后再将离合器接排。

3 结语

我国的煤层气产业化发展已经成为必然的趋势,随着国家扶植政策的出台和煤层气开发利用技术的成熟,煤层气的产业化将在近 2 年得到飞速的发展,市场的需求增长迅速。这为移动式煤层气压缩装置产品的产业化创造了良好的条件。另一方面,我国中小型煤矿煤层气的利用现状也迫切需要灵活、经济的煤层气压缩装置产品。

采用螺杆压缩机作为增压装置,燃气发动机作为驱动装置的移动式煤层气增压装置,只要解决好安全性和可靠性、燃气发动机的供气稳压以及压缩机与发动机的匹配特性等问题,可应用于我国中小型煤矿煤层气的回收利用环节,并具有显著优势,应用前景广阔。

参考文献

- [1] 宣建寅,王银亮,祖丙河.天然气增压压缩机组的选择[J].油气田地面工程,2004,23(10):34-35.
- [2] 张建杰.压缩机与驱动机选用手册[M].北京:石油工业出版社,1992.■

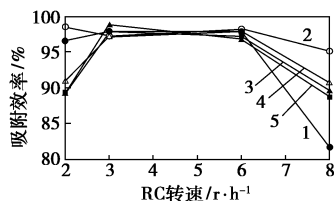
经脱附再生的吸附块旋转进入冷却单元进行冷却-闲置,然后进入下一循环的吸附。在任一时段,整个吸附转盘的6个吸附块,1个处于吸附单元,1个处于脱附单元,4个处于冷却-闲置单元。这样的旋转转盘式设计可以有效保证设备的连续运行。

(2)蓄热式氧化单元(RTO)。RTO单元由陶瓷蓄热床、自动控制阀、高温氧化室和控制系统等组成。蓄热床成对设置,底部的自动控制阀分别与进气总管和排气总管相连,通过换向阀交替换向,使蓄热床交替作为蓄热和预热单元。在蓄热单元,由氧化室出来的高温气体由上至下流过蓄热床,其热量被蓄留;而在预热单元,由RC单元来的浓缩进气由下至上流过蓄热床,进气被预热之后进入氧化室。

2 结果与讨论

2.1 RC转速对吸附效率的影响

试验中调节RC转速分别为2、3、6、8 r/h,考察转速对进气中苯、甲苯、乙苯、对二甲苯及邻二甲苯的吸附去除率的影响,结果如图2所示。



1—苯;2—甲苯;3—乙苯;4—对二甲苯;5—邻二甲苯

图2 RC的转速对吸附效率的影响

由图2可以看出,RC的旋转速度对废气中VOCs的吸附去除率有较大的影响。当转速较低(2 r/h)时,对苯、甲苯、乙苯、对二甲苯及邻二甲苯的吸附去除率较低,分别为96.6%、98.5%、89.3%、89.2%和91.0%。提高转速至3 r/h,RC单元对5种VOCs的去除率均有一定程度的提高,在97.2%~98.8%;继续提高转速至6 r/h,VOCs的去除率略有下降,但仍保持在96.8%~98.2%;当转速提高至8 r/h时,VOCs的去除率大幅度降低。这是因为RC转盘旋转一周,吸附块历经吸附-脱附-冷却-闲置4个阶段,而RC的转速决定了1个周期内吸附块在各阶段停留的时间。转速低时,吸附块在各阶段停留时间较长,有利于脱附及冷却,但却容易导致吸附剂吸附容量饱和而使去除率降低;相反,转速高时,吸附块在各阶段停留时间短,容易导致脱附不彻底或冷却不完全,不利于下1周期的吸附,同样会导致RC单元排气中VOCs浓度的升高。试验结果表明,RC转速为3~6 r/h对系统的高效运转是有利的。

2.2 RC转速对RTO进气浓度及氧化效率的影响

RC转速除了对吸附效率有影响之外,同样也影响经脱附进入RTO单元的浓缩气体的VOCs浓度,进而影响RTO的氧化效率及系统的热量平衡。试验中考察了不同转速条件下,进入RTO单元的气体中总挥发性有机气体(T-VOCs)的浓度及VOCs氧化效率,结果列于表1。

表1 RC转速对RTO进气浓度及氧化效率的影响

转速 / r·h ⁻¹	2	3	6	8
进气 T-VOCs 质量浓度 / mg·m ⁻³	673.2	1258.0	1495.0	985.6
排气 T-VOCs 质量浓度 / mg·m ⁻³	18.1	46.8	31.7	54.5
苯氧化效率 / %	88.4	87.7	87.9	78.2
甲苯氧化效率 / %	99.6	99.4	99.7	99.9
乙苯氧化效率 / %	97.0	99.6	99.7	98.3
对二甲苯氧化效率 / %	96.2	99.3	99.6	97.8
邻二甲苯氧化效率 / %	97.5	99.0	99.5	98.3
T-VOCs 氧化效率 / %	97.3	96.3	97.9	94.5

注:RTO进气、排气T-VOCs浓度为进气、排气中苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯浓度的总和。

由表1结果可以看出,RC转速对RTO进气中T-VOCs浓度有较大的影响,RC转速过低(2 r/h)或过高(8 r/h)均导致RTO进气浓度偏低。这是因为,RC转速低,吸附块在吸附及脱附阶段停留时间均较长,虽然吸附时间长可使吸附块吸附较多的VOCs物质,但脱附时间长则所用脱附气体量偏大,导致最终进入RTO气体浓度偏低。相反,RC转速高,则吸附块在吸附及脱附阶段停留时间较短,吸附的VOCs量少,进入RTO气体浓度也相对较低。虽然RC转速不同导致RTO进气浓度不同,但其对RTO氧化效率的影响并不明显,在不同转速条件下,排气中T-VOCs质量浓度较低(<54.5 mg/m³),对5种VOC的氧化效率均较高(其中对苯的氧化效率偏低是因为进气中苯的浓度偏低导致,进气中苯的质量浓度为1.47~1.64 mg/m³)。但是由于RTO进气中VOCs浓度会影响RTO系统的热量平衡,VOCs浓度过低时,会导致VOCs物质氧化燃烧放出的热量不足以补充系统因排气等因素导致的热量损失,而需要外加能量维持系统的温度均衡,这对系统的稳定运行及节能是不利的。因此,为了使该设备稳定、高效运行,选择RC转速为3~6 r/h的条件是有利的。

2.3 中试设备连续运行效果评价

根据前述试验运行结果,选择RC转速为3 r/h,连续运行1个月,每周采样一次进行分析,对中试设备运行的效果进行评价。

2.3.1 工作温度

中试设备连续运行过程中,记录了各个设备连接点的工作温度(平均温度),结果列于图 3。从图 3 可以看出,系统进气温度较低(约为 10℃),经吸附之后排气温度几乎没有变化,说明 RC 单元的吸附块经高温脱附之后,在冷却、闲置过程中得到充分的冷却,这对吸附是有利的。系统 RTO 单元经高温氧化之后的高温排气经热交换器冷却后排放,温度为 50℃。进气中一部分经热交换器加热作为脱附用气,其温度为 170~180℃。运行结果表明,该温度下脱附效率高,且经脱附之后吸附块温度不会太高,保证其在闲置阶段能充分冷却,利于下 1 周期的吸附。燃烧室内设置电加热器及温度控制器,燃烧室温度控制器设置值为 810℃。设备启动时,电加热器开启使燃烧室温度升高至 810℃左右,连续运行过程中当燃烧室温度低于设置值时,电加热器开启,当燃烧室温度高于设置值时,电加热器停止工作。试验结果表明:设备连续运行时,燃烧室实际温度为 815℃左右,不需要电加热器工作,RTO 系统由于排气及其他因素造成的热量损失可由 VOCs 燃烧放热补充而达到平衡,大大降低运行成本。

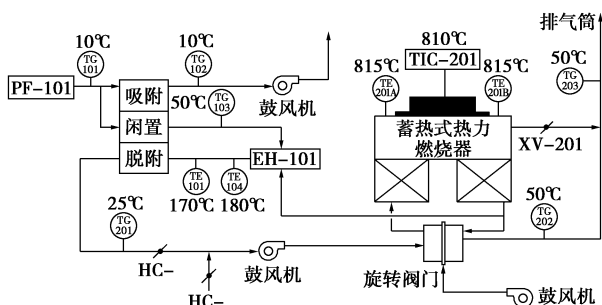


图 3 RC-RTO 系统连续运行的工作温度

2.3.2 运行效果分析

设备连续运行 1 个月,RC 单元及 RTO 单元排气中 5 种 VOC 物质的平均浓度及其排放标准限值列于表 2。由表 2 可见,RC-RTO 系统 2 个排气口排放的气体中苯、甲苯、乙苯、对二甲苯及邻二甲苯的

浓度均远低于国家规定的排放标准,说明该系统用于处理涂装废气是高效的。

表 2 RC-RTO 系统运行效果

项目	苯	甲苯	乙苯 ^①	对二甲苯	邻二甲苯
RC 单元排气质量浓度/mg·m ⁻³	9.5 × 10 ⁻³	0.24	0.63	0.49	0.29
RTO 单元排气质量浓度/mg·m ⁻³	0.19	0.46	0.38	0.33	0.25
排放标准 ^② /mg·m ⁻³	1.2	4.0	10.0	7.0	7.0

注:①乙苯排放标准取《工业场所所有害因素职业接触限值》GBZ 2—2002;②《大气污染物综合排放标准》GB 16297—1996。

3 结论

用旋转浓缩-蓄热氧化系统(RC-RTO)处理某车轮厂涂装废气,RC 转速对吸附效果及进入 RTO 单元的气体中 VOCs 浓度有较大的影响,设备在转速为 3 r/h 条件下连续运行 1 个月,结果表明,系统不需要外加能源即能自身达到热量平衡,RC 单元及 RTO 单元排气中苯、甲苯、乙苯、对二甲苯及邻二甲苯的浓度均远低于国家规定的排放标准。该系统用于处理涂装废气是节能高效的。

参考文献

- [1] 卫嵩.涂装废气治理措施探讨[J].污染防治技术,2008,21(4):54-56.
- [2] 韩忠峰.喷涂废气的全过程控制[J].现代涂料与涂装,2007,10(1):14-16.
- [3] Toshiyuki Koyama, Yoichi Shirakawa, Kenichi Kuwahata, et al. Development of an environmentally acceptable volatile organic compounds recovery and reuse system based on vacuum spray flash with dibasic acid esters as absorbents[J]. Journal of Environmental Science, 2009: s149-s153.
- [4] Mario Amelio, Pietropaolo Morrone. Numerical evaluation of the energetic performances of structured and random packed beds in regenerative thermal oxidizers[J]. Applied Thermal Engineering, 2007, 27: 762-770.
- [5] 张洁敏.蓄热式热氧化系统处理高浓度有机废气的实例[J].广东化工,2006,33(6):90-91. ■

普莱克斯稀氧燃烧技术在中国首次成功应用

普莱克斯专利技术“稀氧燃烧”首次在中国金隆铜业有限公司成功安装应用。金隆铜业是中国最大的铜熔炼合资企业,位于安徽省铜陵。普莱克斯中国的应用技术团队为金隆铜业一台 400 t 阳极炉设计、制作并安装了一整套可灵活选用重油或天然气作燃料的稀氧燃烧系统,替代了该客户原有的空气燃烧系统。这套新系统为金隆铜业节省燃料达 60% 以上、减少烟气排放逾 70%,同时还为这家客户带来了更高的阳极炉生产效率和更低的设备维护成本。

金隆铜业计划在 2010 年第一季度把普莱克斯的稀氧燃烧系统安装在另一台阳极炉上。

普莱克斯的稀氧燃烧技术提供更高的能源利用率、更低成本又更灵活的生产操作。该技术用高动量氧气燃料射流带来强劲的炉气卷吸并且促进更均匀的温度分布和热量传递以及超低的氮氧化物排放。该技术能够在重油或者天然气这两种燃料中任选其一的功能又令客户能够在任何时候用最低成本的燃料。

普莱克斯自 2003 年起向金隆铜业供应氧气,迄今已经为该客户建造了 3 套真空变压吸附装置和 1 套空分装置。供应的氧气用于金隆铜业的闪速炉熔炼和转炉吹炼工艺。(杜)