

催化燃烧系统中热量反馈及安全控制技术

苏建华 王伯铎

(机械电子工业部第七设计研究院)

摘要 本文对目前采用的有机废气催化燃烧的热量反馈进行了分析,表明废气浓度 y 的增加将会导致催化床进口废气温度 t_2 升高,如果 t_2 远大于系统所限定的最高起燃温度($t_{2\max} \leq 350^\circ\text{C}$),则会使系统的正常热平衡破坏。本文还对催化燃烧系统中热量反馈的控制方法进行了分析,对控制方法的原理和过程作了详细阐述。

最近几年,应用催化燃烧技术治理有机废气的污染,在我国已经取得了相当大的成效。顺应催化燃烧技术发展的需要,系统中热量反馈及安全控制技术问题显得更为重要。从目前情况来看,人们很重视有机废气催化氧化反应后的热能回收问题,总希望采用效率高的气-气换热器;但对于回收反应后高温气体热能所涉及到的系统的热量反馈问题,还未引起足够重视;而催化燃烧系统热量反馈是否合理,是关系到系统正常运行安全与否的关键。本文就催化燃烧系统中热量反馈的产生和危害以及控制措施等问题进行论述。

一、催化燃烧系统中热量反馈的产生过程

国内目前市售的工业有机废气催化燃烧装置,几乎都是采用图1所示流程。

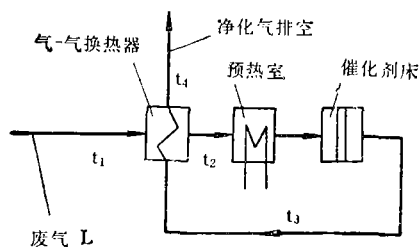


图1 有机废气催化燃烧原理图

在图1所示流程图中,如果催化燃烧系统所处理废气量为 $L(\text{m}^3/\text{h})$,有机废气浓度为 $y(\text{mg}/\text{m}^3)$;则有机废气经过催化氧化

反应后所释放的热量:

$$Q_f = \frac{1}{3.6 \times 10^6} L \cdot y \cdot Q_{dw} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (\text{kw}) \quad (1)$$

式中: Q_{dw} 为有机物质的低位发热量(kJ/kg), η_1 为催化氧化反应转化效率(0.96—0.99), η_2 为有机溶剂的纯度系数。

催化床后高温净化气体的温度为:

$$t_3 = \frac{3600 \cdot Q_f}{L \cdot \rho \cdot c_p} + t_2 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

式中, ρ 为有机废气密度,可近似取 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$, c_p 为有机废气定压平均比热($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)。低温废气与高温净化气体通过气-气换热器的传热量为:

$$Q_c = 10^{-3} \cdot k \cdot F \cdot \Delta t_m \quad (\text{kw}) \quad (3)$$

式中, k 为气-气换热器的传热系数($\text{w}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), F 为气-气换热器的传热面积(m^2); Δt_m 为冷热气体的平均温差($^\circ\text{C}$)。

根据图1和公式(1)~(3),可以得知有机废气催化燃烧系统中废气浓度与热量传递的变化过程: y 增加,则 Q_f 增加, t_3 升高, Δt_m 增大, Q_c 增加,即 t_2 升高。于是,可导出 t_2 与 y 、 Q_f 、 Q_c 的关联式:

$$t_2 = \frac{Q_c}{k \cdot F} + \frac{1}{2} \left(t_1 + t_4 - \frac{y \cdot Q_{dw} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{\rho \cdot c_p} \right) \quad (4)$$

从式(4)可知,若气-气换热器传热量 Q_c 随废气浓度 y 增加而增加,那么 t_2 必然升

高,这种由于废气浓度增加而导致催化床层进口废气温度 t_1 升高的现象,称之为“热量反馈”。如果这种反馈过大,将会使 t_2 远大于催化反应的起燃温度^[2,3]、会使催化床层,气-气换热器的温度升高,催化燃烧系统的正常热平衡被破坏^[5,7]。

二、催化燃烧系统热量反馈的原因及危害

催化燃烧系统中,由于有机废气浓度增加,容易产生热量反馈过量的现象。表 1 是我们在两家工厂所使用的催化燃烧系统上测得的数据^[6]。

表 1 两个催化燃烧系统热量反馈测定值

系统名称	采样时间	废气初温度 t_1 (°C)	废气净化前浓度 y (mg/m ³)	催化床前废气 温度 t_2 (°C)	催化床后气体 温度 t_3 (°C)	备注
催化燃烧系统 上胶机 许昌绝缘材料厂	1986 年 5 月 21 日 上午 10:30 到 11:20, 每 10 分 钟一组数据	150	5031	220	460	(1) 表中废气浓度是按乙醇气体进行换算。 (2) 废气浓度用 MEXA 型红外气体分析仪进行检测。
		145	6179	220	480	
		150	8604	263	510	
		146	9704	268	520	
		150	10002	289	540	
催化燃烧系统 上胶机 沈阳绝缘材料厂	1980 年 10 月 22 日上午 9:00 到 10:15, 每 15 分 钟一组数据	140	10692	143	392	
		150	8575	285	485	
		150	10075	330	565	
		150	11576	350	620	
		150	13205	367	675	

从表 1 可知,这两个催化燃烧系统在所测定的那一时段内,已经具备了热量反馈过大的趋势。如果 t_2 升高到系统所容许的最高限值^[2,3] ($t_{2\max} \leq 350^\circ\text{C}$) 时,特别是在催化燃烧系统中废气浓度比较高 ($y \geq 8000\text{mg/m}^3$ 按乙醇气体换算) 的场合下,因热量反馈所导致的不良后果可以说是相当严重的。我们认为,其原因及危害主要有以下几点:

1. 有机废气属于可燃易爆气体,在设计时从安全角度考虑,废气浓度一般是按小于 $\frac{1}{4} \text{LEL}$ ^[2] 决定的。关于有机气体与空气混合时的爆炸浓度极限范围,尤其是下限值,各种手册所给的值差异甚大。

2. 对于可燃易爆气体,其爆炸下限与温度相关。温度愈高,反应速度愈快,爆炸极限范围愈大。当催化燃烧系统出现热量反馈过大时,催化床前废气温度不断升高,此时废气的真实爆炸下限将比手册给出的值要小。由于催化床前废气温度 t_2 不断升高,再加之系

统中废气成份混合的不均匀性,在局部区域可能超过高温条件下废气真实爆炸下限,则有爆炸的危险。

3. 在高温条件下,废气浓度不到爆炸下限也燃烧的情况同样是存在的。因系统设计不合理,存在死角,其有机成份的积聚,可能在达到高温条件下真实爆炸下限后燃烧爆炸。目前高温条件下废气的 LEL 值与温度的关系尚不能计算。

4. 对于多数有机废气,其有机成份在同样 LEL 值下所含热值可近似视为相同值^[2],每 1% LEL 约含热值 18.68kJ/Nm^3 。如果完全催化燃烧,即热值全部释放用于使废气本身升温,则 1% LEL 燃烧后可使废气升温 15.3°C ,当废气浓度达到 $\frac{1}{4} \text{LEL}$ 时,就可使废气本身温度升高 382.5°C 。如按催化床前废气温度为 260°C 计,则床后净化气体温度可高达 642.5°C 。如此高温的气体,即使通过换热效率较低的列管式换热器,也足可以

F_1 ; 同时 FM 发出区别于系统废气浓度超限的报警响声, 表示系统已退出催化燃烧工作, 这就切断了废气 L_1 进入催化床, 使 L_1 全部排空。同时, 引入最大新风量 $L_{2\max}$ 到催化床, 对其进行冷却降温处理, 这就能有效地防止因 y_1 过高给系统造成热量反馈过大的现象发生。这一过程可用下式表达:

$$L_2 = L_{2\max} = L \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (12)$$

$$L_1 = L_1' \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (13)$$

以上两式的条件为 $y_1 > y \geq \frac{1}{4} \text{LEL}$ 。

四、小 结

综上所述, 通过连续定量检测系统中废气浓度 y_1 、 y 的变化, 对系统的处理废气量进行调节, 达到控制催化床前后温度 t_2 、 t_3 的目的, 使进入催化床前的废气浓度始终不超

过 $\frac{1}{4} \text{LEL}$, 系统中就不会产生热量反馈过大的现象。这样既保证了系统的安全性, 也保证了控制过程的准确合理。

由于催化燃烧系统中热量反馈过大, 使得系统的安全性变差, 运转费用增加等等, 这应该引起从事催化燃烧装置设计、研制和使用单位的注意。

参 考 文 献

- [1] B. N. 沃佳尼克[苏], 工艺设备的防爆, 第 142 页, 化学工业出版社, 北京, 1983 年。
- [2] 江熊, 工业防毒技术, 第 204 页, 化学工业出版社, 北京, 1984 年。
- [3] 铃木兼一郎[日], 化学装置, (2), 52(1982)。
- [4] 苏建华, 环境工程, 5(3), 19(1987)。
- [5] 同上 4(6), 23(1986)。
- [6] 同上 4(3), 62(1986)。

(收稿日期: 1988 年 11 月 21 日)

(上接第 89 页)

同和以后的迁移作用, 造成同类别样品因所在区域的不同, 硒含量相差数十倍至数千倍, 使得本州一些地方发生了缺硒性疾病, 而另一些地方却发生了硒中毒。

硒是人体生命必需元素之一, 我国成人每日安全摄入量 40—240 μg ^[6], 根据全州环境中硒的分布规律, 以岩石出露类型为基础, 分别计算各区域主食及有关样品的硒含量, 估计日硒摄入量, 将日摄入量小于 40 μg 的区域定为低硒区, 40—240 μg 的定为足硒区, 大于 240 μg 的定为高硒区, 超过 1000 μg 的定为极高硒区。这四种硒背景类型在本州具有各自的环境特征。切割、冲沟明显的紫色砂岩区多为低硒区; 灰岩出露区及盆地或一些谷地为足硒区; 石煤及部分煤矸石裸露区多为高硒区; 石煤裸露区并大量采掘及燃烧石煤时, 则可形成极高硒区。根据环境特征推测, 全州高硒区大约有 240 个村, 占全州总村数的 7.8%, 约 15 万人生活在高硒区域内。本州高硒范围之广, 硒水平之高为国内罕见。

石煤及一些含硒量较高的煤矸石是形成我州高硒环境的物质基础, 这些物质中的硒除通过自然风化进入环境外, 更重要的是人为因素所造成的环境硒污染。诸如大量采挖石煤, 燃烧石煤, 向田间施人煤熏火土和煤灰等因素, 均可加速石煤风化, 增加环境硒含量, 形成高硒环境。特别是燃烧高硒石煤, 为硒循环过程中最大的促进因素, 因燃烧而造成的空气硒污染亦是不可忽视的高硒环境成因。

参 考 文 献

- [1] 杨光圻等, 中国医学科学院学报, (3), 5(1981)。
- [2] 陈冰如等, 地球化学与健康, 188 页, 地震出版社, 1987 年。
- [3] 梅紫青, 中国地方病学杂志, (4), 379(1985)。
- [4] 中国预防医学科学院主编, 车间空气监测检验方法, 155 页, 人民卫生出版社, 1987 年。
- [5] J. S. 莫里斯等, 中国地方病学杂志, 会议专辑, (1), 18(1984)。
- [6] 杨光圻等, 卫生研究 14(5), 24(1985)。

(收稿日期: 1989 年 8 月 17 日)

Wang Xunling, Guo Qingxia (Biology Department, Lanzhou University): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 31

The plants, *Fuchsia hybrida* Voss. and *Vicia faba* L., were fumigated with ozone at different concentrations. It was observed that the lower level of ozone would stimulate respiration. Such effect did not easily disappear for a long time after stopping fumigation. However, the higher concentration of ozone inhibited respiration. If the injury caused by ozone was not so severe that the plant respiration could recover to normal.

It is suggested that there might be two kinds of mechanism which control the rise and fall of respiration. These two actions compensate and adjust each other under the conditions of controlling ozone doses, resulting in various phenomena of respiration intensity, such as increasing, decreasing or unremarkable changes, recoverable or irrecoverable, etc.

A Study of Photochemical Pollution with a Box Model. Yu Jinxiang (Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 34

A box model for simulating the atmospheric photochemical pollution in a valley region has been developed and verified by using real source emission, meteorological and pollutant concentration data for Xigu district in Lanzhou in August of 1983. The model is utilized to study the impact of source density on the photochemical smog concentration.

Anaerobic Fermentation for Fur Processing Wastewater. Qui Rongchu, Liang Wensheng, Wu Dongfeng (Department of Environmental Engineering, Lanzhou Railway College, Lanzhou): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 37

Batch bioassays have been applied to determine the feasibility of anaerobic treatment for two main flows of wastewater from fur processing: for soaking wastewater and for scouring wastewater. The former does not restrict methanogens and can be biodegraded easily under the anaerobic conditions with the methane production of $1.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ while the COD removal percentage as high as 87.6%. In the latter with the methane production of $0.82 \text{ m}^3/\text{m}^3$, detergent DG7 can not be biodegraded anaerobically, but can be adsorbed on sludge and shows effects of restriction to methanogens that can be acclimated, even there is no influence on the anaerobic process when the concentration of DG7 is less than 50–100 mg/L. It is

reasonable for the scouring wastewater to be treated anaerobically with the soaking wastewater or other sewage at the same process.

Heat Feedback in the Catalytic Combustion and Safe-Controlling Technology. Su Jianhua, Wang Boduo (The Seven Design and Research Institute of the Ministry of Mechanical-Electrical Engineering Industry, Xi'an): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 41

This paper deals with the problem of heat feedback and safe control in catalytic combustion of organic waste gas. The increase of gas concentration will lead to the increase of temperature in catalyst bed entrance. If ignition temperature is higher than 350°C , normal heat equilibrium will be destroyed. The authors have concluded that in order to guarantee safety of the system, concentration of waste gas entering into the catalyst bed should be controlled by means of continuous quantitative detection of the gas.

Analysis of Chemical Composition of Activated Sludge. Liu Lifeng, Zhao Shuchang, Deng Yizhao (Dalian University of Technology, Liaoning Province): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 45

This work is to analyse chemical composition and related characteristics of the sludge sampled from Tianjin Sewage Plant with infrared spectrophotometry and thermogravimetry. The activated sludge derived from wastewater treatment process contains the elements of C, H, O, N, S, P, and mainly belongs to aliphatics in structure. There exist organic groups known as proteins, oil, fibre and humic acid, which will be potential sources of raw material of chemical engineering and alternative fuel.

Detection of Trace PCDFs in China-made Pentachlorophenol. Jiang Ke et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing); Deng Lin, Li Zhongmin (Beijing Institute of Technology): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(2), 1990, pp. 48

Extremely toxic PCDFs (polychlorinated dibenzofurans) can be formed in the production of pentachlorophenol as by-products. PCDFs including 4–8 chlorine atoms have been identified in China-made Pentachlorophenol using MS/MS method. It is considered as one of the main sources of PCDFs contamination in China. This analytical method has been recommended for application