

# 高温焚烧技术在甲基丙烯酸 废水处理中的应用

徐 扬

(北京航天石化技术装备工程公司,北京 100011)

**摘要:**介绍了300 kt/a甲基丙烯酸生产装置废水焚烧处理技术的工艺流程,以及该工艺中几个关键设备的特点。针对焚烧装置的实际运行数据进行了运行成本分析,通过烟气排放指标的检测值说明焚烧技术在甲基丙烯酸废水的处理应用中取得了良好的效果。

**关键词:**甲基丙烯酸废水;焚烧;余热回收

**中图分类号:**TE992.2

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2014)02-0140-04

## Application of high temperature incineration technology in methacrylic acid wastewater treatment

XU Yang

(Beijing Spaceflight Petrochemical Technology and Equipment Engineering Company, Beijing 100011, China)

**Abstract:** The incineration treatment process of wastewater generated in 300 kt/a production plant of methacrylic acid and its key equipment are introduced. Based on actual operation data of the incinerator, the operation cost is analyzed. The results of flue gas emission index indicate that the utilization of incinerator has achieved good effect on methacrylic acid wastewater treatment.

**Key words:** methacrylic acid wastewater; incineration; waste heat recovery

甲基丙烯酸是有机化学工业中制备聚合物、合成橡胶的重要原料,同时在工业上主要用来生产丙烯酸酯类,该类产品广泛应用于建筑、造纸、皮革、纺织、塑料加工、包装材料、日用化工、采油、冶金等领域,特别是在精细化工领域占有相当重要的地位<sup>[1-2]</sup>。

随着国内甲基丙烯酸行业快速发展,其生产装置产生废水的环保处理和能源的合理利用问题已被业内普遍关注。寻求合理、有效的处理废水方法已成为甲基丙烯酸产业发展的瓶颈。

甲基丙烯酸装置废水成分复杂,具有低热值、强腐蚀和强刺激性等特点;而且,甲基丙烯酸装置废水中COD较高,含有微量大分子有机物,采用常规生化处理方法对微生物菌种的要求较高<sup>[3-4]</sup>。焚烧法相比常规生化处理方法,具有一次性投资较少、占地面积小、废水处理彻底等优点<sup>[5-7]</sup>。

### 1 工艺流程简述

江苏裕廊化工甲基丙烯酸装置废水焚烧及余热回收装置是为裕廊化工300 kt/a甲基丙烯酸生产装置配套设置的节能环保装置。300 kt/a甲基丙烯酸生产装置的废水组分如表1和表2所示。

表1 甲基丙烯酸废水成分分析

	水	甲醛	丙酮	醋酸	丙烯酸	甲基 丙烯酸	顺丁 烯二酸	正己烷
质量分数	83	1.2	0.3	8.0	0.8	0.7	0.7	5.1

注:废水排放量32 000 kg/h。

表2 副产有机废液成分分析

	庚烷	己烷	氮氧自由 基吡啶醇	甲基 丙烯酸	甲基丙 烯酸甲酯
质量分数	14.8	2.4	3.9	78.9	0.03

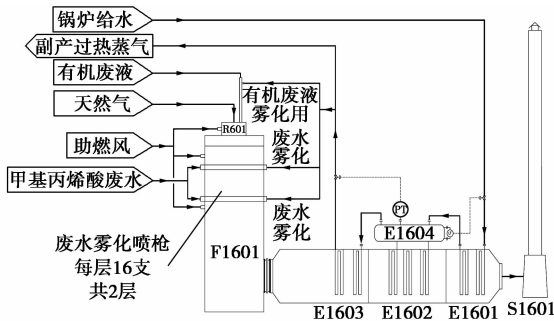
注:有机废液排放量1 000 kg/h。

该焚烧装置为顶烧,焚烧炉采用立式方型,余热回收装置为卧式方箱型。整个装置呈L型结构布置,由燃烧器、焚烧炉、废水雾化系统、余热回收系统,以及50 m自立式烟囱等部件组成,占地仅41 m×30 m,具有结构紧凑、操作方便、占地面积小等特点。

#### 1.1 焚烧工艺流程

由于废水中有机物浓度较低,含水量大,热值较低,焚烧处理时需辅助燃料,该装置采用天然气作为辅助燃料。点火升温 and 烘炉阶段也采用天然气。通

过天然气与空气配比,焚烧炉内温度维持在 $1\ 000\sim 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,该温度通过增减燃料和助燃空气可实现比例调节。甲基丙烯酸装置废水经管道压力输送至废水喷枪,废水采用介质雾化,雾化后雾滴在焚烧炉的高温区内完成氧化、分解,转变为含 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等成分的高温烟气,废水燃烧段温度维持在 $(900\pm 50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在此温度下,保证 $2.0\text{ s}$ 以上的停留时间,控制一、二次风的分配,将烟气中的 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 等污染物的含量控制在较低水平,保证烟气达标排放,避免二次污染。甲基丙烯酸焚烧工艺系统如图1所示。



R1601—主燃烧器;F1601—焚烧炉;E1601—省煤器;

E1602—对流管束;E1603—过热器;E1604—汽包;S1601—烟囱

图1 甲基丙烯酸焚烧工艺系统简图

## 1.2 余热回收工艺流程

该装置的高温烟气除了要达标排放获得明显的社会效益外,还设置了烟气余热回收系统,即吸收烟气中的热量,产生 $3.85\text{ MPa}$ 、 $(320\pm 10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的过热蒸汽 $40\text{ t/h}$ 。另外,烟气的低位热能用来预热锅炉给水,使锅炉出口烟气温度降至 $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,经烟囱排入大气。余热回收系统最大限度地吸收了烟气中的余热,既节能,又提高了炉子的热效率。

烟气流程:高温烟气经锅炉前部烟箱进入,依次通过凝渣管束、过热器、光管对流管束、鳍片管对流管束、省煤器、锅炉出口烟箱、出口烟道后经烟囱排

出。烟气进入锅炉温度一般为 $850\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最终排出锅炉的温度在 $180\sim 185\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

汽水流程:锅炉给水先进入省煤器,锅炉给水在省煤器中被加热后从省煤器出口集箱送入汽包中;汽包中的水通过锅炉尾部的下降对流管束和下降管进入下部左右连通集箱,然后由左右连通集箱分配到前部凝渣管束及对流管束,在该处被加热后的汽水混合物由汽水引出管再引入汽包中;经汽水分离后,饱和蒸汽从汽包中蒸汽引出管引至过热器入口集箱,经过热器过热后进入过热器出口集箱,最后引至热用户处供使用。

## 2 主要设备特点

### 2.1 燃烧器

焚烧炉的热源由顶部天然气和重油的组合燃烧器提供,共设置6台,2排布置,间距 $3\ 080\text{ mm}$ ,每排布置3台燃烧器,间距 $1\ 540\text{ mm}$ ,燃烧器的布置结构如图2所示。燃烧器布置方式为顶烧,火焰向下,为甲基丙烯酸废水焚烧提供热源,在有有机废液充足的工况下,即满足 $1\ 000\text{ kg/h}$ 的供应量时,天然气耗量为 $2\ 600\text{ m}^3/\text{h}$ ;在无有机废液的工况下,天然气耗量为 $3\ 300\text{ m}^3/\text{h}$ 。

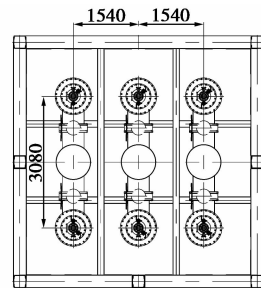


图2 焚烧炉燃烧器布置图

燃烧器采用内混式、强制通风、蒸汽雾化有机废液燃烧器,其结构由有机废液喷枪、天然气喷枪、

(上接第139页)

(3)通过在装置上进行过高负荷试验,得到反应物料停留时间呈指数分布,氧化反应停留时间 $\tau=50\text{ min}$ ,氧化反应器放大后反应停留时间等基础参数不变,可以推广应用到其他大型化氧化反应器的设计。

## 参考文献

[1] 唐有琪. 化学动力学与反应器[M]. 北京:科学出版社,1973:

36-39.

[2] 比肖夫. 反应器分析与设计[M]. 北京:化学工业出版社,1985:777-781.

[3] 李希. PTA技术发展的回顾与前瞻[C]. 北京:2012年PTA行业年会论文集,2012:67-70.

[4] 周庆. 反应器设计[M]. 北京:中国纺织出版社,2012:86-89.

[5] 孙静民. 聚酯工艺[M]. 北京:化学工业出版社,1985:268-274.

[6] 王松汉. 石油化工设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2002:236-239.

[7] 冯连芳. 石油化工设备设计选用手册—反应器[M]. 杭州:浙江大学出版社,2011:77-80. ■

长明灯、点火装置、火焰检测器以及烧嘴砖等部件组成。有机废液在废液喷枪内与锅炉自产的 320℃ 过热蒸汽混合后,雾化成微小的雾滴,从喷口高速喷入炉膛,在长明灯的伴烧下形成稳定的火焰。燃烧器的外形如图 3 所示。

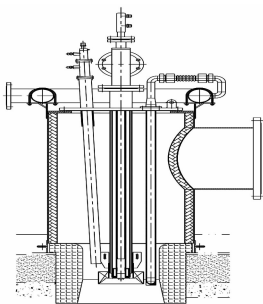


图 3 组合式燃烧器外形

燃烧器的供风采用多级配风,每台燃烧器的风量由风道入口处的空气调节挡板来控制,焚烧炉的总风量由助燃风机变频调节来实现控制。

## 2.2 燃烧室

燃烧室为直立式方型结构,正压操作。炉膛有效尺寸为 4 600 mm × 4 600 mm × 13 440 mm,上部为高温段,下部为废水焚烧段。燃烧室的设计参数见表 3。

表 3 燃烧室的设计参数

项目	设计参数
装置有机废液处理量/(kg·h <sup>-1</sup> )	1000
有机废液喷前压力/MPa	0.8
有机废液热值/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	2.3 × 10 <sup>4</sup>
有机废液雾化压力/MPa	0.8
天然气最大耗量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	3300
甲基丙烯酸废水处理量/(kg·h <sup>-1</sup> )	32000
甲基丙烯酸废水前压力/MPa	0.8
废水热值/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	1.775 × 10 <sup>3</sup>
助燃风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	77720
烟气总量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	88000
停留时间/s	2.6
炉膛容积/m <sup>3</sup>	285
总热负荷/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	1.006 × 10 <sup>8</sup>
容积热负荷/(kJ·m <sup>-3</sup> )	3.53 × 10 <sup>5</sup>

高温段主要为天然气和有机废液的燃烧,为废水焚烧段提供足够的热量,该段燃烧室四周设有 4 只观火孔和 2 只热电偶,可随时观测火焰和炉温情况。为使甲基丙烯酸废水喷入焚烧段后强烈且均匀

反应,废水焚烧段设置了 2 层废水喷枪,每层 16 台,均布在炉墙四周,每台废水喷枪处理量为 1 000 kg/h,每台废水喷枪设有根部风,既给废水中有机组分燃烧提供充足的氧气,又使废水雾化后在炉膛内混合搅动强烈,反应均匀,有利于废水中有机组分的充分燃尽。

## 2.3 余热回收系统

余热回收系统主要由汽包、凝渣管束、过热器、对流换热面、省煤器、前后烟箱等部件组成。余热回收系统设计数据见表 4。

表 4 余热回收系统设计参数

	凝渣管束	过热器	光管对流管束	鳍片管对流管束	省煤器
管内工质名称	饱和水 + 饱和蒸汽	过热蒸汽	饱和水 + 饱和蒸汽	饱和水 + 饱和蒸汽	锅炉给水
工质入口温度/℃	252	252	252	252	104
工质出口温度/℃	252	320	252	252	162
入口烟气温度/℃	850	731	611	381	272
出口烟气温度/℃	731	611	381	272	185
换热面积/m <sup>2</sup>	89.2	145.9	492.2	1125	1178
吸热量/kW	4965	4871	8873.5	3986	3072
烟速/(m·s <sup>-1</sup> )	9.2	8.6	8.1	8.4	7.0
传热系数/(W·m <sup>-2</sup> ·℃ <sup>-1</sup> )	102.5	85.4	77	54	22.2

(1)凝渣管束设置在高温烟气入口处,其作用之一是产生 4.0 MPa、252℃ 的饱和蒸汽;二是通过换热将 850℃ 高温烟气降至 731℃,以保护过热段的炉管。

(2)过热器是将从汽包来的 4.0 MPa、252℃ 的饱和蒸汽加热到 3.85 MPa、320℃ 的过热蒸汽并管网,同时烟气温度由 731℃ 降至 611℃

(3)对流管束是蒸汽主要发生段。将汽包下降管来的 4.0 MPa、252℃ 的饱和水加热产生 4.0 MPa、252℃ 的饱和蒸汽,由上升管进入汽包,同时将烟气温度降至 272℃。

(4)省煤器的主要作用是将 104℃ 的锅炉给水加热到 162℃ 送入汽包,同时有效利用了烟气的低位热量,将烟气温度降至 185℃。

## 2.4 烟风系统

由鼓风机、助燃风总管、烟道以及烟囱组成。

助燃风机采用变频调节,通过手动调节每条助燃风支路的风门来控制进入每一层环形风道的空气流量。

烟囱采用碳钢材质,为防止烟囱低温露点腐蚀,在烟囱内壁涂抹3 mm厚防腐耐酸胶泥。为减小风载荷,自烟囱顶部向下1/3处均设置了破风圈。

### 3 装置运行分析

#### 3.1 运行费用

根据2012年12月该焚烧装置的运行记录,该焚烧装置单位时间内的平均能耗见表5。

表5 焚烧装置能耗

名称	消耗	单价	合计
天然气/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	2800	3.5	9800
锅炉给水/( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )	42.6	18	766.8
电耗/kW	285.1	0.7	199.57
副产蒸汽/( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )	-40.2	230	-9246
装置运行费用/(元· $\text{h}^{-1}$ )			1520.37
处理废水费用/(元· $\text{t}^{-1}$ )			47.5

注:负值表示装置收益;单价与合计的单位为元。

通过表5可以得出,在不考虑装置一次性投资及折旧费用,处理1 t甲基丙烯酸废水的运行费用仅需要47.5元,该费用远远低于生化处理等其他处理方法<sup>[8-10]</sup>。

#### 3.2 排放指标

2012年12月对该焚烧装置进行了环保检测,环保实测排放值见表6。

表6 环保实测排放值  $\text{mg}/\text{m}^3$

名称	允许排放值	实际排放值
$\text{NO}_x$	<240	155
$\text{SO}_2$	<550	17.5
CO	<80	0.15
甲醛	<25	—
烟尘	<120	22.9

通过表6可以看出,高温焚烧后烟气,通过余热回收系统降温后,其排放指标达到了GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》和GB 13271—

2001《锅炉大气污染物排放标准》的允许排放要求。

### 4 结语

(1)采用高温焚烧技术处理甲基丙烯酸废水,可将废水中有毒有害物质和烃类物质绝大部分分解为无害物质,排放浓度达到国家GB 16297—1996环保标准要求,可直接排入大气,减轻了对环境的污染。

(2)将焚烧技术与高温烟气余热回收系统有效结合,可为企业节约投资,降低运营成本,具有显著的经济效益和社会效益。

(3)该技术的成功应用标志着我国甲基丙烯酸废水环保处理取得新的突破,同时,该技术可移植到其他相关行业低热值废水的无害化处理,具有很好的技术推广潜力。

### 参考文献

- [1] 蔡杰. 甲基丙烯酸甲酯市场现状及产业发展前景[J]. 化学工业, 2009, 27(3): 21-26.
- [2] 潘晓磊. 国内外甲基丙烯酸甲酯的生产工艺与市场现状[J]. 石油化工技术经济, 2000, 16(6): 27-32.
- [3] 许丛芳. 聚丙烯酸酯浆料的共混特性与生物降解性[J]. 棉纺织技术, 2010, 38(2): 73-78.
- [4] 汪青海, 马建学, 褚小东, 等. 甲基丙烯酸水溶液萃取分离研究[J]. 广州化工, 2011, 39(16): 86-90.
- [5] 韩旭. 活性炭吸附消除PMMA裂解工艺废气的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- [6] 别如山, 杨励丹, 李季, 等. 国内外有机废液的焚烧处理技术[J]. 化工环保, 1999, 19(3): 148-154.
- [7] 郑盛之, 宋玉栋, 周岳溪, 等. 厌氧接触式反应器预处理高浓度丙烯酸废水[J]. 环境工程学报, 2011, 38(3): 121-126.
- [8] Fang Ming, Gao Jinlong, Wang Sheng, et al. Dielectric monitoring method for the drug release mechanism of drug-loading chitosan microspheres[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 20(13): 25-31.
- [9] Wei Chao-hai, Wang Wen-xiang, Deng Zhi-yi, et al. Characteristics of high-sulfate wastewater treatment by two-phase anaerobic digestion process with Jet-loop anaerobic fluidized bed[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19(3): 264-270.
- [10] 王树东, 谭跃海, 黄冬冬, 等. 双膜系统在化工废水深度处理中的应用[J]. 水处理技术, 2012, 3(1): 129-131. ■

### 一种聚醚砜中空纤维纳滤膜的制备方法和用途 (CN 103551047)

本发明公开了一种聚醚砜中空纤维纳滤膜的制备方法和用途,其特征在于首先纺制含聚醚砜与高分子量聚乙烯吡咯烷酮的中空纤维超滤膜,之后用二甲基甲酰胺和水的

混合溶液进行处理,再通过真空干燥得到聚醚砜中空纤维纳滤膜,该膜制备简便,容易操作,易于产业化。可用于香精香料的分离纯化,以及金属离子的清除,具有永久亲水性。