

某印刷车间 VOC 废气处理系统设计

北京金合置地房地产开发有限公司 戴书健[☆]

北京华创朗润环境科技有限公司 韩志军

摘要 简要介绍了经济日报社印刷车间的工程概况与通风系统,计算了生产过程中产生的 VOC 废气的排放量,并根据排放标准计算了总净化效率。设计了三级净化系统对 VOC 废气进行处理,并详细介绍了其特点。总结了该工程的不足之处。

关键词 印刷车间 挥发性有机化合物(VOC) 排放标准 三级净化 净化效率

VOC waste gas treatment system design for a printing workshop

By Dai Shujian[★] and Han Zhijun

Abstract Briefly presents the project profile and ventilation system of a printing workshop of Economic Daily Newspaper, and calculates the emission of VOC waste gas in the production process. According to the emission standard, calculates the total purification efficiency. Designs a three-level clean system for the VOC waste gas treatment, and presents its characteristics in detail. Summarizes the shortcomings of the project.

Keywords printing workshop, volatile organic compounds (VOC), emission standard, three-level clean, purification efficiency

★ Beijing Jinhe Zhidi Real Estate Development Co., Ltd., Beijing, China

1 工程介绍

1.1 工程概况

经济日报社新建的印务中心及综合办公楼(A座),建筑总面积 48 630 m²,建筑高度 60 m,地下 3 层,地上 15 层;报纸及刊物印刷车间设在地下 2 层和地下 1 层通高空间,印刷车间尺寸为 33.1 m×24.0 m×9.3 m(长×宽×高),净面积为 794.4 m²,装有 4 台大型进口印刷机。建筑主体毗邻市内交通次干线,距离地铁 4 号线陶然亭站 D 口仅 50 m。为降低噪声、减少对周围居民的环境影响,将印刷车间全部设在地下空间。

1.2 通风系统

根据空调冷负荷计算,印刷车间总送风量为 98 000 m³/h,换气次数为 13.3 h⁻¹。设计 2 台一次回风全空气式空调处理机组,每套空调系统风量为 49 000 m³/h。2 套系统共配备 12 个平送风口、12 个下送风口、12 个侧回风口(不包括控制间和操作间风口),采用中部送风、上部回风的气流组织形式。

印刷车间产生的挥发性有机化合物(VOC)废气通过屋顶排放口(排气筒)集中排放,排气筒高度相对室外自然地坪高 60 m。为充分利用过渡季和冬季室外新风,每套空调系统配备 1 台变风量排风机,排风量控制在 4 900~24 500 m³/h 之间,总排风量为 9 800~49 000 m³/h。部分回风经过处理后循环使用。空气处理系统流程图见图 1。

2 印刷车间污染物及排放量

2.1 VOC 气体及来源

世界卫生组织对总挥发性有机化合物(TVOC)的定义为:熔点低于室温而沸点在 50~260 ℃之间的挥发性有机化合物的总称^[1]。VOC 的主要成分有:烃类、卤代烃、氧烃和氮烃,包括:苯系物、有机氯化物、氟利昂系列、有机酮、胺、醇、醚、酯、酸和石油烃化合物等。

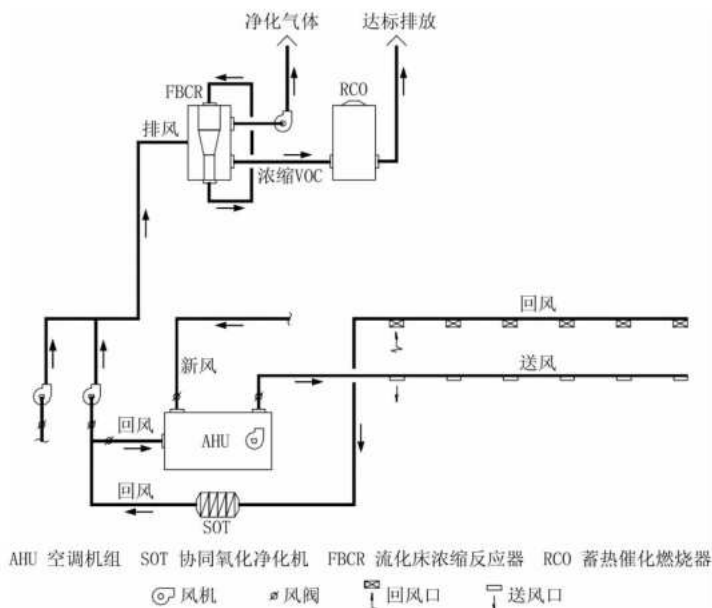


图1 空气处理系统流程图

印刷车间的 VOC 气体主要来源于印刷过程中油墨和溶剂(清洗剂、润版液等),主要成分为:苯、甲苯、乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙醇、丁醇等,不仅对人体健康造成损害,对环境也造成很大危害。同时该车间还存在少量粉尘、纸屑和水气,因此控制的主要污染为粉尘和 VOC 有机溶剂挥发物,主要控制指标为非甲烷总烃(NMHC)^[2]。

2.2 VOC 气体排放量

根据使用方提供的数据,印刷车间建成投产后,年印刷量约 5.5 亿张对开标准报纸(780 mm×540 mm),原材料年使用量、有害气体挥发比例^[3]、有害气体年挥发量、有害气体挥发速率(按一年 365 d,印刷机每天累计工作时间 8 h 计算)、有害气体初始浓度如表 1 所示。

表 1 有害气体参数

	原材料年使用量/ (t/a)	有害气体挥发比例/ %	有害气体年挥发量/ (t/a)	有害气体挥发速率/ (kg/h)	有害气体初始质量浓度/ (mg/m ³)
油墨	96	30	28.80	9.86	1 006.43
润版液	16	20	3.20	1.10	111.83
清洗剂	12	17	2.04	0.70	71.29
总计	124		34.04	11.66	1 189.55

2.3 VOC 气体排放标准及设计总净化效率

2015 年 7 月 1 日起执行更为严格的北京市地方标准 DB 11/1201—2015《印刷业挥发性有机物排放标准》,排气筒高度不低于 15 m,挥发性有机物排放浓度限值见表 2。2016 年 12 月 31 日之前为表 2 中 I 时段,之后为 II 时段。

表 2 挥发性有机物排放浓度限值 mg/m³

	I 时段	II 时段
苯	0.5	0.5
甲苯与二甲苯合计	15	10
非甲烷总烃(NMHC)	50	30

按 DB 11/1201—2015《印刷业挥发性有机物排放标准》II 时段 NMHC 限值 30 mg/m³ 的要求,总净化效率 $\eta_z \geq 97.48\%$ ($((1\ 189.55\ \text{mg/m}^3 - 30\ \text{mg/m}^3) \div 1\ 189.55\ \text{mg/m}^3)$);按排气筒出口净化要求对 VOC 废气进行处理,设计总净化效率 $\eta_z \geq 98\%$ (见表 3),计算处理前最大质量浓度可控制在 1 500 mg/m³ 以内。

表 3 设计净化效率和排放浓度

	处理前质量浓度/(mg/m ³)	排放标准/(mg/m ³)	设计总净化效率/%	排放质量浓度/(mg/m ³)
非甲烷总烃	1 189.55	30	98	23.79
苯		0.5		≤0.5
甲苯与二甲苯合计		10		≤10

3 三级废气处理方式

该项目主要是印刷 VOC 废气净化,通过整体换气的原则利用空调系统将废气收集。考虑到印刷废气排放源分散、空调换气次数大、VOC 浓度低的特点,对空调回风口、总回风段和屋顶排气筒排风进行净化,采用三级净化方式对 VOC 废气进行处理,达到零排放(gas zero emission, GZE)或近零排放。

第一级,回风口粗效净化。主要目的是针对印刷车间产生的少量纸屑、粉尘进行粗效过滤,故第一级 VOC 气体净化效率 $\eta_1 = 0\%$ 。

第二级,回风系统净化。考虑到空气循环的需要,部分排风作为回风使用,因车间废气含有 VOC 气体,故需要经过净化后再作为回风,否则车间浓度会越来越高,对工人的身体健康产生危害^[4]。考虑报纸印刷产生的 VOC 废气浓度不高,但作为循环气需要进行净化处理,因此二级净化设计采用协同氧化技术(synergism oxidation technologies, SOT)废气净化机(参数见表 4)进行处理,设计风量为 49 000 m³/h(2 套,见图 1),第二级设计 VOC 气体净化效率 $\eta_2 = 60\%$ 。

第三级,建筑屋顶排气筒外排口排放达标净

表4 SOT 废气净化机参数

型号	SOTs-III-49K
处理风量/(m ³ /h)	49 000
总功率/kW	25
主体尺寸/mm	2 000×1 800×2 000(长×宽×高)
风口尺寸/mm	1 000×800(宽×高)
电源	交流,380×(1±5%)V,50 Hz

化。整个系统唯一外排口为屋顶设置的风口(2 500 mm×600 mm),此排放口为最重要的环保监控点,需要进行彻底净化,保证排放达标。因此设计“流化床浓缩反应器(fluid bed concentrator reactor, FBCR)+蓄热催化燃烧器(regenerative catalytic oxidizer, RCO)”的工艺流程进行废气净化(见图1),排放标准设计为零排放或近零排放,第三级设计VOC气体净化效率 $\eta_3=95\%$ 。

排气筒VOC气体设计总净化效率 $\eta_{sz}=[1-(1-\eta_1)(1-\eta_2)(1-\eta_3)]=98\%$ 。

4 三级净化工艺特点

4.1 第一级

在12个回风口增加自制过滤层,直接安装到回风口上,尺寸为1 050 mm×750 mm,过滤材料选择高效天然过滤材质,具有可降解、无二次污染及可再生的特点,有两方面的作用:一是对大颗粒污染物有很好的阻挡过滤效果;二是对后级净化设备起保护作用,过滤层容尘量大,使用寿命长(可用热空气吹脱)。

4.2 第二级

SOT是一种复合氧化技术,在等离子体和高能光子的共同作用下,设备内部发生等离子体裂解反应、高能紫外线(VUV)光解反应、臭氧高级氧化反应、光催化氧化反应,其作用远远大于单一的反应手段,同时这些反应之间还有相互促进和互为转化的效应。在这个过程中,等离子体、光量子、臭氧、羟基、催化剂等共同发生作用,协同分解的结果是有效降解VOC气体中的大分子有机物质,经过一系列复杂的氧化还原反应后,最终生成小分子无害无机物CO₂和H₂O等。

4.3 第三级

4.3.1 流化床浓缩反应器 FBCR

FBCR是吸附浓缩+脱附一体化的有机废气净化装置,利用了沙漏原理实现介质完全靠重力的作用自动在反应器内流动;吸附室和脱附室紧密相

连,当介质在吸附室完成吸附后随即流化到脱附室进行解析,VOC脱出后完成再生,马上又恢复了吸附活性和能力。该工艺的一个显著特点是吸附介质是流动的,反应器在不同的流化段吸附、脱附同时进行;第二个特点是解析方式的改变,即变介质的间隔性、统一再生为即时性、分散再生,使解析气流量小、均衡、平稳;第三个特点是采用升温和变压组合技术进行解析再生,脱附速度快,脱附效率高。正常情况下,多数介质处于吸附状态即工作状态,而吸附一定量VOC后的介质随着流化床运动进入脱附室后随即进入解析状态即脱附态,整个吸附介质处于吸附、脱附循环往复状态。废气通过吸附反应器时VOC成分被吸附截留,洁净尾气达标排放;截留下来的VOC气体通过脱附后由后处理单元净化处理,实现对废气的彻底净化。即时脱附功能的实现保证了介质始终保持高活性状态,使整个净化系统可以反复循环使用,实现了吸附介质的利用价值最大化(见图2)。有机废气在反应器内完成吸附、脱附整个过程,实时再生保证了系统连续循环运转,净化后的废气达标排放。截留下来的浓缩VOC气体可通过燃烧完全氧化分解,实现零排放;或进行二次处理,配合冷凝工艺可实现溶剂回收。

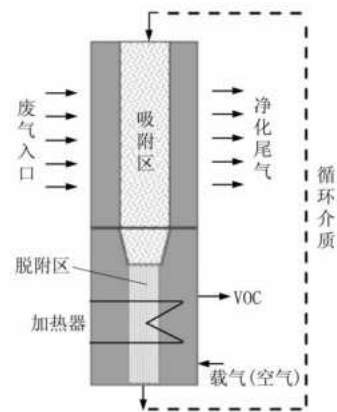


图2 流化床浓缩反应器 FBCR 工作原理

FBCR系统最大的优势是实现吸附室和脱附室分离,即不必停下来脱附而影响系统排风;又可根据排放气体的VOC浓度灵活掌握脱附周期和时间间隔;间歇式脱附模式保证了最低的运行费用,减轻了用户的经济负担。

国内外常用的反应器见表5。

4.3.2 蓄热催化燃烧器 RCO

该项目配备1台蓄热催化燃烧器,燃烧炉总处理风量设计为1 000 m³/h。结合蓄热燃烧和催化

表 5 国内外常用的反应器

	固定床	转轮	流化床
结构形式	多层型双罐或多罐	旋转轮	流化反应器
占地面积	占地面积大,多个罐可根据工况设计	占地面积小,规格是特定的	占地面积小,尺寸和外形是灵活的、可调的
工作方式	间歇工作,吸附饱和后必须停下来进行脱附	连续工作	连续工作
工作模式	吸附、脱附在同一个反应器逆向完成,即吸附和脱附不能同时进行	脱附区、冷却区和吸附区是设定的,随着轮子的旋转交替进行	吸附室和脱附室独立,可同时进行,互不干扰
脱附方法	热蒸汽或热空气,升温脱附	热蒸汽或热空气	微波或红外升温+变压脱附组合
脱附时间	吸附:脱附=2:1	短,同步	短,同步
脱附能耗	非常高	高	低
脱附气量	气量大	为初始气量的 1/15~1/10	仅为初始气量的 1%~2%
燃烧装置	配大气量燃烧炉	配中气量燃烧炉	配小气量燃烧炉

燃烧,在炉腔内形成 400~420 ℃ 的高温,可将脱附解析的高浓度 VOC 气体彻底分解(见图 3),而不会产生 NO_x(雾霾主要成分之一)等二次污染物。

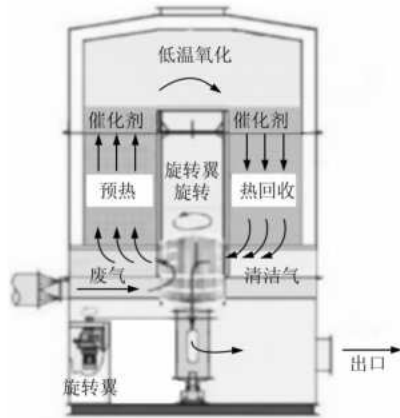


图 3 蓄热催化燃烧器 RCO 工作原理

5 结论

印刷车间自 2016 年 5 月投入运行,在 3 台印刷机(1 台尚未安装)非全负荷工作状态下,印刷车间产生的 VOC 废气通过三级处理,实现了达标排放(检测报告见表 6,采样点为废气总排放口,排放高度为 60 m)。

表 6 检测报告

	标干废气量/ (m ³ /h)	排放质量浓度/ (mg/m ³)	排放速率/ (kg/h)	净化效率/ %
苯	28 652	<1.5×10 ⁻³	30	
甲苯	28 652	<1.5×10 ⁻³	0.5	
二甲苯	28 652	<1.5×10 ⁻³	10	
非甲烷总烃	28 652	0.56	0.016	95.7

该项目总体建筑设计开始于 2012 年 5 月,随着新标准的实施,在原有空调通风方案基础上进行优化改建,故存在一些不足之处。

1) 在空调机房安装二级净化设备 SOT 废气净化机,面积偏小,且与空调机组回风口位置不对应,空调回风静压箱重新开孔,风道增加了较多不

必要的弯头,带来漏风量、风阻增加和维修空间过于狭窄的问题。

2) 印刷车间内送、排风道截面较大,风道安装时喷淋管、消火栓管、强弱电管线等已全部施工完毕,不易寻找风道合理路由,对车间整体布局造成严重影响。

3) 三级净化处理设备放置在屋面,因体积较大、质量较大,摆放位置受到很大制约,风道加长、风阻增加,影响建筑屋面(上人屋面)的使用和美观。

目前对印刷车间的气流组织存在一些争议,认为应该将空调通风系统和有害空气处理系统分别设置,充分利用室外新风,以减少有害空气处理量,降低能耗。该项目因空间小,改造和探索并存,难以实现上述目标。

参考文献:

- [1] ISO. Paints and varnishes—terms and definitions—part 1: general terms: ISO 4618-1: 2014 [S]. Geneva:ISO,2014: 28
- [2] 北京市环境保护科学研究院,解放军防化研究所,北京印刷协会. 印刷业挥发性有机物排放标准:DB 11/1201—2015[S]. 北京:[出版社不详],2015:2-3
- [3] 财政部,国家发展改革委,环境保护部. 关于印发《挥发性有机物排污收费试点办法》的通知[A/OL]. [2017 - 03 - 24]. http://szs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefabu/201506/t20150625_1261143.html
- [4] 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所,复旦大学公共卫生学院,华中科技大学同济公共卫生学院,等. 工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素:GBZ 2.1—2007[S]. 北京:人民卫生出版社,2007:3-16