

附件 2

# 《包装印刷业有机废气治理工程技术规范 (征求意见稿)》编制说明

编制组

二〇二〇年四月

项目名称：包装印刷业有机废气治理工程技术规范

项目统一编号：2018-61

承担单位：中国环境保护产业协会、中国科学院生态环境研究中心、陕西北人印刷机械有限责任公司、嘉园环保有限公司、扬州恒通环保科技有限公司、武汉旭日华环保科技股份有限公司。

主编人员：刘媛、郝郑平、彭溶、张国宁、程杰、李冬、韩忠娟、陆誉文、杨旭东

生态环境部环境标准研究所技术管理负责人：姚芝茂

生态环境部科技与财务司投资处项目负责人：吕奔、岳子明

# 目 录

1. 任务来源.....	1
2. 标准制定的必要性.....	1
3. 标准制订原则与主要工作过程.....	2
4. 国内外相关标准研究.....	3
5. 包装印刷业废气排放和治理情况调研.....	5
6. 主要技术内容及说明.....	10
7. 标准实施的环境效益与经济技术分析.....	17
8. 标准实施建议.....	18

## 1. 任务来源

2018年，原环境保护部印发《关于开展2018年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办科技函〔2018〕225号），下达了制定“包装印刷业有机废气治理工程技术规范”（项目编号2018-61号）的编制任务。该项目由中国环境保护产业协会牵头组织制订，参编单位包括中国科学院生态环境研究中心、陕西北人印刷机械有限责任公司、嘉园环保有限公司、扬州恒通环保科技有限公司、武汉旭日华环保科技股份有限公司。

## 2. 标准制定的必要性

### 2.1 国家 VOCs 污染防治需要

2010年国务院发布《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》（国办发〔2010〕33号），首次将挥发性有机物（VOCs）作为我国大气污染防治的重点污染物，并提出要求：“从事喷漆、石化、制鞋、**印刷**、电子、服装干洗等排放挥发性有机污染物的生产作业，应当**按照有关技术规范进行污染治理**”。

之后，我国VOCs污染控制工作进入快车道，国家出台相关法规、政策、标准、规划等予以规范、指导。2013年国务院印发《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号），要求“在石化、有机化工、表面涂装、**包装印刷**等行业实施VOCs综合整治，完善涂料、胶粘剂等产品挥发性有机物限值标准，在全社会推广使用水性涂料、低挥发性有机溶剂等”。

2017年，原环境保护部印发《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》（环大气〔2017〕121号），要求“深入推进**包装印刷行业VOCs综合整治**”。具体措施包括：推广使用低（无）VOCs含量的绿色原辅材料和先进生产工艺、设备，加强无组织废气收集，优化烘干技术，配套**建设末端治理措施**，实现包装印刷行业VOCs全过程控制。对收集的废气，要求建设**吸附回收、吸附燃烧**等高效治理设施，确保达标排放。

2018年，中共中央、国务院《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》（中发〔2018〕17号）提出“加强工业企业大气污染综合治理”，要求“强化工业企业无组织排放管理，推进**挥发性有机物排放综合整治**，开展大气氨排放控制试点。到2020年，挥发性有机物排放总量比2015年下降10%以上”。随后，国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号）进一步要求“制定石化、化工、工业涂装、**包装印刷**等VOCs排放重点行业和油品储运销综合整治方案，出台泄漏检测与修复标准，编制VOCs治理技术指南”。

为落实蓝天保卫战要求，2019年生态环境部发布《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53号），对包装印刷行业VOCs综合治理从强化源头控制、加强无组织排放控制、提升末端治理水平三个方面提出了要求，并指出：印刷、干式复合等VOCs排放工序，宜采用**吸附浓缩+冷凝回收、吸附浓缩+燃烧、减风增浓+燃烧**等高效处理技术。

## 2.2 包装印刷业有机废气治理亟需规范

在我国，包装印刷行业VOCs排放量据估算约80万吨/年-100万吨/年，是单一行业中VOCs排放量较大的行业之一。我国包装印刷工艺以凹版印刷为主，VOCs排放量大，约占包装印刷行业VOCs排放的80%以上。从调研情况看，包装印刷行业VOCs治理已经起步，很多企业采取了措施，但以简易低效的一次性活性炭、光解、等离子等为主，一些大企业则治理较为规范，采用的技术先进、高效。当前包装印刷业VOCs减排与控制工作正在加速推进，需要尽快出台相关工程技术规范进行指导。

包装印刷行业VOCs排放主要来自于彩色印刷和塑膜复合工序生产过程中使用的溶剂型油墨、胶粘剂和用于稀释的有机溶剂等。其中，印刷工序的VOCs排放特点是组分较多、浓度较高，通常用燃烧技术（RTO/CO/RCO）处理或减风增浓后燃烧处理，同时回收热能。复合工序排放的VOCs浓度高但组分相对单一，一般进行吸附回收处理。另外，油墨以及胶粘剂的调配与供给系统、洗车系统亦有VOCs排放，排放量小，排放浓度低，主要采用吸附浓缩+燃烧技术处理。

为明确行业有机废气治理技术路线和关键工艺参数、主要设备与材料性能指标要求，提高污染治理的针对性、有效性，指导工程实践，有必要针对VOCs排放量大的包装印刷行业制订工程技术规范，以支撑全国VOCs减排工作，完成《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》《重点行业挥发性有机物综合治理方案》确定的目标要求。

## 3. 标准制订原则与主要工作过程

### 3.1 标准制订原则

#### （1）以工程实践为基础

总结现有包装印刷业有机废气治理工程的建设和运行管理经验、取得的效果、存在的问题，在此基础上优化、规范化相关要求，提高标准的实用性、技术指导性。

#### （2）以达标排放、适当超前为原则

以达标排放为前提，考虑我国未来环保要求、国内外先进治理工艺技术，提出的技术路线、性能指标等具有一定的先进性、前瞻性，能够引领行业有机废气治理工程的发展。

### (3) 突出环境工程特色

从生产工艺特点、污染排放特征出发，对有机废气进行系统收集和高效治理，大幅削减 VOCs 排放，同时考虑环境的整体性，采取措施防止产生废水、固废、噪声等二次污染。

### (4) 与相关法规政策标准相协调

治理工程建设要遵守国家及地方有关建设、节能、安全、卫生等方面的要求，与相关法规、政策、标准、规范等协调一致。

## 3.2 主要工作过程

根据生态环境部下发的《包装印刷业有机废气治理工程技术规范》编制任务，中国环境保护产业协会于 2018 年 6 月组织相关单位及人员成立标准编制组，确定工作计划和任务分工。

此后，编制组开展文献检索和资料调研，收集国内外相关标准、规范以及工程案例资料，提出编制思路，编制完成开题报告及标准草案。

2019 年 4 月 28 日召开标准开题论证会，会议审查通过了该标准开题论证，明确了标准编制方向和原则。

编制组依据标准开题论证意见，组织开展包装印刷业废气排放和治理情况调研，剖析优秀工程案例，论证行业有机废气治理技术路线，确定关键参数、性能指标要求等，于 2020 年 3 月形成了标准征求意见稿和编制说明上报生态环境部。

2020 年 4 月 16 日，生态环境部科技与财务司主持召开《包装印刷业有机废气治理工程技术规范》（征求意见稿）技术审查会，会议审查通过了该标准征求意见稿。

## 4. 国内外相关标准研究

### 4.1 国内政策标准情况

2010 年发布的《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》（国办发〔2010〕33 号），在我国挥发性有机物（VOCs）污染控制史上是具有里程碑意义的事件，该文件首次将 VOCs 作为我国大气污染防治的重点污染物，从此 VOCs 控制走上了环保主战场、大舞台。该文件还特别突出了技术规范在污染防治中的重要作用，明确提出：“从事喷

漆、石化、制鞋、印刷、电子、服装干洗等排放挥发性有机污染物的生产作业，应当**按照有关技术规范进行污染治理**”。之后国务院发布的《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号）和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号），以及生态环境部发布的《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》（环大气〔2017〕121号）和《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53号）都将包装印刷行业作为 VOCs 控制的重点领域进行规范和引导。

VOCs 污染控制工作需要标准、规范的支撑，这其中既有强制性的国家及地方排放标准的要求，也有指导性的技术政策、技术指南和工程技术规范，用以明确污染防治技术路线，指导开展相关 VOCs 治理工程。

由于我国尚无包装印刷业专项排放标准要求，按照国家标准体系设计，现执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）的规定，主要控制非甲烷总烃（NMHC）、苯、甲苯、二甲苯的排放。根据国家排放标准制订计划，《印刷工业大气污染物排放标准》已经在全国公开征求意见。根据地方环境保护需求以及经济、技术条件，一些省市早于国家要求发布了地方专项排放标准，包括：2010年的广东省《包装印刷行业挥发性有机化合物排放标准》（DB 44/815-2010），2015年的北京市《印刷业挥发性有机物排放标准》（DB 11/1201-2015）和上海市《印刷业大气污染物排放标准》（DB 31/872-2015），2017年的重庆市《包装印刷业大气污染物排放标准》（DB 50/758-2017）、山东省《挥发性有机物排放标准第4部分：印刷业》（DB 37/2801.4-2017）和湖南省《印刷业挥发性有机物排放标准》（DB 43/1357-2017），2018年的福建省《印刷行业挥发性有机物排放标准》（DB 35/1784-2018），以及2019年的江西省《挥发性有机物排放标准第1部分：印刷业》（DB 36/1101.1-2019）和辽宁省《印刷业挥发性有机物排放标准》（DB 21/3161-2019）。另外，天津、河北、四川、陕西在其制订的 VOCs 综合排放标准中对印刷行业提出了部分要求。

为指导全国 VOCs 污染防治工作，原环境保护部很早就发布了《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》（环境保护部公告2013年第31号），明确了 VOCs 污染控制的技术路线、原则和方法。由于技术政策较为宏观，为指导具体行业的污染防治技术选择，生态环境部按行业制订了一批可行技术指南，其中包括《印刷工业污染防治可行技术指南》（HJ 1089-2020），提出了吸附技术、燃烧技术以及吸附浓缩+燃烧的组合技术。为规范污染治理工程建设，生态环境部制订了一系列通用及行业性的工程技术规范，涉及 VOCs 的通用工程技术规范主要有：《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）、《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2027-2013）和《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 1093-2020）。在实施包装印刷业有机废气治理工程时，应参考其中的技术要求。

另外，国内建设行业相关的设计、施工、验收规范，以及节能、安全、卫生相关标准、规范，都是实施包装印刷业有机废气治理工程的依据。

## 4.2 国外相关标准情况

在国外，国家要求是通过排放标准、技术指导文件提出的。工程建设的规范性要求一般是通过团体标准、企业标准进行规定，如美国消防协会 NFPA86 标准就用于指导 RTO 治理工程建设，防止火灾、爆炸风险。

美国有两套国家排放标准体系，一套是针对常规污染物（PM、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、总 VOCs）的新源特性标准（NSPS），另一套是针对有毒有害大气污染物的危险空气污染物国家排放标准（NESHAP），后者基于最大可达控制技术（MACT）制订，是国际上最严格的控制要求。其体系主要是根据行业分类、排放源类型，分门别类加以制订，对印刷业制定了《出版物凹版印刷排放标准》（40 CFR 60Subpart QQ）、《柔性乙烯基和聚氨酯产品凹版印刷排放标准》（40 CFR 60Subpart FFF），以及《印刷和出版业 HAPs 排放标准》（40 CFR 63 Subpart KK）。另外，美国环保署发布有《平板和凸版印刷控制技术指南》（EPA 453/R-06-002）和《软包装印刷控制技术指南》（EPA 453/R-06-003）。

欧盟主要是通过《工业排放指令》（IED）对行业大气污染物排放进行控制，通过排污许可证实施。IED 指令附件中规定有平板印刷、凹版印刷、柔版（凸版）印刷、孔版印刷、层压和上光等工艺的 VOCs 排放限值。另外，在综合污染预防与控制（IPPC）管理框架下，欧盟对 6 大类 38 个行业制订了最佳可行技术（BAT）指南文件，针对印刷工业的 BAT 技术要求规定在《表面处理过程使用有机溶剂 BAT 参考文件》中。

## 5. 包装印刷业废气排放和治理情况调研

包装印刷业按承印材料分类，包括纸制品包装印刷、塑料包装印刷、金属包装印刷、其他类包装印刷（玻璃、竹木、纺织品等）；按印刷方式分类，则包括平版印刷（含胶印）、凸版印刷（含柔性版）、凹版印刷、孔版印刷（含丝网）等。除印刷工序使用油墨、稀释剂、润版液（平板）、洗车水造成污染外，印后加工在覆膜、复合、涂布、上光、清洗工序使用胶粘剂、涂布液、光油、稀释剂、清洗剂也是造成污染的重要来源。

### 5.1 行业污染排放状况

包装印刷业 VOCs 排放主要源自生产过程中使用的溶剂型油墨、胶粘剂和用于稀释的有机溶剂，目前尚未得到有效治理。包装印刷工艺流程与排污节点如图 1 所示。

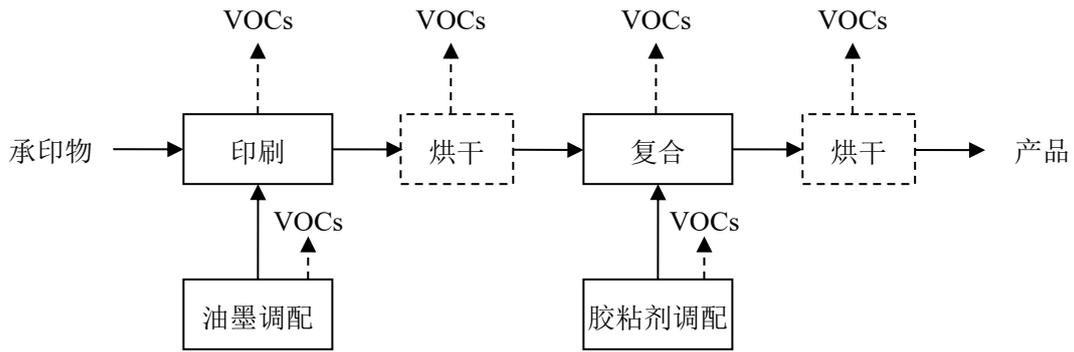


图 1 包装印刷工艺流程与排污节点示意图

印刷过程中使用的溶剂型油墨大约含有 50%~60%的有机挥发成分，再加上调节油墨粘度所需的稀释剂，在印刷品干燥过程中，挥发出来的有机成分占总量的 70%~80%。挥发的主要有机成分包括：醇类（乙醇、丙醇、异丙醇、乙二醇、丙二醇等）、酮类（丙酮、丁酮等）、醚类（乙二醇醚、丙二醇甲醚等）、酯类（乙酸乙酯、乙酸丙酯、丙二醇甲醚醋酸酯等）、芳烃类（甲苯、二甲苯等）、正己烷等，因企业印刷工艺、使用原料的不同而有所差异。

印后加工过程中使用的溶剂型胶粘剂、涂布液、光油，也会带来大量的 VOCs 排放，与油墨相比，由于溶剂较为单一，排放的 VOCs 主要是乙酸乙酯、甲苯。根据调研结果，在所有的印刷工艺中，软包装印刷（通常是凹版印刷）工艺的 VOCs 排放量最大（约占全部 VOCs 排放的 80%左右），而在软包装印刷中，复合工艺和凹版印刷工艺的 VOCs 排放量约各占 50%。

此外，清洗溶剂（含洗车水）、润版液等辅助材料的使用也会产生挥发性有机物排放。

根据调查案例汇总情况，不同工艺/工序、不同基材排放的废气规模、废气组分及 NMHC 初始浓度水平如表 1 所示。

表 1 包装印刷业污染物排放情况示例

产生工序	基材类型	气量规模 (m <sup>3</sup> /h)	废气组分	主要污染物 初始浓度范围 (mg/m <sup>3</sup> )	NMHC 初始浓度范围 (mg/m <sup>3</sup> )
凹版印刷	塑料基材	20,000~ 200,000	正丙酯、乙酸 乙酯、异丙 醇、乙醇等	正丙酯：200~4,000 乙酸乙酯：200~4,000 异丙醇：100~1,000 乙醇：100~1,000	600~8,000

凹版印刷	纸质基材	20,000~200,000	正丙酯、乙酸乙酯、异丙醇、乙醇等	正丙酯：100~3,000 乙酸乙酯：100~3,000 异丙醇：50~800 乙醇：50~800	400~5,000
柔性版印刷	塑料基材 纸质基材	10,000~80,000	乙醇、异丙醇等	乙醇：500~4,000 异丙醇：200~2,000	500~4,000
复合（贴合）	塑料基材 纸质基材	10,000~50,000	乙酸乙酯、乙醇等	乙酸乙酯：1,000~5000 乙醇：500~2,500	1,000~5,000
平版印刷（胶印）及洗车系统	纸质基材	2,000~50,000	乙醇、异丙醇等	乙醇：100~300 异丙醇：50~150	100~300
平版印刷（胶印）及洗车系统	金属基材	10,000~100,000	乙醇、异丙醇等	乙醇：100~300 异丙醇：50~150	100~300
油墨、胶粘剂的调配与供给系统 其他环境排风	—	5,000~50,000	正丙酯、乙酸乙酯、异丙醇、乙醇等	—	100~800

## 5.2 行业污染治理情况

VOCs 末端治理技术可分为两类：回收技术和焚毁技术。对于包装印刷行业而言，干式复合工艺等 VOCs 排放浓度高且组分相对单一（主要为乙酸乙酯）的场合，一般采用吸附+冷凝回收治理技术；在溶剂型凹版印刷等 VOCs 组分较多、浓度较高的场合，通常用燃烧技术（RTO/CO/RCO）处理并回收热能；如果 VOCs 排放浓度低（通常几百 mg/m<sup>3</sup>）且成分复杂，如溶剂型凸版/孔板印刷、油墨及胶粘剂调配与供给系统、无组织收集废气等，则会对废气先采用吸附浓缩处理，解吸后的废气再采用燃烧技术予以焚毁。

目前，我国包装印刷行业的 VOCs 治理工作已蓬勃开展起来。在吸附技术方面，包装印刷行业应用较多的是固定床吸附技术和旋转式吸附技术（转轮式、转塔式），吸附材料主要包括颗粒活性炭、活性碳纤维、蜂窝活性炭和蜂窝分子筛。从脱附工艺上讲，低压水蒸汽脱附再生工艺是传统的主流技术；热氮气保护再生工艺发展较快，该技术避免了水蒸汽的使用，降低了回收溶剂提纯费用，并提高了设备安全性，在包装印刷行业的应用最为广泛。图 2 为包装印刷行业应用较为典型的“活性炭吸附+冷凝回收”工艺。

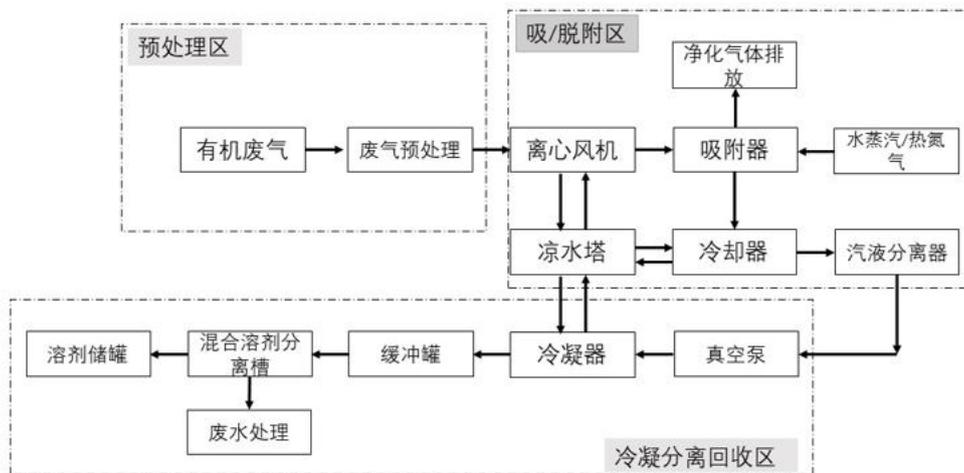


图 2 吸附回收工艺流程图

在蓄热燃烧、催化燃烧技术方面，近年来国内在催化剂、蓄热体、反应设备、系统集成等方面进步很快，形成了较为完整的技术体系，工程应用成果显著。蓄热燃烧装置（RTO）经历了两室、三室到旋转式多室的发展，对中高浓度有机废气净化效率超过 95%，热回收效率可大于 90%。催化燃烧装置（CO）、蓄热式催化燃烧装置（RCO）因为降低了工作温度，适应污染物浓度范围宽、运行费用较低。近年来，一些包装印刷企业对浓度较低的有组织废气（如印刷、干式复合、涂布的烘箱废气），采用了减风增浓技术，通过废气循环利用减小废气排放量，提高了污染物浓度，从而降低了末端燃烧设施的投资和运行成本。包装印刷行业应用的两室 RTO、旋转式 RCO 工艺如图 3、图 4 所示。

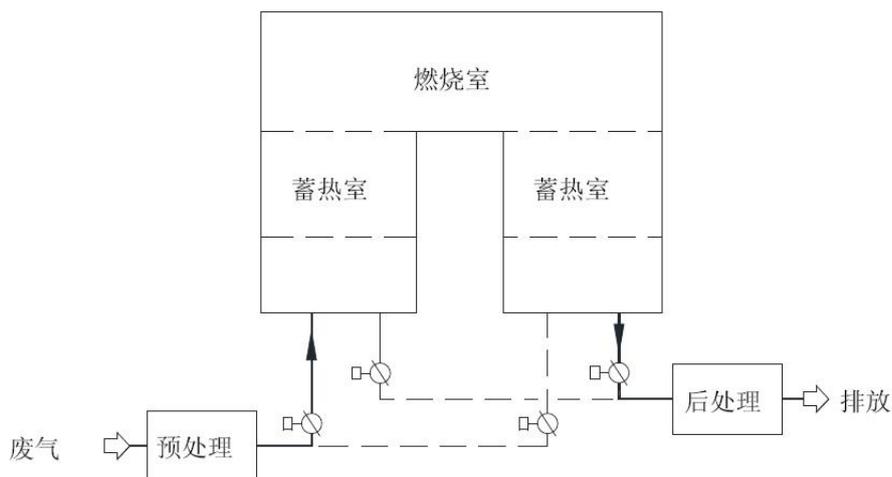


图 3 固定式蓄热燃烧（RTO）工艺流程图

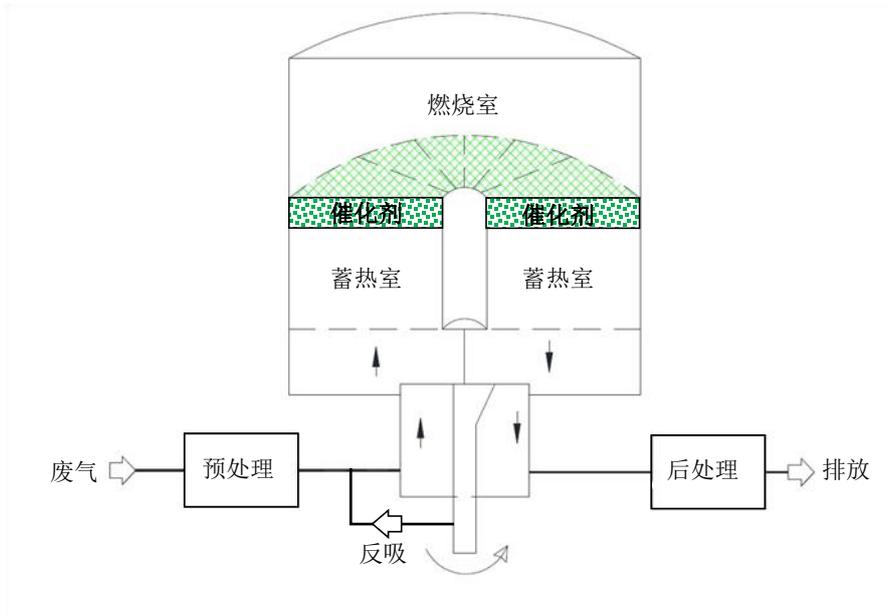


图4 旋转式蓄热催化燃烧（RCO）工艺流程图

在“吸附浓缩+燃烧”组合净化技术方面，国内包装印刷行业主要采取的是“固定床蜂窝活性炭吸附浓缩+CO”装置（图5）和“沸石转轮吸附浓缩+RTO/CO”装置（图6），后者具有安全、脱附速度快等优势，推广较快。国内一些专业环保公司对分子筛吸附材料等开展了相关研发工作，掌握了核心技术和设备，实现了工程应用。

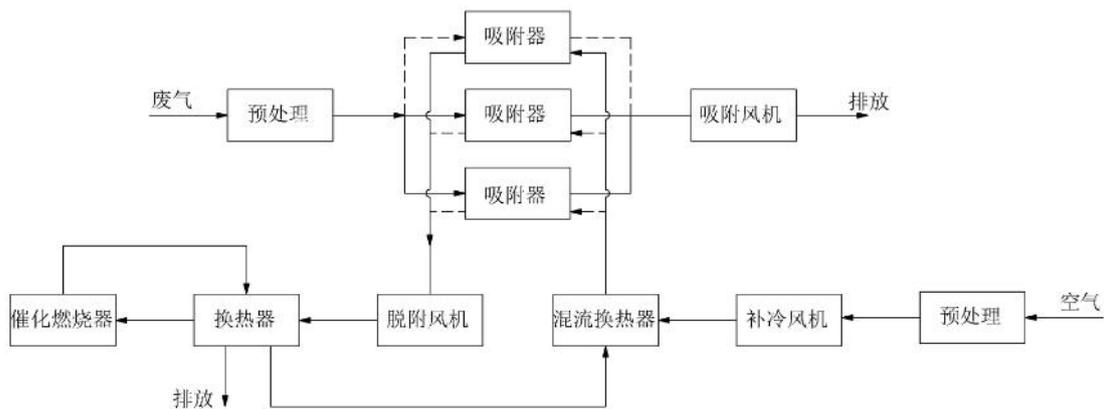


图5 活性炭吸附浓缩与催化燃烧组合工艺流程图

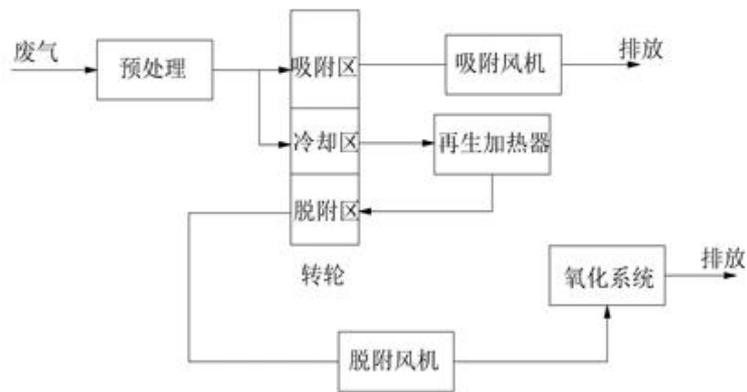


图6 转轮吸附浓缩与燃烧组合工艺流程图

## 6. 主要技术内容及说明

### 6.1 适用范围

包装印刷生产中，产生的有机废气既有集中排放的有组织废气（如烘箱废气），也有量大面广的无组织废气（如调墨、润版、印刷；调胶/漆、涂胶、涂布、上光；清洗等废气），本标准规定了这些废气的治理工程应遵循的设计、施工、验收和运行维护的技术要求。

本标准可作为建设项目环境影响评价、环境保护设施的工程咨询、设计、施工、验收及建成后运行与管理的参考依据。

### 6.2 规范性引用文件

现行的国家法律法规、大气污染治理与监测类的环境保护标准，以及建设、安全、卫生、节能等相关领域的国家或行业标准是制定本标准的依据。本标准引用了此类文件，使之相互衔接、协调一致。

### 6.3 术语和定义

为了便于对规范条文的理解，对本标准中涉及的技术名词予以定义。这些定义参考或引用了相关标准。

关于“挥发性有机物（VOCs）”“总挥发性有机物（TVOC）”“非甲烷总烃（NMHC）”的定义，引用了最新国家大气污染物排放标准的定义。

关于“蜂窝活性炭”“蜂窝分子筛”“固定床吸附装置”“转轮吸附装置”“动态吸附量”

“吸附剂再生”的定义，基本引用了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）的定义，个别措辞进行了完善。

关于“蓄热燃烧装置”“蓄热体”“换向设备”“换向时间”和“热回收效率”的定义，引用了《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 1093-2020）的定义。

关于“催化燃烧装置”“蓄热催化燃烧装置”和“空速”的定义，引用了《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2027-2013）的定义。

“爆炸极限”“爆炸极限下限”和“净化效率”的定义引用了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）、《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2027-2013）、《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 1093-2020）的定义。

## 6.4 污染物与污染负荷

本节给出了包装印刷业有机废气排放量、设计污染物浓度的确定方法。现有项目实测确定，新、改、扩建项目类比或参考环评等确定。

在国家发布的《印刷工业污染防治可行技术指南》（HJ 1089-2020）中有生产工艺、产排污节点、排放的 VOCs 初始浓度等信息，可参考使用。

废气量、污染物浓度分别应留有 10%~20%的设计裕量。

考虑安全性，进入设备的污染物浓度设计值应低于爆炸极限下限的 25%。

## 6.5 总体要求

### 6.5.1 一般规定

本节主要是规定治理工程建设的一些基本原则，包括：

- （1）符合基本建设程序的原则；
- （2）污染全过程控制原则（源头削减、回收利用、高效治理等）；
- （3）与生产工艺适配原则；
- （4）遵守相关环保管理要求、达标排放原则；
- （5）防止二次污染原则；
- （6）自行监测与在线监测要求。

### **6.5.2 源头控制**

从清洁的原辅材料、清洁的生产工艺两方面，减少 VOCs 的产生。

### **6.5.3 工程构成**

本节界定了主体工程与辅助工程的范围。

主体工程是指有机废气的收集、处理、排放系统，包括废气收集系统、预处理单元、主体治理设备（如吸附装置、燃烧装置、冷凝回收装置等）、风机与废气排放系统。

辅助系统则是为主体工程配套的一些系统、设施。

### **6.5.4 平面布置**

在位置选择与平面布置上，要考虑总图布置要求（GB 50187）；布局紧凑合理；考虑大气影响，注意主导风向问题；考虑噪声影响，设置必要防噪声距离；考虑安全生产与消防要求，设置必要安全防护距离。

## **6.6 工艺设计**

### **6.6.1 一般规定**

本节主要规定工艺设计的基本要求：

（1）对废气收集系统设计而言，优选密闭收集，不能密闭收集的也要采取局部集气措施，减少废气无组织排放；

（2）对废气治理工艺而言，需要考虑气量、浓度、性质、排放规律、达标要求等诸多因素，选择治理工艺路线；

（3）治理工艺设计应遵循成熟可靠、技术先进、经济适用的原则；

（4）为保证主体治理工艺正常运行，必要的预处理要求及考虑因素；

（5）节能设计、绿色设计、工艺协同性要求；

（6）设计裕量要求；

（7）排气筒设计要求。

## 6.6.2 典型治理工艺

治理工艺选择是治理工程的关键,影响着治理工程的成败。要通过技术经济可行性分析、安全性评价,确定治理工艺。

《印刷工业污染防治可行技术指南》(HJ 1089-2020)在治理技术中明确了印刷工业常用的吸附技术(固定床、旋转式)、燃烧技术(TO/RTO、CO/RCO),以及组合技术(吸附浓缩+RTO/CO、减风增浓+RTO/CO)。以此为依据,本标准根据包装印刷行业不同工艺、工序、节点的废气排放特点,推荐了三条治理工艺路线:

(1)对于中高浓度有组织废气,如组分复杂、不具有回收价值,选择燃烧治理工艺(RTO、CO、RCO)。如果一些有组织废气浓度偏低,可采取减风增浓措施后再燃烧。溶剂型凹版印刷工序烘干废气、印铁制罐涂布工序烘干废气等一般采取这种处理工艺。

(2)对于中高浓度有组织废气,如组分简单、具有物质回收价值,宜采用“活性炭吸附+热氮气再生+冷凝回收”工艺进行治理。干式复合工序烘干废气,组分以乙酸乙酯为主,一般采取这种处理工艺。

(3)对于低浓度有组织废气(如溶剂型凸版印刷工序烘干废气、复合/涂布/上光等烘干废气)、无组织收集废气(如油墨、胶粘剂、涂料等调配废气,印刷、施胶、涂布等挥发排气、洗车/清洗废气等),宜采用“吸附浓缩+燃烧”组合工艺进行治理。典型工艺流程包括:转轮吸附浓缩+RTO/CO、蜂窝活性炭吸附浓缩+CO。

包装印刷企业也可结合自身实际情况,选择采用其他适用的处理工艺。

采取上述治理工艺,本标准要求综合净化效率不低于80%,与国家排放标准《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822)、《重点行业挥发性有机物综合治理方案》要求一致。

## 6.6.3 工艺设计要求

本节从废气收集、预处理、燃烧装置、吸附装置、冷凝回收装置、二次污染控制、安全措施等7个方面分别提出了工艺设计要求。

### (1) 废气收集

在废气收集方面,在满足GB 37822、《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019)的前提下,强调了全面排风和局部排风的问题。烘干工段在密闭烘箱内进行,采用全面排风收集方式;调墨/调胶/调漆工段、印刷/复合/涂布工段、洗车/清洗工段一般采取局部排风收集方式,有条件的可做区域封闭。

采用局部排风的，集气罩设计以及吸入风速控制是关键。根据《排风罩的分类及技术条件》(GB/T 16758)、《局部排风设施控制风速检测与评估技术规范》(AQ/T 4274)，距集气罩开口面最远处的 VOCs 无组织散发位置，控制风速不应低于 0.3 m/s。

## (2) 预处理

预处理工艺包括浓度调控、颗粒物去除、温湿度调节，以及控制其他影响主体工艺的物质或因素。

废气中有机物浓度波动太大，会影响后续处理效果，应采取措施保持废气浓度相对稳定，并从安全角度考虑，控制有机物浓度低于 LEL 的 25%。

为避免颗粒物阻塞、粘结，《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2026-2013) 要求，当废气中颗粒物含量超过  $1\text{mg}/\text{m}^3$  时，应采用过滤或洗涤等方式进行预处理。《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2027-2013) 规定进入催化燃烧装置前废气中的颗粒物含量高于  $10\text{mg}/\text{m}^3$  时，应采用过滤等方式进行预处理。《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 1093-2020) 则要求进入蓄热燃烧装置的废气中颗粒物浓度应低于  $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，含有焦油、漆雾等粘性物质时从严控制。本标准从包装印刷业有机废气排放特点出发，对废气中颗粒物浓度不作限值规定，只要不影响后续处理装置运行即可。

进口废气温、湿度的要求是对吸附装置提出的，一般认为进入吸附装置的废气温度宜低于  $40^\circ\text{C}$ ，湿度宜控制在 80%RH 以下（在《印刷工业污染防治可行技术指南》(HJ 1089-2020) 中有规定），否则影响安全和净化效果。

除此之外，如果废气中含有难脱附物质（高沸点 VOCs）、易聚合组分（如环己酮、苯乙烯、甲醛等），应在进入吸附装置前进行预处理；废气中的酸、碱及其他腐蚀性气体，应在进入处理装置前去除。

## (3) 燃烧装置

设计 RTO 时，运行温度、停留时间、燃烧室结构尺寸、蓄热室结构尺寸、热回收效率、换向时间等是关键参数。设计 CO、RCO 时，运行温度、空速等是关键参数。净化效率、压力损失则是对所有燃烧装置的共同要求。这些参数在设计取值时参考了《催化燃烧法工业有机废气治理》(HJ 2027-2013)、《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 1093-2020) 以及《印刷工业污染防治可行技术指南》(HJ 1089-2020) 的相关规定。

就净化效率而言，HJ 2027-2013 规定 CO 净化效率不低于 97%，HJ 1093-2020 规定两室 RTO 净化效率不低于 95%、多室及旋转式 RTO 净化效率不低于 98%。本标准要求所有燃烧

装置净化效率不低于 95%，属于基本要求。

#### （4）吸附装置

进行吸附装置设计时，净化效率、床层气体流速、转轮转速、吸附剂用量、吸附剂再生或更换周期、脱附温度、脱附时间、压力损失是关键参数。这些参数在设计取值时，参考了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）的规定。

对于吸附装置净化效率，参考《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013），要求净化效率不低于 90%。

#### （5）冷凝回收装置

冷凝回收装置设计要注意两点，一是冷凝温度，保证排出不凝尾气的温度要低于污染物的液化温度，二是不凝尾气要引回到吸附装置再次吸附处理。

#### （6）二次污染控制

本节针对包装印刷行业有机废气治理过程中衍生的二次污染，如预处理过程产生的颗粒物，预处理和后处理过程产生的废水，产生的废过滤材料、废吸附材料、废蓄热体、废催化剂、废保温材料等固体废物，以及噪声等，应满足国家相关要求。

#### （7）安全措施

本节主要规定了包装印刷行业有机废气治理工程设计中有关的安全防范措施，如设置事故报警装置、安装阻火器或防火阀、进排风金属管道的防静电、设备及电气仪表的防爆、以及短路保护、接地保护、避雷等一般要求。

另外，对于吸脱附装置，强调了温度指示、超温报警、应急处理系统（CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/消防水保护系统）等安全措施。对于燃烧装置，强调了防爆泄压、过热保护、装置表面温度控制和安全标识、系统监控（火焰、温度、压力等），以及点火操作要求、燃料供给系统高低压保护和泄漏报警。

这些规定与《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）、《催化燃烧法工业有机废气治理》（HJ 2027-2013）和《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 1093-2020）是一致的。

## 6.7 主要工艺设备和材料

### 6.7.1 燃烧设备和材料

燃烧设备包括 RTO、CO、RCO，形式上有固定式（两室、三室）和旋转式可供选择。主体设备选用碳钢材料。

本节规定了换向阀、催化剂、换热器、蓄热体及其支架、燃烧室绝热材料、设备保温材料等关键设备和材料的性能。

### 6.7.2 吸附设备和材料

包装印刷行业应用的吸附设备主要是固定床吸附装置、转轮吸附装置，主体设备选用碳钢材料。

本节规定了颗粒活性炭、蜂窝活性炭、活性碳纤维、蜂窝分子筛的性能要求，以及布风系统、转轮各扇区密封材料的要求。

### 6.7.3 冷凝设备和材料

本节对冷凝器形式、材质、冷凝介质进行了规定。

### 6.7.4 风机、管道及其他

本节对风机、管道、阀门、钢制设备等进行了原则规定。

## 6.8 检测与过程控制

本节内容包括三个方面：

一是污染物监测，包括采样位置与采样条件、自动监控，以及 VOCs 监测方法。

二是对治理设备的热工参数进行检测记录，实时监控工艺运行情况，有利于运行管理、排查隐患、及时维护。本节分别对 CO/RCO、RTO、固定床吸附设备、转轮吸附设备、冷凝设备规定了应检测记录的参数。

三是工艺过程控制，要求治理设备“先开后停”、与工艺设备连锁、关键参数检测并中控显示。

## 6.9 主要辅助工程

辅助工程是废气治理工程的必要组成部分。本节规定了与主体工程配套的电气、燃料供

给与燃烧系统、压缩空气系统、给排水与消防系统、固废贮存设施等辅助工程的原则要求与应执行的标准。

#### 6.10 劳动安全与职业卫生

治理工程应严格执行国家现行劳动安全、职业卫生等方面的要求和相关标准。应建立相应的安全操作规程和职业卫生管理制度。

#### 6.11 施工与验收

本节给出了有机废气治理工程施工的基本要求，包括工程施工的资质、符合施工技术规范等标准要求、按设计文件和图纸施工、工程变更、使用的设备、材料和器件应符合相关标准，有合格证书和性能检测报告等内容。

应按各专业验收规范组织验收，进行分项调试、整体调试，启动试运行。

建设项目竣工环境保护验收应执行《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）的规定。

#### 6.12 运行与维护

本节从一般规定、人员与运行管理、维护保养、事故应急4个方面进行了规定。在“一般规定”中，从同步运行、在设计工况下运行（不超负荷运行）、排放达标、建立各项规程和制度、建立台帐制度等几个方面提出了原则要求。在“人员与运行管理”中，强调了运行维护人员的专业性、必要的培训、日常记录、巡查与交接班等事项。“维护保养”强调了维护保养计划、定期检查、维修和更换必要的部件和材料、做好相关记录的重要性。“事故应急”则从制定预案、配备资源、组织应急培训和预演、发生异常及事故时及时启动预案并报告等几个方面做了原则规定。

### 7. 标准实施的环境效益与经济技术分析

#### 7.1 环境效益

本标准实施后，将从工艺路线选择、工艺参数设计、设备与材料选择、运行维护等方面规范包装印刷业有机废气治理工程建设和运行管理，从而明显提升行业污染治理工程建设质量，保证净化装置的稳定可靠运行，减少VOCs排放，带来显著的环境效益。

按照《印刷工业污染防治可行技术指南》（HJ 1089-2020）给定的排放系数（附录表C.2）计算，目前包装印刷行业排放VOCs约80万吨~100万吨，全部要求收集处理，按收集率、

处理率偏保守的“双 80%”计算（属国家和各地政策文件的最低要求，本标准规定的燃烧法最低处理效率 90%、吸附法最低处理效率 80%），每年可削减 VOCs 排放量约 60 万吨。

## 7.2 经济技术分析

包装印刷企业有机废气治理工程的投资与企业生产规模、工艺技术、原辅材料种类、废气处理量等因素密切相关。根据《印刷工业污染防治可行技术指南》（HJ 1089-2020）对典型印刷企业 VOCs 治理措施投资成本的调研结果：减风增浓技术建设成本为 5 万元~10 万元不等；吸附+脱附回收技术建设成本为 200 万元~500 万元不等，回收成本每吨约为 1000 元~2000 元；RTO 建设成本为 300 万元~500 万元不等，常规减风、正常凹印工况下，3 万风量的 RTO 运行费用约为 500 元/天~3000 元/天，当 RTO 废气浓度大于 2g/m<sup>3</sup>时，可不需补充燃料运行；吸附浓缩+催化氧化装置成本为 300 万元~500 万元不等；单纯的更换式活性炭吸附装置的一般价格为 30 万元~60 万元不等。

包装印刷企业如果回收溶剂的话，还会带来一定的经济收益。在干式复合工艺中，一般单条生产线的废气量约为 10000m<sup>3</sup>/h，溶剂（乙酸乙酯）使用量大，排气中乙酸乙酯浓度约为 2000mg/m<sup>3</sup>~3000mg/m<sup>3</sup>，通常采用活性炭纤维吸附回收装置（水蒸汽再生+冷凝回收）和颗粒活性炭吸附回收装置（热氮气保护再生+冷凝回收）对废气中的乙酸乙酯进行回收。按回收效率 80%计算，一条生产线每天可回收乙酸乙酯 400kg~500kg，一年可以回收乙酸乙酯 144 吨~180 吨（按 360 天计），回收效益好。

对于印刷废气，一般风量较大、浓度偏低。某印刷生产线的废气量约为 30000m<sup>3</sup>/h 左右，溶剂使用量约为 350kg~450kg，排气中 VOCs 浓度约为 450mg/m<sup>3</sup>~650mg/m<sup>3</sup>，具有一定的溶剂回收价值，因此可采用颗粒活性炭吸附回收工艺进行溶剂回收。按回收效率 80%计算，一条生产线每天可回收溶剂 280kg~360kg，一年可以回收混合溶剂 100 吨~130 吨。但由于回收的是混合溶剂，分离提纯困难，建设一套精馏提纯装置费用较高，目前多采用吸附浓缩+RTO/CO 工艺进行燃烧处理。

## 8. 标准实施建议

针对本标准的实施提出如下建议：

（1）本标准发布后，应面向环保部门、企业等开展宣贯培训，加快推进包装印刷行业有机废气治理工程建设，使治理工程更加规范化，促使行业减排取得实效。

（2）本标准为首次制定，是对现有工程实践的认识和经验总结，在实施过程中根据反馈的问题和技术进步情况，应及时修订完善，以满足包装印刷行业有机废气治理工程建设的需要。