

# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ1089—2020

---

## 印刷工业污染防治可行技术指南

**Guideline on available techniques of pollution prevention and control for  
printing industry**

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2020-01-08发布

2020-01-08实施

---

生态环境部 发布

## 目 次

前 言.....	ii
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 行业生产与污染物的产生.....	2
5 污染预防技术.....	3
6 污染治理技术.....	6
7 环境管理措施.....	9
8 污染防治可行技术.....	10
附 录 A (资料性附录) 印刷工艺流程及主要产污环节.....	16
附 录 B (资料性附录) 印刷工业含 VOCs 原辅材料的 VOCs 质量占比及特征污染物.....	17
附 录 C (资料性附录) 印刷生产 VOCs 产污环节及产生水平.....	18
附 录 D (资料性附录) 印刷生产废气收集技术.....	20

## 前 言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国环境噪声污染防治法》等法律，防治环境污染，改善环境质量，推动印刷工业污染防治技术进步，制定本标准。

本标准提出了印刷工业废气、废水、固体废物和噪声污染防治可行技术。

本标准首次发布。

本标准的附录 A~附录 E 为资料性附录。

本标准由生态环境部科技与财务司、法规与标准司组织制订。

本标准起草单位：北京市环科环境工程设计所、中国环境科学研究院、中国印刷及设备器材工业协会、中国印刷技术协会、中国科学院大学、上海市机电设计研究院有限公司、华南理工大学。

本标准生态环境部 2020 年 1 月 8 日批准。

本标准自 2020 年 1 月 8 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 印刷工业污染防治可行技术指南

## 1 适用范围

本标准提出了印刷工业的废气、废水、固体废物和噪声污染防治可行技术。

本标准可作为印刷工业企业或生产设施建设项目的环境影响评价、国家污染物排放标准制修订、排污许可管理和污染防治技术选择的参考。

## 2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 8978	污水综合排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 14554	恶臭污染物排放标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存处置场污染控制标准
GB 37822	挥发性有机物无组织排放控制标准
GB 50016	建筑设计防火规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1	工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素
GB/T 4754—2017	国民经济行业分类
HJ 944	排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范 总则（试行）
HJ 2026	吸附法工业有机废气治理工程技术规范
HJ 2027	催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
AQ 4273	粉尘爆炸危险场所用除尘系统安全技术规范
	《危险废物转移联单管理办法》（国家环境保护总局令 第5号）
	《国家危险废物名录》（环境保护部、国家发展和改革委员会、公安部令 第39号）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 印刷 printing

使用模拟或数字的图像载体将呈色剂/色料(如油墨)转移到承印物上的复制过程。根据印刷所用印版类型可将印刷分为平版印刷、凹版印刷、凸版印刷(包括树脂版印刷、柔性版印刷)和孔版印刷(主要为网版印刷)。

### 3.2 印刷工业 printing industry

GB/T 4754—2017中规定的书、报刊印刷(C2311)、本册印制(C2312)、包装装潢及其他印刷(C2319),以及从事印刷复制及印前处理、制版,印后加工的装订、表面整饰及包装成型等生产活动的工业。

### 3.3 印刷油墨 printing ink

由着色剂、连结料、辅助剂等成分组成的分散体系,在印刷过程中被转移到承印物上着色的物质。

### 3.4 挥发性有机物 volatile organic compounds (VOCs)

参与大气光化学反应的有机化合物,或者根据有关规定确定的有机化合物。

在表征VOCs总体排放情况时,根据行业特征和环境管理要求,可采用总挥发性有机物(以TVOC表示)、非甲烷总烃(以NMHC表示)作为污染物控制项目。

### 3.5 非甲烷总烃 non-methane hydrocarbon (NMHC)

采用规定的监测方法,氢火焰离子化检测器有响应的除甲烷外的气态有机化合物的总和,以碳的质量浓度计。

### 3.6 密闭 closed/close

污染物质不与环境空气接触,或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。

### 3.7 密闭空间 closed space

利用完整的围护结构将污染物质、作业场所等与周围空间阻隔所形成的封闭区域或封闭式建筑物。该封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时,以及依法设立的排气筒、通风口外,门窗及其他开口(孔)部位应随时保持关闭状态。

### 3.8 污染防治可行技术 available techniques of pollution prevention and control

根据我国一定时期内环境需求和经济水平,在污染防治过程中综合采用污染预防技术、污染治理技术和环境管理措施,使污染物排放稳定达到国家污染物排放标准、规模应用的技术。

## 4 行业生产与污染物的产生

### 4.1 生产工艺

4.1.1 印刷生产一般包括印前、印刷、印后加工三个工艺过程。印前过程主要包括制版及印前处理(洗罐、涂布等)等工序。印刷过程主要包括油墨调配和输送、印刷、在机上光、烘干等工序,以及橡皮布清洗和墨路清洗等配套工序。印后过程主要包括装订、表面整饰和包装成型工序。装订可分为精装、平装、骑马订装等;表面整饰工序包括覆膜、上光、烫箔、模切等;包装成型工序包括胶粘剂及光油调配和输送、复合、烘干、糊盒、制袋、装裱、裁切等。印刷工艺流程见附录 A。

4.1.2 印刷工业企业使用的主要原辅材料包括纸张、纸板、塑料薄膜、铝箔、纺织物、金属板材、各类容器、显影液、定影液,以及油墨、胶粘剂、稀释剂、清洗剂、润湿液、光油、涂料等含 VOCs 的材料。VOCs 质量占比及特征污染物见附录 B。

4.1.3 印刷工业企业生产所用能源主要包括电力、天然气等。

## 4.2 污染物的产生

4.2.1 印刷废气污染物包括 VOCs 及颗粒物等。VOCs 主要产生于含 VOCs 原辅材料的贮存、调配和输送,以及印刷、润版、烘干、清洗、上光、覆膜、复合、涂布等工序和含 VOCs 危险废物的贮存;其中出版物、纸包装等的平版印刷工艺 VOCs 主要产生于润版和清洗工序,塑料、纸包装等的凹版印刷工艺 VOCs 主要产生于印刷和复合工序。颗粒物主要产生于平版印刷的喷粉和装订裁切工序。VOCs 产污环节与产生水平见附录 C。

4.2.2 印刷废水主要产生于平版制版的冲版、平版印刷的润版、制罐工艺的洗罐和水性油墨印刷的清洗等工序,包括冲版废水、润版废水、铝罐清洗废水和印刷清洗废水等,主要污染物为酸类、化学需氧量(COD)、悬浮物(SS)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)等。

4.2.3 印刷过程中产生的一般固体废物主要包括废纸、废塑料、废金属及废版等。印刷过程中产生的危险废物主要包括废显影液、废定影液、废油墨、废清洗剂、废润湿液、废擦机布、废胶、废光油、废活性炭、废催化剂、废机油等,以及其他列入《国家危险废物名录》或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的固体废物。

4.2.4 印刷过程中的噪声主要产生于生产设备(如印刷机、折页机、成型加工设备、装订联动线、复合机等)和辅助生产设备(如引风机、空压机、水泵、气泵等)的运行。

## 5 污染预防技术

### 5.1 大气污染预防技术

#### 5.1.1 原辅材料替代技术

##### 5.1.1.1 植物油基胶印油墨替代技术

该技术适用于所有可吸收性材料的平版印刷工艺。植物油基胶印油墨以植物油脂作为连结料,加以颜料、水和一些助剂等原料配制而成。连结料通常包括大豆油、菜籽油、棉籽油、葵花籽油、红花籽油和柯罗纳油等,主要是大豆油。植物油基胶印油墨分为热固轮转、单张纸和冷固轮转三种,热固轮转植

物油基胶印油墨 VOCs 质量占比应小于等于 5%，单张纸或冷固轮转植物油基胶印油墨 VOCs 质量占比应小于等于 2%。采用植物油基胶印油墨替代矿物油基胶印油墨，可减少油墨 VOCs 产生量。

#### 5.1.1.2 无/低醇润湿液替代技术

该技术适用于平版印刷工艺，其中无醇润湿液替代技术适用于书刊、报纸及本册等的平版印刷工艺。采用无/低醇润湿液替代传统润湿液（由润湿液原液和润湿液添加剂组成），一般可减少润版工序 VOCs 产生量 50%~90%。无/低醇润湿液原液 VOCs 质量占比应小于等于 10%；无醇润湿液不含添加剂，低醇润湿液以乙醇或异丙醇作为添加剂，添加量应小于等于 2%。

#### 5.1.1.3 辐射固化油墨替代技术

该技术适用于平版、凸版及网版印刷工艺对标签、票证、纸包装、金属罐等的印刷，不适用于对直接接触食品的产品印刷。辐射固化油墨借助于紫外光（UV）和电子束等辐射照射，使油墨内的连结料发生交联反应，从而由液态转变为固态。采用辐射固化油墨替代溶剂型油墨，VOCs 产生量一般可减少 80%以上。应用较普遍的为 UV 固化油墨，其 VOCs 质量占比应小于等于 2%。采用汞灯和紫外发光二极管（LED-UV）等作为紫外光源照射时会产生臭氧，采用 LED-UV 产生的臭氧较少。

#### 5.1.1.4 水性凹印油墨替代技术

该技术适用于塑料表印、塑料轻包装及纸张凹版印刷工艺。水性凹印油墨由水溶性连结料、颜料、水、辅助有机溶剂以及助剂等组成，辅助有机溶剂一般为醇类和醚类。水性凹印油墨 VOCs 质量占比应小于等于 30%。采用水性凹印油墨替代溶剂型凹印油墨，VOCs 产生量一般可减少 30%~80%。水性油墨的印刷性能、附着性能、应用于薄膜基材的印刷品质目前仍低于溶剂型油墨。

#### 5.1.1.5 水性凸印油墨替代技术

该技术适用于纸包装、标签、票证、塑料包装、铝罐等的凸版印刷工艺。水性凸印油墨由连结料、颜料、水以及助剂等组成。水性凸印油墨 VOCs 质量占比应小于等于 10%，采用水性凸印油墨替代溶剂型凸印油墨，VOCs 产生量一般可减少 80%以上。

#### 5.1.1.6 水性胶粘剂替代技术

该技术适用于方便面包装袋、膨化食品包装袋等轻包装制品的覆膜工序，以及纸包装的复合工序。水性胶粘剂以水作为分散介质，由基料、固化剂、促进剂、交联剂、填料以及助剂等组成，基料类型主要包括水性聚醋酸乙烯酯、水性丙烯酸酯、水性聚氨酯等。水性胶粘剂 VOCs 质量占比应小于等于 5%。采用水性胶粘剂替代溶剂型胶粘剂，VOCs 产生量一般可减少 90%以上。

#### 5.1.1.7 水性光油替代技术

该技术适用于书刊、画册、食品包装、药品包装等纸张印刷的上光工艺。水性光油由丙烯酸树脂乳液、水、助剂以及微粒石蜡等组成。水性光油 VOCs 质量占比应小于等于 3%。采用水性光油替代溶剂型光油，VOCs 产生量一般可减少 90%以上。

#### 5.1.1.8 UV 光油替代技术

该技术适用于纸张及金属的上光工艺,不适用于直接接触食品的产品上光。UV 光油借助于紫外光照射,使光油内的连结料发生交联反应,从而由液态转变为固态。UV 光油 VOCs 质量占比应小于等于 3%,采用 UV 光油替代溶剂型光油,VOCs 产生量一般可减少 90% 以上。

#### 5.1.2 设备或工艺革新技术

##### 5.1.2.1 自动橡皮布清洗技术

该技术适用于平版印刷橡皮布的清洗工序。在印刷机上安装自动橡皮布清洗装置,使装置中的无纺布或毛刷辊与橡皮滚筒表面的橡皮布接触并高速摩擦,达到清洗橡皮布的目的。与人工清洗相比,该技术清洗剂使用量一般可减少 30% 以上,同时可减少废清洗剂及废擦机布等危险废物的产生,缩短清洗时间,提高生产效率。

##### 5.1.2.2 零醇润版胶印技术

该技术适用于报纸、书刊、纸包装等的平版印刷工艺。通过改造平版印刷机的水辊系统(由计量辊、串水辊、靠版水辊及水斗辊组成),以实现不含 VOCs 的润湿液替代传统润湿液。该技术可避免润版工序 VOCs 的产生,并有效减少润版废液的产生。采用该技术需投入印刷机水辊系统的一次性改造费用及定期更换水辊的运行费用。

##### 5.1.2.3 无水胶印技术

该技术适用于书刊、标签等的平版印刷工艺。采用表面为不亲墨硅橡胶的印版、专用油墨和控温系统来实现印刷。该技术无需润版,避免润版工序 VOCs 及润版废水的产生。该技术对环境温度要求较高,油墨传输过程需要冷却处理。采用该技术需使用专用的冲版机、版材及油墨,成本与有水印刷相比有所升高。

##### 5.1.2.4 无溶剂复合技术

该技术适用于印刷工业的复合工序。该技术使用无溶剂聚氨酯胶粘剂,通过反应固化将不同基材粘结在一起,获得新的功能性材料。无溶剂聚氨酯胶粘剂通常分为单组分和双组分两类。纸塑复合工序常采用单组分胶粘剂,软包装复合工序常采用双组分胶粘剂。该技术仅在清洗胶辊、混胶部件时使用少量含 VOCs 原辅材料(通常为乙酸乙酯)。与干式复合技术相比,该技术 VOCs 产生量一般可减少 99% 以上。该技术在水煮和高温蒸煮类软包装产品中的应用不成熟。

##### 5.1.2.5 共挤出复合技术

该技术适用于印刷工业的复合膜生产工序。该技术采用两台或两台以上挤出机,将不同品种的树脂从一个模头中一次挤出成膜,在工艺过程中不使用胶粘剂等含 VOCs 原辅材料,可减少 VOCs 的产生量。该技术只能用于热熔塑料与塑料的复合,其产品的原材料组合形式相对较少,适用范围较小。

## 5.2 水污染预防技术

### 5.2.1 冲版水过滤循环技术

该技术适用于平版印刷制版工序产生的冲版废水的回用。通过加装过滤装置实现冲版水的循环回用，可减少冲版新鲜水用量95%以上，并可减少冲版废水产生量95%以上。

### 5.2.2 润湿液过滤循环技术

该技术适用于平版印刷润版工序所使用润湿液的回用。通过加装过滤装置实现润湿液的循环回用，可减少润版新鲜水用量90%以上，并可节省润湿液原液用量约40%~50%。

## 5.3 固体废物污染预防技术

### 5.3.1 计算机直接制版技术

也称CTP制版技术，适用于平版印刷的制版工序。该技术无需胶片制作及传统晒版工序，与传统分色胶片制版技术相比，可大幅减少显影废液及定影废液的产生。

### 5.3.2 废显影液浓缩技术

该技术适用于平版印刷制版工序废显影液的减量化处理。平版制版工序中产生的废显影液，通过中和絮凝、压滤、电解等工艺，进行净化、分离与浓缩处理，可减少废显影液产生量50%以上。

## 6 污染治理技术

### 6.1 大气污染治理技术

#### 6.1.1 一般原则

6.1.1.1 应加强对印刷生产工艺过程废气的收集，减少 VOCs 无组织排放。VOCs 无组织废气的收集和控制应符合 GB 37822 的要求，废气收集技术可参考附录 D。

6.1.1.2 溶剂型凹版印刷、溶剂型凸版印刷、干式复合及涂布的烘干工序产生的有组织废气，宜采用减风增浓技术，以减小废气排风量、提高废气污染物浓度、降低末端治理设施的投资和运行成本。

6.1.1.3 采用燃烧法 VOCs 治理技术产生的高温废气宜进行热能回收。

#### 6.1.2 吸附法 VOCs 治理技术

该技术利用吸附剂（活性炭、活性碳纤维、分子筛等）吸附废气中的VOCs污染物，使之与废气分离，简称吸附技术，主要包括固定床吸附技术、移动床吸附技术、流化床吸附技术、旋转式吸附技术。印刷工业常用的吸附技术为固定床吸附技术和旋转式吸附技术。

### 6.1.2.1 固定床吸附技术

该技术适用于凹版印刷、凸版印刷及干式复合工艺废气的治理。吸附过程中吸附剂床层处于静止状态，对废气中的VOCs污染物进行吸附分离。印刷工业一般使用活性炭作为吸附剂。应根据污染物处理量、处理要求等定时再生或更换吸附剂以保证治理设施的去除效率。入口废气颗粒物浓度宜低于 $1\text{ mg/m}^3$ ，温度宜低于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度(RH)宜低于80%。若废气中的污染物易在活性炭存在时发生聚合、交联、氧化等反应，不宜采用活性炭吸附技术。该技术的技术参数应满足HJ 2026的相关要求。活性炭吸附材料通过解吸而循环利用，脱附的VOCs可通过冷凝技术进行回收或通过燃烧技术进行销毁。

### 6.1.2.2 旋转式吸附技术

该技术适用于工况相对连续稳定的凹版印刷、溶剂型凸版印刷及涂布工艺产生的无组织废气或混合废气收集后的预浓缩。吸附过程中废气与吸附剂床层呈相对旋转运动状态，对废气中的VOCs污染物进行吸附分离，一般包括转轮式、转筒(塔)式。印刷工业一般使用分子筛作为吸附剂，用于低浓度VOCs废气的预浓缩，脱附废气一般采用催化燃烧或蓄热燃烧技术进行治理。入口废气颗粒物浓度宜低于 $1\text{ mg/m}^3$ ，温度宜低于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度(RH)宜低于80%。该技术的技术参数应满足HJ 2026的相关要求。

### 6.1.3 燃烧法 VOCs 治理技术

通过热力燃烧或催化燃烧的方式，使废气中的VOCs污染物反应转化为二氧化碳、水等物质，简称燃烧技术，主要包括热力燃烧技术(TO)、蓄热燃烧技术(RTO)、催化燃烧技术(CO)、蓄热催化燃烧技术(RCO)。

#### 6.1.3.1 热力燃烧技术

该技术适用于印铁制罐的涂布烘干工序废气的治理。该技术采用燃烧的方法使废气中的VOCs污染物反应转化为二氧化碳、水等物质。该技术产生的高温废气宜进行热能回收，并用于烘干工序。该技术的VOCs去除效率通常可达95%以上。

#### 6.1.3.2 蓄热燃烧技术

该技术适用于溶剂型凹版印刷、干式复合及涂布工艺烘干废气的治理。采用燃烧的方法使废气中的VOCs污染物反应转化为二氧化碳、水等物质，并利用蓄热体对燃烧产生的热量蓄积、利用。印刷工业采用的典型治理技术路线为“旋转式分子筛吸附浓缩+RTO”和“减风增浓+RTO”。印刷或涂布工艺产生的无组织废气收集后，宜采用吸附技术进行预浓缩，再经RTO治理。两室RTO的VOCs去除效率通常可达90%以上，多室床式或旋转式RTO的VOCs去除效率通常可达95%以上。非连续生产工况下或入口废气浓度水平波动较大时，采用该技术治理废气的能耗会增加。中大型企业较适合采用该技术，通过余热回用可减少运行费用。

#### 6.1.3.3 催化燃烧技术

该技术适用于凹版印刷及溶剂型凸版印刷工艺废气的治理。在催化剂作用下，废气中的VOCs污染物反应转化为二氧化碳、水等物质。该技术反应温度低、不产生热力型氮氧化物。印刷工业采用的典型

治理技术路线为“活性炭吸附/旋转式分子筛吸附浓缩+CO”和“减风增浓+CO”。CO的VOCs去除效率通常可达95%以上。当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等致催化剂中毒物质时，不宜采用此技术。该技术的技术参数应满足HJ 2027的相关要求。

#### 6.1.3.4 蓄热催化燃烧技术

该技术适用于凹版印刷及凸版印刷工艺废气的治理。在催化剂作用下，废气中的VOCs污染物反应转化为二氧化碳、水等物质，并利用蓄热体对反应产生的热量蓄积、利用。该技术反应温度低、不产生热力型氮氧化物。RCO的VOCs去除效率通常可达95%以上。当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等致催化剂中毒物质时，不宜采用此技术。该技术的技术参数应满足HJ 2027相关要求。与CO相比，RCO的运行费用较低。

#### 6.1.4 冷凝法 VOCs 治理技术

该技术适用于凹版印刷及干式复合工艺废气的治理。将废气降温至VOCs露点以下，使VOCs凝结为液态，并与废气分离，简称冷凝技术。印刷工业采用的典型治理技术路线为“活性炭吸附+热氮气再生+冷凝回收”。该技术的VOCs去除效率通常可达90%以上。采用该技术能够产生经济效益，溶剂使用量越大，经济效益越明显。

### 6.2 水污染处理技术

#### 6.2.1 铝罐清洗废水处理技术

铝罐印刷预处理工序产生的清洗废水，一般采用化学混凝沉淀+气浮+生化法进行处理。乳化液废水应通过酸化破乳进行预处理，降低其COD后再进入综合废水处理系统。

#### 6.2.2 水性油墨印刷清洗废水处理技术

水性油墨印刷清洗工序产生的清洗废水，一般采用物化法和生化法进行处理。物化法主要包括混凝、吸附、膜处理等，生化法主要包括活性污泥法、水解酸化等。

### 6.3 固体废物综合利用和处置技术

#### 6.3.1 资源化利用技术

印刷生产中产生的废纸、废塑料、废金属等一般固体废物，属于可再生资源的宜由专门单位回购并进行再生利用，回收利用比例宜大于等于98%，可产生经济效益。

#### 6.3.2 安全处置措施

印刷生产中产生的危险废物，应委托有资质的单位进行危险废物处置，以满足GB 18597和《危险废物转移联单管理办法》等文件的要求。

## 6.4 噪声污染治理技术

企业规划布局宜使主要噪声源远离厂界和噪声敏感点。由印刷生产设备和辅助设备的振动、摩擦和撞击等引起的机械噪声,可采取减振、隔声措施,如对设备加装减振垫、隔声罩或将某些设备传动的硬件连接改为软件连接;车间内可采取吸声和隔声等降噪措施;对于空气动力性噪声,可采取安装消声器等措施。

## 7 环境管理措施

### 7.1 一般原则

7.1.1 企业应根据实际情况优先采用污染预防技术,若仍无法稳定达标排放,应采用适合的末端治理技术。

7.1.2 包装印刷产品应优化设计,在满足产品功能的前提下尽量减少图文部分覆盖比例、印刷色数、墨层厚度及复合层数。

7.1.3 新建、改建、扩建项目应优先选择平版印刷、水性凸版印刷等污染物产生水平较低的印刷工艺。

### 7.2 环境管理制度

7.2.1 企业应按照 HJ 944 的要求建立台账,记录含 VOCs 原辅材料的名称、采购量、使用量、回收量、废弃量、去向、VOCs 含量,污染治理设施的工艺流程、设计参数、投运时间、启停时间、温度、风量,过滤材料更换时间和更换量,吸附剂脱附周期、更换时间和更换量,催化剂更换时间和更换量,以及溶剂回收量等信息。台账保存期限不少于三年。

### 7.3 无组织排放控制措施

#### 7.3.1 储存或贮存过程控制措施

7.3.1.1 含 VOCs 原辅材料在非取用状态时应储存于密闭的容器、包装袋中,并存放于安全、合规场所。

7.3.1.2 废油墨、废清洗剂、废活性炭、废擦机布等含 VOCs 的危险废物,应分类放置于贴有标识的容器或包装袋内,加盖、封口,保持密闭,并及时转运、处置,减少在车间或危废库中的存放时间。危险废物贮存应满足 GB 18597 的相关要求。

7.3.1.3 存放过含 VOCs 原辅材料以及存放过废油墨、废清洗剂、废活性炭、废擦机布等含 VOCs 废物的容器或包装袋应加盖、封口或存放于密闭空间。

7.3.1.4 储存含 VOCs 原辅材料的容器材质应结实、耐用,无破损、无泄漏,封闭良好。

7.3.1.5 含 VOCs 原辅材料在分装容器中的盛装量宜小于 80%,避免受热、转运时溢出。

#### 7.3.2 调配过程控制措施

7.3.2.1 减少油墨、胶粘剂等含 VOCs 原辅材料的手工调配量,缩短现场调配和待用时间。

7.3.2.2 调墨(胶)过程应采用密闭设备或在密闭空间内操作。可使用全密闭自动调墨(胶)装置进行计量、搅拌、调配;或设置专门的调墨(胶)间,调墨(胶)废气应通过排气柜或集气罩收集。

7.3.2.3 凹版印刷生产过程中,宜采用黏度自动控制仪控制稀释剂的添加量。

### 7.3.3 输送过程控制措施

7.3.3.1 液态含 VOCs 原辅材料应采用密闭管道输送。采用非管道输送方式转移液态含 VOCs 原辅材料时,应采用密闭容器、罐车。减少原辅材料供应过程中 VOCs 的逸散。

7.3.3.2 向墨槽中添加油墨或稀释剂时宜采用漏斗或软管等接驳工具,减少供墨过程中 VOCs 的逸散。

### 7.3.4 印刷及印后生产过程控制措施

7.3.4.1 使用溶剂型油墨、胶粘剂、涂料、光油、清洗剂等原辅材料的相关工序产生的 VOCs 无组织废气,宜采取整体或局部气体收集措施。

7.3.4.2 使用溶剂型油墨的凹版、凸版印刷工艺宜采用配备封闭刮刀的印刷机,或采取安装墨槽盖板、改变墨槽开口形状等措施,缩小供墨系统敞开液面面积。

7.3.4.3 使用溶剂型胶粘剂的干式复合工艺,宜采取安装胶槽盖板或对复合机进行局部围挡等措施,减少 VOCs 的逸散。

7.3.4.4 控制印刷单元(主要为供墨系统)的环境温度,防止溶剂在高温环境下加速挥发。

7.3.4.5 送风或吸风口应避免正对墨盘,防止溶剂加速挥发。

7.3.4.6 提高烘箱的密闭性,减少因烘箱漏风造成的 VOCs 无组织排放。

7.3.4.7 控制烘箱送风、排风量,使烘箱内部保持微负压。

### 7.3.5 清洗过程控制措施

7.3.5.1 根据生产需要和工作规程,合理控制油墨清洗剂的使用量。

7.3.5.2 集中清洗应在密闭装置或空间内进行,清洗工序产生的废气应通过废气收集系统收集。

7.3.5.3 清洗产生的废溶剂,宜采用蒸馏等方式回收利用。

## 7.4 污染治理设施的运行维护

7.4.1 企业应按照相关法律法规、标准和技术规范等要求运行污染治理设施,并定期进行维护和管理,保证治理设施正常运行,污染物排放应符合 GB 16297、GB 37822、GB 8978、GB 12348、GB 14554、GB 18597、GB 18599 等的要求。地方有更严格排放标准的,还应满足地方排放标准要求。

7.4.2 企业应按照环境监测管理规定和技术规范的要求,设计、建设、维护永久性采样口、采样测试平台和排污口标志。

## 8 污染防治可行技术

### 8.1 废气污染防治可行技术

废气污染防治可行技术见表 1。

表1 废气污染防治可行技术

可行技术	工艺类型	预防技术	治理技术	污染物排放浓度水平 (mg/m <sup>3</sup> )				技术适用条件
				非甲烷总烃	苯	甲苯	二甲苯	
可行技术 1	平版印刷	①植物油基胶印油墨替代技术+②无/低醇润湿液替代技术+③自动橡皮布清洗技术	—	20~30	<0.2	<1	<1	适用于平版印刷工艺,其中无醇润湿液替代技术适用于书刊、报纸及本册等的平版印刷工艺
可行技术 2		①植物油基胶印油墨替代技术+②零醇润版胶印技术+③自动橡皮布清洗技术	—	15~30	<0.2	<1	<1	适用于报纸、书刊、纸包装等的平版印刷工艺。采用该技术需投入印刷机水辊系统的一次性改造费用及定期更换水辊的运行费用
可行技术 3		①植物油基胶印油墨替代技术+②无水胶印技术+③自动橡皮布清洗技术	—	15~30	<0.2	<1	<1	适用于书刊、标签等的平版印刷工艺。该技术对环境温度要求较高,油墨传输过程需要冷却处理。采用该技术需使用专用的冲版机、版材及油墨,成本与有水印刷相比有所升高
可行技术 4		①辐射固化油墨替代技术+②零醇润版胶印技术+③自动橡皮布清洗技术	—	40~50	<0.2	<1	<1	适用于纸包装的平版印刷工艺,不适用于直接接触食品的产品印刷。采用该技术需投入印刷机水辊系统的一次性改造费用及定期更换水辊的运行费用
可行技术 5		①辐射固化油墨替代技术+②无/低醇润湿液替代技术+③自动橡皮布清洗技术	—	20~30	<0.2	<1	<1	适用于纸包装、标签、票证的平版印刷工艺,不适用于直接接触食品的产品印刷
可行技术 6		①植物油基胶印油墨替代技术+②无/低醇润湿液替代技术+③自动橡皮布清洗技术	①燃烧技术	10~30	<0.5	<1	<1	适用于书刊、本册等的热固轮转胶印工艺,可采用无醇润湿液替代技术。烘箱一般自带二次燃烧装置
可行技术 7	凹版印刷	①水性凹印油墨替代技术	①吸附技术+ ②燃烧技术	15~40	<0.5	<1	<1	适用于塑料表印、塑料轻包装及纸张凹版印刷工艺。典型治理技术路线为“旋转式分子筛吸附浓缩+RTO”和“活性炭吸附/旋转式分子筛吸附浓缩+CO”
可行技术 8		—	①吸附技术+ ②冷凝技术	20~40	<0.5	<1	<1	适用于凹版印刷工艺。典型治理技术路线为“活性炭吸附+热氮气再生+冷凝回收”。采用该技术能够产生经济效益,溶剂使用量越大,经济效益越明显

可行技术	工艺类型	预防技术	治理技术	污染物排放浓度水平 (mg/m <sup>3</sup> )				技术适用条件
				非甲烷总烃	苯	甲苯	二甲苯	
可行技术 9	凹版印刷	—	①燃烧技术	10~40	<0.5	<1	<1	适用于溶剂型凹版印刷工艺。烘箱有组织废气的典型治理技术路线为“减风增浓+RTO/CO”。中大型企业较适合采用该技术,通过余热回用可减少运行费用
可行技术 10		—	①吸附技术+ ②燃烧技术	15~40	<0.5	<1	<1	适用于溶剂型凹版印刷工艺。烘箱有组织废气与其他无组织废气混合后治理,或无组织废气收集后单独治理,典型治理技术路线为“旋转式分子筛吸附浓缩+RTO/CO”
可行技术 11	凸版印刷	—	①吸附技术+ ②燃烧技术	30~40	<0.5	<1	<1	适用于溶剂型凸版印刷工艺。典型治理技术路线为“旋转式分子筛吸附浓缩+RTO”和“活性炭吸附/旋转式分子筛吸附浓缩+CO”
可行技术 12		①水性凸印油墨替代技术	—	20~40	<0.5	<1	<1	适用于纸包装、标签、票证、塑料包装、铝罐等的凸版印刷工艺
可行技术 13		①辐射固化油墨替代技术	—	<30	<0.5	<1	<1	适用于凸版印刷工艺。适用于标签、票证、纸包装、金属罐等的印刷,不适用于直接接触食品的产品印刷
可行技术 14		①辐射固化油墨替代技术	—	<30	<0.5	<1	<1	适用于网版印刷工艺。适用于标签、票证、纸包装等的印刷,不适用于直接接触食品的产品印刷
可行技术 15	复合/涂布	①无溶剂复合技术	—	20~30	<0.5	<1	<1	适用于印刷工业的复合工序。软包装复合工序常采用双组分胶粘剂,纸塑复合工序常采用单组分胶粘剂
可行技术 16		①共挤出复合技术	—	20~30	<0.5	<1	<1	适用于印刷工业的复合膜生产工序。只能用于热熔塑料与塑料的复合,其产品的原材料组合形式相对较少,适用范围较小
可行技术 17		①水性胶粘剂替代技术	—	20~30	<0.5	<1	<1	适用于方便面包装袋、膨化食品包装袋等轻包装制品的覆膜工序,以及纸包装的复合工序
可行技术 18		—	①吸附技术+ ②冷凝技术	20~40	<0.5	<1	<1	适用于干式复合工艺。典型治理技术路线为“活性炭吸附+热氮气再生+冷凝回收”。该技术能够产生经济效益,溶剂使用量越大,经济效益越明显

可行技术	工艺类型	预防技术	治理技术	污染物排放浓度水平 (mg/m <sup>3</sup> )				技术适用条件
				非甲烷总烃	苯	甲苯	二甲苯	
可行技术 19	复合/涂布	—	①燃烧技术	10~40	<0.5	<1	<1	适用于干式复合及涂布工艺。典型治理技术路线为“减风增浓+RTO/TO”。涂布工艺产生的无组织废气收集后,宜采用吸附技术进行预浓缩,再经 RTO 治理
可行技术 20	上光	①水性光油替代技术	—	20~30	<0.5	<1	<1	适用于书刊、画册、食品包装、药品包装等纸张印刷的上光工艺
可行技术 21		①UV 光油替代技术	—	20~30	<0.5	<1	<1	适用于纸张及金属的上光工艺,不适用于直接接触食品的产品上光工艺

注:表中“+”代表技术的组合。

## 8.2 废水污染防治可行技术

废水污染防治可行技术见表 2。

表 2 废水污染防治可行技术

可行技术	废水种类	预防技术	治理技术	排放去向	污染物排放浓度水平 (mg/L)					技术适用条件
					pH	COD	SS	BOD <sub>5</sub>	氨氮	
可行技术 1	冲版废水	冲版水过滤循环技术	—	处理后回用,无法回用的冲版废水间接排放	7~8	<100	<50	<50	<2	适用于平版印刷制版工序产生的冲版废水的回用处理
可行技术 2	润版废水	润湿液过滤循环技术	—	处理后回用,不外排	—	—	—	—	—	适用于平版印刷润版工序所使用的润湿液的回用处理
可行技术 3	铝罐清洗废水	—	①化学混凝沉淀+ ②气浮+③生化法	处理后间接排放	6.8~7.5	<200	<50	<50	<10	适用于铝罐印刷预处理工序产生的清洗废水的处理
可行技术 4	印刷清洗废水	—	物化法	处理后间接排放	7~8	<100	<50	<50	<2	适用于水性油墨印刷清洗工序产生的清洗废水的处理
可行技术 5		—	生化法	处理后间接排放	7~8	<100	<50	<50	<2	

注:表中“+”代表技术的组合。

### 8.3 固体废物污染防治可行技术

固体废物污染防治可行技术见表3。

表 3 固体废物污染防治可行技术

固体废物种类	一般固体废物	危险废物				
		印前制版工序产生的危险废物	印刷工序产生的危险废物	印后工序产生的危险废物	VOCs废气治理设施产生的危险废物	设备维护产生的危险废物
废纸、废塑料、废金属材料及废版等	废显影液、废定影液等	废油墨、废清洗剂、废润湿液、废擦机布等	废胶、废光油等	废活性炭、废催化剂等	废机油等	
可行技术	资源化利用技术	CTP制版技术	废显影液浓缩技术	——		
委托有资质的单位进行处置						

### 8.4 噪声污染防治可行技术

噪声污染防治可行技术见表4。

表 4 噪声污染防治可行技术

序号	噪声源	噪声源声级水平 (dB(A))	可行技术	治理效果 (dB(A))
1	轮转印刷机	90~100	隔声间 厂房隔声	降噪量 10~20 降噪量 10~20
2	单张纸平版印刷机	75~85	厂房隔声	降噪量 10~20
3	凹版印刷机	80~90	厂房隔声	降噪量 10~20
4	折页机	85~95	厂房隔声 隔声罩	降噪量 10~20
5	切纸机、模切机、制罐机、制袋机、分切机等成型加工设备	70~95	厂房隔声	降噪量 10~20
5	装订联动线	80~90	厂房隔声	降噪量 10~20
6	复合机	75~85	厂房隔声	降噪量 10~20
7	引风机	85~90	机房隔声 消声器	降噪量 10~30 降噪量 10~30
8	空压机	75~85	机房隔声 消声器	降噪量 10~30 降噪量 10~30
9	供水系统 (补给水泵和循环水泵) 供气系统 (气泵等)	80~95	隔声间 减振处理 消声器	降噪量 15~35

附录 A  
(资料性附录)  
印刷工艺流程及主要产污环节

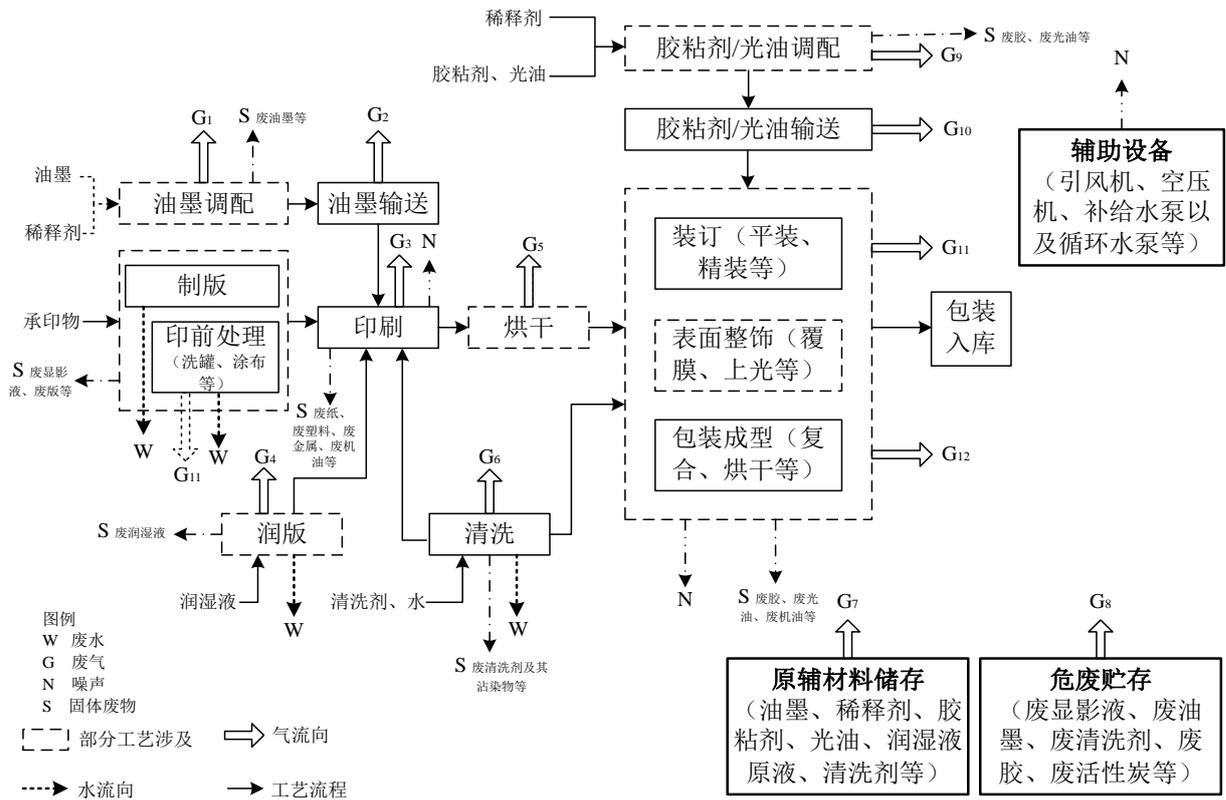


图 A.1 印刷工艺流程及主要产污环节

注：图 A.1 中各类印刷生产工艺产污环节 G<sub>1</sub>~G<sub>12</sub> 见附录 C 表 C.1G<sub>1</sub>~G<sub>12</sub>。

附录 B  
(资料性附录)

印刷工业含 VOCs 原辅材料的 VOCs 质量占比及特征污染物

表B.1 印刷工业含VOCs原辅材料的VOCs质量占比及特征污染物

生产工序		含VOCs原辅材料类型	VOCs质量占比 (%)	特征污染物
印刷	平版	热固轮转胶印油墨	≤5	高沸点石油类
		单张纸胶印油墨、冷固轮转胶印油墨、UV油墨	≤2	少量烷烃类、酮类、醇类
	凹版	溶剂型凹印油墨	65~85	酯类、醇类、芳烃类
		水性凹印油墨	≤30	醇类、醚类
	凸版	溶剂型凸印油墨	50~70	醇类、酯类
		水性凸印油墨	≤10	醇类、醚类
	网版	溶剂型网印油墨	40~60	高沸点石油类、酯类、酮类
		UV网印油墨	≤2	少量酯类、酮类
复合	溶剂型胶粘剂	40~70	酯类、醇类	
	水性胶粘剂	≤5	醇类	
	无溶剂胶粘剂	≤0.5	酯类、醇类、芳烃类	
润版	传统润湿液	10~15	醇类、醚类	
	无/低醇润湿液	5~10	醇类、醚类	
清洗	清洗剂	90~100	烷烃类、醇类、酯类、芳烃类	
上光	溶剂型光油	40~60	醇类、酮类、芳烃类、酯类	
	水性光油、UV光油	≤3	少量酯类、醇类	

附录 C  
(资料性附录)

印刷生产 VOCs 产污环节及产生水平

表 C.1 印刷生产 VOCs 产污环节及产生量占比

产污位置	产污环节		污染物来源	VOCs 产生量占比 (约值) / (%)				
				平版印刷	凹版印刷	凸版印刷	网版印刷	复合/涂布/上光等
调墨间或印刷车间	G1	调墨	油墨、稀释剂	—	≤5	≤3	—	—
	G2	油墨输送						
印刷机台	G3	印刷	油墨、稀释剂	≤5	20~30	10~20	10~20	
	G4	润版	润湿原液、润湿液添加剂	30~60	—	—	—	
烘箱	G5	印刷烘干	油墨、稀释剂	≤5	50~60	70~80	—	
生产设备、车间	G6	清洗	清洗剂	30~60	5~10	5~10	80~90	≤5
库房、车间、危废间	G7	原辅材料贮存	废油墨、废清洗剂、废胶等	≤5	≤3	≤3	≤5	≤5
	G8	危废贮存						
胶粘剂、光油调配间或机器旁	G9	胶粘剂/光油调配	复合胶、覆膜胶、光油、稀释剂等	—	—	—	—	≤5
	G10	胶粘剂/光油输送						
复合机、覆膜机、上光机、涂布机等	G11	覆膜、复合、上光、涂布等	复合胶、覆膜胶、光油、涂料、稀释剂等	—	—	—	—	10~20
烘箱	G12	烘干	复合胶、覆膜胶、光油、涂料、稀释剂等	—	—	—	—	80~90

表 C.2 印刷生产单位油墨 VOCs 产生量及 VOCs 产生浓度水平

生产工艺	原辅材料及工艺类型		产污环节	单位油墨 VOCs 产生量 <sup>a</sup> (tVOCs/t 油墨)	VOCs 产生浓度水平 <sup>d</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
平版印刷	单张纸胶印	辐射固化油墨/ 植物油基胶印油墨	印刷、清洗、润版等	无/低醇润湿液 0.05~0.30	20~50
				传统润湿液 0.50~0.80	50~150
	热固轮转胶印 (有二次燃烧)	植物油基胶印油墨	烘干、印刷、清洗、润版等	0.03~0.07	10~30
	冷固轮转胶印	植物油基胶印油墨	印刷、清洗、润版等	0.05~0.12	15~30
凹版印刷	溶剂型油墨		烘干	1.50~2.00	800~5000
			印刷、清洗等		300~800
	水性油墨		烘干	0.10~0.30	100~500
			印刷、清洗等		50~200
凸版印刷	溶剂型油墨		烘干	1.00~1.20	400~800
			印刷、清洗等		100~200
	水性油墨		烘干	0.05~0.30	30~40
			印刷、清洗等		30~40
网版印刷	溶剂型油墨		烘干	0.60~1.00	400~600
			印刷、清洗等		100~300
	UV 油墨		印刷、烘干、清洗等	0.05~0.10	20~50
复合/覆膜	干式复合	溶剂型胶粘剂	涂胶、烘干等	1.00~1.20 <sup>b</sup>	300~1000
	湿法复合	水性胶粘剂	涂胶、烘干等	0.03~0.05 <sup>b</sup>	20~30
	无溶剂复合	无溶剂聚氨酯胶粘剂	复合、覆膜等	≤0.01 <sup>b</sup>	≤20
	共挤出复合	热熔型树脂	复合、覆膜等	≤0.01 <sup>b</sup>	≤20
上光	溶剂型光油		烘干	0.80~1.50 <sup>c</sup>	500~1000
			上光、调配、清洗等		200~500
	水性光油、UV 光油		烘干、上光、清洗等	0.10~0.30 <sup>c</sup>	20~30

<sup>a</sup>印刷企业或生产设施每消耗单位油墨量,含 VOCs 原辅材料(包括油墨、稀释剂、清洗剂、胶粘剂、润湿液等)在印刷、烘干、清洗、润版、复合等产污环节产生的 VOCs 总量,单位为 tVOCs/t 油墨;<sup>b</sup>单位胶粘剂 VOCs 产生量,单位为 tVOCs/t 胶粘剂;<sup>c</sup>单位光油 VOCs 产生量,单位为 tVOCs/t 光油;<sup>d</sup>以 NMHC 表征。

## 附录 D

## (资料性附录)

## 印刷生产废气收集技术

## D.1 废气收集的一般规定

- D.1.1 印刷生产应根据废气性质、排放方式及污染物种类、浓度等分类进行收集。
- D.1.2 颗粒物收集系统应独立于VOCs收集系统，并应根据颗粒物的性质确定净化技术，如颗粒物有爆炸危险性，收集系统应符合AQ 4273的规定。
- D.1.3 废气收集系统应与生产设备同步运行，当发生故障维修时，应同步停止生产设备的运行。
- D.1.4 废气收集系统宜优先采用密闭罩或通风柜的形式；无法采用密闭罩和通风柜时，宜采用外部罩或整体收集的形式。
- D.1.5 采用整体收集并且有人员在密闭空间中作业时，废气收集系统风量应同时考虑控制风速和有害物质的接触限值；气流组织宜确保送风或补风先经过人员呼吸带，并保证空间内无废气滞留死角。
- D.1.6 设置有采暖设备或空调的车间，废气宜优先采用局部收集措施。
- D.1.7 废气排风量应纳入车间的风量平衡计算；对于有洁净度和压差要求的车间，压差控制应考虑排风量的影响。
- D.1.8 废气收集的管路系统宜设置用于调节风量平衡的调试阀门。
- D.1.9 废气收集系统宜避免横向气流干扰。
- D.1.10 废气收集系统不宜跨越防火分区，如无法避免，在跨越处的风管应设置防火阀并符合GB 50016的规定。
- D.1.11 废气收集系统应设置导除静电的接地装置。

## D.2 工艺过程废气收集

- D.2.1 调墨间、供墨间和清洗间宜设置局部排风或整体排风系统。局部排风宜采用密闭罩或通风柜，密闭罩或通风柜的设计参考D.3.1。
- D.2.2 印刷工序无组织废气收集宜优先采用整体收集的形式，参考D.3.3的要求进行设计；在不具备整体收集条件的情况下，宜采用外部罩进行收集，参考D.3.2的要求进行设计。墨槽位于设备顶部的平版印刷机宜采用顶吸罩，墨槽位于低位的凹版印刷机宜采用底吸罩或侧吸罩。
- D.2.3 凹版印刷机烘箱应设置排气口。

## D.3 废气收集系统风量计算原则

## D.3.1 密闭罩及通风柜风量计算

密闭罩及通风柜的风量按式D.1计算。

$$L = v \times F \times \beta \times 3600 \quad \text{D.1}$$

式中： $L$ ——密闭罩及通风柜的计算风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$v$ ——操作口平均风速， $\text{m/s}$ 。一般取0.4~0.6；

$F$ ——操作口面积， $\text{m}^2$ ；

$\beta$ ——安全系数，一般取1.05~1.1。

### D.3.2 外部排风罩风量计算

外部排风罩一般分为顶吸罩、侧吸罩和底吸罩。外部排风罩的控制点为距排风罩开口面最远处的VOCs无组织排放位置，控制点风速一般取0.3~0.5 m/s。

顶吸罩宜与VOCs无组织排放源形状相似，并完全覆盖排放源。顶吸罩应设裙边，当边长较长时，可分段设置。顶吸罩的风量按式D.2计算。

$$L_1 = v_1 \times F_1 \times 3600 \quad \text{D.2}$$

式中： $L_1$ ——顶吸罩的计算风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$v_1$ ——罩口平均风速， $\text{m/s}$ 。一般取0.5~1.25；

$F_1$ ——排风罩开口面面积， $\text{m}^2$ 。

表D.1 罩口平均风速 $v_1$ 取值表

顶吸罩敞开情况	一边敞开	两边敞开	三边敞开	四边敞开
$v_1$	0.5~0.7	0.75~0.9	0.9~1.05	1.05~1.25

### D.3.3 整体收集风量计算

D.3.3.1 对于有人员作业的密闭空间，废气收集系统风量应同时满足员工职业卫生接触限值和开口面风速的要求。开口面为在生产过程中无法关闭的物料进出口、观察窗及补风口等。总风量按照D.3.3.4、D.3.3.5分别计算，并取最大值。

D.3.3.2 对于无人员作业的密闭空间，废气收集系统风量仅需满足开口面风速的要求，总风量按照D.3.3.5计算。

D.3.3.3 整体收集风量计算宜考虑作业人员的岗位送风，满足GBZ 1的相关要求。

D.3.3.4 按照密闭空间内VOCs主要组分浓度计算的风量，按式D.3和D.4计算。

$$L_0 = \sum_{i=1}^n L_{2i} \quad \text{D.3}$$

$$L_{2i} = \frac{G_i}{C_{1i} - C_{2i}} \quad \text{D.4}$$

式中： $L_0$ ——总风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$L_{2i}$ —— $i$ 组分的计算风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$G_i$ ——密闭空间内 $i$ 组分的挥发量， $\text{mg}/\text{h}$ ；

$C_{1i}$ ——密闭空间内 $i$ 组分的员工职业卫生接触限值， $\text{mg}/\text{m}^3$ 。取值应符合GBZ 2.1的要求；

$C_{2i}$ ——进风、补风的 $i$ 组分浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

D.3.3.5 按照密闭空间开口面计算的风量，按式D.5计算。

$$L_2 = v_2 \times F_2 \times 3600 \quad \text{D.5}$$

式中： $L_2$ ——总风量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$v_2$ ——开口面控制风速, m/s。与大气连通的开口面, 一般取1.2~1.5 m/s; 其他开口面, 一般取0.4~0.6 m/s;

$F_2$ ——开口面面积,  $m^2$ 。

---