工业 VOCs 废气治理技术选型与合规应用白皮书

挥发性有机化合物（VOCs）作为大气污染的重要组成部分，是形成 PM2.5、臭氧的关键前体物，其排放不仅破坏生态环境，部分有毒有害 VOCs 更会对人体健康造成不可逆伤害。当前，国家及地方层面持续加码 VOCs 治理管控，出台多项排放标准与整治要求，工业企业面临着严格的排放合规压力与治理技术升级需求。

本白皮书结合现行政策标准与行业实践，梳理工业 VOCs 废气排放特征、治理技术选型原则及全流程合规要点，为企业提供兼具实用性与合规性的治理参考，助力企业实现 VOCs 达标排放与绿色生产转型。

一、工业 VOCs 废气核心特征与现行合规要求

（一）工业 VOCs 废气核心排放特征

工业 VOCs 废气来源广泛，涉涂装、印刷、化工、机械加工、表面处理等多个行业，不同行业废气呈现出成分复杂、浓度波动大、风量差异显著的共性特征。其中，涂装、机械重工等行业是 VOCs 排放重点领域，废气多伴随漆雾、粉尘等颗粒物，以烷烃、芳烃、酯类、醛类为主要成分，多为低浓度、大风量排放；部分化工、精细加工行业则存在中高浓度 VOCs 废气排放，部分具有回收价值。

同时，工业 VOCs 废气排放还存在无组织排放管控难的问题，生产过程中的原料储存、转运、工艺操作环节易产生无组织泄漏，成为企业合规整改的重点与难点。

（二）现行核心合规标准与要求

目前，工业 VOCs 治理遵循国家通用标准+行业专用标准双重体系，核心通用标准包括《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）、《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019），明确了 VOCs 排放浓度限值、无组织排放管控要求及监测规范。

各重点行业出台专用排放标准，如涂装行业相关标准对喷漆、烘干环节 VOCs 排放设定了更严格的限值，要求企业实现漆雾预处理+VOCs 深度治理的组合工艺。此外，各地根据区域大气治理需求，出台地方排放标准，部分地区实施 VOCs 超低排放要求，进一步降低排放浓度限值，企业需结合所在区域及行业要求，严格执行对应标准。

政策层面，要求企业落实源头减量、过程控制、末端治理的全流程治理思路，优先采用低 VOCs 含量原辅材料，优化生产工艺，配套高效末端治理设施，同时建立完善的监测、运维与台账管理制度，实现 VOCs 治理全流程可追溯、可监管。

二、工业 VOCs 废气治理核心技术及适配原则

工业 VOCs 废气末端治理技术可分为回收法与破坏法两大类，回收法适用于具有回收价值的中高浓度 VOCs 废气，通过冷凝、吸附、膜分离等方式实现 VOCs 回收利用；破坏法适用于无回收价值的 VOCs 废气，通过焚烧、催化氧化、光氧催化等方式将 VOCs 分解为二氧化碳和水。结合行业实践，以下为目前应用最广泛的核心治理技术及适配场景：

（一）活性炭吸附净化装置

核心原理：利用活性炭的多孔结构吸附废气中的 VOCs 分子，实现废气净化，适用于低浓度、大风量、无回收价值的 VOCs 废气预处理或末端治理，可搭配脱附装置实现活性炭再生利用。

适配场景：机械加工、涂装行业的低浓度 VOCs 废气治理，可单独使用或作为组合工艺的预处理环节，需注意及时更换/再生活性炭，避免吸附饱和导致排放超标。

（二）活性炭吸附-催化燃烧一体化工艺（CO/RTO 脱附催化燃烧）

核心原理：结合“吸附浓缩+催化燃烧”双重优势，先通过活性炭将低浓度、大风量 VOCs 废气吸附浓缩为高浓度、小风量废气，再通过催化燃烧炉在 200-400℃低温下将 VOCs 氧化分解，分解热量可实现活性炭脱附再生，达到节能效果。

适配场景：涂装、船舶重工、风电核能等行业低浓度、大风量 VOCs 废气深度治理，净化效率可达 95%以上，无二次污染，是目前工业 VOCs 治理的主流工艺之一。

（三）沸石转轮吸附浓缩设备

核心原理：以涂覆疏水性沸石的蜂窝状转轮为吸附载体，通过“吸附-浓缩-脱附”连续程序，将低浓度、大风量 VOCs 废气浓缩 5-30 倍，配套焚烧或催化燃烧装置实现末端分解，具有吸附效率高、压降低、能耗低的特点。

适配场景：适用于大风量、低浓度、成分复杂的 VOCs 废气治理，尤其适合涂装生产线等连续运行的工况，可与 RTO、CO 等工艺组合，实现高效治理。

（四）蓄热式焚烧炉（RTO）

核心原理：利用陶瓷蓄热体储存 VOCs 分解产生的热量，预热未处理的废气，氧化温度达 800-850℃，将 VOCs 彻底分解，热效率可达 95%以上，旋转式 RTO 分解率更高达 99%以上。

适配场景：适用于无回收价值的中高浓度 VOCs 废气治理，可处理含腐蚀性、催化剂有毒物质的废气，广泛应用于化工、涂装、机械重工等行业，高浓度废气可实现余热回收，降低运行成本。

（五）技术选型核心原则

企业选型需遵循**“按需适配、经济高效、合规达标”** 三大原则，核心考量因素包括：1）废气特征：根据 VOCs 浓度、风量、成分、是否含颗粒物/腐蚀性物质确定工艺类型，低浓度大风量优先选“吸附浓缩+燃烧”组合工艺，中高浓度无回收价值优先选 RTO；2）行业工况：结合生产连续性、车间布局、场地条件选择设备类型，如大型工件涂装可搭配移动式喷漆房与一体化 VOCs 治理设备；3）经济成本：兼顾设备投资、运行能耗、维护成本，优先选择节能型工艺，如催化燃烧、沸石转轮+RTO 组合工艺；4）合规要求：根据所在区域及行业的排放限值，选择满足净化效率要求的工艺，超低排放要求下需采用深度治理组合工艺。

三、工业 VOCs 治理全流程合规实施要点

（一）源头减量：从根源降低 VOCs 排放

源头减量是 VOCs 治理的首要环节，也是政策鼓励的核心方向。企业应优先选用低 VOCs 含量原辅材料，如水性涂料、高固份涂料、无溶剂涂料等，替代传统溶剂型涂料；优化生产工艺，采用密闭式、自动化生产设备，减少原料储存、转运、施工环节的无组织泄漏，从根源降低 VOCs 产生量，同时减少末端治理压力。

（二）过程控制：强化无组织排放管控

按照《挥发性有机物无组织排放控制标准》要求，对生产过程实施全流程密闭管控：原料储存采用密闭储罐、密封容器，转运采用密闭管道或密闭输送设备；工艺操作环节采用密闭式生产设备，配备集气装置，提高废气收集效率，确保收集效率不低于 90%；车间设置负压通风系统，避免无组织废气逸散，同时建立无组织排放巡检制度，及时排查泄漏点。

（三）末端治理：配套高效治理设施并规范运维

按需配套治理设施：根据废气特征与合规要求，选择适配的末端治理工艺，确保净化效率满足排放限值，涂装等行业需先对废气进行漆雾、粉尘预处理，再进行 VOCs 深度治理，避免颗粒物堵塞治理设备；

规范设备安装与调试：治理设施需与生产设备同步设计、同步施工、同步投运，

安装位置合理，集气与管路设计符合流体力学要求，确保废气处理效果；设备投运前需完成调试，检测净化效率、排放浓度等指标，达标后方可正式运行；

建立常态化运维制度：制定治理设备日常操作、维护、保养规程，定期检查活性炭、催化剂、沸石转轮等核心耗材的使用状态，及时更换/再生；对风机、阀门、PLC控制系统等部件定期巡检，确保设备正常运行，避免因设备故障导致排放超标。

（四）监测与台账：实现全流程可追溯

配套监测设备：重点排污企业需安装 VOCs 在线监测设备，与当地生态环境部门监控平台联网，实时监测排放浓度、风量等指标；非重点企业需配备便携式监测设备，定期开展自行监测，留存监测数据；

完善台账管理：建立 VOCs 治理全流程台账，包括原辅材料采购、使用记录，废气收集、处理量记录，治理设备运行、维护、耗材更换记录，监测数据记录等，台账保存期限不少于 3 年，确保可追溯、可核查。

四、典型行业 VOCs 治理解决方案参考

（一）机械重工/船舶重工行业

废气特征：以涂装、焊接、打磨环节产生的低浓度、大风量 VOCs 废气为主，伴随漆雾、焊接烟尘、金属粉尘；

治理方案：采用“漆雾预处理（干式/湿式过滤器）+活性炭吸附-催化燃烧一体化工艺”，大型工件涂装搭配伸缩移动式/整体移动式喷漆房，实现废气就地收集、就地处理，同时配套车间集中式烟尘净化设备，兼顾 VOCs 与粉尘治理。

（二）航空航天/风电核能行业

废气特征：生产工艺精密，VOCs 废气成分复杂，对治理设备稳定性、净化效率要求高，部分工况存在连续运行需求；

治理方案：采用“沸石转轮吸附浓缩+旋转式 RTO”组合工艺，实现低浓度大风量 VOCs 废气高效浓缩与深度分解，净化效率达 99%以上，满足超低排放要求，设备配备 PLC 全自动控制系统，实现无人化连续运行，适配精密生产工况。

五、结语

工业 VOCs 治理已从“末端治理”向“源头减量、过程控制、末端治理”全流程管控转变，企业面临着技术升级与合规落地的双重挑战。VOCs 治理技术的选型并非“一

刀切”，需结合行业特征、废气工况、合规要求及经济成本综合考量，选择适配的工艺与设备。

本白皮书数据与内容仅供工业企业 VOCs 治理参考，具体治理方案需结合企业实际工况与当地生态环境部门要求定制。