

制药企业 VOCs 废气与高浓度废水规范化运行管控对策

赵晓源 谢彤彤

杭州中美华东制药有限公司, 浙江 杭州 311100

[摘要] 制药行业会产生大量污染, 生产过程也有不少安全风险。生产过程会排出 VOCs 废气, 还有高浓度有机废水, 这类污染物成分复杂, 毒性大, 可生化性差, 排放波动也大, 当前环保监管与企业规范化运行要处理这类问题, 难度不小。本文研究制药企业对 VOCs 废气和高浓度废水的全过程管控, 结合国家现行标准与工程实践数据, 梳理废气和废水的排放特征, 当前治理的情况, 以及治理环节比较突出的问题, 搭建起覆盖源头减量, 分类收集, 高效治理, 稳定运行, 智能监控和合规台账的一体化规范化管控体系, 针对不同工艺不同场景, 提出可以落地实施的运行管控办法, 还配套了典型工艺参数, 运行记录表与绩效指标图表, 能帮助制药企业实现稳定达标, 节能降耗, 控制风险, 完善合规台账, 给出对应的技术支持和管理方向。

[关键词] 制药企业; VOCs 废气; 高浓度废水; 规范化运行; 管控对策

DOI: 10.64635/ja.2026.1287

中图分类号: X787

文献标识码: A

Standardized Operation and Control Countermeasures for VOCs Waste Gas and High-Concentration Wastewater in Pharmaceutical Enterprises

Zhao Xiaoyuan, Xie Tongtong

Hangzhou Zhongmei Huadong Pharmaceutical Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311100, China

Abstract: The pharmaceutical industry generates a large amount of pollution, and its production processes also involve many safety risks. VOCs waste gas and high-concentration organic wastewater are discharged during production. These pollutants are characterized by complex components, high toxicity, poor biodegradability, and large fluctuations in emissions, making them difficult to manage under current environmental supervision requirements and standardized enterprise operation. This paper studies the whole-process control of VOCs waste gas and high-concentration wastewater in pharmaceutical enterprises. Based on current national standards and engineering practice data, it summarizes the emission characteristics, current treatment status, and prominent problems in waste gas and wastewater treatment. An integrated standardized control system covering source reduction, classified collection, efficient treatment, stable operation, intelligent monitoring, and compliance records is established. For different processes and application scenarios, practical operation and control measures are proposed, supplemented by typical process parameters, operation record forms, and performance indicator charts. The study can help pharmaceutical enterprises achieve stable compliance with emission standards, save energy and reduce consumption, control risks, and improve compliance records, providing corresponding technical support and management direction.

Keywords: pharmaceutical enterprise; VOCs waste gas; high-concentration wastewater; standardized operation; control countermeasures

引言

制药工业关联国民经济和民生保障, 污染物排放强度大, 环境风险也偏高。生产过程要经过化学合成, 发酵, 提取, 精制, 干燥和溶剂回收, 这些环节里, 企业会大量使用甲醇、乙醇、乙酸乙酯, 二氯甲烷和甲苯这类有机溶剂, 会产生高浓度, 多组分, 间歇性的 VOCs 废气^[1]。还

会产生 COD 在 10000~120000mg/L 的有机废水, 这类废水含残留药物活性成分, 含盐量高, 有毒性, 也很难降解。这类污染物如果没有做好管控, 很容易造成大气污染, 水体污染, 异味扰民, 还会带来生物安全风险, 现在已经是生态环境部门执法检查时重点关注的方向。多数制药企业现在管控 VOCs 和高浓度废水, 仍然存在很多不足。废气

无组织逸散情况严重，收集率偏低，治理工艺选得不对，运行参数出现偏移，日常维护也不到位。废水分类标准模糊，不同废水混排情况严重，预处理没有达到要求，生化系统容易受到冲击，药残没有灭活，污泥和药剂的管理也很混乱^[2]。各类污染物的无序排放不仅加剧厂区内环保管控制度，对大气生态环境也会造成危害加上生产本身有很强的间歇性，水质水量波动大，操作人员专业能力不够，最终导致治理设施建好之后没能正常启用，运行起来也不够稳定，超标排放，异味扰民，台账缺失这类问题经常出现^[3]。在环保监管日趋严格的大背景下，粗放式的运维模式已难以满足企业长久生产经营的基本要求。本文结合制药企业实际生产情况和环保合规的要求，以规范化，标准化，可视化和可追溯为方向，搭建起覆盖 VOCs 废气和高浓度废水的五位一体管控体系，结合工程实测数据和典型图表，提出可以直接落地的运行管控方法，帮助企业实现稳定达标，降低能耗，规避风险，长期符合监管要求，也能给同行业的环保运行管理提供可参考的方向。

表 1 制药高浓度废水典型水质范围

指标	单位	浓度范围	主要来源
COD	mg/L	10000~120000	发酵废母液、化学合成废液
BOD ₅ /COD	—	0.05~0.3	难降解、毒性强、可生化性差
盐度	mg/L	5000~30000	酸化、中和、精制工序
氨氮	mg/L	50~800	发酵、生物制药工段
药物活性成分	mg/L	1~500	抗生素、API 残药
特征污染物	—	卤素、硫、酚、苯胺	合成反应副产物

废水的治理存在四个难点，分别是毒性抑制，药残灭活，盐抑制和冲击负荷强，必须单独收集，做预处理后分质处理，严禁直接进入生化系统。若简化预处理工序直接生化处置，极易造成生化菌群失活，整套污水处理系统瘫痪。

表 2 制药废气废水关键管控标准

类别	标准编号	核心管控指标	限值要求
废气	GB 37823-2019	NMHC、恶臭、颗粒物	NMHC≤50mg/m ³ ；恶臭≤2000（无量纲）
废气	GB 37822-2019	无组织排放、密闭收集、LDAR	收集率≥95%；密封点泄漏≤2000μmol/mol
废水	GB/T 31962-2015	COD、氨氮、总氮、总磷	纳管/直排执行分级限值
管理	排污许可管理条例	同步运转率、台账、自行监测	设施与生产100%同步；记录完整可追溯
技术	HJ 1305-2023	预处理、灭活、分质处理	药残废水必须灭活；高盐除盐

1.3 当前运行管控突出问题

（1）VOCs 废气存在多方面短板。密闭和收集工作做得不够，无组织废气容易逸散。工艺和工况没法适配。运行参数可以被人随意改动。滤芯和活性炭以及催化剂到期不更换。缺少必要的安全设施。LDAR 工作只是走个流

1 制药企业 VOCs 废气与高浓度废水排放特征与管控现状

1.1 污染物来源与典型特征

1.1.1 VOCs 废气特征

制药 VOCs 的来源，有反应釜，离心机，干燥设备，配料，灌装，污水站，和危废库，呈现四高一强特点^[4]：

浓度偏高，溶剂废气出口浓度可以达到 1000~10000mg/m³。组分复杂，醇和酯与酮、芳烃、卤代烃，以及含硫含氮的异味物质会同时存在。波动幅度大，间歇生产会让风量和浓度在短时间内出现剧烈变化。毒性较强，部分溶剂带有刺激性和致癌性以及生物毒性。异味明显，发酵尾气与药尘、废水挥发物很容易引发周边居民投诉。根据生态环境部统计结果，制药企业 VOCs 排放中，无组织排放占超过六成，这也是当前管控力度偏弱的环节。

1.1.2 高浓度废水特征

高浓度废水主要来自结晶母液与离心废液，还有树脂再生液和地面冲洗水，以及废母液等，典型水质如下表 1：

1.2 现行管控标准核心要求

现行管控标准废气主要以 GB 37823-2019 为准，废气则以 GB 37822-2019 为准，废水以 GB/T 31962-2015 为准，管理按照排污许可管理条例进行，技术参照 HJ 1305-2023，见下表 2。

程。没有完整的管理台账。（2）高浓度废水也有相应短板。不同分类的废水混在一起排放，高浓度废水直接排放会冲击生化处理系统。药残没有灭活，会引发生态风险。预处理环节，包括破坏、解毒、调比，做得不到位。pH 和 DO 以及污泥，药剂投加都没有稳定控制。应急缓冲能力不足，

运行记录不完整。(3) 共性问题集中在几个方面。人机料法环各环节缺少管控。操作没有指定 SOP。维护没有提前制定计划。出现异常情况没有对应预案。采集的数据没有经过校验。台账不符合规范要求。

2 制药企业 VOCs 废气规范化运行管控对策

2.1 源头与收集规范化：应收尽收、分质收集

核心原则是密闭化，集气化，分质化，微负压和全覆盖：(1) 全流程密闭：反应釜，离心机，干燥，包装，罐区和污水池全部密闭；卸料和投料采用密闭管道；开口作

业设置密闭集气罩，控制风速不小于 0.3m/s。(2) 分类收集分治：高浓度溶剂废气先单独收集，再做冷凝回收，最后进行燃烧；低浓度大风量废气采用浓缩和催化或者热力燃烧；酸性，碱性和含尘废气先做洗涤或者除尘，再进入 VOCs 系统；恶臭和发酵尾气采用单独除臭和生物或者氧化处理。(3) 系统联动：废气风机与生产设备电气联锁，实现同步启停和同步运转，要求运转率达到 100%。

2.2 治理工艺规范化选型与运行

治理工艺规范化选型与运行见下表 3。

表 3 制药 VOCs 主流工艺规范化运行参数

工艺	适用场景	设计控制参数	运行管控要点	处理效率
多级冷凝	高浓度、高沸点溶剂	-5~-20℃；冷凝回收率≥90%	冷媒温度、流量、排液	70%~95%
沸石转轮+RCO/RTO	大风量、低浓度	浓缩比10~20倍；脱附温度180~220℃	吹扫风量、温升、压差	95%~99%
RTO蓄热燃烧	中高浓度、复杂组分	炉膛温度≥760℃；停留时间≥1s	温度、氧含量、蓄热温差	95%~99.5%
催化燃烧CO	中低浓度、清洁废气	催化床280~350℃	空速、催化剂温升、阻力	90%~98%
碱洗/酸洗+活性炭	酸性/碱性+异味	pH7~9；空塔流速0.5~1.0m/s	喷淋密度、更换周期	70%~90%

2.3 日常运行 SOP 与点检规范化

建立分三个时段的点检制度，分别在上班前，上班过程中以及下班之后开展。需要检查的项目有五项：第一项是风机电流和风压与阀门开度。第二项是喷淋系统和冷凝系统以及燃烧系统的温度，压力与液位；第三项是在线监测数据，压差和报警；第四项是活性炭和滤芯以及催化剂的使用情况与更换记录；第五项是联锁装置，应急喷淋装置和 LEL 防爆监测设备^[5]。需要禁止以下行为，不经处理直接通过旁路排放。私自调低燃烧温度。停止使用喷淋系统和回收装置。耗材超过使用期限不更换。

2.4 LDAR 与无组织排放规范化

第一项是密封点建档。不少于两千个密封点需要建立 LDAR 台账。第二项是检测频次。按季度开展检测，发现泄漏要立即修复。第三项是修复标准。有机气体泄漏浓度不超过两千 μmol/mol。第四项是关键点位，包含泵与阀门、与法兰、与软管、与取样口，还有污水处理敞口区域。

2.5 台账与合规管理

记录内容需要包含启停时间和运行参数，还要记下药剂耗材与更换记录，故障异常和修复措施，以及监测数据。生态环境执法检查时，一定会核对同步运转记录和耗材更换记录，监测数据和异常处置记录。

3 制药企业高浓度废水规范化运行管控对策

3.1 源头分类与分质收集

铁律：高浓度废水和药残废水以及高盐废水和毒性废水必须单独收集预处理，严禁混排^[6]。

分类收集原则：高浓母液和废溶剂需要单独存放储罐，再做氧化或者破坏灭活类的预处理。药残废水必须灭活破坏，消除抗菌和药理活性。高盐废水要先做除盐预处理，再进入生化环节。低浓度清洗水单独收集，送入生化系统^[7]。设置调节池和应急池以及事故池，抵御冲击负荷。

3.2 高浓度废水规范化处理工艺路线

推荐三段式标准工艺：预处理（破毒、提效、调比）→生化降解→深度处理，高浓度废水典型单元规范化运行参数见下表 4。

表 4 高浓度废水典型单元规范化运行参数

处理单元	控制指标	标准范围	管控目的
调节池	HRT、水质均衡	8~24h；水位稳定	抗冲击
微电解/芬顿	pH3~4；H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	按药剂比投加	破坏、提B/C
UASB/厌氧	ORP、温度、VFA	35~38℃；VFA<500mg/L	去除60%~80%COD
A/O生化	DO2~3mg/L；MLSS3~5g/L	SRT>20d	脱氮、降解有机物
MBR/深度氧化	膜压差、臭氧投量	定期化学清洗	确保稳定达标
药残灭活	氧化/水解破坏	生物毒性抑制率<5%	消除生态风险

规范化运行后，COD 总去除率可达 99%以上，出水

稳定达标。

3.3 关键运行管控要点

(1) 进水管控：严禁高浓与高盐和高毒瞬间冲击。
(2)pH 严格控制：厌氧区间为 6.5~7.5,好氧区间为 7.0~8.0。
(3) 污泥管控：MLSS 与 SVI 和回流比以及排泥的记录要保持完整。
(4) 药剂量化投加：碳源与碱和絮凝剂按流量比例投加。
(5) 在线监控：COD 与氨氮和 pH 以及 DO 联网运行，出现异常会触发报警。
(6) 药残灭活：抗生素和 API 废水必须提前预处理灭活，这属于监管红线^[8]。

3.4 台账与痕迹化管理

废水必须记录：水量、水质、药剂投加、污泥排放、

设备运行、异常处置、灭活记录、监测数据。

4 一体化智能监控与规范化运行保障体系

4.1 智能监控平台架构

(1) VOCs 监测包含风量与温度，压力和 LEL，在线浓度以及联锁状态；
(2) 废水监测包含流量与 pH，DO 和 ORP，COD 以及氨氮，还有药剂流量；
(3) 报警类型包含高温与超温，超压和超标，故障以及停机；
(4) 台账可以自动生成运行报表，满足排污许可要求^[9]。

4.2 规范化运行绩效指标

制药废气废水规范化运行绩效目标见下表 5。

表 5 制药废气废水规范化运行绩效目标

类别	管控指标	达标要求	优秀水平
VOCs收集率	%	≥95	≥98
VOCs处理效率	%	≥90	≥95~99
设施同步运转率	%	100	100
废水COD去除率	%	≥95	≥99
药残灭活达标率	%	100	100
台账完整率	%	100	100
异常处置及时率	%	≥98	100

4.3 人员、制度、应急三位一体保障

人员方面需要持证上岗，还要定期参加培训，最后考
核通过才能上岗。制度方面，有 SOP 和点检制，维护保
养制，耗材更换制，所有工作内容都要责任到人。应急方

面，针对停电和停汽，泄漏，超标和火灾，分别制定了专
项预案，还要定期开展演练^[10]。

5 典型工程应用成效

某原料药企业实施规范化管控前后对比见下表 6。

表 6 管控成效对比

项目	VOCs排放浓度	VOCs处理效率	废水进水COD	出水COD	总去除率	月均投诉次数	台账完整率
管控前	120~280mg/m ³	75%~85%	65000mg/L	300~800mg/L	92%	3~5	55%
管控后	28~45mg/m ³	96%~99%	65000mg/L	≤80mg/L	99.8%	0	100%
改善幅度	下降75%~85%	提升15~20百分点	—	达标稳定	提升7~8百分点	100%消除	合规达标

数据表明，规范化运行可实现稳定达标、减排显著、
风险清零、台账合规。

6 结束语

综上所述，制药企业要做好 VOCs 废气与高浓度废水
的运行管控，才能满足环保法规，守住安全底线，实现长
效达标。本文结合现行法规标准与工程实践，搭建出一套
覆盖源头收集、工艺治理、日常运行、点检维护、智能监
控和台账合规的全链条管控体系，明确了能落地能执行能
核查的技术参数、SOP 要点、绩效指标与台账要求，形成
了工艺标准化、运行规范化、维护制度化、监控智能化、
台账可追溯的一体化管理模式。企业应用这套方法后，通
过密闭收集、分质分治、精准调控、智能预警和痕迹管理，
可以让 VOCs 处理效率不低于 95%，高浓度废水 COD 总
去除率不低于 99%，彻底解决无组织逸散、异味扰民、生

态崩溃、药残风险和台账不合规等突出问题，降低环保违
法风险与运行成本，让经济、环境、安全三方效益统一在
一起。

[参考文献]

[1]段越,罗学刚.制药废水的响应面法优化 O3/Fe-C 微电解
预处理工艺[J].净水技术,2023,42(2):109-116.
[2]陈水平,邓麟凤,胡素萍,等.一种制药行业污水处理废气
无组织收集生物净化处理工艺 [J]. 中国科技信
息,2024(3):80-83.
[3]尹晓辉.制药工业建设项目环境影响评价污染防治措施
要点思考[J].山东化工,2025,54(4):267-270.
[4]张玉琳,罗双艳,赵亚娟,等.抗生素制药企业废水处理全
过程中毒性评价[J].生态毒理学报,2025,20(2):161-170.
[5]郑少杰.铁碳微电解-Fenton-水解-改良型 AO 工艺处理

制药废水实例[J].给水排水,2025,51(7):89-94,102.

[6]许敏,陈晓倩,陆一峰,等.不同生产类型制药废水的综合毒性评估[J].环境污染与防治,2025,47(7):101-108.

[7]蔡升云,钱俊伟.两级 AO/MBR-絮凝沉淀-反硝化滤池工艺处理发酵制药废水[J].工业水处理,2025,45(6):227-233.

[8]朱华旭,唐志书,李博,等.中药制药废水膜法处理的"零排放"技术方案及其实现途径探讨[J].南京中医药大学学报,2020,36(5):579-583.

[9]高健磊,柳振铎,闫怡新,等.磁混凝-UV/O3 深度处理诺氟

沙星制药废水工艺研究[J].工业水处理,2023,43(5):44-51.

[10]段西兵,乔琪,徐奇.UASB-HBF-UF/NF/DM 工艺处理化学制药废水[J].工业水处理,2022,42(3):178-182.

作者简介:赵晓源(1994.07—),性别:男,民族:汉族,籍贯:浙江省绍兴市,学历:本科,学位:学士,职称:中级工程师,研究方向:制药废水废气运行管理。

谢彤彤(1993.10—),性别:女,民族:汉族,籍贯(到地级市):河南省周口市,学历:本科,学位:学士,职称:助理工程师。