

氨基酸发酵厂废气全过程控制技术与应用

刘雪丽¹, 刘建伟^{1*}, 刘元涛², 张波³, 康心悦¹

(1.北京建筑大学环境与能源工程学院, 北京 100044; 2.山东阜丰发酵有限公司, 山东 临沂 276600; 3.北京钧跃环境科技有限公司, 北京 100083)

摘要:针对氨基酸发酵厂废气产生量大、组成复杂且各工序气体分布不均、污染物特性各异等特点,对氨基酸发酵厂废气进行全过程处理。对发酵、脱色和提取、板框压滤和蛋白烘干废气,分别采用两相生物、酸碱喷淋、洗涤-生物和文丘里-碱洗电除雾-低温等离子组合工艺。重点介绍了各工序废气处理工艺选择和工程设计参数。工程运行结果表明,各工序废气处理系统处理后的废气污染物指标均能达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)中要求的排放标准。

关键词:氨基酸发酵; 废气处理; 全过程控制; 工艺选择; 工程设计

中图分类号: X512

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2020)02-0206-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2020.02.043

Full process control technology for waste gas in amino acid fermentation plant and applications

LIU Xue-li¹, LIU Jian-wei^{1*}, LIU Yuan-tao², ZHANG Bo³, KANG Xin-yue¹

(1.School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2.Shandong Fufeng Fermentation Co., Ltd., Linyi 276600, China; 3.Beijing JunYue Environmental Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: In line with the characteristics of waste gas from amino acid fermentation plant, such as a large emission amount, complex composition, uneven gas distribution in each process and different pollutants characteristics, full process control technology is used to treat with the waste gas. The two-phase biology, acid-base spraying, washing-biology and venturi-alkali washing electrostatic fog removal-low temperature plasma technologies are respectively used to treat with the waste gas generated in the four different process units including fermentation, decolorization/extraction, plate-frame filter pressing and protein drying. Review is focused on the selection of treatment technology for the waste gas generated in each process unit and engineering design parameters of treatment technology. The engineering operation results show that the pollutant index in waste gas of each process unit after the treatment can meet the emission standard value in China's *Comprehensive Emission Standard of Atmospheric Pollutants* (GB 16297—1996).

Key words: amino acid fermentation; waste gas treatment; full process control; process selection; engineering design

氨基酸发酵生产是利用酶或微生物的催化功能,将淀粉或糖类原料转化为氨基酸产品的生化过程。典型谷氨酸的生产工艺包括原料预处理、糖化、发酵和提取等工序^[1]。然而在氨基酸发酵生产全过程的任一工序都会产生一定含氨、胺、硫醇、硫醚、脂肪酸、硫酸盐和挥发性有机物(VOCs)的废气^[2]。这些废气具有焦糊或恶臭味,如果不加治理,会对人体健康和大气环境产生较大影响^[3]。

氨基酸发酵厂产生的废气具有产生面广、组分复杂,不同工序产生的废气物质特性差异较大等特点。目前,现有的氨基酸发酵厂废气处理工艺往往采用单一处理技术,较少考虑各工序废气特点的差异性和进行全过程废气处理,因此,废气整体处理效

率差,较难实现全部工序废气污染物的达标排放。针对氨基酸发酵厂不同工序,选择合理的废气处理技术,减少废气引起的健康和生态环境影响,是氨基酸发酵行业亟需解决的重点问题之一。

本研究以某实际氨基酸发酵厂为对象,在分析该厂各工序废气来源的基础上,针对不同工序废气产生特性差异,选择不同的废气处理工艺,进行全过程废气处理,考察工程运行效果。研究结果可为同类废气的污染防治提供技术依据。

1 项目介绍

某氨基酸发酵厂生产缬氨酸、谷氨酰胺、亮氨酸和色氨酸4种产品,总生产规模为12 000 t/a。该氨

收稿日期:2019-04-24;修回日期:2019-12-05

基金项目:北京市科技计划课题(Z181100005518011)

作者简介:刘雪丽(1994-),女,硕士生;刘建伟(1979-),男,博士,副教授,研究方向为废气生物处理和环境生物技术,通讯联系人,liujianwei@bucea.edu.cn。

氨基酸发酵厂的生产工艺流程如图 1 所示。

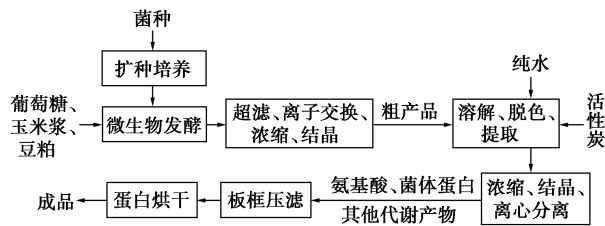


图 1 氨基酸生产工艺流程

由图 1 可以看出,在氨基酸发酵生产过程中,首先进行菌种的一级和二级扩大培养,然后将葡萄糖、玉米浆和豆粕等原料进行预处理,预处理后的原料进入发酵罐进行微生物发酵,发酵液再经超滤和离子交换工艺纯化后,浓缩和结晶制得粗品,粗品经溶解、脱色、提取、浓缩、结晶、离心分离、板框压滤和蛋白烘干制得成品。

在氨基酸生产过程中,会有一定的废气污染物产生。为避免废气污染物对周边居民身体健康和生态环境的影响,根据当地环保管理部门要求,在该氨基酸发酵厂建厂之初,即设计和安装了废气收集和处理系统。

2 氨基酸发酵厂废气的产生特点

2.1 氨基酸发酵厂废气的产生环节

氨基酸发酵厂生产工艺环节较多,其中产生废

表 1 氨基酸发酵厂废气产生特点

工艺环节	废气组成	平均浓度/(mg·m ⁻³)	处理气量及计算依据	
			气量/(m ³ ·h ⁻¹)	计算依据
发酵	NH ₃ 、H ₂ S、CO ₂ 和 VOCs	NH ₃ 7.8, H ₂ S 4.3, TVOCs 65.8	12000	依据好氧发酵工艺通风数据计算
脱色和提取	NH ₃ 、VOCs	NH ₃ 12.4, TVOCs 37.2	15000	脱色罐和母液罐排气孔、观察孔密闭
板框压滤	NH ₃ 、HCl、VOCs	NH ₃ 14.5, HCl 120, TVOCs 50	12500	对板框压滤机进行密闭,采用集气罩收集
蛋白烘干	粉尘、VOCs	粉尘 800, TVOCs 150	60000	蛋白烘干车间密闭收集,车间容积为 4000 m ³ ,换气次数取 15 次/h

由表 1 可以得出,该氨基酸发酵厂由于不同工艺环节操作过程的不同,产生的废气污染物组成复杂且存在一定差异。

其中,发酵工艺废气组成复杂,污染物包括 NH₃、H₂S、CO₂、丙酮酸以及酯、酮、醛、醇和有机酸等小分子 VOCs,同时还含有一定空气及水蒸汽;氨基酸脱色和提取工艺是在恒温 80℃ 下,通过添加氨水、乙醇和丙酮,进行氨基酸分离和 pH 调节,因此,废气主要组成为 NH₃、乙醇和丙酮等小分子 VOCs;板框压滤的主要对象为发酵产物——氨基酸、菌体

气污染物的主要工序包括发酵、脱色和提取、板框压滤和蛋白烘干。

发酵废气主要产生于氨基酸发酵过程,葡萄糖、玉米浆和豆粕原料在微生物作用下进行好氧发酵,在生成氨基酸产品的同时,由于其他附加生物代谢反应的发生,会同时产生废气污染物,并通过高压作用经由发酵罐的排气孔排入大气。发酵废气产生于发酵过程开始后的第 30 h,并在第 40~50 h 达到产生量高峰,废气成分主要为丙酮酸、酯、酮、醛、醇和有机酸等 VOCs 以及硫化氢和硫醇等硫化物^[4]。

氨基酸脱色和提取在 80℃ 下进行,由于工序中添加了乙醇和丙酮作为助剂,在搅拌作用下,乙醇、丙酮等会发生逸散和排放,并逸散至大气中。废气成分主要为 NH₃、乙醇和丙酮等。

在板框压滤工序,特别是板框压滤机压滤固体、液体收集和输送过程,会间歇产生含 NH₃、HCl 和 VOCs 的废气。蛋白烘干工序废气产生于蛋白的管束干燥过程,废气组成主要为少量纤维、蛋白粉尘和 VOCs。

2.2 氨基酸发酵废气的产生特点

对该厂发酵、脱色和提取、板框压滤和蛋白烘干等工艺的废气组成和浓度进行多次采样和分析,得出各工艺的废气组成、平均浓度和设计处理气量,结果见表 1。

蛋白以及其他发酵代谢产物,板框压滤废气具有间歇产生、浓度相对低等特点。另外,在生产过程中,压滤产物的收集和输送采用小型车辆,在收集和输送过程,发酵残余物遗撒也会产生含有异味的废气;蛋白烘干废气产生量较大,达 600 00 m³/h,且气体温度相对较高,气体组成以颗粒物和部分 VOCs 物质为主。

不同工艺环节产生的污染物浓度存在一定差异。其中发酵、脱色和提取、板框压滤 3 种工艺废气中均含有气态氨,但浓度不同,分别为 7.8、12.4、

14.5 mg/m³;发酵和板框压滤 2 种工艺分别产生了酸性物质 H₂S 和 HCl,但两者浓度差异较大,分别为 4.3、120 mg/m³;发酵、脱色和提取、板框压滤和蛋白烘干 4 种工艺产生的废气中均含 VOCs 物质,但浓度差异较大,TVOCs 浓度分别为 65.8、37.2、50、150 mg/m³;另外,蛋白烘干工艺产生的废气中还含有 800 mg/m³ 的粉尘。

3 废气处理工艺选择

3.1 废气处理工艺方案的确定

目前,常规氨基酸发酵厂废气处理技术主要包括吸附、酸碱喷淋、生物过滤和等离子体技术等,这些技术适用于不同组成特性的废气,且分别有各自的适用范围和优缺点。

其中,吸附技术是利用物理或化学吸附剂吸附废气中的污染物,去除效率高、能耗低,但吸附剂易饱和、需再生;酸碱喷淋技术是利用酸液或者碱液与废气组分发生化学反应,去除废气污染物,去除速度快,但易存在二次污染^[5];生物过滤技术是利用微生物的代谢作用净化废气,运行费用低、去除效果好、无二次污染,但设备占地面积大、处理效果易受温度影响^[6-9];等离子体技术则是利用产生的等离子活性基团与污染物发生反应,净化效率高、占地面积小,但投资和运行费用较高^[10-11]。

如前所述,本氨基酸发酵厂产生的废气气量大、分布不均匀、组成复杂、各工艺段产生的废气性质各异,采用单一常规处理技术难以同时有效去除所有工艺段的废气物质。因此,考虑到工艺可靠性、投资和运行的经济性和操作便利性等,本工程选择对氨基酸生产全过程的不同工艺环节分别应用两相生物处理技术、酸碱喷淋技术、洗涤-生物组合技术和文丘里-碱洗电除雾-低温等离子组合技术进行废气污染物控制。本氨基酸发酵厂不同工艺环节废气处理技术选择方法和结果见表 2。

由表 2 可以得出,针对不同工艺环节废气的产生量、产生源和污染物组成特性,本工程分别选择不同的废气处理技术。其中,发酵废气产生于发酵罐中,由发酵罐排气孔集中排放,虽然气体组成较为复杂,但废气气量大、各组分浓度低,大部分为易生物降解物质,选择采用两相生物处理技术处理;脱色和提取废气的特点为间歇产生,废气成分复杂,其中既含酸性又含碱性污染物质,且污染物组分溶解性较好,选择采用酸碱喷淋技术处理;板框压滤废气产生源较为分散,废气组分既含无机物又含有机物,但各

表 2 不同工艺环节废气处理技术选择

工艺环节	产生源	气体产生特性	技术选择
发酵	产生源为发酵罐,密封性较好,废气通过高压作用由排气孔排出	氨基酸发酵 30 h 后开始产生,污染物浓度变化大	两相生物处理技术
脱色和提取	产生源为脱色罐、母液罐,密封性较好	含酸性、碱性物质和 VOCs	酸碱喷淋技术
板框压滤	产生于发酵残余物收集、输送和压滤过程	产生面广、污染物浓度低	洗涤-生物组合技术
蛋白烘干	产生于蛋白烘干工段,需将车间整体密闭收集	气体温度高、污染物浓度高、含颗粒物	文丘里-碱洗电除雾-低温等离子组合技术

组分浓度相对不高,选择采用洗涤-生物组合技术进行处理;而蛋白烘干废气气量大、废气温度和浓度均相对高,同时含有一定颗粒物,处理难度较大,选择采用文丘里洗涤-碱洗电除雾-低温等离子组合工艺进行处理。

3.2 废气处理系统的工程设计

3.2.1 发酵废气

发酵废气由发酵罐排气孔排放,设计将气体输送管与排气孔相连,采用负压吸气法,利用高压风机形成的负压,将废气直接输送至两相生物处理装置进行处理。

两相生物处理装置将传统生物滤池内部分为酸性相反应区 and 中性相反应区,每个反应区控制不同的运行条件,内部填充填料,填料湿含量自动控制,方便不同类型的高效微生物在其上生长。运行时废气从两相生物处理设备底部进入,营养液定时由泵运送到设备顶部的喷淋装置,在填料上方喷淋,废气自下而上地移动,与水接触,从气相转移到液相,被填料表面的活性微生物捕获、吸收,化为微生物生命活动的能源和营养物质,被生化降解,转化为无害物质。两相生物处理装置具体工艺设计和运行参数见表 3。

表 3 两相生物处理装置设计和运行参数

参数	酸性相反应区	中性相反应区
长×宽/m	5.0×4.0	5.0×4.0
填充填料	聚氨酯	聚氨酯
填料高度/m	2.0	2.0

续表

参数	酸性相反应区	中性相反应区
有效填充体积/ m^3	0.6	0.6
气体停留时间/s	12	12
pH	4.0~6.0	7.0~8.0
填料湿含量/%	40~60	40~60

3.2.2 脱色和提取废气

针对氨基酸脱色和提取废气温度高、气体组成复杂,其中既含酸性又含碱性污染物的特点,在氨基酸脱色和提取车间,设计将气体输送管分别与脱色罐和母液罐的观察孔、排气孔相连,利用高压风机对脱色和提取废气进行负压收集,收集的废气采用“碱洗+酸洗喷淋”组合工艺进行处理。具体工艺流程如图2。

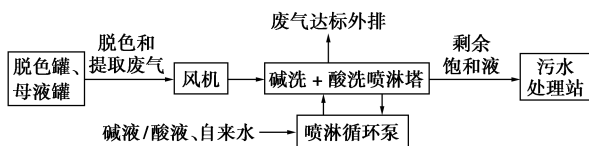


图2 脱色和提取废气处理工艺流程

废气自下向上通过喷淋塔,氨等碱性物质与自上向下均匀喷洒在填料表面的1%的HCl溶液不断接触、传质,发生中和反应而被去除;有机酸和硫化氢等酸性物质则被喷淋装置雾化的15%的NaOH溶液吸收,转化为中性或弱碱性物质而去除,净化后的气体经过除雾装置去除水分后排放。吸收液自喷淋塔底部排出,再经循环喷淋泵打回贮液箱进行循环使用直至浓度达2%~3%时再更换。

“碱洗+酸洗喷淋”系统主体工艺为多级填料净化塔,由塔体、贮液箱、填料、喷淋头、除雾装置、填料支撑层、循环泵和风机组成,气体停留时间为3~6 s。具体工艺参数见表4。

表4 脱色和提取废气处理工艺参数

项目	数值	备注
设计流量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	15000	—
气体停留时间/s	3~6	—
塔内气流速度/ $(m \cdot s^{-1})$	1.8	—
塔体直径/m	1.6	—
塔高/m	10	—
塔主体材料	玻璃钢	防腐材料
风机全压/Pa	2300~1800	数量×1
风机功率/kW	30	
喷淋泵流量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	50	数量×2
喷淋泵功率/kW	5.5	数量×1

“碱洗+酸洗喷淋”工艺分别采用碱液和酸液作为喷淋介质,能够较好地去除脱色和提取废气中的各种酸性和碱性污染物物质,去除率高,工艺简单,操作和维护方便。

3.2.3 板框压滤废气

板框压滤工艺产生的废气主要来自于板框压滤机工作过程,因而设计将板框压滤机封闭,利用集气罩进行负压收集后送入“洗涤-生物”组合处理装置进行处理,工艺流程如图3。

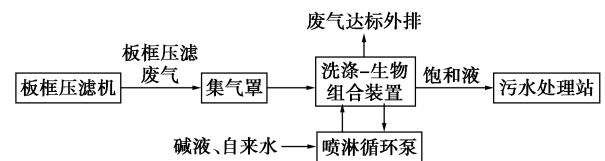


图3 板框压滤废气处理工艺流程

“洗涤-生物”组合处理装置内部分为喷淋区、第一生物反应区和第二生物反应区3部分。废气首先进入喷淋区,氨气等碱性物质与作为酸性介质的1%的HCl溶液充分接触反应后被去除,紧接着进入第一生物反应区,该区装填有耐酸的惰性填料,填料湿含量和营养液pH自动控制,其中生长的嗜酸性细菌和真菌与废气中大部分的污染物接触、降解,未能被嗜酸细菌和真菌降解的少部分污染物和降解中间产物进入第二生物反应区被中性异养微生物继续降解,最后得到无害的终产物,净化的气体经排气筒排放。

本“洗涤-生物”组合处理工艺集物化和生物处理为一体,具有废气净化效率高、工艺运行稳定、运行与维护简单等特点,具体工艺参数如表5。

表5 洗涤-生物组合工艺参数

参数	喷淋区	第一生物反应区	第二生物反应区
设计流量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$		12500	
喷淋泵流量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	50	50	50
喷淋泵功率/kW	4	4	4
填料	沸石	沸石	聚氨酯
pH	—	2.5~4	7~8
填料湿含量/%	—	40~60	40~60
气体停留时间/s		20~35	
装置主体材料		玻璃钢	
组合装置尺寸/m		4.8×4.0×6.0	

3.2.4 蛋白烘干废气

针对蛋白烘干废气高温、高粉尘的特点,将整个

烘干车间封闭,进行集中换气,换气次数取 15 次/h,废气输送至“文丘里洗涤+碱洗+电除雾+低温等离子”组合工艺处理。相关运行参数如表 6。

表 6 文丘里洗涤和低温等离子体工艺参数

设备/工艺	项目	数值	备注
文丘里洗涤	设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	60000	—
	液气比/($\text{L} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.6	—
	气体停留时间/s	3~6	—
	压力降/Pa	2200	—
	风机全压/Pa	2 815~1 969	—
	风压功率/kW	45	—
	材质	不锈钢	—
低温等离子体	设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	30000	数量×2
	尺寸/mm	1800×1150×1700	—
	电场数量/个	18/4200 W	—

废气首先进入文丘里洗涤塔,气体降温,同时粉尘被水湿润,尘粒与液滴或尘粒之间发生激烈碰撞和凝聚,使颗粒增大而被去除^[12]。碱液经喷淋、雾化成微小液滴,与自下而上移动的废气充分接触,拦截颗粒物和吸收易溶污染物。之后进入电除雾装置,利用阴阳两极之间形成的强大电场,使雾滴荷电,并在电场力的作用下聚集到阳极板上,去除颗粒物或液滴。之后,废气进入低温等离子体反应区,利用高能电子的作用,将带电粒子或分子的化学键打断,空气中的水和氧气产生的羟基自由基、活性氧等强氧化性物质与污染物分子发生反应而被去除^[13]。

“文丘里洗涤+碱洗+电除雾+低温等离子”组合工艺采用洗涤和低温等离子体的协同作用,污染物净化效率高,对废气去除率达 90% 以上,工艺简单,管理、操作及维修方便,操作弹性大,具有较好的除雾性能。

3.3 处理效果

在工程稳定运行后,经当地环保部门监测,现场各工序废气处理系统运行稳定,处理后的各项指标满足《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)中要求的排放标准值,说明该废气处理工程的实施对于该厂排放的废气控制起到很好的作用。

4 结论

(1)氨基酸发酵厂产生的废气气量大、分布不均匀、扩散空间多样且组成复杂,发酵、脱色和提取、

板框压滤和蛋白烘干不同工序产生的废气组分和浓度存在较大差异。

(2)该氨基酸发酵厂废气进行全过程处理,其中发酵、脱色和提取、板框压滤和蛋白烘干工序废气分别选择两相生物处理、酸碱喷淋、洗涤-生物和文丘里-碱洗电除雾-低温等离子组合工艺。

(3)各工序废气处理系统运行稳定,处理后的气体浓度符合《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)规定的相应标准值。

参考文献

- [1] 房俊楠,雷娟,许力山,等.微生物发酵生产 γ -聚谷氨酸研究进展[J].应用与环境生物学报,2018,24(5):1041-1049.
- [2] 董智敏.某氨基酸生产企业废气改造治理工程[D].杭州:浙江大学,2016.
- [3] 李天乐,张帆,王浩.生物发酵行业废气治理现状[J].资源节约与环保,2016,(9):219-220.
- [4] D'Este M, Alvaradomoraes M, Angelidaki I. Amino acids production focusing on fermentation technologies—A review[J]. Biotechnology Advances, 2018, 36(1): 14-25.
- [5] Hadlocon L J S, Soboyejo A B O, Zhao L Y, et al. Statistical modelling of ammonia absorption in an acid spray scrubber [J]. Biosystems Engineering, 2015, 132: 88-95.
- [6] Groenestijn J W V, Kraakman N J R. Recent developments in biological waste gas purification in Europe [J]. Chemical Engineering Journal, 2005, 113(2/3): 85-91.
- [7] 刘超,廖雷,彭娟,等.挥发性有机废气生物处理技术研究进展[J].环境工程,2016,34(4):95-99.
- [8] 刘建伟,马文林,赵玉柱,等.两段生物滤池处理城市污水厂恶臭气体中试研究[J].环境工程学报,2011,5(8):1825-1830.
- [9] 刘建伟,段粹.组合式生物反应器处理多组分恶臭气体性能[J].科学技术与工程,2017,17(34):154-158.
- [10] Dobslaw D, Ortlinghaus O, Dobslaw C. A combined process of non-thermal plasma and a low-cost mineral adsorber for VOC removal and odor abatement in emissions of organic waste treatment plants [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018, 6(2): 2281-2289.
- [11] Stasiulaitiene I, Martuzevicius D, Abromaitis V, et al. Comparative life cycle assessment of plasma-based and traditional exhaust gas treatment technologies [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 1804-1812.
- [12] Ahmed S, Mohsin H, Qureshi K, et al. Investigation of dust particle removal efficiency of Self-priming venturi scrubber using computational fluid dynamics [J]. Nuclear Engineering and Technology, 2018, 50(5): 665-672.
- [13] Karupiah J, Reddy E L, Reddy P M K, et al. Abatement of mixture of volatile organic compounds (VOCs) in a catalytic non-thermal plasma reactor [J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 237/238(6): 283-289. ■