

文章编号:1674-6139(2025)05-0011-04

高校实验室三废治理方式探索与实践研究

方洁¹, 翟慕源¹, 龚飞², 张纪文³, 徐遵主³

(1. 南京大学环境规划设计研究院集团股份有限公司 江苏省空气污染治理工程研究中心, 江苏 南京 210093;
2. 南通市海门生态环境监测站, 江苏 南通 226199; 3. 南大恩洁优环境技术(江苏)股份有限公司, 江苏 南京 210093)

摘要:随着高等教育的快速发展,高校实验室产生的实验废气、实验废水和实验固废等三废的量越来越多,目前相关管理要求还不够完善,不足以指导实践,整体上实验室三废管理水平相对比较薄弱,会给周边环境、师生健康和科研高质量发展带来一定负面影响。实验室三废具有复杂性和不确定性,治理难度较大,需要制定行之有效的治理对策。对实验室的三废来源进行了系统归纳总结,对三废治理的现状进行了充分调研分析,有针对性的提出了三废治理对策,希望为高校实验室管理人员提供一定借鉴。

关键词:高校实验室;实验废气;实验废水;实验固废;三废

中图分类号:X511

文献标志码:A

Exploration and Practice on Treatment of “Three Wastes” in University Laboratories

Fang Jie¹, Zhai Muyuan¹, Gong Fei², Zhang Jiwen³, Xu Zunzhu³

(1. Jiangsu Air Pollution Treatment Engineering & Research Center, Academy of Environmental Planning & Design Co., Ltd., Nanjing University, Nanjing 210093, China;
2. Nantong Haimen Ecological Environment Monitoring Station, Nantong 226199, China;
3. Nanjing University Enjie Environmental Technology(Jiangsu) Co., Ltd., Nanjing 210093, China)

Abstract: With the rapid development of higher education, the amount of “three wastes” of experimental exhaust gas, experimental wastewater, and experimental solid waste, generated by university laboratories is increasing. Imperfect management requirements are not enough to guide practice. Overall, the management level of “three wastes” in laboratories is relatively weak, which will have a certain negative impact on the surrounding environment, the health of teachers and students, and the high-quality development of scientific research. The “three wastes” in laboratories are complex and uncertain, making it difficult to handle. So it is necessary to formulate effective governance measures. The sources of “three wastes” in laboratory was summarized, the current situation of “three wastes” treatment was investigated and analyzed, and then targeted countermeasures for “three wastes” treatment were proposed, hoping to provide some reference for laboratory management personnel in universities.

Key words: university laboratories; experimental exhaust gas; experimental wastewater; experimental solid waste; three wastes

前言

高校实验室实验过程中会大量使用多种化学试剂,不可避免会产生实验废气、实验废水和实验

固废等三废。教育部和生态环境部等管理部门针对三废提出了相应管控要求,如2005年联合发布的《关于加强高等学校实验室排污管理的通知》,要求高校实验室要提高排污管理工作的认识,将高校实验室排污纳入环境监督管理范围。但整体上高校实验室的三废管控仍处于相对粗犷的水平,目前尚无有效的政策法规文件和标准体系进行指导^[1],同时实验室管理人员受管理理念、经费

收稿日期:2025-02-09

基金项目:江苏省生态环境科研项目(2023009)

作者简介:方洁(1989-),女,硕士,中级工程师,研究方向:污染检测与防治。

通信作者:徐遵主

预算、知识储备等条件制约,高校实验室三废治理已逐渐成为制约高校科研高质量发展的重要因素之一。高校实验室三废的有效治理,是保证师生身体健康、周边环境质量改善^[2]、实验室规范化管理的重要保障。

1 高校实验室三废来源分析

高校实验具备不可预见性的典型科学研究特征,使用的化学试剂和材料种类繁多、实验操作形式多样,这也导致了实验室废气、废水和固废具有复杂性和不确定性。

1.1 高校实验室废气来源分析

高校实验室废气主要产生于易挥发的化学试剂,包括易挥发有机溶剂和易挥发无机试剂,易挥发有机溶剂常见有烃类、酯类、醇类、酮类、醛类、醚类等,易挥发无机试剂常见有盐酸、硝酸等。

高校实验室一般易挥发有机溶剂用量远大于无机试剂,易挥发有机溶剂使用过程中约10%~20%会挥发至气相变成挥发性有机废气(VOCs),高校VOCs排放强度约为 $2.84\text{ t/a}^{[3]}$,易挥发无机试剂排放强度约为有机溶剂的10%~15%。

高校实验具有不可预见性,排放的废气组分复杂、源强波动大,虽然一般具有低浓度大风量的特征,但总体排放量不容忽视,尤其是实验集中时段。

1.2 高校实验室废水来源分析

高校实验室废水主要来自于实验过程中的废弃化学试剂和含少量试剂的配液或清洗废水,包括无机类的酸碱溶液、盐溶液和有机废水。

废弃化学试剂属于高浓废水,常作危险废物收集委外处置,一般一个学院年产生量为 $1\sim 5\text{ t}^{[4]}$;配液或前道清洗废水一般浓度较高,需要处置后才能接管排放;后道清洗废水一般浓度较低,可以直接达到接管标准。

实验室废水组分和浓度波动性也较大,具有波动性、瞬时性和不确定性,与具体实验类别有关。

1.3 高校实验室固废来源分析

高校实验室固废主要来自于实验过程中产生的丧失原有价值或者废弃的固态、半固态物质,包括实验样品、沾染有机或无机试剂的废弃包装、容器以及实验耗材等。

高校实验室固废产生量大,其中具有易燃性、腐蚀性、毒性、感染性或者反应性的危险废物占比高,一般综合性高校年危险废物产生量为 $30\sim 120\text{ t}^{[5]}$ 。固废储存或处置不当会通过不同途径影响周边环境和人体健康^[6],有害物质排入地下会造成水质污染,沾染物质飘入空气会造成大气污染。

固废储存或处置过程往往伴生有废气和废水,整体安全风险高,管理难度大。

2 高校实验室三废治理现状

国内双一流类高校,以及京津冀、长三角、珠三角等地区高校,由于经费相对充足,高校实验室三废治理较为完善,有系统的管理制度。但绝大多数高校的三废治理仍不理想,属于粗放式管理模式。

2.1 高校实验室废气治理现状

实验室废气点源分散,废气难以做到分质收集处理,一般涉及大量废气产生的实验操作,会在排风柜中进行;收集的有机废气一般通过吸附法处理,无机废气通过吸收法处理^[6-8]。

高校废气收集主要存在以下问题:(1)已拆分存放易挥发试剂的试剂瓶散落放置,未设废气收集措施;(2)部分产生废气的实验操作和仪器设备未在排风柜中进行,未设废气收集措施;(3)存放易挥发试剂的试剂柜和危化品柜未设废气收集措施等。

高校废气处理主要存在以下问题:(1)收集废气未经处理直接排出室外;(2)废气处理工艺选定不合理,设计不规范,吸附剂和吸收剂装填量不足;(3)废气处理装置未有效运行,耗材未及时更换导致处理系统无效运行等。

2.2 高校实验室废水治理现状

高校实验室废水中的高浓废水,目前一般桶装就近放置,定期集中转运至学校固定存放位置。

高校废水收集治理主要存在以下问题:(1)有机高浓废液和无机高浓废液未有效分质收集;(2)废液未有效密闭存储,存储场所未规范建设,现场跑冒滴漏严重,异味明显;(3)配液和前道清洗废水未集中收集处理,未达接管标准直接排入市政管网。

2.3 高校实验室固废治理现状

高校实验室固废一般就近放置于垃圾桶中,定期外运。

高校固废收集治理主要存在以下问题:(1)实验废弃物与生活垃圾混放;(2)沾染化学试剂的废弃包装、容器以及实验耗材等敞开放置,现场异味明显;(3)危废与普通固废未分类收集,危废未建设专用贮存场所。

3 高校实验室三废治理对策

高校实验室产生的废气、废水和固废,对人体健康和环境安全均存在一定的风险,在条件许可的情况下,宜合理配置资源,将分散污染源集中管理,采用共享式实验、节约式处置的模式^[9],降低三废治理系统的管理难度,节约投资运行费用。同时学校应明确三废治理的责任部门和责任人,预留充足经费,制定相应管理政策和实施细则,完善相关台账,确保三废得到有效治理。

3.1 高校实验室废气治理对策

根据具体实验操作和易挥发试剂的使用情况,选用合适的废气收集方式,如排风柜、排风罩和带排风的试剂柜等。

废气产生量大的实验操作宜集中于排风柜中,排风操作口平均面风速应大于 0.4 m/s ,排风柜排出的废气应有效处置后由室外排气筒排放;针对污染物程度较低的场合也可以采用无管道自净式通风柜,自净式通风柜应装有过滤或吸附装置。

无法在排风柜中进行的实验操作应设置排风罩,排风罩常见形式有万向罩和原子吸收罩,排风罩开口面最远处废气无组织排放位置控制风速应大于 0.3 m/s 。

已拆分和待用易挥发试剂应入柜存放,并设置废气收集措施,单个点位废气收集风量不低于 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 。

存放易挥发试剂的试剂库以及危化品库,应设废气收集措施,换气次数不低于 6 次/h 。

有机废气和无机废气在条件允许的情况下,宜分质收集处理。

有机废气可采用吸附法进行处理,废气在吸附装置中停留时间应大于 0.3 s ,不带原位再生功能的吸附剂更换周期不应超过6个月,颗粒炭吸附剂气体流速应小于 0.6 m/s 、碘值应大于 800 mg/g 、四氯化碳吸附率应大于 50% ,蜂窝炭吸附剂气体流速应小于 1.2 m/s 、碘值应大于 650 mg/g 、四氯化碳吸附率应大于 35% ,纤维炭吸附剂气体流速应小于 0.15 m/s 、比表面积应大于 $1\ 100\text{ m}^2/\text{g}$ 。

无机废气可采用酸性废气吸附剂或者吸收法进行处理,酸性废气吸附剂对盐酸雾的吸附容量应大于 400 mg/g ,更换周期不应超过1年;吸收装置空塔气速应大于 2 m/s ,停留时间应大于 2 s 。

废气治理系统应妥善运维,及时足量更换吸附剂、添加化学药剂,确保处理系统有效运行。

3.2 高校实验室废水治理对策

实验室废水应分类收集,高浓废液和高毒废液应密闭存储,定期委托有资质的第三方处置;中浓的配液、前道清洗废水和三废处理设施运行过程中产生的废水,应通过固定管线集中收集,处理达标后接管。

在分类收集的基础上,建议按照含卤有机废水、其它有机废水、含贵金属废水、酸碱性无机废水、其它含盐无机废水和生物类废水进行分质收集,便于第三方或者校内处置。无机酸碱废液,优先进行酸

碱中和预处理后再行处置。

实验室高浓废液和高毒废液存储容器应张贴醒目标签,下方放置防漏托盘,并明确物质种类、性质和存储量,实验室高浓废液转运至危废仓库时间不

宜超过一周。

针对中浓废水,应根据废水源强、水量和波动性等特点,选用适宜处理技术,高校实验室常用废水组合工艺见表 1。

表 1 高校实验室常用废水组合工艺

处理技术	优点	缺点	去除效率(%)			
			COD	NH ₃ -N	TN	TP
芬顿氧化 + 絮凝沉淀	有机物去除效率高	污泥多,成本高,工艺较不稳定	65 ~ 70	60 ~ 70	60 ~ 70	75 ~ 80
生化 + MBR 膜处理	占地面积小、出水水质稳定,操作方便	造价高、能耗高、膜需作为危废处理	85 ~ 95	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90
三相三维电解 + 气浮 + 水解酸化 + 接触氧化 + 消毒	操作简单,占地面积小,易于控制,可深度去除微生物	部分物质去除效率低,运维成本高	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90	85 ~ 95
A/O 法 + 沉淀	流程简单,建设和运行费用较低	难降解物质的降解率较低	60 ~ 70	65 ~ 75	65 ~ 75	70 ~ 80
A ² /O 法 + 沉淀	有机物和氨氮的去除率高、有机物和氨氮的去除率高	运行成本高、维护难度大	60 ~ 70	65 ~ 75	65 ~ 75	70 ~ 80

3.3 高校实验室固废治理对策

实验废弃物应与生活垃圾分开放置,单独及时转运。

试剂瓶用完后应确保化学试剂无残留,妥善集中封口放置,避免破碎;针对需回收的试剂瓶应集中清洗,清洗废液需进入集中废水处理设施处理达标后接管排放。

沾染化学试剂的废弃包装和实验耗材等应采用固定容器加盖封口,密闭存放,固定容器内部体积不应大于 1 m³,无法装入常用容器的危险废物可用防漏胶袋盛装。

化学药剂应按规范领用,提前规划,现配现用,减少化学药剂的浪费。

实验室固废中的危废应与高浓废液和高毒废液集中就近存放于危废仓库,应根据反应特性分区放置;危废仓库内部面积不应大于 30 m²,高度不应大于 3 m;危废仓库应按照标准化建设,做好防渗漏和泄漏液体收集措施及安全防护措施。

贮存危险废物应根据危险废物的类别、形态、物理化学性质和污染防治要求进行分类贮存,且应避免危险废物与不相容的物质或材料接触。

危险废物贮存过程产生的液态废物和固体废物应分类收集,按环境管理要求妥善处理;贮存过程产生的废气应收集后排至废气处理系统;危废仓库内应设有废气收集处理措施,换气次数不低于 6 次/小时。

4 结束语

高校实验室存在大量实验废气、废水和固废等三废排放,目前高校三废管控水平相对比较薄弱,缺乏相关的标准规范体系支撑,三废的有效治理已成为制约高校科研高质量发展的因素之一。实验室三废具有复杂性和不确定性,需要实验室管理人员充分了解实验室三废产生来源、危害和收集治理方法,合理配置资源,明确治理方式,确保实验室三废得到妥善治理,才能为高校科研发展和师生身体健康保驾护航。

(下转第 30 页)

区,可选择生态消纳模式;对于居住分散、污水产生量小的农村地区,则可采用分散就地利用模式。通过因地制宜、科学规划,推动农村生活污水资源化利用工作取得更大成效。

参考文献:

- [1]王萌萌.肥城市农村生活污水治理及资源化利用模式研究[D].泰安:山东农业大学,2023.
- [2]张恒熙,聂正鑫,刘燕青,等.模块化生物滤池-人工湿地对农村生活污水的处理[J].环境工程学报,2024,18(3):686-695.
- [3]吴广祥.华南农村生活污水治理资源化利用技术工程

适用性及推广应用[J].环境工程学报,2024,18(1):280-285.

[4]赵锋涛,祝婕,张洁,等.新疆高寒干旱地区农村生活污水治理及资源化利用对策研究[J].新疆环境保护,2023,45(4):9-16.

[5]白凌婷,徐嘉辉,谢小军.乡村振兴背景下农村生态环境污染治理的不足与对策[J].农业经济,2023(8):34-37.

[6]王磊,周璐瑶,胡静博,等.再生水灌溉对稻田重金属分布的影响[J].排灌机械工程学报,2022,40(8):842-849.

[7]张丹丹,郑向群,李厚禹,等.含盐农村生活污水灌溉对土壤微生物的影响[J].环境科学研究,2022,35(8):1873-1884.

(上接第14页)

参考文献:

- [1]冯之冲,张悦,庄英萍,等.融入绿色工程教育助力实验室“三废”无害化处理[J].实验室研究与探索,2021,40(3):301-304.
- [2]陈浩,曹磊,高飞,等.西安市南郊夏季臭氧生成潜势与VOCs来源研究[J].环境科学与管理,2021,46(3):48-52.
- [3]张纪文,徐遵主,金小贤,等.江苏省实验室废气排放水平及控制对策[J].实验室研究与探索,2023,42(2):306-309.
- [4]付丹.高校化学实验废水处理方法研究进展[J].四

川化工,2023,26(3):57-60.

[5]郑悦雯.高校化学实验室危险废物安全管理探讨[J].化工生产与技术,2023,29(5):29-32.

[6]郝素华.化学实验室危险废物规范化管理初探[J].云南化工,2021,48(8):171-173.

[7]易斌,徐遵主,张纪文.高校实验室废气处理技术探讨及展望[J].实验技术与管理,2022,39(9):246-249.

[8]戴春岭,梁华,王博,等.VOCs治理技术分析及其研究进展[J].环境科学与管理,2022,47(1):84-88.

[9]阮接际,刘杰.高校实验室共享式废气污染控制模式探讨[J].实验技术与管理,2023,40(1):216-220.