

高校实验室废液处置现状分析与对策研究

白向玉¹, 袁玲^{2*}, 王涵铎³, 李超¹, 雷灵琰¹, 蒋家超¹, 王丽萍¹, 郝雄飞⁴

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116; 2. 中国矿业大学化工学院, 徐州 221116;
3. 中国矿业大学安全工程学院, 徐州 221116; 4. 中国矿业大学实验室与设备管理处, 徐州 221116)

摘要: 随着新时期国家科研与教学的需要, 高校实验室中化学品种类逐渐增多, 实验室废液处理受到越来越多人们的关注, 不恰当的处理方式会给周围的环境甚至人们的健康生活带来危害。文章结合当前实验室废液处理所存在的废液源头管理不足、废液过程管理不规范、废液处置渠道不畅通等问题, 将三种常见实验室废液处置途径进行比较, 借鉴国外高校废液处置的先进经验, 针对性地提出要明确主体责任, 加强源头管理、强化规范意识, 通过过程管理、多方协同, 疏通废弃物等途径来实现实验室废液的可行、易行, 合法、合规排放。

关键词: 实验室废液; 高校实验室; 废液处置途径; 废液处理对策

Analysis and countermeasure research on the current situation of waste liquid disposal in university laboratory

BAI Xiang-Yu¹, YUAN Ling^{2*}, WANG Han-Duo³, LI Chao¹, LEI Ling-Yan¹, JIANG Jia-Chao¹,
WANG Li-Ping¹, HAO Xiong-Fei⁴

(1. School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
2. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
3. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 4. Office of
Laboratory and Equipment Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: With the needs of national scientific research and teaching in the new era, the types of chemicals in university laboratories are gradually increasing, and the treatment of laboratory waste liquid has attracted more and more people's attention. Improper treatment methods will bring harm to the surrounding environment and even people's healthy life. Article combined with the existing laboratory waste liquid source management is not standard, waste liquid disposal channel is not open, compare three common laboratory waste liquid disposal way, draw lessons from the advanced experience of foreign university waste liquid disposal, it is pointed out that it is necessary to clarify the main responsibility, strengthen source management, strengthen specification consciousness, through process management, multilateral coordination, dredge waste disposal way to achieve laboratory waste liquid feasible, easy, legal, compliance emissions.

KEY WORDS: laboratory waste liquid; university laboratory; waste liquid disposal method; waste liquid disposal countermeasure

基金项目: 江苏省高等教育教改重中之重研究课题 (2023JSJG027); 中国矿业大学教学学术重大课题 (2022ZDKT05); 中国矿业大学体育、美育与劳育专项一般课题 (2023ZX75); 中国矿业大学宣传思想文化发展培育项目 (2024)

Fund: Jiangsu Province Higher Education Reform Priority Research Project (2023JSJG027); China University of Mining and Technology (2022ZDKT05); General Project of Sports, Aesthetic Education and Labor Education, China University of Mining and Technology (2023ZX75); China University of Mining and Technology Propaganda Ideological and Cultural Development Cultivation Project (2024)

* 通信作者: 袁玲, 博士, 高级实验师, 研究方向为实验室安全和创新实验开发。E-mail: yuanling_1984@163.com

* **Corresponding author:** YUAN Ling, Ph.D, Senior Experimentalist, School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China. E-mail: yuanling_1984@163.com

0 引言

随着我国高等教育事业的发展及高校科技创新能力的提升,实验室“三废”排放及其污染问题日益凸显,已直接影响到师生的人身安全。实验室废液是典型的“三废”之一,已被列入国家危险废物名录,具有成分复杂、浓度较高、稳定性低等特点,若处理不当,不仅会腐蚀下水管道等设备,更会对环境及生态系统造成严重破坏。

2021年,国务院发布了《强化危险废物监管和利用处置能力改革实施方案》,为高校实验室废液的监管体制机制、源头管控、过程监管、风险防控等提供了法律依据和基本遵循。然而,我国大部分高校因受到管理理念、处置经费以及硬件设备等条件的约束^[1],仅仅只是在管理体制方面对实验室废液进行督促和检查工作,废液“减量化、资源化、无害化”措施不足,很难满足高校实验室环境安全与污染防治的需求,严重制约了高校教学、科研事业的可持续发展。

本研究结合当前实验室废液处理所存在的一系列问题,将三种常见实验室废液处置途径进行比较,借鉴国外高校废液处理处置的先进经验,针对性地提出可供参考与借鉴的废液处置对策建议,以为高校实验室废液的合理处置提供一定的指导。

1 高校实验室废液产生及处置现状

1.1 废液产生现状

目前,我国高校教学、科研实验室总量较大,高校实验室废液的产量逐年增加。实验室废液产生量与高校的教学规模、学科种类、科研水平等因素高度相关,据教育部近年来对部属高校实验室安全管理情况,综合性高校年产废液量大约为50~400吨。

实验室废液按污染程度可分为高浓度实验室废液和低浓度

实验室废液。高浓度实验室废液主要成分为液态的失效试剂(废液洗、废有机溶剂等)、液态的实验废弃产物或中间产物(如各种有机溶剂、离心液、液体副产物等)以及各种洗涤液(产物或中间产物的高浓度洗涤液、仪器或器皿的润洗液和高浓度的洗涤液等^[2])。低浓度实验室废液一般包括对实验器皿和实验产物进行清洗的洗涤废水,以及冷却和加热排水等^[3]。

当前,高校实验室废液主要分为无机废液、有机废液和重金属废液。无机废液主要包括氰化物、卤素离子、酸碱废水和其他无机废水等。有机废液主要包括有机溶剂、有机酸、醚类、表面活性剂、有机磷化合物、酚类、表面洗涤剂和油脂类等,有些还含有剧毒的物质,如农药、黄曲霉毒素、亚硝酸胺等。重金属废液的成分以各类、各形态的重金属为主,如含汞废液、含铬废液等^[4]。一般而言,由于学生废液分类意识淡薄和实验项目的需要,很难将废液按上述分类进行严格区分,实验室中大多为多种无机物、有机物或重金属的混合废液。某高校各类废液平均收集量和主要水质特征如表1所示。

1.2 处置方式

发达国家对实验室废液的排放有一套较为完整的管理方法,包括废液排放申请登记、废液中污染物成分检定、废液的分类和收集、排放口的定期监测、突发事故的应急对策及补救措施等。在国(境)外地区有关废弃物处理的法律中,对于废弃物的处理主要包含两点基本原则:一是“排出者责任”原则,二是“原点处理”原则^[5]。“原点处理”原则是指要尽量在废弃物产生的源头就近对其进行处理。对于不同种类的废液,许多国家和地区的高校环保中心对其处理或处置的方法有所不同,但基本上都是在环保中心进行处理,当环保中心无法处理时委托校外有资质的专业公司进行最终处置。

表1 某高校实验室废液平均收集量和水质特征

Table 1 Average collection amount and water quality characteristics of waste liquid in a university laboratory

废液类别	无机废液	有机废液	重金属废液
收集量(周平均值)	0.5 m ³	1.5 m ³	0.1 m ³
主要水质指标(年平均值)	pH: 1~12 COD _{Cr} : 1000 mg/L	pH: 3.4 COD _{Cr} : 25500 mg/L NH ₃ -N: 150 mg/L TP: 69 mg/L SS: 1100 mg/L	pH: 5.6 Zn ²⁺ : 97 mg/L Pb ²⁺ : 34 mg/L Cu ²⁺ : 78 mg/L

与高等教育发展及科研水平的提升相对应,国内高校实验室废液处置方式经历了由无序随意到重视管理的变化历程^[6],概括而言就是从开始的随意稀释排放→在实验室进行简易处理→自建小型处理装置→外送有资质的危废处置公司→依托建立的实验实训平台进行处理等多种方式。

(1) 稀释排放

20世纪中叶特别是改革开放以前,我国高校数量还不是很多,学科门类尚不齐全,教学和科研实验数量较少,高校教师、实验技术人员以及参与化学实验的学生大多缺乏环保意识,国家和地方政府的相关职能部门对高校实验室化学废液排放缺乏有效的监管和具体指导,许多实验室的规章制度建设也不完善,缺乏完备的处理设施,最终导致师生随意倾倒化学废液,直排或稀释排放现象较为普遍。

(2) 自行简易处理

21世纪以来,随着国家环保法规逐步建立健全,实验室“三废”污染防治也受到了更多的重视,国内许多学者对实验室废液的减少排放、收集、处理等进行了很多探索,并取得了较好的效果。高校实验室传统的自行处理化学废液的方法如下^[7]:

①含酸碱废液的处理:常用混合中和法处理;②含金属离子废液碱液:常用沉淀法、螯合沉淀法、硫化物沉淀法、沉淀法等方法去除;③含砷、汞、氰化物(极毒)及含卤废液的处理:采用共沉淀法除去含砷废液,用硫化法、金属还原法除去含汞废液,用双氧水氧化法除去含氰化物废液;④有机类废液:实验后的同类有机溶剂回收后,利用其沸点的差异,经过重新蒸馏或分馏提纯后可以回收使用。将废液与活性污泥混合并加以曝气处理,利用污泥中的细菌氧化有机废液。

上述实验室废液处理技术具有一定的局限性,适用范围窄,只有针对特定有害成分的实验废液处理才有效。

(3) 自建小型处理装置

实验室废液种类虽多,但水量不大,如果每个实验室对每次产生的废液分别处理,在设备、人力、时间等方面都可能存在困难。所以,各实验室可根据废液类型,将其贮存在规定的容器中,然后定期收集,统一处理。

小型处理装置对高浓度有机废液处理效果不佳,焚烧装置虽很好地解决了高浓度有机废液处置问题,但不符合环保部门规定,难以在校园内建设。此外,小型处理装置还面临环评、审批、

监管等问题, 实施困难较大。

(4) 外送有资质的危废处置公司

近年来, 高校实验室开始将无法自行处理或处理起来费时费力的高毒害废液交给有资质的废弃物处置公司处理^[8]。高校有关部门挑选地方政府批准成立的有资质的化学废弃物回收处置机构, 再到高校所在地的环保厅(局)和专业处置机构所在地的环保厅(局)办理废弃物处理相关手续, 做好处理的前期工作。

废液具体处置流程如图 1 所示, 包括分类收集、运输集中、暂存、转运及最终处置。高校负责分类收集与暂存, 确保安全贮存; 处置公司负责转运与最终处置, 确保废液彻底处理。全程需严格标签管理, 提供必要废液信息, 确保各环节无缝衔接, 消除安全隐患。

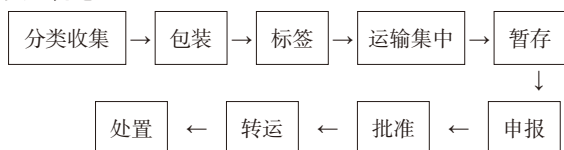


图 1 有资质的危废处置公司处理流程

Fig.1 Qualified hazardous waste disposal company processing process

但是, 由于政府部门批准的有资质的废弃物处理公司较少且分布不均, 导致废液处理费用较高, 特别是《危险化学品目录》中列为剧毒的或超过其剧毒化学品判定界限的废液, 其处理成本和收费更高。因此, 将化学废液全部交给有资质的公司处理不太现实, 探索思考废液处理的新技术、新装置势在必行。

(5) 依托实验实训平台处理

依托实验实训平台处理实验室废液是一种创新的教学模式与环保实践。该平台不仅为学生提供了实践操作的机会, 还实现了实验室废水的有效治理与资源化利用。通过分类收集、预处理、物化处理和生化处理等多个环节, 该平台能够满足复杂处理需求, 确保废水处理效果达标。

2 高校实验室废液处置存在的问题

高校作为科学研究的重要参与行业, 承担了 60% 以上的科技创新工作。当前, 随着社会科学和跨学科研究的发展, 化学与新材料的研究成为重要的前沿领域, 实验室液体废弃物成为无法避免的难题, 废弃物的处置在一定程度上制约了高校教学与科研的发展。

2.1 液体废弃物源头管理有待进一步加强

当前, 大部分高校已经出台了实验室危险废物处置办法, 明确了管理职责, 提出了分类、收集、暂存、处置要求, 取得了一定成效。但因环境保护具有后效性, 对行为人的影响不会即时暴露, 导致部分师生环保意识不强, 废液分类不清, 违规排放废液现象时有发生。同时, 部分高校在产废环节对液体废弃物减量化、无害化和资源化的处置要求执行不到位, 未按要求纳入监管体系, 仍存在制度不完善、安全教育不到位、废液底数不清、危险特性不明等问题。

2.2 液体废弃物过程管理有待进一步规范

部分高校实验室对液体废弃物的种类、数量、危险特性、存放要求等情况不了解, 导致液体废弃物混放、标识不明、存放方式不规范、贮存条件不足等问题^[9]。

2.3 液体废弃物处置渠道不畅通

目前高校实验室液体废弃物处置方式可大致分为企业处置和依托高校实训平台自建液体废弃物处理装置^[10]。

国内有废液处置(特别是多品种、混合型废液处置)资质的企业总量偏少, 各地企业数量和综合处置能力分布不均衡, 废液跨省处置渠道不畅通、跨地市处置渠道也是理论可行实际困难^[11], 部分地区处置废液要长途运输 1000 公里以上, 增加了额外的隐患。由此造成废液处理价格垄断(处理价格多数在 15~20 元/公斤, 有多地 80~100 元/公斤, 甚至有地方 300 元/公斤), 服务质量不高, 以致高校危险液体废物处置周期长、滞存严重、特殊类型的危险废物无法处置(如汞废液只有贵州可以处理), 导致高校想要处置实验废液, 也愿意出钱, 但没有途径。

高校依托实训平台自建液体废弃物处理装置^[12], 尚处于研究探索和试运行阶段, 虽已有成效, 但在技术论证和成果推广方面缺少国家与地方环保部门的政策支持, 工作推进存在一定的难度。

3 高校实验室废液处置的对策建议

实验室废液污染问题虽已引起广泛关注, 但在处理方法上却远没有达成共识。如何有效地减少废液排放以及对其进行系统分类并实现稳定处理达标排放是一项值得研究的重要课题, 也已成为高校及科研机构实验室安全管理的热点问题。

3.1 明确主体责任, 加强源头管理

高校应加强实验室废液的基础信息管理, 根据相关法律法规并对照环评审批文件, 摸清废液产生的种类、数量、危险特性、包装方式、贮存设施等情况, 按照环保部门要求纳入监管体系。同时, 要加强源头分类管理, 按照《实验室废弃化学品收集技术规范》(GB/T 31190—2014)^[13]、《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597—2001)^[14]等国家有关要求做好源头分类工作。

3.2 强化规范意识, 加强过程管理

高校应划定专门的空间场所, 配置专业的暂存设备, 规范张贴分类标识, 根据液体废弃物属性进行科学分类存储, 校、院、系、所要出台相应的暂存管理办法, 对实验室液体废弃物的产生、回收、暂存、处置进行严格要求。

3.3 多方协同, 疏通废液处置途径

教育主管部门应协同多部门规范高校液体废弃物处理各环节, 政府应投入经费扶持环保公司, 提供废液处理条件。环境部门应进行技术指导, 鼓励高校购置废液处置设备。同时, 加大科技投入, 选取试点高校与环保企业, 力求在废液处理技术上取得突破。

高校在面对实验室废液处理问题时, 应根据实际情况灵活选择策略。在条件允许的情况下, 可委托有资质机构外送处理; 而在条件不足或废液量大且费用高时, 建议自建综合处理装置, 利用学科优势减少社会负担, 同时节省费用。这种自建装置不仅促进了实验与教学的有机结合, 还强化了学生的环保意识和综合实践能力。此外, 为确保废液处理合规合法, 需制定明确的实施标准, 并加强对处理设施的监督与管理, 通过长期监测与定期检测, 确保废液能够长期稳定并达标排放。这些措施对于高校新工科建设及实践教学质量的提升具有重要意义。就综合效益而言, 建设依托实验实训平台的处理装置来处理实验室废液的方案虽然首次投入资金较多, 但建成之后, 后期运行管理、维护、维修费用相较其他方案较低。对目前较常用的三种处置途径比较如表 2 所示。

长远来看, “建设依托实验实训平台的处理装置处理废液方案”的总费用将远低于“外送有资质的废弃物处理公司”。因此, 就安全性、易操作性、便捷性、优缺点等方面进行综合分析, 建设依托实验实训平台的实验室废液处理装置优势较为明显。

表2 实验室废液不同处置途径比较
Table 2 Comparison of different disposal ways of laboratory waste liquid

废液处置途径	优点	缺点	费用
实验室简易处理	(1) 依托实验室现有条件就地完成明确成分的废液处理; (2) 大多处理方法较简单易行、高效实用且节约大量资金; (3) 增强师生的环保意识, 践行环保行为。	(1) 生产组织难, 在人力和时间等方面可能有困难; (2) 对高毒害或处理起来费时费力的废液很难实施; (3) 使用范围窄, 只针对特定有害成分有效且无法完成最终处置。	自行处理废液时所需的药品试剂、玻璃仪器及其他材料物品等的消耗费用总和。
外送有资质的危险废物处置公司	较为便捷, 分批直接投入资金运行处理即可。	(1) 有资质的处理公司较少; (2) 转移报批手续复杂、批复时间长、运输费用高; (3) 暂存废液存在安全隐患; (4) 已收集的废液可能存在处理不及时问题。	(1) 费用大, 分批次按废液的分类等级和废液量付费(一般 1~5 元/千克, 毒害类 30~80 元/千克, 剧毒类 500~1000 元/千克) (2) 不同地区与资质的公司定价不尽相同。
依托实验实训平台的处理装置	(1) 为相关专业学生提供实验、实习及实践教学平台; (2) 免去环保局等部门办理手续的人力和时间花费; (3) 具有很好的社会、环境效益; (4) 经济效益显著, 2~3 年可收回投资。	(1) 首次投入资金较多, 建设周期相对较长(土建施工、安装调试、人员操作培训等约 2~3 个月); (2) 需专人管理; (3) 需制定严格的管理制度。	(1) 一次性投入约 300 万元(项目管理费、设备等); (2) 电费、药剂费(与运行状况、废液种类及废液量相关)、管理人员劳务费等, 约 15 万元; (3) 后期维护及维修费用(与设备运行状况有关)。

4 结束语

当前高校实验室“三废”的排放及其污染问题日渐严峻, 已经影响到了实验师生的人身健康安全与生态环境保护。本文通过分析目前高校实验室的废液产生情况与废液处置方式的变化历程, 以及其在产废、暂存与处置三个阶段存在的问题, 提出了可供参考与借鉴的废液处置对策建议, 并得出“建设依托实验实训平台的实验室废液处理装置”进行处理的方案较优。但是, 要想真正实现实验室废液安全管理这一重要环节, 除了需要有关部门加大投入和加强管理外, 更重要的是每位实验工作者和管理者增强环保意识, 切实做好废液处置工作, 并呼吁管理部门根据现阶段各高校的实践基础, 借鉴国(境)外高校先进经验, 尽快制定具有良好操作性与可行性的实验室废液处置管理办法。

参考文献

- [1] 田静, 胡艳丽, 张海军, 等. 环境监测实验室废液处理存在的问题及对策[J]. 绿色科技, 2015, (12): 210-211.
- [2] 孟玉兰, 宋学志. 高校化学化工实验室废液管理及治理[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(06): 157-160.
- [3] 李艳辉. 环境监测实验室“废液”的科学处置探讨[J]. 绿色环保建材, 2021, (07): 27-28.
- [4] DHENKULA PS, SHENDE DA, DESHPANDE L, *et al.* An overview of heavy metals treatment & management for laboratory waste liquid (LWL) [J]. J Environ Chem Eng, 2024, 12(04): 113-165.
- [5] 李培峰, 高先池, 刘春颖. 基于绿色化学的有机化学实验室废弃物的原点处理[J]. 大学化学, 2022, 37(02): 127-130.
- [6] 周骥平, 张键, 徐钟林, 等. 高校实验室环境污染治理的理论技术与应用思考[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(07): 267-272.
- [7] 李春, 田军, 丁立军, 等. 高校实验室化学废液处理方法的比较研究[J]. 中国现代教育装备, 2018, (23): 26-29.
- [8] 娄阳. 高校化学实验室“三废”排放收集及处理方法[J]. 化

工管理, 2021, (29): 51-52.

- [9] 张青青, 杜骁, 何征. 高校实验室废液信息化管理系统的设计及应用[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(01): 298-302.
- [10] 张惠芹, 周骥平, 何朝龙, 等. 高校实验室环境污染防治工作规范体系的研究[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(01): 272-274, 280.
- [11] 周骥平, 张键, 何朝龙, 等. 综合性大学实验室“三废”治理探讨[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(06): 216-220.
- [12] 周骥平, 张键, 李跃, 等. 高校实验室废液处理自动化控制学术进展[C]//中国机械工程学会机械自动化分会&中国自动化学会制造技术专委会学术工作进展报告 2017. 扬州大学实验室环保与智能装备研究所, 扬州天辉实验室装备环保工程有限公司, 2017: 50-51.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 实验室废弃化学品收集技术规范: GB/T 31190—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [14] 中华人民共和国生态环境部. 危险废物贮存污染控制标准: GB 18597—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

作者简介



白向玉, 博士, 高级实验师, 研究方向为实验室安全与环保。



袁玲, 博士, 高级实验师, 研究方向为实验室安全和创新实验开发。