



文章栏目：“绿色实验室建设”特邀专稿

DOI 10.12030/j.cjee.202008017

中图分类号 X703

文献标识码 A

毛振钢, 李超杰, 周苑松, 等. 绿色实验室环境安全体系构建: 以实验室废液、废水安全管理为例[J]. 环境工程学报, 2020, 14(11): 2924-2929.

MAO Zhengang, LI Chaojie, ZHOU Yuansong, et al. Construction of environmental safety system for green labs: Examples using safety management practices for laboratory waste liquid and wastewater[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(11): 2924-2929.

绿色实验室环境安全体系构建: 以实验室废液、 废水安全管理为例

毛振钢^{1,*}, 李超杰², 周苑松³, 苗时雨⁴

1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

2. 中国科学院科技创新发展中心, 北京 100190

3. 北京市生态环境局, 北京 100048

4. 清华大学环境学院, 水质与水生态研究中心, 北京 100084

第一作者: 毛振钢(1983—), 男, 硕士, 工程师。研究方向: 实验室危险废液处理。E-mail: zgmao@rcees.ac.cn

*通信作者

摘要 我国高等院校和科研院所实验室产生的危险废弃物日益增加, 对环境的影响不容忽视。为解决目前存在的实验室危险废弃物管理制度不健全、落实不到位, 产废量与处理能力矛盾日益凸显以及实验危险废弃物对环境的影响未得到妥善解决等问题, 在分析和整理部分国家先进管理经验的基础上, 以实验室废液、废水安全管理为例, 提出了构建合理的实验室环境安全体系, 开展实验室废液减量化、降危化研究以及加强实验室废水回用研究和应用的对策和建议, 为形成资源节约型、环境友好型的绿色实验室提供参考。

关键词 绿色实验室; 实验室危险废弃物; 环境安全体系; 达标排放

党的十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央将科技创新摆在国家发展全局的核心位置。我国科技事业迎来前所未有的重大历史机遇。2018年, 我国研究与试验发展(research and development, R&D)经费支出占国内生产总值(GDP)的比例达2.18%, 超过欧盟15国的平均水平, 投入总量居世界第2位^[1]。随着高校、科研院所研究人员和科研任务的持续增加, 实验室产生的废液、废水、废气亦与日俱增, 其对环境的影响也不容忽视。如果实验室废弃物不能得到有效处置, 将会给生态环境、人民群众的生活及社会带来极大的安全隐患和负面影响。若对产废源头进行减量化、降危化处理, 并将废弃物进行妥善处置、合理分类及资源化利用、充分循环, 从而构建“绿色实验室”环境安全体系, 则将带来显著的环境效益、社会效益和经济效益。

实验室产生的危险废液, 作为一类特殊的液态废物, 已被列入《国家危险废物名录》^[2]。由于其特有的性质, 一旦处理措施欠妥, 则将对人群健康和生态环境带来巨大隐患。实验室废液中污染物成分复杂且浓度高, 往往具有腐蚀性、毒性及易燃性等危险特性, 不同组分的检测、化学行

收稿日期: 2020-08-07; 录用日期: 2020-08-18

基金项目: 中国科学院安全隐患整改及应急保障专项

为、去除机制等相关研究均有较高难度。实验室排出的废水同样值得高度关注。我国很多高校和科研院所的实验室受到场地、经费等多方面因素限制，没有独立排水系统或专业的污水处理设备，其直接排入市政污水管网后，将对土壤、空气、水环境等均造成长期的负面影响。

本文讨论实验室环境安全体系的构建，着眼于实验室产生的废液、废水的安全管理，在分析部分国家先进管理经验的基础上，梳理了我国高校、科研院所实验室产生的危险废弃物及目前存在的问题，提出了开展实验室废液减量化、降危化研究和加强实验室废水回用研究及应用的策略，以期为我国建设资源节约型、环境友好型的“绿色实验室”提供参考。

1 我国实验室危险废液、废水安全管理存在的问题

1) 制度不完善或落实不到位，实验废弃物未能规范处置。我国针对实验室危险废弃物、废水等的污染防治规范、标准、指南尚不完善，不能完全指导实验人员、实验室管理者解决实际工作中遇到的诸多问题。科研单位普遍缺乏专职、专业管理人员和管理机构，从标准化、规范化角度安全管理实验室危险废弃物，不能及时指导实验人员按规定分类、处置实验室产生的废弃物。

按照国家和地方相关要求，高校和科研院所正在积极完善实验室在危废管理方面的制度，但具体落实和责任体系尚存在差异。有的单位虽然制订了相关规章制度，但并未结合实际制订细则，缺乏可操作性，致使制度落实不到位。对实验人员没有统一的管理标准，特别是对学生、一线实验人员缺乏培训，监督责任落实不到位，只能靠个人的理解，导致执行程度不一致。部分环保意识较差的实验人员，直接将废液随意放置、不按属性分类，甚至存在直接倒入下水道或垃圾桶的现象。

2) 废液产量持续增加，处置费用日益剧增。在日常科研工作中，实验室产生的危险废弃物具有数量大、种类多、成分复杂等特点。这些废液主要为有机溶剂、重金属-有机废液和废酸/废碱。

依据《国家危险废物名录》和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，实验室产生的危险废弃物主要由具有 HW49(研究、开发和教学活动中，化学和生物实验室产生的废物)和 HW03(生产、销售及使用过程中产生的失效、变质、不合格、淘汰、伪劣的药物和药品)等危险废物经营许可资质的公司收置处理。目前，各产废单位产生的危险废液均由有资质的第三方机构收集、处置。随着科研任务的增加，废液产生量也持续增加，部分高校产生量和处置费用已经大幅提高^[3]。

危险废液处置公司多采用焚烧或水泥窑协同的方式处置。然而，实验室产生的含重金属(如 Hg、Cr 等)、含砷危险废液处置难度大、成本高，无法使用焚烧法处理，导致危废处置公司收取高昂的清运费，甚至拒绝清运此类废液。

3) 处置单位清运不及时，产废单位安全隐患大。近年来，随着我国对科研工作支持力度的增大，高校和科研院所研究任务持续增多。与此同时，实验室使用的试剂、药品数量和种类不断增加，实验室废弃物成分复杂、处理难度大，给生态环境造成的影响日渐凸显。

虽然各产废单位极力疏解存量，但未来一段时期仍然存在产废量与处理能力不相适应的矛盾。以北京市为例，在京高校、科研院所众多，但目前可以处理实验室危险废液(HW49)的企业数量极少。同时，受到首都产业结构调整等诸多因素影响，处置单位处理废液的能力受到限制，经常不能及时处置。以上原因导致产废单位危废清运不及时，实验室和危废库房长期大量存放，极大地增加了安全隐患。

4) 实验室废水未得到有效处理，对环境有潜在不良影响。部分高校和科研院所没有设置单独的实验室排水管道，或没有安装实验室废水处理设施，实验室排出的废水未经处理及检测，即与生活污水混合后直接排入市政污水管道。这种现象常存在于较早建设的园区，在新建园区也未能

到重视。通过对部分科研院所出水口的检测,一类污染物(总汞、总砷、总镉、总铅、总铬等)重要指标均有不同程度超标。

2 部分国家实验室环境安全体系

2.1 美国实验室环境安全管理

美国高校和科研院所通常会设置环境健康与安全管理部门,这些部门人员通常提供环境、卫生健康、安全等方面的服务。由化学、生物学、卫生及安全相关专家组成,可以做到权责明确、责任到人,相关工作可以高效运行。美国的高校和科研院所对实验室废弃物处置主要遵循美国环境保护署(USEPA)的相关文件,对实验室废弃物的全生命周期都有相关规定进行指导和约束,规定的内容具有较强的实际操作性及指导性。研究人员可以按照相关规定,将废弃物送到回收地点或直接在实验室被处置,每一步都有明确具体的、切实可行的要求^[4]。

《资源保持和恢复法案》(Resource Conservation and Recovery Act, RCEA)为管理各类废弃物提供了框架性的依据,提出了“从摇篮到坟墓”理念。废弃物的产生部门有责任对其进行合理处置,从产生到处置进行全程监管,对废弃物的分类、存放、清运、处置等都有明确的要求。同时,也给予各研究机构依据实际情况决策的权利,允许其根据要求,选择合理有效的废弃物处置方法,鼓励实验室之间合理再利用化学废弃物,从而减少排放总量。

2.2 荷兰实验室环境安全管理

荷兰很多大学设有健康安全可持续部门^[5],为研究人员提供生命健康、安全和可持续发展等方面的服务,同时也提供辐射、转基因、环境安全问题的建议和指导。荷兰高校中的后勤部门负责普通废弃物的回收,设备管理部门负责危险废弃物和仪器的回收。荷兰大学、研究机构的实验室废弃物管理遵循欧盟颁布的法规《废弃物指令》(Waste Directive, 2008/98/EC)和《危险废弃物指令》(the Hazardous Waste Directive, 91/689/EEC)。

2.3 日本实验室环境安全管理

日本的高校、研究机构依据本国环境保护相关法律制定适合机构自身的实验室废弃物管理制度^[6]。日本的相关法律主要指《废弃物管理和清扫法》。该法规对废弃物的分类、保管、收集、搬运、申报、处罚等均进行了较为详细的规定。日本有关废弃物处理的规定中,主要有“排出者责任”和“原点处理”两项基本原则。“排出者责任”原则是指废弃物的排出者对废弃物的产生、收集、搬运、处置均担负相应的责任;“原点处理”原则即对产生废弃物的源头进行有效处理。

日本高校大多设置了管理环境事务的机构,称为“环境保护中心”(后简称“环保中心”)。环保中心与各类研究所、管理部门平行设置,其管理委员由各院系的教授和准教授兼任。环保中心的职责主要包括4项:制定废弃物分类收集、搬运、处理的准则;对收集至环保中心的废液进行处理;对校内排放污水进行分析和检测;开展环境保护工作宣传、培训等相关工作。

日本高校对校内排水系统的管理非常重视。实验室排水系统与生活污水系统是相互独立的。实验室废水须经过处理、检测,符合排放标准后方可排放。高校的环保中心会承担不同种类的废液处理或处置。大部分废液尽量在环保中心处理,无法处理的废液则委托第三方有资质专业公司处理。

3 绿色实验室环境安全体系的构建对策与建议

1) 细化管理制度,完善管理流程。高校和科研院所等产废单位应按照国家、主管部门的要求,结合自身实际,制订行之有效的规章制度,并加以督促落实。对相关人员开展安全、环保等方面的培训。借鉴先进管理经验,成立专门负责实验室环境、健康和安全的机构,负责督促实验人员对各项规章制度的落实情况,并协调专业从事实验室危险废物、废液、废水无害化处置机构。

根据《北京市危险废物污染环境防治条例》^[7]要求，北京市危险废物污染环境防治坚持预防为主、源头减量、全过程控制和污染担责的原则。任何单位和个人都应当采取措施，减少危险废物的产生量，降低危险废物的危害性。设立实验室的企业、学校、科研机构及其他相关单位应当建立健全实验室产生的危险废物管理制度，加强对危险废物的管理，依法收集、贮存、运输、利用、处置实验室危险废物，将危险废物处置费用纳入教学活动、科研项目预算，明确负责实验室危险废物管理的机构或者人员。实验室应当建立危险废物管理台账，危险废物管理人员应当定期对贮存设施、场所进行检查。同时，鼓励和支持危险废物污染环境防治科学技术的研究和应用，引导公众积极参与危险废物污染环境防治，使经济社会发展与环境保护相协调。

2) 开展实验室废液降危减量化研究，实现“原点处理”。目前，高校、研究所、企业等各类产废单位的废液处置主要委托具有相关运营资质的企业收集、处置，而没有自建设施、设备进行处理，主要包括政策和技术等 2 方面原因。一是政策尚未完全明确。对于自行对本单位产生的危险废物进行处置和利用的政策尚未完全明确。生态环境部关于《危险废物经营许可证管理办法(修订草案)(征求意见稿)》^[8](以下简称《办法》)目前仍处于征求意见阶段。《办法》中允许产生危险废物的单位在其厂区(场所)内，自行或者委托第三方专业机构对本单位产生的危险废物进行利用或者处置。二是技术实现难度较大。实验室废液处理相对于废水处理其对工艺技术要求较高，还没有可市场化、产业化、安全性高的服务机构提供相关技术服务。特别是工业强酸、强碱等苛刻废液的检测、处理仍存在技术瓶颈，如果不经过处理直接排放，将严重危害生态环境和人员健康。

坚持“节约资源和保护环境”作为我国的一项基本国策，倡导社会形成绿色发展方式和生活方式。对危废降危化、减量化、资源化处理，是构建资源节约型社会的一项举措。自“十三五全国危险废物规范化管理督查考核工作方案”实施以来，围绕危险废液规范化管理的措施陆续出台，科学、合理、有效的废液处置技术是各项政策法规顺利执行的重要保证。开展危废减量化、无害化处理，进而实现资源回收利用，将废液中的有价值组分进行资源化回收，同时实现废液的回用，既有利于减少废液处理成本，又能降低对生态环境的潜在风险及危害，是对“无废城市”^[9]建设理念的有效探索。亟需通过实验室危险废液处置的关键技术突破和创新，促进废液处置技术的研究向着构建资源节约型社会的目标发展，并为建设“美丽中国”和“无废城市”提供技术保障。

我国部分研究机构已开展废液降危化、减量化技术研究和处理设施的研制。中国科学院生态环境研究中心提出“分类预处理+二级处理+末端吸附”的废液降危减量化处理思路，研制了“实验室废液处置与达标排放一体化设备”，危险废液减量效果明显^[10]；扬州大学结合实际情况初步构建一套较为完善的实验室废液处置体系^[11]；南开大学为了鼓励实验室教师自行解决处理好实验室产生的危险废物，成功研制了可放置于实验室的废液处理装置^[12]。

3) 加强科研单位园区废水处理，实现再生水循环利用。对实验室排水系统进行改造或在园区设置有效的集中处理和检测装置非常重要。通过研发小型化、独立、高效的废水处置设备，可以补充已建成实验室在废水处理方面的不足。例如，有的高校和科研院所缺少独立的排水系统，或者有独立排水系统但装置不足以满足市政排污需求，可以应用处置设备对实验室废水进行处理，处理后作为再生水用于园区绿化，对水资源保护、节约都有很重要的价值，从而产生一定的社会效益和经济效益。

4) 提倡安全、绿色、节约的科研文化。实验室经常会产生有害废物或污染物。有数据显示，全球范围内的实验室每年会产生 5.5×10^9 kg 的塑料垃圾^[13]，实验室产生的化学污染和生物污染给生态环境承载能力造成极大负担。与普通办公室相比，单位面积的实验室要多消耗 10 倍的能量和至少 4 倍的水。在日常实验过程中，要提高节约意识，如尽可能使用玻璃器皿、充分利用塑料制品；关掉非工作状态仪器；经常对实验室进行整理；建立仪器设备共享体系等。

4 结语

在我国高校和科研院所建设绿色实验室具有重要意义。“绿色实验室”不只是节能、环保、安全的概念,而且完全可以通过技术手段将这一概念量化。实验室废液、废水安全管理产生的环境效益、社会效益、经济效益正是将“绿色实验室”这一概念量化的具体体现。绿色实验室与“无废城市”“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念一致,是建设“美丽中国”的有效实践。

参考文献

- [1] 国家统计局. 2018年全国科技经费投入统计公报 [EB/OL]. [2020-08-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rdpcgb/qgkjffrtjgb/201908/t20190830_1694754.html.
- [2] 环境保护部. 国家危险废物名录 [EB/OL]. [2020-08-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bl/201606/t20160621_354852.htm.
- [3] 彭华松, 刘闯, 张青青, 等. 实验室危化品废液“减量化”管理的思考与建议[J]. 化学世界, 2018, 59(10): 692-696.
- [4] 彭实, 邢晓星, 吴良莉. 美国一些高校实验室废弃物管理概况[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(5): 151-152.
- [5] 蒋晗, 方结红, 李红亮, 等. 荷兰高校实验室废弃物分类收集处理的研究及启示[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(2): 246-250.
- [6] 彭实, 沈立娜, 吴良莉. 日本高校化学废液管理及启示[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(6): 165-167.
- [7] 北京市生态环境局. 北京市危险废物污染环境防治条例 [EB/OL]. [2020-08-01]. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/flfg77/10818161/index.html>.
- [8] 环境保护部. 危险废物经营许可证管理办法(修订草案)(征求意见稿) [EB/OL]. [2020-08-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201712/t20171229_428922.htm.
- [9] 杜祥琬, 刘晓龙, 葛琴, 等. 通过“无废城市”试点推动固体废物资源化利用, 建设“无废社会”战略初探[J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 119-123.
- [10] 苗时雨, 毛振钢, 刘锐平, 等. 实验室废液降危减量化处理工艺与工程案例[J]. 环境工程学报, 2020, 14(7): 1944-1949.
- [11] 张键, 周骥平, 周俊, 等. 高校实验室废液处置体系的初步建构[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(8): 232-235.
- [12] 彭实. 关于一些高校实验室废液管理现状的调研报告[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(2): 153-157.
- [13] BENJAMIN S. Leading by example: Going green in the lab[2019-06-03][J/OL]. [2020-08-01]. Physics World.. <https://physicsworld.com/a/leading-by-example-going-green-in-the-lab/>.

(本文编辑: 张利田, 靳炜)

Construction of environmental safety system for green labs: Examples using safety management practices for laboratory waste liquid and wastewater

MAO Zhengang^{1,*}, LI Chaojie², ZHOU Yuansong³, MIAO Shiyu⁴

1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2. Science and Technology Innovation and Development Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

3. Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau, Beijing 100048, China

4. Center for Water and Ecology, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

*Corresponding author, E-mail: zgmao@rcees.ac.cn

Abstract The hazardous waste generated by laboratories of universities and research institutes in China is increasing rapidly, and the impact on the environment cannot be ignored. The existing laboratory hazardous waste management system is not well established and implemented. There is a growing discrepancy between the volume of waste produced and the waste processing capacity. Also, the impact of experimental hazardous waste on the environment has not been properly resolved. To address these problems, we stress the need to build a reasonable environmental safety system for labs. Based on reviews of the state-of-the-art practices of laboratory waste management in some countries, this paper proposes countermeasures and suggestions on establishing the corresponding system in China using laboratory waste liquid and wastewater as examples, e.g. reduction of hazardous waste liquid production and toxicity and enhancement of research and application of reused laboratory wastewater. This paper provides reference for developing resource-saving and environment-friendly green labs.

Keywords green lab; laboratory hazardous waste; environmental safety system; standard compliant emissions