

# 生物危害废水处理技术与设备的优化选择研究

王冠军 谢思桃

【关键词】生物危害废水 生物安全实验室 实验废水 生产废水 热处理设备

【摘要】根据调查研究和欧美考察情况,对国内外生物危害废水处理技术与设备进行了全面介绍,并就具有生物危害的生物安全实验室实验废水、疫苗和生物制品生产废水的处理技术与设备优化选择,进行了研究与探讨。

A study of biohazard wastewater treatment technology and facility selection/WANG Guanjun, XIE Siyao//Chinese Hospitals.-2006,10(10):9-12

【Key words】biohazard wastewater, bio-safety lab, experiment wastewater, produce wastewater, heat treatment facility

【Abstract】Based on the survey and review of European and American conditions, the biohazard wastewater treatment technology and facilities at home and broad were introduced. The treatment technology and facilities selection of lab biohazard wastewater and biologic wastewater were discussed.

Author's address: Architectural Design and Research Institute of the General Logistics Department of P.L.A, No.22, Taiping Road, Haidian District, Beijing, 100036, PRC

2003年SARS爆发流行以来,不少科研单位、高等院校、卫生、农牧、出入境检验检疫部门都已经建设或计划建设生物安全实验室。目前已建成的三级生物安全实验室已达30多家,而且还有大量在建或拟建项目,高等级的四级生物安全实验室也已开始建设;另一方面,疫苗和生物制品发展迅速,生产企业逐渐增多。

生物安全实验室是以生物安全为核心的生物安全防护系统,是进行涉及具有传染或潜在传染性生物因子实验活动的场所,主要应用于微生物学、生物医学、动物实验、基因重组和生物制品等相关的实验。这类实验室有别于其他

类型实验室的很重要一点是它的高危险性,必须同时提供对人员、实验过程以及环境的保护。生物安全实验室主要依据病原微生物危害程度和采取的安全防护水平进行分级(见表1)。

实验或生产中,必然产生含大量细菌、病毒、毒素等病原微生物和其他未知危害的生物因子的废水(简称生物危害废水),此类废水若直接排入市政排水管网或自然环境,将危害公共卫生、环境安全与人群健康,引起疾病的感染和爆发流行。所以必须进行无害化处理后方可排放。事实上,三、四级生物安全实验室,由于其实验对象具有某种未知性和不确定性,相比疫

苗和生物制品生产风险更大。对此,国外<sup>[1,2]</sup>及国家标准《实验室生物安全通用要求》(GB 19489—2004)和《生物安全实验室建筑技术规范》(GB 50346-2004)都明确要求“三级、四级生物安全实验室半污染区和污染区的排水,应通过专门的管道收集至独立的装置中进行消毒灭菌处理”。

## 1 国内外生物危害废水处理考察情况

SARS之后,CDC建设在全国普遍展开,中国CDC在昌平的集中建设,其对环境的影响,尤其是污水排放问

表1 生物安全实验室的分级

分级	危害程度	处理对象
一级	低个体危害,低群体危害	对人体、动植物或环境危害较低,不具有对健康成人、动植物致病的致病因子。
二级	中等个体危害,有限群体危害	对人体、动植物或环境具有中等危害或具有潜在危险的致病因子,对健康成人、动植物和环境不会造成严重危害。有有效的预防和治疗措施。
三级	高个体危害,低群体危害	对人体、动植物或环境具有高度危险性,通过直接接触或气溶胶使人传染上严重的甚至是致命疾病,或对动植物和环境具有高度危害的致病因子。通常有预防和治疗措施。
四级	高个体危害,高群体危害	对人体、动植物或环境具有高度危险性,通过气溶胶途径传播或传播途径不明,或未知的、高度危险的致病因子。没有预防和治疗措施。

王冠军 谢思桃:总后勤部建筑设计研究院,100036 北京市海淀区太平路22号



题,北京市领导和当地干群很是担心,此事引起国务院领导的高度重视,指示要采用先进技术与控制措施,确保污水安全排放,万无一失。

2004年10月25日,受中国CDC的委托,我们着手开始对CDC及生物安全实验室污废水处理技术与设备进行了调研与论证,并于2005年2月27日在中国CDC四层会议室,组织召开了中国疾病预防控制中心一期工程实验废水处理系统论证会。

会议先后听取了关于实验废水处理项目背景、防治思路、技术路线等情况的说明,关于水质排放标准确定情况的说明及美国、法国、西班牙、德国等相关专业公司对实验废水处理技术方案的介绍。会议对水质排放标准进行了论证,并根据到会公司提供的资料 and 介绍,从技术、设备、成本、需求满足程度等方面进行了评议,初步认为西班牙和法国的加热处理技术基本符合实验废水预处理技术路线,建议进一步深入了解和考察。

为此,中国疾病预防控制中心专门组成了由生物安全专家、污水处理专家及有关部门领导参加的考察团,于2005年6月25日至7月5日赴法国和西班牙进行了实地考察。另一方面,为全面了解当前国外相关技术设备,又组织了有关专家与领导,于2006年1月5日至16日赴美国进行了生物安全实验废水处理技术与设备的考察。

### 1.1 我国目前生物安全实验室废水处理情况调查

SARS之前,我国三级生物安全实验室数量很少,四级是空白,其废水处理一般均采取先一起收集于污水桶内,然后与其他实验物品一起放入高压灭菌锅内消毒灭菌进而排放。SARS之后生物安全实验室建设普遍展开,但其产生的生物危害废水处理未得到应有重视,据调查,大多采用向贮罐投加化学药剂或直接通蒸汽蒸煮的方法进行

消毒灭菌,与此同时,中国CDC和武汉病毒研究所等单位对其建设的三、四级生物安全实验室废水处理高度重视,并着手积极引进国外先进技术与设备。

事实上,对于现在新建的生物安全实验室,无论从用水量还是用水点来说,都较我国以往的实验室多,传统的方法要经常换收集桶很不方便,加上收集桶不是封闭的,倘若泄漏,将污染整个实验室,对于人员及其实验物品造成污染和危害,实验室的安全系数大大降低。而采用化学药剂法和向贮罐直接通蒸汽蒸煮的方法,尚处于手工操作水平,安全可靠性不高,且存在二次污染和一定的安全隐患。从掌握的情况来看,国内外差距较大,针对具有或潜在具有生物危害废水的高温消毒灭菌技术与设备国内还是空白。

### 1.2 欧美生物安全实验室废水处理技术与设备考察情况

1.2.1 普遍采用物理高温加热灭菌。对生物危害废水进行消毒灭菌过去常采用投加消毒剂的方法,由于一些病菌抗药性的增强及一些不明情况的病菌的不断出现,使得化学法消毒灭菌的安全可靠性逐渐降低,加上化学法操作麻烦,易造成二次污染和影响后续的生化处理工艺进程,在国外,已逐步被物理加热法所替代,事实上,加热法消毒灭菌是欧美等国相关标准规范明确要求的作法,相应的废水热处理设备业已专业化、系列化,热源也不局限于蒸汽加热,如电加热,闪蒸式蒸汽加热等,其发展趋势是提高温度,增加安全可靠性,确保环境安全和人群健康的同时,减少能量消耗,简化工艺,便于运行维护。

1.2.2 设备安全可靠,专业化、自动化水平高。欧美卫生、农业、军事研究机构的生物安全实验室废水处理逐步趋于专业化,根据考察和收集整理的信息与资料,目前欧美等国都有相应的

专业处理公司,这些专业公司,大多数是根据业主或咨询公司提出的性能要求,将相关领域的技术、设备引入,并在实践中逐步形成了相应的专业化热处理设备,其主要特点是:

(1)设备均采用不锈钢。如与废水直接接触的采用316L,非接触部分采用304L。

(2)灭菌温度和时间可在一定范围内自行调节设定。灭菌温度一般采用121 1小时或134 30分钟,根据需要也可调节至150 。

(3)控制系统先进、操作简单可视。目前欧美此类设备的控制系统基本上均采用西门子控制系统,有单个罐的监测与控制,也有总的集中监测与控制,还有远程监测与控制。

(4)冷却系统各有特色。如夹套式冷却、后置冷却装置及自然冷却等。

(5)加热方式以套筒式加热为主,盘管式也有应用。套筒式:壁较厚,清洗方便,对水质要求较宽,已使用100多年,较为经典;盘管式:壁薄,效率高,但人工清洗不便,水质差时可能穿孔,不如套筒式安全。

(6)热源:蒸汽、电或重油等其他燃料。

(7)运行方式:序批式(间歇、分批处理)、连续式。

(8)事故与应急:均或多或少考虑了事故、检修时的应急处理措施。

1.2.3 集中收集、批次处理为主流,连续式适应大水量、分散就地处理为补充。目前,欧美生物危害废水基本上都通过管道收集汇流后,集中处理灭菌,处理过程基本上采用序批式处理。与此同时,随着形势的发展和实际需要,针对疫苗和生物制品生产需要,法国和芬兰开发出了适合大水量的盘管式连续式废水灭菌系统;针对个别生物安全实验室用水点数目少,用水点过于分散的情况,德国研究开发出了与用水器具整合在一起的冲洗废水灭菌器。但在美国考察期间,我们见到的和

美国公司介绍的情况来看,美国新建的三级、四级生物安全实验室,均采用蒸汽加热、序批式处理,即便水量很大的情况下也是如此。

## 2 生物危害废水处理技术与设备的优化选择

### 2.1 生物危害废水处理常用的技术方法

生物危害废水处理常用的技术方法,是物理处理法中的热力消毒灭菌和化学处理法中的化学药剂消毒灭菌。

热力消毒灭菌法就是通过处理设备的加热使废水温度升高,达到或超过某些有害微生物存活温度的最高极限,从而杀死它们,以确保排出废水的安全。其原理是高温对微生物具有明显的致死作用,用高温处理微生物时,可对菌体蛋白质、核酸、酶系统等产生直接破坏作用,热力可使蛋白质中的氢键破坏使之变性和凝固,使双股DNA分开为单股,受热而活化的核酸酶使单股的DNA断裂,导致菌体死亡。

化学药剂消毒灭菌法比较传统,就是利用各种化学药剂对废水中的有害微生物进行杀菌消毒处理,目前常用的消毒工艺有臭氧消毒、氯消毒、次氯酸钠消毒、二氧化氯消毒、甲醛消毒、碱消毒等,每种方法各有千秋,灭活效果也各不相同。在选择消毒剂时应考虑,杀灭病原体的效果、控制和监测的难易、剩余消毒剂的有无、对水质感官性状的影响、消毒剂及其副产物对人体健康的影响、预防和消除的可能性以及经济和技术上的可行性等方面的因素。

热力消毒灭菌具有效果可靠、性能稳定、对自然环境无污染、操作使用方便且易于控制的优点,而化学药剂消毒灭菌,种类多、选择面大、初投资省、投加方便,但消毒灭菌效果受微生物种类、数量、浓度、作用时间、温度、酸碱度等因素影响较大,安全可靠

性相对较差,且对环境可能造成二次污染。

### 2.2 生物危害废水热处理设备

2.2.1 序批式废水热处理设备。物理高温加热灭菌(热源可根据需要采用蒸汽、电或重油),将生物安全实验室排放的含有病源性微生物的废水在消毒灭活罐内加热到150℃,罐内的压力保持在5Bar,并保持20~30分钟(可根据具体情况进行调整),可保证完全将废水中的病源性微生物灭活,废水经冷却后排放。系统的工作方式为序批式,冷却方式为夹套式。



图1 序批式废水热处理设备

2.2.2 连续式废水热处理设备。物理高温加热灭菌,采用单管连续加热保温方式对生物实验废水进行高温处理,温度可达150℃或更高,额定温度为134℃,保持18分钟(或更长),然后流经单管道热交换器与待处理废水进行热量交换,以降低已处理废水温度,同时预热待处理废水温度(可达到100℃)。



图2 连续式废水热处理设备

2.2.3 废水灭菌器。冲洗废水灭菌器,用于安全实验室P3/P4的废水加热消毒,采用电加热,在温度为134℃条件下连续消毒10分钟,有效容积,60L;触屏式控制;完全洗手站,配有不锈钢

盆和热水;通过冷却夹套快速冷却废水,使出水温度降到65℃后排放。



图3 废水灭菌器

### 2.3 生物危害废水热处理设备选用需考虑主要因素

生物危害废水选用的热处理设备,应安全可靠,技术先进、自动化程度高,环保卫生,便于运行维护管理,具体来说应综合考虑下列因素:

2.3.1 温度:温度是保证彻底消灭各种病毒、病原体最关键因素。温度一般采用121℃,134℃等,由于现在已发现耐热达到此温度的病菌,故新近发展的热处理技术设备温度已能达到150℃或更高。

灭菌温度对微生物的热死作用服从湿热学的Arrhenius速率定律,即灭菌的反应速率常数k可表示为

$$k = A \exp(-E/RT)$$

式中T——绝对温度, K

R——气体常数, 8.314J/(mol·K)

E——活化能,活化能的变化取决于微生物死亡过程蛋白质的不可逆转反应的性质,一般E为250~290kJ/mol。

A——系数。

2.3.2 接触时间:一定的接触时间,是消毒灭菌效果的重要保证,接触时间可根据需要调整,是技术设备先进性的标志之一。

理论上讲,如果要灭菌到使残留微生物趋近于0,则灭菌时间必须趋向



于无穷大,彻底灭菌几乎是不可能的,在实际应用时,通常以微生物数目降低一个数量级的对数所需时间表示灭菌的程度,以D值表示。也就是,D值为在一定的温度条件下,杀灭微生物或孢子达到原先数量的90%(亦即降低到原先数量的1/10)所需的时间。

一般要求达到灭菌的程度,以微生物数目降低6个数量级或达到 $10^{-6}$ 级为准,即微生物残留的概率为百万分之一,因此灭菌时间的F值可以6D表示。依次类推,F值可用下式表示:

$F=nD$  (注:式中n为灭菌过程中微生物数目降低的数量级)

2.3.3 绝密性与环保:设备不能有任何泄漏,不能造成二次污染,以确保环境安全和人群健康。这主要体现在热反应器不锈钢罐体和冷却或换热系统,不渗、不窜,不因腐蚀而混水(杜绝未灭菌的废水与经消毒灭菌后的废水或冷却水相互污染),另一方面不但处理废水,且对系统可能有或产生的有害气体也进行安全可靠的消毒灭菌,确保排放的气体安全、无害。

2.3.4 冷却方式:由于废水被加热,必须冷却到一定温度以下才能排放。冷却方式可以是与设备集成在一起的快速夹套式冷却方法,也可采用在后续工艺环节中设置专门的冷却循环装置,还可根据实际采用其他方式。

2.3.5 运行维护和管理方面:设备自动化程度要高,且应具有手动功能,设备要操作简单和便于维修。

2.3.6 事故与应急:当系统发生故障或维修时,应有确保安全的措施和完善的安全报警体系。

2.3.7 固体物质和化学物质影响:废水进入收集、反应罐时,对固体物质应有相应的预处理措施,且应考虑废水中的固体物质和化学物质在压力和高温下的变化和影响。

2.3.8 冗余设计:系统采用一贮两罐(一个收集罐,两个加热罐,一用一备)还是一贮一罐或其它措施。

## 2.4 生物危害废水处理技术与设备的优化选择

综合国内外相关信息资料,结合我们对欧美生物危害废水处理技术与设备的考察情况,考虑到国情和我国的水质特点,一般来说,一、二级生物安全实验室产生的废水,可参考传染病医院污水来处理。而三级、四级生物安全实验室产生的废水及疫苗和生物制品生产废水,可结合安全等级、水量、水质、用水点分布、排放条件及上述提及的选用需考虑的相关因素,作如下优化选择:

2.4.1 一级、二级生物安全实验室废水。一级、二级生物安全实验室废水,采用化学消毒处理技术与设备。部分特殊动物二级生物安全实验室废水,也可根据需求选用废水热处理技术与设备。

2.4.2 三级、四级生物安全实验室废水。三级、四级生物安全实验室废水采用热处理技术与设备。考虑到生物安全实验室废水水量相对较小,排放周期不定、间断性强,排水量也无规律性等实际情况,序批式热处理设备是当前国外生物安全实验室的主流。

根据考察和美国公司的介绍,目前美国新建的三级、四级生物安全实验室,不论水量大小,均采用序批式处理技术与设备,热源多为蒸汽。另一方面,对于用水点分散,且数量少的生物安全实验废水,采用在用水点就近安装废水灭菌器应是一种安全可靠与经济适用的选择。再者,对于水质较好、水量较大且固体污染物不多的生物安全实验室废水处理,连续式热处理设备也可根据需要进行选用。事实上连续式热处理设备,欧洲已有使用实例;加拿大也使用过,但新的实验室已不再使用。

2.4.3 疫苗和生物制品生产废水。疫苗和生物制品生产废水由于水量相对较大,排水周期相对固定,且排水均匀,连续式热处理设备是一种理想的

选择,而序批式热处理设备在运行费用、设备占地与空间需求方面已显出不足。另一方面,对于安全等级相当于一、二级或产生的生物危害可预知的疫苗和生物制品生产废水,也可采用化学消毒处理技术与设备。

## 3 结语

生物安全实验室实验废水、疫苗和生物制品生产废水,是含有致病微生物和未知生物因子的生物危害废水,严重威胁着环境安全和人群健康,必须进行无害化处理,达到国家相关标准后方可排放。但此类废水的无害化处理技术与设备,国内外差距很大。目前,欧美等国已有专业化的高温消毒灭菌技术与设备来处理此类生物危害废水,而国内目前还是空白。

考虑到中国的国情和实际需求,当前迫切需要整合相关方面的资源,积极消化吸收序批式废水热处理技术与设备和冲洗废水灭菌器,加强产学研的联合,尽快研究开发出适合我国水质特点和实际需求的专业化废水热处理设备。而连续式废水热处理技术与设备,应在引进消化的同时,着力解决其在压力和高温下,对固体类物质处理不可靠的问题,及针对我国水质特点的技术工艺改进和防垢、防堵问题。

总的来说,序批式废水热处理技术与设备(含冲洗废水灭菌器)是生物安全实验室废水处理的理想选择,而连续式废水热处理技术与设备是疫苗和生物制品生产废水处理的最佳选择,二者都有广阔的应用发展前景。

### 参考文献

- 1 CDC&NIH. Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories. 4th Edition, 1999.
- 2 WHO. Laboratory Biosafety Manual. 3rd Edition, 2004.

[收稿日期 2006-08-10](责任编辑 郝秀兰)