

废液处理系统改造对细胞房生物安全等级的提升

周 鑫 陈曙光

山东商业职业技术学院 山东 济南 250103

【摘 要】：生物安全等级要求越高，细胞房的废液处理设备安全保障性和有效性的完善已是一个需要解决的问题。本文对现有废液处理方式中存在的不足进行阐述，并对改进方案提出意见，同时对改进带来的实验室细胞房的生物安全提升程度进行探究。经验证明，改良后的细胞房的废液处理方案能够有效将有害物质从废液中泄漏的概率进行大幅度减少，提高细胞房的生物安全保障能力，这为我们建立了高于现有细胞房生物安全防护等级要求的细胞房提供了科学化科技的手段。

【关键词】：废液处理系统；细胞房；生物安全等级；改造；生物安全防护

DOI:10.12417/3041-0630.25.20.082

随着生命科学不断发展，对细胞实验室废物处理系统的要求逐渐提高，其中细胞室废物处理尤其是实验室相关废物处理与整个实验室的安全等级密切相关，细胞室生成的废物往往含有病毒、毒素、化学试剂等有毒物质，若处理不当会对细胞室内人员以及环境造成极大危害。目前多数细胞实验室废水处理器处理能力较差、安全性不足，因此如何提高细胞室废物处理器成为细胞室生物安全的关键议题之一。本次研究对目前细胞室现有废水处理器的不足之处进行讨论，同时也提出部分改进建议，从而进一步提高细胞室生物安全系统以符合逐渐升高的生物安全水准，经过细胞室生物安全设施改善处理过的废弃化学试剂可降低污染扩散，确保实验室环境以及人员的安全性。

1 研究背景与意义

1.1 生物安全等级的要求

BSL 是生物实验室安全标准系统，包括从内部到外部的各种操作、环境控制、行为和废物处理，防止危险微生物或有害生物物质的意外释放，从而不危害人、环境和公共健康。根据《生物安全实验室通用要求》，不同类型的生物实验设施执行不同的 BSL 级别(如 BSL-1 至 BSL-4)。BSL 级别的不同，将影响到实验室废水处理的方法和方式，尤其是对废液管理方式影响较大。比如 BSL-3 和 BSL-4 实验室具有高危险性的生物因素，对其实验室废水处理设备更加复杂，且需高级的、可靠的技术来确保含危险性生物物质的废液外排不危害环境及人身安全。因此，提升废液处理技术标准、满足 BSL 需求已经成为了生物实验室不可推卸的责任。

1.2 现有废液处理系统的不足

当前，对细胞实验室废物处理系统的重要性和改善趋于执行，但是仍然存在缺陷，其严重地影响着实验室安全性的发挥

[1]。当前实验室废液处理的方法主要是传统的手工、化学方法处理废液等处理废液的方法，它们对大部分的实验室废液都具有一定地处理作用，但是其处理质量和安全性仍旧有很大的提升空间。首先，当前大部分实验室没有专门设计的实验室监督设备，不能实时监测处理废物中可能存在地致病细菌或者化学成分等的含量，对处理后废物的安全性造成较大的影响；其次，在废液处理的过程中，其重要的步骤杀菌、滤过、酸化等都存在着操作复杂、流程繁琐等问题，并且还存在着发生废物泄漏或处理不完全的可能性，因此，需要运用技术优势、系统性优化废液的处理效果、处理安全性等问题来适应生物安全级别地要求。

2 废液处理系统现状分析

2.1 现有废液处理系统的设计与功能

2.1.1 系统组成与运行原理

现有的废液管理体系由多级处理模块构成，包括废液收集、预处理、杀菌、过滤、排污等处理环节。废液收集设备收集实验室里产生的液体，并将这些液体运输到处置房间，通常运输方式是用密封管路或是罐子，防止液体的泄露。预处理是对废液固杂杂质进行初级沉积或者过滤，以减轻后续压力。杀菌通过化学(例如氯、过氧化氢等)或是物理(如紫外照射、高温等)手段杀死废液中的病毒细菌。过滤是用高效过滤器(如 HEPA 过滤器)完全清除颗粒以及微生物。

2.1.2 废液处理的关键环节

废液处理中大部分关键环节会直接决定废液的安全以及处理效果，其中废液收集与储存最为重要。废液收集存储直接影响废液后置处理装置的运行效果，例如初步对废液分类以及单独储存有利于避免将不同种类的废液相互掺杂出现对环境

作者简介：周鑫（1981.10），男，汉族，山东临沂人，硕士，副教授，研究方向：制药人才培养。

基金项目：2024 年度济南市市校融合发展战略工程项目“细胞与基因药物实践基地建设”（项目编号：JNSX2024068）。

的二次污染。另外，废液消毒环节，适当地消毒方式可以有效消除废液中病原体对人体的危害作用，因此选择的消毒药品以及剂量需要根据废液种类以及所含毒物性质来具体调节使用^[2]。

2.2 存在的问题与挑战

2.2.1 系统安全隐患

现有的实验室废液收集和处理系统在一定程度上满足了实验室的需求，但也存在许多潜在安全隐患。首先，如果实验室废液在收集运输环节出现泄漏或者设备故障，则会带来病原体泄漏的隐患，造成跨界的感染以及环境的污染等。其次，由于实验室中的废液种类多样，其中某些实验室如基因实验室、病原实验室等研究与产生病原相关的实验废液带有极强的腐蚀性、毒性或放射性，因此其对废液收集处理系统就具有更高的安全性要求。然而目前大多数实验室废液收集处理系统并没有考虑到这一威胁的存在，整个系统对于错误的承受能力和安全度较差，容易造成事故的发生。

2.2.2 生物危害物质处理不完全

尽管现行废液处理系统使用化学物质或物理方法消除废液中病原菌，但效果往往受处理环境、使用化学试剂种类和浓度的改变等诸多条件影响。而面对需要处理涉及生物危险废液时，当前方法很难使废液中的细菌、病毒等各种生物物质都被彻底消亡^[3]。例如有的化学消毒剂很难彻底在废液中进行分解处理，这样就会让部分病原体被消除。同时有的废液中还会有抗生素耐受的细菌或是特定生物特征的病原体存在，当前方法无法对这些特殊有害物质进行处理。

3 废液处理系统改造方案

3.1 改造方案设计原则

3.1.1 系统安全性提高

首先，对废液处理系统进行优化设计，在确保有效性的前提下需进一步提升安全性能，这是因为生物安全实验室所产生的废液当中包含大量的病原、有毒有害化学物质以及有害物质，在其处置环节的每一个过程中都可能出现泄露或污染的严重安全事故。为此，为提升系统的安全性能，优化方案应关注系统在隔离水平、全密闭式、智能化控制等方面的提升。例如，废液管道应采用强度大、抗腐蚀性强、密封性良好的材质，同时使用智能化监测仪器监测废液流量、压力、温度、湿度等参数，并且一旦出现异常情况便自动警报及触发应急措施。同时，对废液处理系统中的换气装置、废气释放装置等也应进行相关安全保障措施，例如采用带有滤网的吸排风机及安装急停按钮以避免废液在传递及处置过程中发生泄露或喷溅。全系统的安全性是靠持续优化设计及新的检测技术来保障的。

3.1.2 处理效率优化

处理效率是判断是否高效的一种标准，我们必须尽量提高处理效率，从而可以促进处理的速度，降低设备的负担，并将废液处理的成本降低，为实验室高效运行提供保障。需要对废液处理的方法进行更新，也就是多处理层、智能化、高精的灭菌过滤^[4]。比如可以借助一些新兴的手段例如生物滤池、膜过滤、紫外线杀菌，来提高普通化学废液处理并进一步提高清洁度，并利用智能调控系统，实时观测废液的物质变化，依据物质的变动状态自动更改处理方案，做到让各个阶段都发挥最大效率。

3.2 具体改造措施

3.2.1 增强废液隔离与监控

首先是增强其废液管理体制的安全性和处理有效性，即通过加强废液分类管理和控制来提高其安全性。废液分类能够将不同种类废液互相隔离，同时也可以确保各个阶段的处理工序彼此独立，不会互相污染。针对这点，笔者推荐采用修改设计方案：即设置专门的废液储罐和废液处理的放置和管理区，采用高级质量的密闭设备和管道，配备多道防溢止逆设备。同时，废液传送管线还需具备自动监测和预警系统，实时监测废液的流速、温度、化学组分、pH等参数，一旦监测出有不同异常的情况，此系统将及时发出警报信号并且做出紧急响应。这样能够降低废液在处理的过程中安全性风险，同时提高了废液的管理水平。

3.2.2 引入先进的净化技术

采用先进的污水处理技术是进行废水处理系统改造成效的策略之一，虽然传统的水处理技术如化学灭菌法、沉淀法能够很好地对部分废水处理问题进行解决，但对特定的废水(含毒有害物品、致病的细菌、病毒等)处理并不能将其完全去除。因此，可以结合一些新型环保的水处理技术如生物处理技术、膜处理技术、光催化等技术进行处理。其中，生物处理技术是利用微生物处理水中危险元素的，如此处理具有绿色且高效的特点。而膜处理技术则通过采用纳米滤芯或者反渗透等膜材料，将水中的颗粒物质及病毒完全分离。光催化技术是利用通过作用催化作用使其将有机物发生分解处理，具备快速且处理范围广等特点。由此，通过使用这些先进技术，可在很大程度上提高废水的处理质量和效益，以此保障对其中全部有害物质的消灭处理。

4 改造对细胞房生物安全等级的提升作用

4.1 生物安全防护能力的提升

4.1.1 生物危害物质的有效隔离

随着废液处理系统的改进，我们可以增强废液处理系统对

于生物危害物质的阻隔能力。现有的废液处理系统是完全密闭处理的形式,抑制了生物危害物质在废液系统处置流程整个过程中与外部的接触机会。例如,在废液处理过程中,使用高效的隔断设备和密闭式处理器具,使废液中的微生物、细胞因子、病毒等不进入实验室。再如,通过优化废液管线设计、加强设备的密闭性、使用自动监测装置,从而控制废液系统处理阶段的生物危害物质完全的消减。充分的生物危害物质阻隔,可以使实验人员避免受到危害,同时使外部的生物危害不受影响,从而使实验室整体生物防御得以提升。

4.1.2 实验室空气质量的改善

对废物处理系统进行优化能够有效提高废物处理效率以及实验室环境质量。使用效率较高的空气净化设备、较低风压的通风装置以及合理布局的排气管道。通过该项优化后,其可使有毒的气体、挥发性有机气体以及细菌和病毒等顺利排出实验室,并对其过滤,有效地防治空气污染。例如,在废物处理装置区域安置高效的空气过滤器如 HEPA 空气过滤网、活性炭吸附板等,使之保证实验室环境清新的、无菌的空气质量。有利于减少工作人员发生疾病感染的机会,并增强实验室内生物安全的防御^[5]。

4.2 系统改造对操作人员安全的保障

4.2.1 降低操作风险

系统优化与管理的目的是通过科技手段降低工作人员对废液处置所产生的危害,若无法有效处置废液中的有毒有害物质,则会对工作人员产生一定危害。通过部署智能化自动控制系统和实现智能化自动化控制,很多关键环节都可以在废水处理中不必依靠人工干预即可完成,从而有效降低人为操作失误

和直接接触有毒有害物质产生的风险。例如,废水处理过程中通过自动设备可自主控制溶液流速、浓度等参数,由人工人员现场观察监测,可较大程度降低工作人员的危害风险等。经过优化的系统还可实现即时报警提醒和安全反馈功能,若系统监测到问题情况,能及时作出预警并对危险源处自动隔断、关闭,保证工作人员的安全生命。

4.2.2 强化人员防护措施

为了更好的对工作人员进行安全防护,可在改造后的废液处理系统中采用隔离系统与个体防护设备相结合的方法,确保工作人员在废液处理作业过程中与有害物质产生近距离的接触。例如,可设置废液处理系统的防毒服、防毒手套、防毒口罩等设备,同时严格要求工作人员上岗时必须穿戴以上防护装备。除此之外,可增设人工消毒室、空气消毒器等个体防护设备,可有效地对工作人员进场后、出场前进行彻底的消毒处理,以更好的减少由于工作人员操作不当或外部污染引起的健康风险。

5 结论

改进的废液处理系统显著提高了生物安全柜的安全等级,通过应用新技术、强化系统的管理措施降低了有害生物的污染,进一步提高了实验室内及室内外环境的空气质量以及安全措施。该系统的改进提高了有害废液的隔离能力,使得有害废液在处理的过程中不会对实验人员或者实验室造成伤害,从而减少对实验人员及周围环境的风险性。同时,也进一步提升了细胞室的多层保护措施,以此来提升整个实验室的生物安全防护级别。研究阐述了细胞实验室废液的改进解析以及改进的实施方案,未来可能会应用于其它实验室的改善工程中,以此来提升实验室的生物安全防护水平。

参考文献:

- [1] 张晓波;李伟鹏.废液处理系统在生物安全实验室中的应用研究[J].生物安全与生物防护,2023(5):45-49.
- [2] 王思琪;赵春雨;李文豪.高效废液处理技术对细胞实验室安全等级提升的影响[J].实验室研究与探索,2022(12):98-102.
- [3] 陈玉玲;徐国栋.细胞房废液处理系统优化设计及其生物安全性提升[J].生物工程学报,2021(8):1204-1210.
- [4] 刘欣;王宏志;陈鹏飞.现代废液处理技术在细胞实验室中的安全性分析与应用[J].生物技术进展,2020(6):57-63.
- [5] 赵晓东;刘磊;张建华.基于环保需求的实验室废液处理系统优化与生物安全等级提升[J].环境科学与技术,2019(11):89-94.