

微生物和细胞实验室废液吸取安全指南

目录

一、微生物或细胞实验室废液处理不当带来的危害.....	2
1. PCR 假阳性.....	2
2. 培养细胞被污染.....	2
3. 操作人员被感染.....	3
4. 实验室管理风险.....	3
二、现行的废液吸取设备种类.....	4
1. 临时搭建的吸液系统.....	4
2. 非专业的吸液设备.....	4
3. 专业的吸液设备.....	4
三、现行废液吸取设备的安全缺陷.....	5
1. 临时搭建的吸液系统的缺陷.....	5
2. 非专业的吸液设备的缺陷.....	5
3. 专业的吸液设备（如设计不当，也有缺陷）.....	6
四、 如何选择一款安全的专业吸液设备.....	6
五、 废液吸取操作过程的安全注意事项.....	7
1. 吸液操作开始前对设备的安全检查.....	7
2. 吸液过程的安全注意事项.....	10
3. 废液的安全处理.....	11
4. 吸液设备的安全清洁.....	11
六、 应急安全处理.....	12
1. 废液滴落 / 泄漏.....	12
2. 气溶胶泄漏.....	12
3. 废液倒灌泵体.....	12
4. 人员接触污染.....	12

在微生物或细胞实验室，废液吸取处理是典型且重复的日常操作。操作人员不能仅仅为了提高效率而忽视安全。这里所说的“安全”，不但指操作人员的安全，同时也是实验样品安全和实验室管理安全。

本安全指南介绍了废液处理不当带来的危害、现行废液吸取设备的种类、现行废液吸取设备的不当之处、如何选择一款安全的专业吸液设备、废液吸取操作过程的安全注意事项等，旨在呼吁业内关注生物废液处理的“安全”问题，适合 S1-S3 级生物实验室操作人员备案查看。

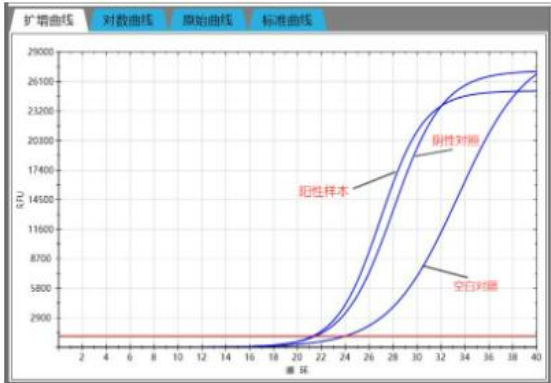
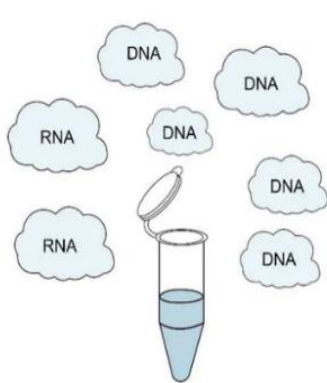
一、微生物或细胞实验室废液处理不当带来的危害

目前仍有多数实验室采用移液器移取或者直接倾倒的方式处理废液，且仅用烧杯或其他简易的开口容器作为废液收集瓶，这种敞口的废液处理方式，极易产生大量的生物气溶胶，造成以下严重危害：

1. PCR 假阳性

PCR 技术因其快速、灵敏、特异等特性广泛应用于分子生物学的研究与检测中，但却对实验环境及操作有着严格的要求，稍有不当则会导致假阳性产生。气溶胶污染是导致假阳性的常见的原因之一，含目的基因片段、质粒、扩增产物的废液在抽吸、倾倒、开盖时的不正常操作处理，会导致形成大量气溶胶，扩散至 PCR 扩增区、操作台及耗材表面，造成外源污染，引发非特异性扩增。这种污染严重时甚至可以持续数月，很难在短时间内控制。换引物、换试剂、换耗材、换实验楼，甚至有人跑到两公里外的实验室加样也无济于事，严重影响数据准确性与实验重复性，最终导致课题延误、重复实验成本大幅增加。

实际案例：某高校分子生物学实验室在新冠核酸检测模拟实验中，因废液直接倒入敞口烧杯，气溶胶污染操作台，连续 3 批次普通 PCR 检测出现假阳性，经环境拭子核酸检测确认污染源为废液收集区，全实验室停产消杀 3 天。



假阳性结果示例1（Q1600荧光检测）

2. 培养细胞被污染

细胞培养废液中携带的细菌、真菌、支原体、黑胶虫等微生物随气溶胶进入细胞房、生物安全柜及培养箱，污染细胞培养体系，导致细胞生长缓慢、形态异常、裂解死亡，会造成珍贵细胞株、实验耗材与培养周期的巨大损失，是细胞实验室最常见的失效原因之一。

实际案例：某药企研发中心细胞房因使用敞口瓶收集细胞废液，导致大面积支原体污染，涉及 20 余株肿瘤细胞系全部报废，相关药效筛选实验中中断超过 2 周，直接经济损失超百万元。



3. 操作人员被感染

病原微生物、重组病毒、转染细胞、有毒代谢产物等通过气溶胶吸入、黏膜接触或皮肤破损侵入人体，可引发呼吸道感染、皮肤感染乃至严重实验室获得性感染，对操作人员健康构成直接且致命威胁。

实际案例：某疾控中心实验室人员在处理高致病性病原废液时，采用手动倾倒方式，吸入含菌气溶胶后出现发热、呼吸道症状，确诊为实验室感染事件，被判定为重大生物安全事故，相关责任人被追责。



4. 实验室管理风险

生物气溶胶污染可残留数周-数月，常规擦拭无法根除，需实验室全空间消杀+负压监控双重处置；如涉及空气、水体、土壤的生物污染，即违反《实验室生物安全通用要求》《病原微生物实验室生物安全管理条例》《医疗卫生机构医疗废物管理办法》等法规要求，实验室将面临整改、处罚乃至关停风险。另外，如涉及高致病病原的，甚至会被追究刑事责任。

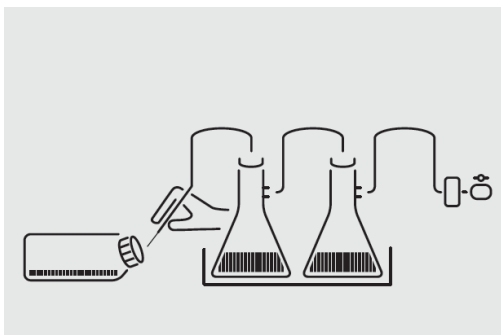


二、现行的废液吸取设备种类

当培养的细胞样品量增多时，往往需要处理大量的废液，操作人员利用真空技术并配置适当的附件，以大大提高效率，从而加快工作流程，常见的有如下三种废液吸取设备：

1. 临时搭建的吸液系统

多为实验室人员购买通用配件自行搭建。由简易的抽吸泵（或是直接连接实验室中央负压管路）、搭配烧杯、锥形瓶等常规玻璃器皿作为收集容器，用普通软管连接而成。



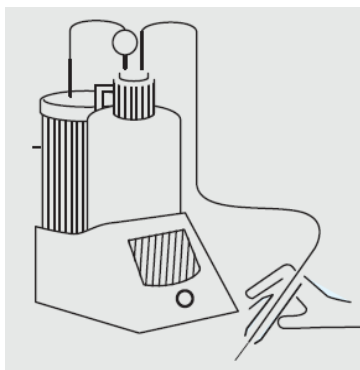
2. 非专业的吸液设备

这类设备并非专为生物实验室废液吸取设计，多是借用其他具有简单抽吸功能的装置替代使用，仅图其价廉，常见医用的电动吸引器、吸痰器等。



3. 专业的吸液设备

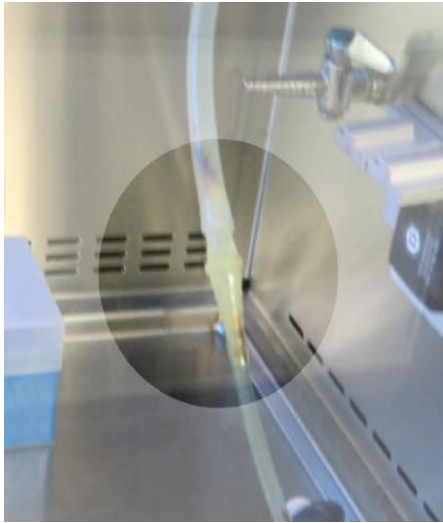
整套设备集为吸液提供动力来源的真空泵、封闭式的废液收集瓶以及吸液手柄于一体，可应用于生物安全柜、细胞房、PCR 实验室等专业生物实验场景，多用于药企研发室、高校重点生物实验室、疾控检测实验室等对安全防护要求严苛的场所。



三、现行废液吸取设备的安全缺陷

1. 临时搭建的吸液系统的缺陷

这种自制的系统不仅缺乏使用上的便捷性，而且无气溶胶阻断，无防爆防漏涉及，存在很多安全隐患，完全不符合生物实验室安全规范。



- ✗ 吸液力度不可控
- ✗ 玻璃瓶口无良好的密封盖
- ✗ 玻璃瓶存在倾倒和破碎的风险
- ✗ 无防倒灌设计
- ✗ 不易清洁，易滋生细菌
- ✗ 不可高温高压灭菌
- ✗ 无便捷的吸液手柄
- ✗ 吸液端易滴落废液
- ✗ 多人使用易产生交叉污染

2. 非专业的吸液设备的缺陷

此类设备虽具备基础的吸液功能，但未针对生物气溶胶防控、防污染、灭活防护等生物安全要求做专项优化，无法适配防护要求高的生物实验场景。



- ✗ 占地面积大
- ✗ 不易清洁
- ✗ 与废液接触部件不能全部耐受高温高压灭菌
- ✗ 内部抽吸泵不耐受化学腐蚀
- ✗ 内部抽吸泵吸力不足导致废液滴落
- ✗ 内部抽吸泵吸力不足以支持多人同时使用
- ✗ 内部抽吸泵长期使用已损坏
- ✗ 内部抽吸泵长时间开启噪音大
- ✗ 多人使用时吸力不足造成废液滴落
- ✗ 密封部件易老化，气密性差导致气溶胶扩散
- ✗ 不耐受长期紫外照射
- ✗ 无便捷的吸液手柄

3. 专业的吸液设备（如设计不当，也有缺陷）

专业的吸液设备的设计在整体上一般都符合生物实验室的操作习惯及操作便捷性，但究其细节，某些专业的吸液设备也存在安全缺陷，在选择一款专业的吸液设备时，从实验和人员的安全角度，须重点查看如下细节：

设计不当的废液收集瓶：

- ✗ 没有真空密封，或经高温高压灭菌后密封性变差，废液存在扩散风险；
- ✗ 瓶内没有进液导管，废液滴落飞溅易在瓶内产生泡沫和气溶胶；
- ✗ 收集瓶不耐受消毒剂；
- ✗ 玻璃或其他易碎玻璃瓶，没有外覆防爆膜，意外破裂时导致实验室污染；
- ✗ 无液位报警器，或者配浸入式液位计，产生额外的清洁需求或风险；
- ✗ 瓶盖上有不必要的放气阀，忘记关闭时产生污染；

设计不当的过滤器：

- ✗ 非疏水型：不能防止废液溢流进入泵内；
- ✗ 孔径过大：对气溶胶防护不足；
- ✗ 不耐受高温高压灭菌；

设计不当的吸液手柄：

- ✗ 没有配置手柄，仅吸头插于软管，存在掉落风险；
- ✗ 配置金属吸头，不仅不耐腐蚀，而且易积累静电吸附杂质造成堵塞；
- ✗ 没有配置合适的转接头，无法适配玻璃管，巴斯德管等应用多种吸液场景；
- ✗ 吸液软管非整个穿过手柄，废液流经手柄内部间隙，清洁不到处易滋生细菌
- ✗ 控制开关为圆形小按钮，不符合人体工程学，长期操作易疲劳；
- ✗ 不耐受紫外照射及长期高温高压灭菌；

设计不当的真空泵：

- ✗ 没有吸力调节，真空度过大，导致废液蒸发，凝结在管路或泵内，滋生细菌；
- ✗ 长期使用性能变差或者易坏，导致吸液端废液滴落风险；
- ✗ 不耐受废液中的腐蚀性介质；
- ✗ 寿命短，不能长期维持负压，导致系统产生泄漏；
- ✗ 泵的出气口无法连接排气软管，排气存在污染风险；
- ✗ 连续操作时不能静音保压；
- ✗ 脚踏开关，妨碍清洁实验室地板；

设计不当的管路及其他：

- ✗ 普通橡胶软管：不能高温高压灭菌；
- ✗ 管径与其他连接件不一致，废液残留于死角易滋生细菌；
- ✗ 不耐受高温高压灭菌；



四、如何选择一款安全的专业吸液设备

根据上文介绍，临时搭建的吸液系统和非专业的吸液设备都存在明显的缺陷，非常不适合在生物实验室使用，即使是低风险水平的 S1 实验室，也不建议选用这两种吸液设备进行废液处理。因为即使在这类实验室中，也存在着生物危害和污染来源。更不用说风险水平更高的 S2、S3 实验室。为了安全无污染地移除细胞培养废液，专业的吸液设备才是首选。

但是，为最大程度保护实验室人员和实验介质免受细菌和气溶胶的污染，在面对专业的吸液设备时，也要选择具有更高安全防护细节的设备，以 VACUUBRAND 品牌的 BVC professional 为例说明，在选择一款真正安全的真空吸液设备时，应该考虑哪些点：

- 安全的无菌过滤器：**

 - ✓ 孔径：0.2um；
 - ✓ 疏水，无菌；
 - ✓ 可多次高温高压灭菌；
- 安全的液位传感器：**

 - ✓ 标配，防止溢流；
 - ✓ 非浸入式，不接触废液更安全；
- 安全的废液收集瓶：**

 - ✓ 气密性好，防止废液中气溶胶扩散；
 - ✓ 瓶内有进液延长管，防止废液飞溅；
 - ✓ 瓶口配置快速自锁接头；
 - ✓ 耐受消毒剂；
 - ✓ 玻璃收集瓶外覆防爆膜；
 - ✓ 可高温高压灭菌；



- 安全的真空泵**

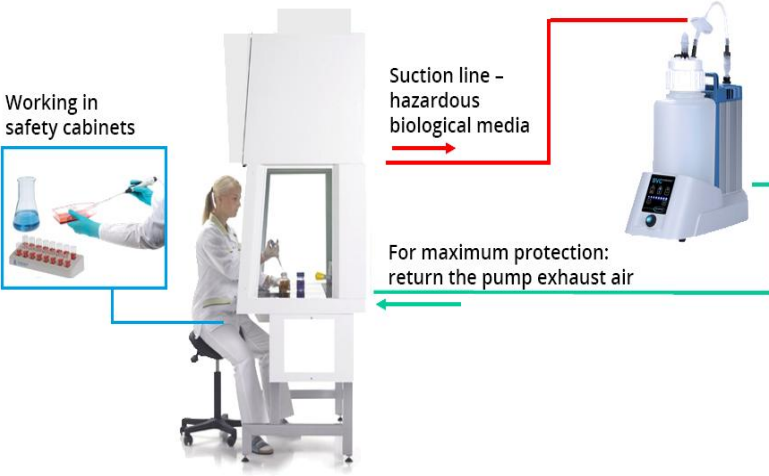
 - ✓ 吸力足够，无液体滴落风险，且可支持两人同时吸液；
 - ✓ 压力可控，吸力 8 档可调；
 - ✓ 耐腐蚀化学隔膜泵；
 - ✓ 按需启动，且气密性良好，吸液操作时静音；
 - ✓ 经久耐用，可支持不停机操作，持续维持系统负压；
 - ✓ 出气口外露，可连接排气管道；
- 安全的吸液手柄：**

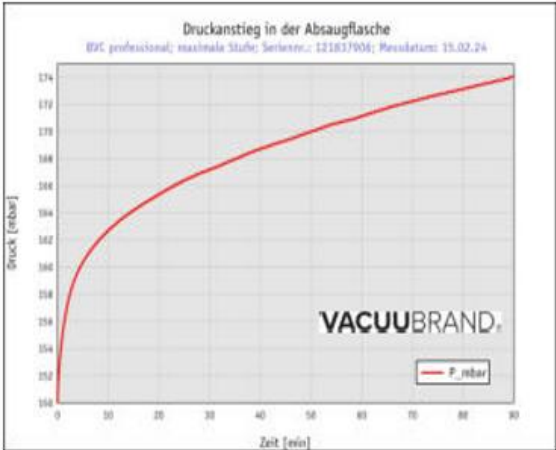
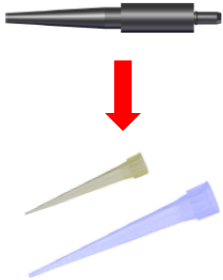
 - ✓ 软管整个穿过手柄，手柄内部部件不接触废液；
 - ✓ 适配吸头、玻璃管等多种吸液端；
 - ✓ 长条形压感控制，长久使用不疲劳；
 - ✓ 耐受紫外灯照射；
 - ✓ 可高温高压灭菌；

五、废液吸取操作过程的安全注意事项

1. 吸液操作开始前对设备的安全检查

检查内容	安全注意事项	图示
吸液设备的出气口	须有外置可见的接头（对于高防护实验室，还需支持硬管连接），不能仅仅是个出气孔	 NO!  YES!

出气口的管路连接	建议将管路接回至安全柜通风系统，行程排气闭环。避免排气对生物实验室的气流扰动，或排气中所含的生物介质（细菌、有害气溶胶等）对人员及样品的感染。	 Working in safety cabinets Suction line – hazardous biological media For maximum protection: return the pump exhaust air
过滤器	孔径规格需$\leq 0.2\mu\text{m}$ 检查安装位置须在抽气管路顶部。 置于底部的过滤器易积聚废液或者蒸汽凝结液，对实验过程带来污染；当更换废液收集瓶需断开空气过滤器处的连接时，置于底部的空气过滤器积聚的液体，极易低落在操作台面，造成隐患。	0.45 μm 不能很好地阻隔生物大分子 NO ! 0.2 μm, 疏水, 无菌  YES ! (如 VACUUBRAND 品牌 BVC 真空吸液器配置的) 抽气管路底部  NO ! 抽气管路顶部  YES !
收集瓶盖	- 是否有放气阀， - 如有，放气阀是否关闭	不建议收集瓶瓶盖上有放气阀设置，因为如果忘记关闭，具有潜在风险，有害气溶胶会从此处大量扩散至实验室。  放气阀

液位报警器	根据液位报警器的原理，去检查是否完成清洁，并安装好； 非接触式的液位报警器更安全	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="690 94 922 485"></td><td data-bbox="922 94 1214 485">  NO! </td><td data-bbox="1214 94 1528 485">  YES! </td></tr> <tr> <td data-bbox="690 485 922 533">液位探测传感器原理</td><td data-bbox="922 485 1214 533">浸入式，</td><td data-bbox="1214 485 1528 533">电容式，</td></tr> <tr> <td data-bbox="690 533 922 642">是否接触废液</td><td data-bbox="922 533 1214 642">接触废液， 需额外的清洗； 且金属探针易腐蚀</td><td data-bbox="1214 533 1528 642">无接触，更安全</td></tr> <tr> <td data-bbox="690 642 922 690">额外的电缆</td><td data-bbox="922 642 1214 690">需要</td><td data-bbox="1214 642 1528 690">无</td></tr> <tr> <td data-bbox="690 690 922 783">报警液位</td><td data-bbox="922 690 1214 783">~95%</td><td data-bbox="1214 690 1528 783">80%，余量充足</td></tr> </table>		 NO!	 YES!	液位探测传感器原理	浸入式，	电容式，	是否接触废液	接触废液， 需额外的清洗； 且金属探针易腐蚀	无接触，更安全	额外的电缆	需要	无	报警液位	~95%	80%，余量充足
	 NO!	 YES!															
液位探测传感器原理	浸入式，	电容式，															
是否接触废液	接触废液， 需额外的清洗； 且金属探针易腐蚀	无接触，更安全															
额外的电缆	需要	无															
报警液位	~95%	80%，余量充足															
真空泵及系统密封	开启真空泵检查： ➤ 是否正常运行； ➤ 达到操作档位时是否静音； ➤ 系统是否可长时间保持操作档位压力； ➤ 如果系统密封性差，有气溶胶扩散风险	例如如下是 VACUUBRAND 真空吸液器的保压测试结果： From: ~ 150 mbar To: ~ 175 mbar In: 90 min 															
吸液手柄	➤ 用于吸液的吸头、或玻璃管，是否安装到位，否则存在废液滴落的风险； ➤ 建议手柄配置有合适的适配器，而不是将吸头或玻璃管直接插于软管一端； ➤ 不建议采用金属吸头，有被腐蚀堵塞的风险	玻璃移液管适配器  吸头适配器 															

2. 吸液过程的安全注意事项

- 1) 保持吸液泵安全长开（工作时间内都不关闭），以持续维持系统负压，避免气溶胶扩散。吸液泵长开，需要由以下几点来保证：
 - 吸液泵按需驱动，降低噪音；
 - 集成的吸液泵（真空泵）品质经久耐用；
 - 吸液系统整体密封性好，长时间稳定保压，可避免泵的频繁启动。
- 2) 吸力控制安全
 - 以过大吸力长时间运行，会造成废液雾化产生气溶胶；
 - 吸力需调正。
- 3) 双人吸液的安全规范：
 - 建议采用独立的吸液管路；
 - 避免三通转接，三通转接式一拖二，易产生交叉污染；
 - 两人操作时保持安全距离，避免吸液端交叉触碰。



- 4) 吸液暂停时，手柄自动密封，避免废液滴落。



- 5) 吸液暂停时，手柄悬空放置得当，避免吸液端口接触操作台面带来污染。



3. 废液的安全处理

1) 废液的灭活处理

- 细胞废液：吸液结束时，吸入消毒剂消毒，混匀作用 30 分钟以上；长期使用含氯消毒剂的，建议采用玻璃收集瓶。PP 材质不耐受含氯消毒剂，瓶身易裂；
- 病原废液：按生物安全等级执行高温高压灭菌，严禁直接消毒排放。

2) 暂存或密封转运安全

- 暂存时收集瓶必须密封，建议收集瓶两侧断开处均配有自锁接头，以保证严格密封；
- 必要时暂存于专用的生物废液暂存柜，且不超过 24 小时；
- 转运时收集瓶需全程密封，黏贴必要的生物危险标识，并使用防漏转运箱，禁止手拎裸漏瓶身。



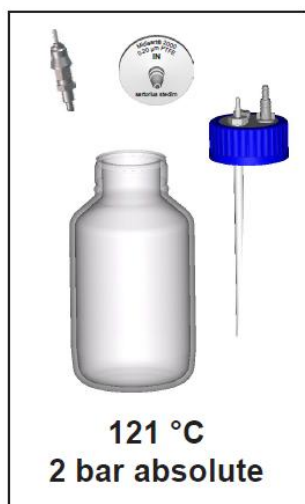
4. 吸液设备的安全清洁

1) 日常清洁（每次使用后）

- 酒精擦拭或紫外灯照射设备各个外部部件；
- 吸取少量消毒剂，负压循环 2-3 分钟，杀灭残留微生物。

2) 灭菌清洁（定期强制）

- 与废液接触的各组件须可高温高压灭菌（121℃，2bar 至少 20min）；



3) 长期维护安全

- 定期更换过滤器
- 定期对吸液设备做保压测试，用以检查密封件长期高温高压灭菌后的气密性。

六、应急安全处理

1. 废液滴落 / 泄漏

立即用吸水纸覆盖，喷洒 0.5% 次氯酸钠，作用 30 分钟后清理，同时消杀周边环境。

2. 气溶胶泄漏

停止操作，撤离人员，开启排风，密闭消杀 30 分钟后检测合格再进入。

3. 废液倒灌泵体

立即停机，断开电源，拆卸组件灭菌，排查防倒灌装置故障。

4. 人员接触污染

立即冲洗接触部位，S2/S3 级按实验室感染应急预案处置。