

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2522—2012

环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置

Technical requirement for environmental protection products

Ultraviolet disinfection equipment

本电子稿为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2012—7—31 发布

2012—11—1 实施

环 境 保 护 部 发布

目 次

前 言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 性能要求	4
6 试验方法	5
7 检验规则	5
8 标志、包装、运输和贮存	6
附录A（规范性附录）紫外线剂量——响应曲线测试	8
附录B（规范性附录）紫外线生物验证剂量测试	11
附录C（规范性附录）紫外线功率测试和紫外线效率计算	14
附录D（规范性附录）紫外灯老化系数测试	16
附录E（规范性附录）石英套管紫外线透射率测试	17

前 言

为贯彻《中华人民共和国水污染防治法》，规范紫外线消毒装置的生产、制造，提高紫外线消毒装置的质量，制定本标准。

本标准规定了紫外线消毒装置的基本要求、性能要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境保护产业协会（水污染治理委员会）、福建新大陆环保科技有限公司、清华大学、中国疾病预防控制中心。

本标准环境保护部2012年7月31日批准。

本标准自2012年11月1日起实施。

本标准由环境保护部解释。

环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置

1 适用范围

本标准规定了紫外线消毒装置的基本要求、性能要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等的技术要求。

本标准适用于生活饮用水、城镇污水、再生利用水、医院污水、畜牧养殖场污水等消毒工艺的紫外线消毒装置。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 13306 标牌

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 15464 仪器仪表包装通用技术条件

GB 18466 医疗机构水污染物排放标准

GB 18596 畜禽养殖业污染物排放标准

GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准

GB/T 18920 城市污水再生利用 城市杂用水水质

GB/T 19837-2005 城市给排水紫外线消毒设备

《生活饮用水消毒剂 and 消毒设备卫生安全评价规范》（试行） 卫监督发[2005]336 号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 紫外线 ultraviolet (UV)

波长在 100 nm~400 nm 的电磁波，其中杀菌紫外线是指波长在 200 nm~280 nm 的 C 波段紫外线（UVC）。

3.2 紫外线消毒装置 Ultraviolet disinfection equipment

利用紫外线对水进行消毒处理的装置。

3.3 封闭式紫外线消毒装置 closed-vessel ultraviolet disinfection equipment

也称压力管道式紫外线消毒装置，是消毒封闭管道内水流的紫外线消毒装置，主要包括：封闭式消毒腔体、紫外灯、石英套管、镇流器、紫外线强度传感器、石英套管清洗装置、清洗动力装置（如空压机、液压泵等）、配电及电气控制系统等。

3.4 明渠式紫外线消毒装置 open-channel ultraviolet disinfection equipment

也称水渠式紫外线消毒装置，是安装在明渠内消毒水流的紫外线消毒装置，主要包括：紫外灯模块、模块支架、遮光板、模块维修架、模块人工清洗槽、石英套管自动清洗装置、清洗动力装置（如空压机、液压泵等）、模块起吊装置、镇流器、紫外线强度传感器、配电及电气控制系统等。

3.5 紫外灯模块 Ultraviolet lamp module

若干支紫外灯及其石英套管固定安装在框架上的标准化结构。

3.6 紫外线强度 ultraviolet intensity (I)

与紫外线传播方向垂直的单位面积上的紫外线功率，单位为 mW/cm^2 。

3.7 紫外线效率 ultraviolet efficiency

紫外灯的杀菌紫外线功率与其输入功率之比。

3.8 紫外线剂量 ultraviolet dose (Dose)

单位面积的紫外线能量，由紫外线强度乘以辐射时间得到，单位为 mJ/cm^2 。

3.9 紫外线剂量—响应曲线 ultraviolet dose-response curve

表示紫外线剂量与试验微生物失活水平两者之间关系的曲线。失活水平以对数失活率 $\lg(N_0/N)$ 或对数残留率 $\lg(N/N_0)$ 表示。 N_0 为紫外线照射前微生物的浓度， N 为紫外线照射后微生物的浓度。测试方法见附录 A。

3.10 生物验证剂量 biosimetry dose

又称 RED 剂量 (reduction equivalent dose)。表征紫外线消毒装置在一定水质条件下所能实现的紫外线剂量，以每支灯管单位流量下所具有的紫外线剂量表示。

3.11 紫外线透射率 ultraviolet transmittance (UVT)

一定波长的紫外线透射特定厚度介质后的紫外线强度与透射前的紫外线强度的百分比。如果不指明介质厚度，则默认为介质厚度 1cm。把 254 nm 波长的紫外线透射率写为 T_{254} 。

3.12 石英套管 quartz sleeve

用于套装紫外灯，使紫外灯与水体隔开的石英管。

3.13 低压灯 low pressure lamp

工作压力为 0.13 Pa ~ 1.3 Pa 的汞蒸汽灯。低压灯的输入电功率约为每厘米弧长 0.5 W，输出主要为 254nm 单频谱紫外线。

3.14 低压高强灯 low pressure high output lamp

指输入电功率约为每厘米弧长 1.5 W ~ 10 W 的低压汞蒸汽灯。低压高强灯主要是汞合金灯（汞蒸汽来源于汞合金），输出主要为 254 nm 单频谱紫外线，单位弧长输出的紫外线功率大于低压灯。

3.15 中压灯 medium pressure lamp

工作压力为 0.013 MPa ~ 1.3 MPa 的汞蒸汽灯。中压灯的输入电功率约为每厘米弧长 50 W ~ 150 W，输出为宽频谱紫外线和可见光。

3.16 紫外灯寿命 operation life of ultraviolet lamp

在正常的使用条件下，紫外灯的杀菌紫外线功率下降至某一特定值（低压灯为额定功率的 70%，低压高强灯为额定功率的 80%，中压灯为额定功率的 70%）时所累计的运行时间。

3.17 紫外灯老化系数 lamp aging factor

紫外灯工作至规定的寿命终点时的杀菌紫外线功率与新紫外灯工作 100h 后的杀菌紫外线功率之比，用 C_{LH} 表示。

3.18 结垢系数 fouling factor

紫外灯套管在水消毒过程中，由于水中的污物（如微生物、油类、各种矿物质等）在套管表面沉积结垢造成套管的紫外线透射率下降，采用特定的清洗方法清洗后，石英套管的紫外线透射率与新使用未结垢石英套管的紫外线透射率之比称为结垢系数，用 C_{JG} 表示。

4 基本要求

4.1 制造

紫外线消毒装置应按规定程序批准的图样和技术文件制造，并符合本标准的规定。

4.2 外观

4.2.1 紫外线消毒装置表面应平整光滑，不得有凹凸不平等明显影响外观的缺陷。

4.2.2 漆层应牢固均匀、无气泡、无堆积和流痕。

4.2.3 铸件表面应光洁、无气孔、砂眼、明显冷隔纹等。

4.2.4 电气柜内布线应整齐牢固，符合设计图纸规定，各条导线标志清晰无遗漏。电气柜的外壳应无损伤。

4.3 原料和材料

4.3.1 封闭式紫外线消毒装置

用于生活饮用水和城市污水再生利用水消毒的封闭式消毒腔体，应采用不低于 0Cr18Ni9 的材料或抗紫外线和抗腐蚀性相当的其它材料。用于城镇污水、医院废水、畜禽养殖废水消毒的封闭式消毒腔体，应采用不低于 0Cr17Ni12Mo2 的材料或抗紫外线和抗腐蚀性相当的其它材料。

4.3.2 明渠式紫外线消毒装置

水下零部件材质不应低于 0Cr17Ni12Mo2 或抗污水腐蚀的其它材料（如聚四氟乙烯）；水上零部件材质不应低于 0Cr18Ni9 或抗高盐高湿空气腐蚀的其它材料。

4.4 零部件

4.4.1 电气控制柜

电气控制柜应能显示紫外灯工作状态、紫外灯工作时间累加、柜内温度、电源的电压电流等参数。

4.4.2 镇流器

紫外灯的镇流器应为电子镇流器。使用低压高强灯（汞合金灯）的系统，其电子镇流器输出功率应在 50%~100%范围内可调。

4.4.3 紫外灯

4.4.3.1 紫外线效率

新的低压灯和低压高强灯的紫外线效率不小于 35%，新的中压灯的紫外线效率不小于 15%。

4.4.3.2 紫外灯寿命

在正常工作和开关灯 1 000 次条件下，低压灯的寿命不小于 8 000h，低压高强灯的寿命不小于 12 000h，中压灯的寿命不小于 5 000 h。

4.4.3.3 紫外灯的老化系数

在紫外灯的工作寿命时间内，低压灯的老化系数不小于 70%，低压高强灯的老化系数不小于 80%，中压汞灯的老化系数不小于 70%。

4.4.4 石英套管

石英套管每毫米石英厚度的紫外线透射率应不小于 90%。

4.4.5 石英套管清洗装置

清洗装置可根据需要调节清洗频次，清洗石英套管时应顺畅、灵活，无明显晃动感。

4.5 防护等级

4.5.1 封闭式消毒腔体耐压

封闭式消毒腔体耐压（水压）应不小于 0.8MPa；对于无压力要求的紫外线消毒装置，耐压应不小于 0.2MPa。

HJ 2522—2012

4.5.2 紫外灯模块防护等级

紫外灯模块水下部分的防护等级不低于 GB 4208 规定的 IP68 或当量等级；模块水上部分的防护等级不低于 IP65 或当量等级。

4.5.3 电气控制柜防护等级

露天使用的电气控制柜及其它功能柜体防护等级应符合 GB 4208 的规定，且不低于 IP65 或当量等级；遮盖及室内使用的电气控制柜防护等级应符合 GB 4208 规定，且不低于 IP56 或当量等级。

4.5.4 绝缘电阻

配电线路与控制线路对电气控制柜的绝缘电阻应不小于 $2\text{M}\Omega$ 。

5 性能要求

5.1 生物验证剂量

5.1.1 饮用水消毒

5.1.1.1 进入紫外线消毒装置的水质除余氯和微生物学指标外，其余指标应符合 GB5749 的规定，且紫外线透射率 T_{254} 不小于 85%。

5.1.1.2 紫外线消毒装置用于饮用水消毒时，紫外线的生物验证剂量应不小于 $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，消毒效果应符合卫生部《生活饮用水消毒剂消毒设备卫生安全评价规范》（试行）的要求，出水应达到 GB 5749 中相应的微生物学指标要求。

5.1.2 城镇污水消毒

5.1.2.1 进入紫外线消毒装置的城镇污水应经过二级生物处理。对于一级 A 排放标准的污水，除微生物学指标外，紫外线消毒装置进水的其余指标应符合 GB18918 一级 A 的规定，且 SS 不大于 $10\text{mg}/\text{L}$ ，紫外线透射率 T_{254} 不小于 65%；对于一级 B 和二级排放标准的污水，除微生物学指标外，紫外线消毒装置的进水的其余指标应符合 GB18918 的规定，且一级 B 的 SS 不大于 $20\text{mg}/\text{L}$ ，二级的 SS 不大于 $30\text{mg}/\text{L}$ ，紫外线透射率 T_{254} 不小于 50%。

5.1.2.2 紫外线消毒装置用于城镇污水消毒时，对于一级 A 排放标准的污水，紫外线剂量应不小于 $20\text{mJ}/\text{cm}^2$ ；对于一级 B 和二级排放标准的污水，紫外线剂量应不小于 $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。出水应达到 GB 18918 所规定的微生物学指标。

5.1.3 城市污水再生水的消毒

5.1.3.1 进入紫外线消毒装置的城市污水再生水应是二级生化沉淀后、经深度处理的水，除余氯和微生物学指标外，其余指标应符合 GB/T18920 的规定，且 SS 不大于 $10\text{mg}/\text{L}$ ，紫外线透射率 T_{254} 不小于 65%。

5.1.3.2 紫外线消毒装置用于城市污水再生水消毒时，紫外线生物验证剂量应不小于 $80\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，出水应达到 GB/T 18920 中规定的微生物学指标要求。

5.1.4 医院污水消毒

5.1.4.1 进入紫外线消毒装置医院污水应是经过二级生物处理或其它工艺深度处理的水，对于按排放标准排放的污水 SS 不大于 $20\text{mg}/\text{L}$ ，按预处理标准排放的污水 SS 不大于 $60\text{mg}/\text{L}$ ，紫外线透射率 T_{254} 不小于 60%。

5.1.4.2 紫外线消毒装置用于医院污水消毒时，紫外线的生物验证剂量应不小于 $60\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，出水应达到 GB 18466 中相应的微生物学指标要求。

5.1.5 禽畜养殖场污水的消毒

5.1.5.1 进入紫外线消毒装置的禽畜养殖场污水应是经过二级生物处理或其它工艺深度处理的水，水

质要求 SS 不大于 20 mg/L，紫外线透射率 T_{254} 不小于 60%。

5.1.5.2 紫外线消毒装置用于禽畜养殖场污水消毒时，紫外线的生物验证剂量应不小于 60 mJ/cm^2 ，出水应达到 GB 18596 中相应的微生物学指标要求。

5.2 结垢系数

结垢系数应大于 85%。

6 试验方法

6.1 外观检查

用目测方法检测。

6.2 电气控制柜试验

在通电状态下，各仪表正常工作、指示灯指示所有紫外灯正常开启。

6.3 紫外线效率

按附录 C 规定的方法测试。

6.4 紫外灯的老化系数

按附录 D 规定的方法测试。

6.5 石英套管的紫外线透射率

按附录 E 规定的方法测试。

6.6 石英套管的清洗装置

将清水灌入封闭式反应器腔体，或将明渠式反应器的紫外灯模块安装紫外灯部分浸入清水池中，开启电源或手工推拉清洗杆。清洗过程平稳，设备无明显晃动。

6.7 封闭式消毒腔体耐压试验

耐压试验是在最高无冲击压力 1.0 MPa 水压下保持 30 min，腔体和各密封处不得泄漏。当工作压力不大于 0.4 MPa 时，耐压试验可在 1.5 倍的工作水压下保持 30 min，腔体和各密封处不得泄漏。

6.8 防护等级

按 GB 4208 规定的方法试验。

6.9 绝缘电阻测量

用 500V 兆欧表分别测量配电线路和控制线路对电气控制柜的绝缘电阻，仪表精度不低于 1 级。

6.10 生物验证剂量

按照 GB/T 19837 方法，具体操作按附录 B 规定的方法试验。

6.11 结垢系数

按 GB/T 19837-2005 附录 B 的方法试验。

6.12 水样的紫外线透射率 T_{254}

将紫外可见分光光度计调至测试透射率档，并调节测试波长至 254 nm。以纯水为空白，倒入 1cm 光程的石英比色皿，调节透射率为 100%，将纯水换成被测水样，光度计的读值即为被测水样的紫外线透射率。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分型式检验和出厂检验两类。

7.1.1 出厂检验

7.1.1.1 设备在出厂前应按规定项目及检测方法逐台检验，检验合格后方可出厂。每套紫外线消毒装置均应附有产品合格证和使用说明书。

7.1.1.2 出厂检验的项目和检验方法见表 1。

7.1.2 型式检验

7.1.2.1 当有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品试生产或老产品转厂生产；
- b) 产品结构、材料、主要元器件、工艺等有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产，每三年一次；
- d) 产品停产三年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上一次型式检验有较大差异时。

7.1.2.2 紫外线消毒装置的型式检验项目和方法见表 1。

7.1.2.3 对于处理量大于 80m³/h 的设备，从出厂检验合格的产品中随机抽样 1 台；对于处理量小于 80 m³/h 的设备，从出厂检验合格的产品中随机抽样 3 台。

表 1 检验项目和检验方法

序号	检验项目	检验类型		要求	检验方法
		型式检验	出厂检验		
1	外观	√	√	4.2	6.1
2	原料和材料	√	√	4.3	供应商检测报告
3	电气控制柜	√	√	4.4.1	6.2
4	紫外线效率	√	—	4.4.3.1	6.3
5	紫外灯的老化系数	√	—	4.4.3.3	6.4
6	石英套管	√	—	4.4.4	6.5
7	石英套管的清洗装置	√	—	4.4.5	6.6
8	封闭式消毒腔体耐压	√	—	4.5.1	6.7
9	防护等级	√	—	4.5.2 4.5.3	6.8
10	绝缘电阻	√	√	4.5.4	6.9
11	生物验证剂量	√	—	5.1	6.10

7.2 判定规则

7.2.1 出厂检验若有一项不合格则不能出厂。

7.2.2 型式检验若有一项不合格，应加倍抽样，并对不合格项进行试验；若仍不合格，则判定为不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

标牌应符合 GB/T 13306 的规定。包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

8.2 包装

8.2.1 紫外线消毒装置的包装应符合 GB/T 13384 的规定。

8.2.2 电气配件的包装应符合 GB/T 15464 的规定。

8.2.3 使用说明书应符合 GB 9969.1 的规定。

8.3 运输与贮存

8.3.1 紫外线消毒装置的运输应轻装轻卸，途中不得拖拉、摔碰。

8.3.2 紫外灯在运输过程中应避免雨雪淋袭和强烈的机械振动。

8.3.3 紫外灯应贮存在相对湿度不大于 85%且通风良好的室内，空气中不应有腐蚀性气体。紫外线消毒装置主要零配部件应贮存在清洁干燥的仓库内，防止受潮变质。

附录 A
(规范性附录)
紫外线剂量——响应曲线测试

A.1 适用范围

本方法适用于微生物的紫外线剂量——响应曲线的测试。

A.2 原理

微生物样品被不同的紫外线剂量辐射后得到不同的失活水平,把紫外线剂量与失活水平的关系用曲线表示,称为紫外线剂量——响应曲线。

A.3 设备与材料

A.3.1 平行光紫外线辐射仪。

平行光紫外线辐射仪 (collimated beam apparatus) 主要由紫外线灯箱、平行辐射筒体、磁力搅拌器等组成,如图 A.1 所示。紫外灯 (40 W 低压灯) 装在灯箱内,以屏蔽紫外线辐射。与灯箱相连的平行辐射筒体 (内径约 10 cm),用来引导产生平行的紫外线,长度可以调整,以使试样表面的紫外线强度可调。辐射筒体末端装有遮光板,用来控制紫外线辐射时间。微生物试样溶液盛于培养皿 (直径 9 cm) 内,液面尽量靠近辐射筒体末端 (2 cm 内),并放在转子磁力搅拌器上不停地搅动,以保证样品溶液中的每个质点都受到均匀的紫外线辐射。

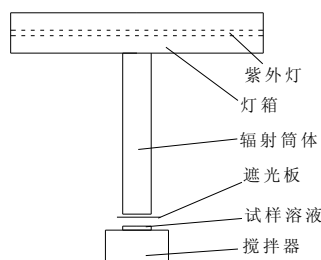


图 A.1 平行光紫外线辐射仪示意图

A.3.2 紫外线辐射强度测量仪。

应能够测量 254 nm 波长的紫外线强度 (0~1) mW/cm²。

A.3.3 转子磁力搅拌器及 $\Phi 3 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 搅拌子。

A.3.4 紫外分光光度计。

波长在 180 nm~380 nm 范围内可调。

A.3.5 $\Phi 9 \text{ cm}$ 培养皿。

A.3.6 石英比色皿 (光程 1 cm)。

A.3.7 秒表。

A.3.8 稳压电源。

A.3.9 紫外线防护眼镜。

A.3.10 常规微生物实验必须的其它设备条件。

A.4 测试准备

A.4.1 紫外线剂量测试操作应按无菌操作要求进行。

A.4.2 进行紫外线测试操作的人员应适当着装（穿白大褂），并佩戴紫外线防护眼镜。

A.4.3 调整平行光紫外线辐射仪辐射窗长度以得到 0.1 mW/cm² 左右的紫外线强度（可根据试验微生物对紫外线的耐受程度调节不同的紫外线强度，使最大辐照时间控制在 20min 以内）。

A.4.4 试验微生物样品

试验微生物样品一般为枯草杆菌黑色变种芽孢（ATCC 9372）、MS2 噬菌体或其他具有代表性的微生物，经过实验室培养，适当无菌纯净水稀释（稀释至约 10⁶ 个/ml）后得到。

A.4.5 将紫外分光光度计波长调至 254 nm，预热 30min。在切断光路的情况下调节仪器读值为“0”，用装纯净水的石英比色皿调整仪器透射率为“100%”，反复按上述步骤调节“0”和“100%”几次，直至“0”和“100%”读值稳定。将试验微生物样品上下摇晃 20 次后，取少量移入另一石英比色皿，测 254 nm 波长的紫外线透射率 T₂₅₄。

A.4.6 关闭遮光板，开启平行光紫外线辐射仪（电源插在稳压电源上），预热 30min 至紫外灯工作稳定，用消毒剂擦拭工作区域。

A.4.7 试验样品的平均入射紫外线强度 (\bar{I}_0) 测量

使用校正后的紫外线辐射强度测量仪，把探头感光面放在与样品液面高度完全一致的高度，并在灯中心下方样品的受光位置范围内（直径 9cm），均匀分布地测试 30 个点（用画好的坐标纸定位），将这 30 个点测试得到的紫外线强度取平均值，得到样品的平均入射紫外线强度（公式 A.1）：

$$\bar{I}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

\bar{I}_0 ——平均入射紫外线强度，mW/cm²；

n——均匀分布的总测试点数；

I_i——第 i 点测试的入射紫外线强度，mW/cm²；

A.4.8 试验样品的平均紫外线强度计算（公式 A.2）：

$$I_{avg} = \frac{\bar{I}_0(1-T_{254}^H)}{-H \cdot \ln T_{254}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

I_{avg}——平均紫外线强度，mW/cm²；

T₂₅₄——样品 254nm 波长的紫外线透射率；

H——培养皿中样品溶液的深度，即培养皿中样品溶液的体积（ml）除以培养皿的面积（cm²），cm。

A.4.9 根据试验微生物对紫外线的耐受程度，预先设定样品的系列紫外线剂量 Dose（一般为 5 个～ 7 个紫外线剂量），计算每个剂量所需的紫外线平行光辐射时间（公式 A.3）：

$$t = \frac{Dose}{I_{avg}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

t——紫外线平行光辐射时间，s；

Dose——紫外线剂量，mJ/cm²。

A.5 测试步骤

A.5.1 上下摇晃样品 20 次，将 50 mL 样品倒入 Φ9 cm 无菌培养皿中，放在磁力搅拌器上搅拌。搅拌速度以保证样品充分混合，无水珠飞溅且无明显的下陷漩涡为宜。检查搅拌器及样品是否在紫外灯下方中心位置。

A.5.2 打开遮光板，辐射样品至第一个设定剂量所需的时间，关闭遮光板。把样品放在另一个搅拌器

上继续搅拌，防止颗粒沉淀造成微生物分布不均，并及时进行微生物数量检测分析。

A. 5.3 重复步骤 A. 5. 2 和 A. 5. 3，测试下一个设定剂量，直至测试完成所以设定剂量。测试宜按紫外线平行光辐射时间从长到短的顺序进行。

A. 5.4 对每个样品预判可能的微生物浓度，然后选择 2 个～ 3 个合适的稀释浓度（使得培养后每皿 20 个～200 个菌落数），用滤膜法（或其他合适的方法）进行微生物数量分析。过滤按微生物数从少到多顺序进行，过滤后取下滤膜放置到倒好培养基的培养皿里，并做好样品编号、稀释量、样品量及辐射时间等记录。为防止样品相互污染，每次过滤前都要消毒漏斗和滤头。

A. 5.5 每个剂量测量分析完成后，最后做 0 剂量的试验微生物样品的微生物浓度分析，以得到 N_0 。

A. 5.6 为了保证测试的有效性，所有不同辐射剂量，都应平行做 2 次重复试验。

A. 5.7 所有的培养皿应立即倒置放进合适温度的培养箱里培养，记录培养的温度和时间。培养结束后记录培养皿的微生物数。

A. 5.8 紫外线辐射后样品浓度 N 的确定：选择培养后 20 个～200 个菌落的培养皿，浓度 N 由下列公式计算，并取 2 次重复试验的平均结果：

$$N = \frac{1000 \times \text{菌落数} / \text{皿} \times \text{样品稀释倍数}}{\text{滤膜过滤样品体积 (ml)}} (\text{cfu} / \text{L}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

A. 6 紫外线剂量——响应曲线

根据试验结果作图 A. 2 紫外线剂量——响应曲线。图 A. 2 表明紫外线剂量与试验微生物失活水平的关系。图中横坐标为紫外线剂量 (mJ/cm^2)，纵坐标为试验微生物的失活水平，用对数去除率表示，即 $\lg(N_0/N)$ ， N_0 为紫外线辐射前的微生物浓度， N 为紫外线辐射后的微生物浓度。

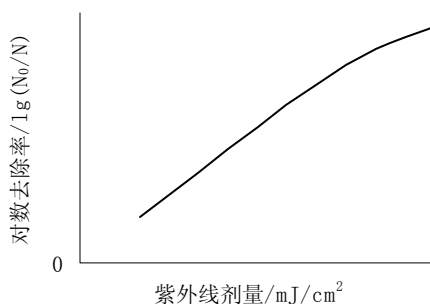


图 A. 2 紫外线剂量——响应曲线

附录 B
(规范性附录)
紫外线生物验证剂量测试

B.1 范围

本方法适用于测试紫外线消毒装置的紫外线生物验证剂量。

B.2 原理

通过调节并给定被测试的紫外线消毒装置（明渠式或封闭式）进水的紫外线透射率，并通过添加试验微生物，测试该装置在不同的水流量条件下试验微生物的失活水平，把得到的失活水平与同一微生物的紫外线剂量——响应曲线（见附录 A）对照，根据紫外线剂量——响应曲线将失活水平转化为相应的紫外线剂量，即得到被测试的紫外线消毒装置的生物验证剂量，并以每支灯的流量——紫外线剂量曲线表示。对于明渠式紫外线消毒装置，测试生物验证剂量时，为适当减小试验规模，常采用 8 支~16 支紫外灯模拟真实装置进行测试。但模拟装置的结构特点（紫外灯间距及其它可能影响水力学因素的附属部件）应与真实装置的结构特点一致。由此得到的生物验证剂量被认作紫外线消毒装置的生物验证剂量，并根据试验结果来确定一定流量和剂量要求下的紫外线消毒装置的灯管数。

B.3 试验装置与材料

B.3.1 试验装置

图 B.1 是测试紫外线消毒装置的生物验证剂量过程的示意图。主要由进水管、出水管、紫外线消毒装置、必要的透射率调节剂加液罐和试验微生物溶液加液罐及其流量计等组成。

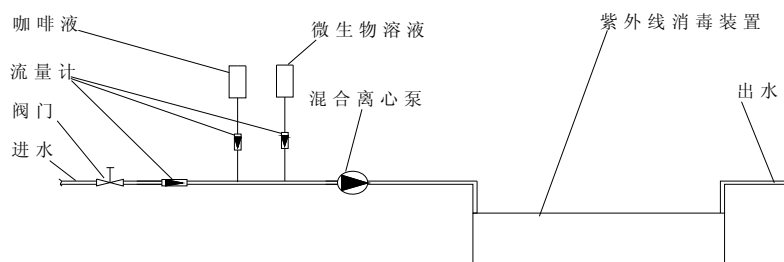


图 B.1 试验装置示意图

B.3.2 试验微生物

一般情况下各种紫外线消毒装置的试验微生物应采用枯草杆菌黑色变种芽孢（ATCC 9372）或 MS2 噬菌体作为受测微生物，如有必要也可采用其他具有代表性的微生物。

试验微生物经过实验室培养后，配制成使用浓度（以 10^{10} 个/L ~ 10^{11} 个/L 浓度为宜）装入加液罐内，并一直连续搅拌至测试完成，搅拌半小时后方可开始测试。

B.3.3 紫外线透射率调节剂

通常选用速溶咖啡作为透射率调节剂。准备浓度为 1% 左右（或其他合适浓度）的速溶咖啡溶液装入加液罐，并一直连续搅拌至测试完成，搅拌半小时后方可开始测试。

B.3.4 测试用水

测试用水来自前置的大水池，其容量满足测试水量要求，其中的水应不含对测试有干扰的微生物和

其它物质，一般采用自来水。自来水应放置 48 h，余氯衰减至小于 0.01 mg/L 后使用，如含有对测试有干扰的微生物，可经紫外线消毒后使用。如果测试所用水量不大，可在试验前直接将咖啡液和试验微生物加到水池里调节透射率和微生物浓度至设置要求（注意要搅拌均匀），通过调节进水流量直接对进水和出水取样测试。

B.4 检测步骤

B.4.1 根据实际需要，设置试验进水的紫外线透射率 T_{254} 和 5 个~7 个均匀分布的目标进水流量 Q 。

B.4.2 用 1cm 光程的石英比色皿在紫外分光光度计上测试咖啡溶液和试验用水的 254 nm 紫外线透射率或吸光度。透射率和吸光度两者的关系为：

$$A = -\lg T_{254} \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

式中：

T_{254} ——254nm 紫外线透射率；

A ——1cm 光程的 254nm 紫外线吸光度。

测试咖啡液的吸光度时，如果咖啡液浓度太大，可稀释后再测，咖啡液的吸光度等于稀释倍数乘稀释后测得的吸光度。

B.4.3 消毒腔内加入自来水，淹没所有的紫外灯。开启紫外灯并调节至所需要的功率，预热紫外灯半小时至稳定工作状态。

B.4.4 调节试验装置进水阀门，得到目标水流量。

B.4.5 按式 B.2 计算注入咖啡液速度，并按计算结果注入咖啡液，调节进水紫外线透射率。

$$q_k = \frac{(A_c - A_j) \cdot Q}{A_k} \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

式中：

q_k ——咖啡液注入管道里的速度，L/min；

A_c ——预先设置的紫外线消毒装置进水的 254 nm 紫外线吸光度；

A_j ——未加咖啡液和菌液的进水的 254 nm 紫外线吸光度；

Q ——紫外线消毒装置的进水流量，L/min；

A_k ——咖啡液的 254nm 紫外线吸光度。

B.4.6 按式 B.3 计算注入试验微生物溶液速度，并按计算结果注入试验微生物溶液，保持测试全过程进水的试验微生物浓度不变。

$$q_w = \frac{N'}{n} Q \quad \dots\dots\dots(B.3)$$

式中：

q_w ——微生物溶液注入进水管速度，L/min；

n ——加液罐里的微生物浓度，个/L；

N' ——预期的紫外线消毒装置进水的微生物浓度，个/L。

B.4.7 等到进水紫外线透射率和微生物浓度稳定后（从加咖啡处至出水口的水体积三倍以上的水量）分别在进水口和出水口用无菌取样瓶取 3 份——对应的 500 ml 样品。出口样必须是在进口取样后，水从进口经过消毒腔流到出口的时间后再取。3 份对应样品都应进行微生物菌数分析并测试紫外线透射率 T_{254} 。

B.4.8 重新调节进水流量至下一个测试点，重复 B.4.5~B.4.7 步骤，直至各流量设置点全部测试完成。

B. 4. 9 每次取样应在 1h 内送到实验室检测分析。未能及时送达实验室的样品应放冰块中保存，不得污染样品，并于当天试验结束后送到实验室检测分析。微生物的检测及微生物对数去除率的计算参照附录 A。

B. 4. 10 试验时应详细记录试验步骤、样品编号、流量、紫外灯功率、型号、灯数和灯间距及在试验中出现的情况。

B. 4. 11 为避免紫外线对人体的伤害，试验过程应并佩戴紫外线防护眼镜。

B. 5 数据处理

B. 5. 1 流量—生物验证剂量关系曲线

将上述试验得到的试验微生物的对数去除率对比用同一微生物测得的紫外线剂量——响应曲线(附录 A)，将试验微生物的对数去除率转化为剂量，此时得到的紫外线剂量即为生物验证剂量。用对应的进水流量与生物验证剂量作图，得到单支灯管处理流量—生物验证剂量关系曲线 B. 2。

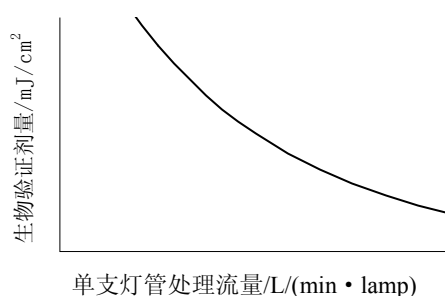


图 B. 2 进水流量—生物验证剂量关系曲线

图 B. 2 中横坐标为流量，指单支紫外灯处理流量，单位为 L/ (min · 灯)；纵坐标为生物验证剂量，单位为 mJ/cm²。

B. 5. 2 安全生物验证剂量计算

为了确保紫外线消毒的效果，紫外线消毒装置的设计时应考虑紫外灯老化及套管结垢情况下所能实现的生物验证剂量，即安全生物验证剂量，并将老化系数和结垢系数的乘积称为安全系数。安全生物验证剂量可通过公式 B. 4 计算得到：

$$ED=ND\times C_{AQ} \dots\dots\dots(B.4)$$

式中：

ED——安全生物验证剂量，mJ/cm²；

ND——新紫外灯管状态下紫外线消毒装置的生物验证剂量，mJ/cm²；

C_{AQ}——安全系数 (C_{AQ}=C_{LH}×C_{JG})。

ED 用于紫外线消毒装置的工程设计，确保在紫外灯老化和套管结垢的情况下紫外线消毒装置的生物验证剂量能达到设计要求。

附录 C
(规范性附录)
紫外线功率测试和紫外线效率计算

C.1 适用范围

本方法适用于单一波长输出的直形低压汞灯和低压高强灯的紫外线功率测试和紫外线效率计算。

C.2 测试原理

将紫外线强度探头放在紫外灯的中垂线上(图 C.1), 探测紫外线强度, 根据公式 C.1 计算紫外线功率。

$$P = \frac{20E\pi^2DL}{2\alpha + \sin 2\alpha} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

P—紫外线功率, W;

E—紫外线强度探头测得的紫外线强度, mW/cm²;

D—紫外线强度探头到紫外灯中心的距离, m;

L—紫外灯弧长, 即灯两端灯丝的距离, m;

α —紫外线强度探头与紫外灯弧长的半夹角, rad。

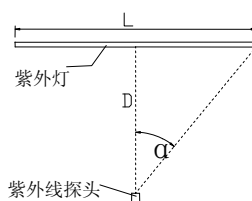


图 C.1 紫外线强度测试示意图

紫外线强度探头与紫外灯弧长的夹角 2α 随着探头到紫外灯心的距离 D 的变化而变化, 由于探头设计结构的特点, 不同的夹角对探头的响应有不同的影响, 所以要在不同距离测试紫外线强度, 直至找到合适的测试距离(通常测试距离为 $D=L/2\sim 4L$), 使得测试得到的紫外线功率 P 不再随着探头与紫外灯的距离的增加而增加。

C.3 试验仪器和测试要求**C.3.1 试验仪器**

C.3.1.1 紫外线辐射强度测量仪及 254 nm 紫外线强度探头(简称紫外线强度探头)。

C.3.1.2 测室内温度用温度计。

C.3.1.3 测室内湿度用湿度计。

C.3.2 测试要求

C.3.2.1 测试房间无空气流动, 且不反射紫外线。紫外灯应水平放置。

C.3.2.2 测试过程应避免紫外线辐射人体眼睛和皮肤。

C.4 测试探头与紫外灯距离的确定

C.4.1 将紫外灯水平放置在测试房间的一侧, 离墙壁 0.5 m 以上并高出地面 1 m, 接上镇流器和电源。

C.4.2 在 1 m 高度的紫外灯中垂线上设置若干个测试点。

C.4.3 将紫外线强度探头放置在第一个测试点处, 探头的感光面正对紫外灯中心。

C.4.4 开启紫外灯，预热至紫外灯工作稳定，记录紫外线强度探头测得的紫外线强度。

C.4.5 将紫外线强度探头移至第二个测试点处，测试和记录紫外线强度，并依次测试每一个测试点的紫外线强度。

C.4.6 利用公式 C.1 计算紫外线功率。

C.4.7 以测试点处紫外线强度探头到紫外灯中心的距离 (D) 为横坐标，紫外线功率为纵坐标作图。当某一个测试点之后所测得的紫外线功率不再随 D 的增加而增加时，这个距离为最小测试距离 D_{\min} 。对于同一个紫外线强度探头和相同型号的紫外灯， D_{\min} 是固定不变的，以后作相同型号紫外灯的紫外线功率测试时不必重新确定 D_{\min} 。

C.5 测试步骤

C.5.1 将紫外灯水平放置在测试房间的一侧离墙壁 0.5 m 以上并高出地面约 1 m，接上镇流器和电源。

C.5.2 将紫外线强度探头放置在 1 m 高度的紫外灯中垂线上，距离紫外灯中心 D_{\min} ，探头的感光面正对紫外灯中心。

C.5.3 记录测试房间温湿度。

C.5.4 开启紫外灯，记录紫外线强度、紫外灯输入功率、电压和电流。

C.5.5 每隔 5 min 记录一次紫外线强度，并注意记录最大紫外线强度（此时为峰值状态），直至紫外线强度稳定（此时为稳定状态）为止。

C.5.6 再次记录测试房间温湿度。

C.5.7 每支紫外灯重复测试三次，取平均值，用公式 C.1 计算峰值和稳定状态时紫外灯的紫外线功率。

C.5.8 用公式 C.2 计算紫外灯的紫外线效率。

$$\text{紫外线效率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{紫外线功率 (W)}}{\text{紫外灯输入功率 (W)}} \dots\dots\dots \text{(C.2)}$$

C.6 报告内容

C.6.1 紫外灯型号、厂家。

C.6.2 镇流器型号、厂家。

C.6.3 紫外线辐射强度测量仪及紫外线强度探头型号、厂家。

C.6.4 紫外灯弧长。

C.6.5 紫外线强度探头到紫外灯中心的距离。

C.6.6 测试时房间温湿度。

C.6.7 测试时紫外灯输入功率和紫外线功率。

C.6.8 紫外线效率。

附录 D
(规范性附录)
紫外灯老化系数测试

D.1 原理

在紫外灯规定的寿命终点测试紫外线功率，将测试结果除以新灯紫外线功率即得到紫外灯老化系数。根据公式 C.1，对于固定弧长的紫外灯，当紫外线强度探头到紫外灯中心的距离一定时，紫外线功率与紫外线强度成正比。本方法通过测定一定时间间隔的紫外线强度变化，用不同时间测得的紫外线强度除以新灯的紫外线强度得到不同时间的紫外灯老化系数。

D.2 试验仪器和测试要求

D.2.1 试验仪器

D.2.1.1 紫外线辐射强度测量仪及 254 nm 紫外线强度探头（简称紫外线强度探头）。

D.2.1.2 测室内温度用温度计。

D.2.1.3 测室内湿度用湿度计。

D.2.2 测试要求

D.2.2.1 测试时测试房间的温度应为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，湿度应小于等于 70%。

D.2.2.2 测试房间应无空气流动，且不反射紫外线。紫外灯应水平放置。

D.2.2.3 紫外灯水平放置在测试房间的一侧，离墙壁 0.5 m 以上并高出地面 1 m 以上。

D.2.2.4 测试过程应避免紫外线辐射人体眼睛和皮肤。

D.3 测试步骤

D.3.1 将新紫外灯按 D.2.2.3 要求放置，接上整流器和电源，开启紫外灯工作 100 h，测新灯紫外线强度。

D.3.2 测试时，对于弧长小于 1m 的紫外灯，紫外线强度探头放置在离紫外灯 1 m 处；对于弧长大于 1 m 的紫外灯，紫外线强度探头放置在离紫外灯 2 m 处。探头在紫外灯弧长中心的法线上，离地面高度与紫外灯离地面高度相等，感光面正对弧长中心。

D.3.3 开启紫外灯，直至紫外灯工作稳定，记录此时紫外线强度。

D.3.4 紫外灯每工作 2000 h 测试紫外线强度，步骤同 D.3.2 和 D.3.3。注意紫外灯每工作 12 h 需关闭 15 min。

D.3.5 以时间为横坐标，以不同时间测得的紫外线强度与新灯紫外线强度的比值（也即功率比值）为纵坐标作图，得到随时间变化的紫外线老化系数曲线。

附录 E

(规范性附录)
石英套管紫外线透射率测试

E.1 原理

石英套管紫外线透射率的测试是使紫外线从石英套管的一端射入，从石英套管正对面的另一端射出，此时测得的紫外线强度与紫外线穿过石英套管前测得的紫外线强度之比，即为双层石英套管壁的紫外线透射率，将双层石英套管壁的紫外线透射率开平方，即得到石英套管透射率。

E.2 试验器材

紫外可见分光光度计。

E.3 试验步骤

E.3.1 把石英套管裁成 3 cm~5 cm 长，边缘整齐的小段，并将裁好的石英套管表面擦拭干净。

E.3.2 开启光度计并调至测试透射率挡，把测试波长调至 254 nm，预热 20 min 直至光度计工作稳定。

E.3.3 用遮光物体遮挡光路，调节光度计透射率为“0”，去除遮光物体，调节光度计透射率为“100%”。重复上述步骤，直至“0”和“100%”稳定不变。

E.3.4 把裁好的石英套管放入光度计的样品测试室，测试光束应垂直穿过石英套管正中央，读取透射率，该值为双层石英套管壁的透射率。

E.4 石英套管紫外线透射率的计算

根据公式 E.1 计算石英套管的紫外线透射率：

$$T_{254} = 100 \cdot \sqrt{\frac{T'}{100}} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

T_{254} ——石英套管紫外线透射率，以%表示；

T' ——光度计读取的双层石英套管壁的透射率，以%表示。