



终止结核病传播倡议行动

用于结核传播控制的室内上层空间紫外线杀菌（GUV）空气净化系统的维护



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

Partner of the

Stop TB Partnership

目录

致谢.....	5
编审人员.....	6
简介.....	8
定义.....	9
安全性.....	12
紫外线照射杀菌（紫外线杀菌）灯具系统.....	13
灯具.....	15
通风.....	15
植物和材料降解.....	15
制定维护计划.....	16
书面计划的要素.....	16
室内上层空间紫外线杀菌灯具维护工作的主要内容.....	17
监测.....	18
性能（辐照）测量.....	18
安全性监测.....	18
用于监测的手持式紫外（UV-C）辐照计（辐射计）.....	18
紫外线照射/紫外线杀菌维护记录模板 - 日志簿样例.....	23
灯具和灯管的清洁.....	24
清洁步骤.....	25
更换灯管.....	26
例行检查.....	26
维修.....	26
故障灯管、镇流器、灯具的处理/清洁.....	27
总结.....	27
参考文献.....	27



致谢

感谢审稿人对第一版《用于结核传播控制的室内上层空间紫外线杀菌（GUV）空气净化系统的维护》提出的评价和意见。

依照合作协议 STBP/USAID/GSA/WG/92954/2017-05，本报告在美国国际发展署 (USAID) 的“遏止结核病合作伙伴关系”（Stop TB Partnership）“终止结核病传播倡议行动” (ETTi) 工作组的支持下制定而成。

免责声明：作者在本出版物中表达的观点不一定反映美国国际发展署或美国政府的观点。

封面照片：

工程师在印度孟买的手术室安装室内上层空间紫外线杀菌（GUV）灯具。

照片来源：Richard L. Vincent



<http://www.stoptb.org/wg/ett/>

首次印刷：2017年9月1日

© ETTi 2017

编审人员

作者

Richard L. Vincent, 西奈山医院伊坎医学院, 美国纽约

审阅者

Sevim Ahmedov, 美国国际发展署, 贝塞斯达, 美国马里兰州

Soura Bhattacharyya, Lattice Innovation, 印度新德里

Sujata Baveja, Lokmanya Tilak 市立医学院及综合医院, 锡安, 印度孟买

Ernesto Jaramillo, 世界卫生组织, 瑞士日内瓦

Neeraj Kak, URC, 贝塞斯达, 美国马里兰州

Alfranio Kritski, 联邦大学医学院, 巴西里约热内卢

Paul A. Jensen, 美国疾病控制与预防中心, 美国佐治亚州亚特兰大

Max Meis, KNCV 结核病基金会, 荷兰海牙

Edward A. Nardell, 布莱根妇女医院, 哈佛医学院, 美国马萨诸塞州波士顿

Nii Nortey Hanson-Nortey, 国家结核病项目, 加纳阿克拉

Carrie Tudor, 国际护士理事会, 南非德班

Tobias vanReenen, CSIR, 南非比勒陀利亚

Grigory Volchenkov, 弗拉基米尔地区结核病控制中心, 俄罗斯弗拉基米尔

简介

降低风险

结核病（TB）的传播最常发生于人员聚集场所，那些患有未被发现、未确诊或治疗不充分的结核病或耐药结核病（DR-TB）的人前来接受服务，并在拥挤的室内穿行。在卫生保健场所，结核传播的风险尤其高，因为人们在候诊区长时间停留，并与寻求治疗的其他人共享空气。由未被发现或未充分治疗的结核病患者产生的感染性结核分枝杆菌 [MTB] 气溶胶可持续悬浮数小时。可在整体结核传播控制计划中实施一整套预防和控制策略。控制措施涵盖管理控制措施、环境控制措施和呼吸防护措施。

应将**管理控制措施（或工作实践控制措施）**作为重中之重予以落实，因为它们已被证明可以减少卫生保健机构内的结核传播。这类控制措施是健全的感染控制实践的重要组成部分，要求及时识别、隔离和治疗有结核症状的人。为了对结核病患者或疑似结核病患者进行物理隔离，要求合理地设计、建造或改造以及使用建筑物。

环境控制措施包括降低空气中感染性呼吸气溶胶（即飞沫核）浓度的方法，以及控制感染性空气流向的方法。环境控制措施的选择与建筑设计、建造、改造和使用密切相关，而建筑的设计、建造、改造和使用必须考虑当地的气候和社会经济条件。环境控制措施包括：通风（自然、机械和混合模式），旨在降低微生物浓度并将其排出到室外；通过过滤捕获感染性颗粒；以及**利用空气混合系统进行紫外线杀菌（GUV）（以前称为紫外线照射杀菌 [UVGI]）**，当这些空气传播的有机体通过被照射的上层空间时，即会被灭活，同时净化了的空气会返回到原位置。紫外线杀菌对建筑通风（包括机械和自然通风）构成补充，但是当缺乏机械通风或机械通风不充分，且自然通风有限时，紫外线杀菌也可成为空气净化的主要手段。

在传播风险较高的情况下，**个人防护装备 (PPE)**（防护口罩）应与管理控制和环境控制措施一起使用。

环境控制和个人防护装备控制措施包含管理控制内容。

室内上层空间紫外线杀菌空气混合系统的用途

在许多高风险环境中，在拥挤、有人驻留的地方，缺乏通风，或者通风不足以稀释、移除或照射感染性结核分枝杆菌气溶胶。最近的研究(Mphaphlelele 等，2015年，Escombe 等，2009)表明，运用设计良好和维护良好的室内上层空间紫外线杀菌空气混合系统，风险可降低至少 80%。为了从这种环境控制措施的投入获得最大的收益，适当的安装、使用前的调试以及定期维护以确保系统正常运行对于可持续性至关重要。

建筑业主/运营商对紫外线杀菌的需求意向

本文件假定感染预防与控制委员会或机构内的相关部门已经：

1) 通过由拥有紫外线杀菌技术知识的合格感染控制专业人员开展建筑物评估来启动部署过程，以确定需要在哪些区域部署室内上层空间紫外线杀菌，从而补充现有的通风（机

- | |
|---|
| 械、自然或混合模式)。 |
| 2) 积极解决电力系统中可用电力供应和容量的问题，以确保在停电期间系统能够继续运作。 |
| 3) 制定了一份计划，显示室内上层空间紫外线杀菌灯具的安装位置。 |
| 4) 在安装室内上层空间紫外线杀菌系统时，按照部署程序确保紫外线杀菌灯具的安装和运行符合制造商的规格要求，并评估其人员安全性和所需的室内上层空间输出强度。 |

在部署过程中的性能评估结果应当记录在一份报告中，其中包含如下内容：

- | |
|---|
| 1) 维护计划和预算； |
| 2) 所安装的紫外线杀菌灯具的系统原始设计和制造商手册中的安装说明，以及其他规格信息和设计标准； |
| 3) 已安装并验收的各个室内上层空间紫外线杀菌灯具的“竣工图”； |
| 4) 运行 100 小时后的基线输出读数； |
| 5) 每个灯具覆盖的区域的安全性测量结果，并记录需要做出的任何调整； |
| 6) 紫外线杀菌顾问和制造商的联系方式，以便于后续跟进。如果这些信息目前还无法获得，或者目前还处在紫外线杀菌系统的设计规划阶段，则本维护手册将有助于记录安装情况，以进行持续的维护和机构存档。 |

本维护手册的主旨

本手册重点描述为了持续性地维护室内上层空间紫外线杀菌系统而需要落实的要素。“维护”是指为了使某一设备、机器或系统保持或恢复到预期运作状态以实现其最大效能而采取的**必要举措**。此外，它还包括整改（反应性）维护和预防性维护。反应性维护包括为排除系统故障而立即采取的**必要行动**（例如，一盏灯烧坏了，需要更换，或者灯光闪烁，需要更换镇流器），以及对人员驻留区域可能发生过度暴露的报告作出响应。预防性维护是对设备进行系统的、定期的检查，在设备使用寿命结束前定期清洗和更换部件，并测量输出强度和运行安全性。本手册将探讨如何制定维护计划，如何实施计划，以及谁应该负责确保计划的持续落实。这些内容面向的受众是维护服务提供商、政府/监管检查工作组、卫生机构（包括医院和社区卫生所）和监禁机构的内部医务人员和维护人员，以及制造商。

定义

管理控制措施（或工作实践控制措施）：应当作为重中之重得到落实，因为它们已被证明可以减少卫生保健机构内的结核传播。这类控制措施是健全的感染控制实践的重要组成部分，要求及时识别、隔离和治疗有结核症状的人。管理控制措施旨在降低暴露于可能患有结核病的人的风险。例子包括与当地或州卫生部门协调工作；对场所进行结核风险评估；制定并落实书面结核感染控制计划，以确保及时发现结核感染、隔离空气传播感染

（AII），以及对疑似或确诊结核病患者进行治疗；筛查和评估有结核风险或可能暴露于结核分枝杆菌的卫生工作者。

部署过程：以质量为着眼点的程序，旨在改善项目的交付。该过程侧重于验证和记录设施及其所有系统和组件的规划、设计、安装、测试、操作和维护，以满足业主的项目要求。

（见业主的项目要求。）

环境控制措施：包括降低空气中感染性呼吸气溶胶（即飞沫核）浓度的方法，以及控制感染性空气流向的方法。环境控制措施的选择与建筑设计、建造、改造和使用密切相关，而建筑的设计、建造、改造和使用必须考虑当地的气候和社会经济条件。环境控制措施包括：通风（自然、机械和混合模式），旨在降低微生物浓度并将其排出到室外；通过过滤捕获感染性颗粒；以及利用空气混合系统进行紫外线杀菌（GUV）（以前称为紫外线照射杀菌 [UVGI]），当这些空气传播的有机体通过被照射的上层空间时，即会被灭活，同时净化了的空气会返回到原位置。紫外线杀菌对建筑通风（包括机械和自然通风）构成补充，但是当缺乏机械通风或机械通风不充分，且自然通风有限时，紫外线杀菌也可成为空气净化化的主要手段。

紫外线杀菌（GUV）：参见“紫外线照射杀菌”（UVGI）。

杀菌（UV-C）灯：带灯管的低压汞汽灯，可输出 UV-C 杀菌辐射。（更多信息，参见 UV-C）。

紫外辐照计（辐射计）：用于测量辐射量，特别是紫外线辐射度或能量密度的仪器。可测量低压杀菌灯，其探头上有余弦校正 254 nm 滤光片，检测范围为 0.01 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 至 2000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

感染预防与控制（IPC）：基于证据的实践和程序，当在卫生保健场所持续应用时，可防范或降低微生物传播给卫生工作者、其他驻留人员和访客的风险。

灯具：能分配、过滤或转换一盏或多盏灯发射的任何 [可见] 光 [和/或杀菌紫外线] 的装置，包括光源以及所有用于固定和保护光源所需的全部零、部件，以及与电源连接所必需的线路附件。

维护：旨在保留或恢复设备、机器或系统以实现其最大使用寿命的必要举措。包括整改（反应性）维护和预防性维护。摘自：

<http://www.businessdictionary.com/definition/maintenance.html#ixzz4CbenRqVX>

结核分枝杆菌：属于结核分枝杆菌复合群，是人类最常见的结核病致病传染因子。在某些情况下，指整个结核分枝杆菌复合群，包括牛分枝杆菌、非洲分枝杆菌、田鼠分枝杆菌、坎纳分枝杆菌、山羊分枝杆菌和海豹分枝杆菌。

个人防护装备（PPE）：在传播风险较高的情况下，个人防护装备（PPE）（防护口罩）应与管理控制和环境控制措施一起使用。

结核（TB）病：由属于结核分枝杆菌复合群的微生物感染引起的临床（有症状或体征）或亚临床（疾病的早期阶段，此时没有症状或体征，但有其他适应症 [见下文]）病症。细菌可以攻击身体的任何部位，但疾病最常见于肺部（肺结核）。肺结核病可能具有传染性，而肺外结核（发生在肺外的身体部位）通常不具有传染性。当唯一的临床发现是特异性的胸部影像学异常时，该病症被称为“非活动性结核病”，可与活动性结核病相区别，后者伴有疾病活动的症状或其他指征（例如，能够从呼吸道分泌物培养中再生结核菌，或者有特异性胸部影像学异常）。

结核病病例定义：

- 细菌学确证的结核病病例是通过涂片镜检、培养或 WRD（例如 Xpert MTB/RIF）从中获得阳性生物标本的病例。无论是否已启动结核病治疗，都应上报所有此类病例。

• 临床诊断的结核病病例是指不符合细菌学确证标准但已被临床医生或其他医务工作者诊断为活动性结核病并决定给予全程结核病治疗的病例。此定义包括基于 X 线检查异常或推测性组织学诊断的病例，以及未经实验室确认的肺外病例。临床诊断后发现细菌学阳性的病例（治疗前或治疗后）应重新归类为细菌学确证病例。

此外，细菌学确证或临床诊断的结核病病例还可按以下情形分类：

- 疾病侵犯的部位；
- 既往治疗史；
- 耐药性；
- HIV 感染状况。

结核病接触者：与患有结核病的人共用同一空间并且共用时间足以传播结核分枝杆菌的人。

紫外线照射杀菌 (UVGI) (参见紫外线杀菌 (GUV))：利用短波紫外线 (UV-C) 系统发出的短波紫外线能量来灭活微生物，使其不再能够复制并对健康产生不利影响。注：紫外线照射杀菌 (UVGI) 是一个广泛使用的书面语，最近有些人也开始称之为“紫外线杀菌”。紫外线是非电离辐射。

UV-C (短波紫外线)：波长在 280 nm 和 100 nm 之间的紫外线辐射。“杀菌”紫外线波长（当使用低压汞汽灯产生时通常为 253.7 nm）在此紫外线波段内。

安全性

在规划、部署、操作和维护这些设备时，保持最佳的紫外线剂量以灭活结核分枝杆菌，同时保持人类安全以免过度暴露于来自室内上层空间 GUV 系统的 UV-C 能量。经过精心规划、安装、部署、操作和维护的室内上层空间紫外线杀菌系统已在全世界得到安全使用；然而，人为失误、灯具安装不当或灯具类型错误曾经导致暂时的、痛苦的眼部和皮肤刺激（在 24-48 小时内消除）。紫外线杀菌暴露的长期影响尚不得而知（Nardell 等，2008）。在制定机构内紫外线杀菌系统的维护和运行计划时，请参阅本手册关于紫外线杀菌“性能（照射强度）测量”和“安全性测量”的部分，其中描述了如何测量视平线 UV-C 辐照度水平以确定 8 小时的累积暴露是否超过 6 mJ/cm^2 （美国政府工业卫生学家委员会（ACGIH），2015）（国际照明委员会（CIE），2003）。在一次全国室内上层空间紫外线现场试验（收容所结核病紫外线研究（TUSS），1997-2004）中，在美国六个城市的不同类型的 14 个无家可归者收容所安装了 1200 套室内上层空间紫外线灯具。只发生了一例过度暴露，起因是双层床太靠近室内上层空间紫外线杀菌灯具。通过改变灯具安装位置，该人员暴露问题得以解决（Nardell 等，2008）。在波士顿的一家医院里，病房里装有紫外线杀菌灯具，护士们佩戴了 UV-C 监测仪。在几天的时间里，UV-C 的每日累积强度只是上限值 6 mJ/cm^2 的一小部分（First, 2005）。另一个安全性考虑事项是灯具的设计和输出，例如，对于天花板高度超过 2.7 米（9 英尺）的空间，应该使用开放式的非百叶窗式灯具，而对于天花板高度为 2.4 米（8 英尺）的空间，应该使用百叶窗式灯具。此外，灯具内应当有安全开关，以在灯具打开后使其停止工作。

要点： 通过适当的安装、用法培训、标识，以及由经过培训的、使用使用个人防护装备的人员进行安全性测量，紫外线杀菌系统可在确保人身安全的情况下运行。

要点： 若要在紫外线杀菌处理区域[从灯具底部到天花板]内工作，维护人员必须接受关于个人防护装备（例如防护眼镜）用法的培训。

在安装了室内上层空间紫外线杀菌灯具的房间内的标志样例，应根据需要使用多种语言：



紫外线照射杀菌（紫外线杀菌）灯具系统

紫外线杀菌灯具根据品牌、型号、效率和制造商而有所不同。必须注意遵循制造商的所有维护和维修建议。然而，为了保持灯具的功效和有效性，也需要遵循某些标准或通用的维护程序。应定期佩戴适当护目镜开展目视检查，如果发现灯管故障（灯未点亮），应立即采取整改措施使灯具恢复正常。

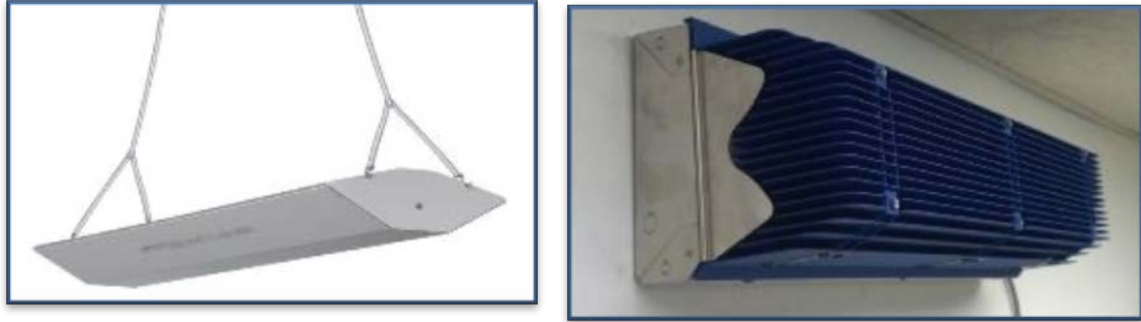


图 1：（左上）开放式室内上层空间紫外线杀菌灯具示例，适用于天花板高度为 2.7 米（9 英尺）或以上的空间。（右上）百叶窗式室内上层空间紫外线照射杀菌灯具的示例，适用于天花板高度为 2.4 米（8 英尺）（或更高）的空间。

某室内上层空间紫外线杀菌灯具的组成结构

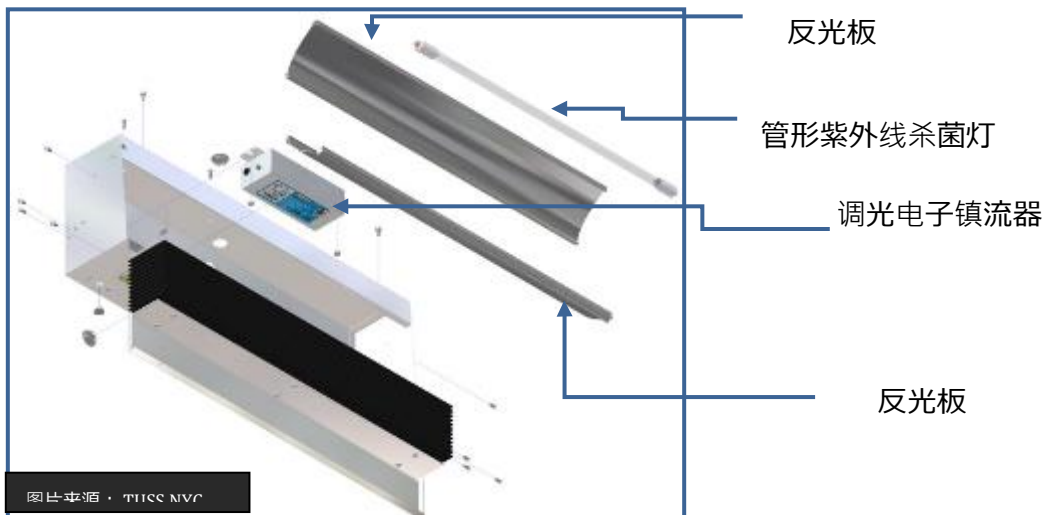
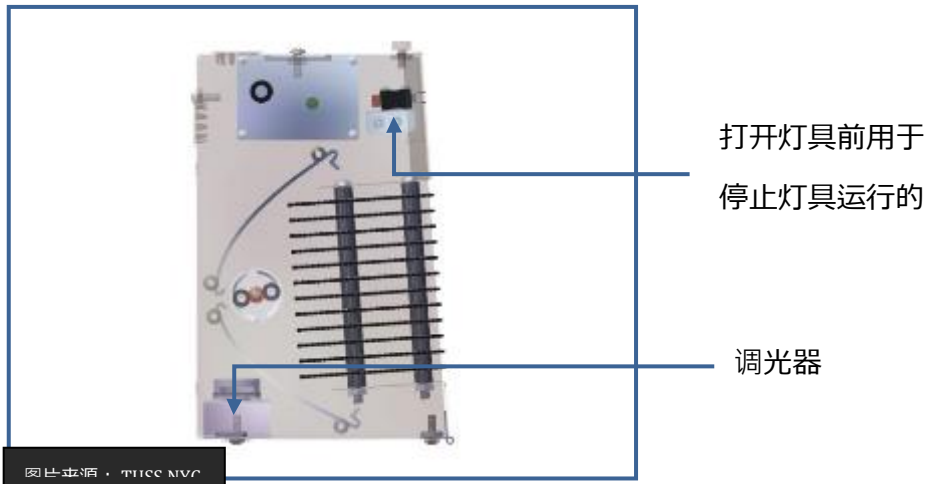


图 2 A 和 B：壁式百叶窗式室内上层空间紫外线杀菌灯具的组成结构展开图（上图）和横截面图（下图）。



灯（光谱，真伪，使用寿命，特性）

虽然存在其他杀菌紫外线源，但目前最高效的UV-C灯是低压汞汽灯。这类灯含有汞，当灯点亮后汞会汽化。由于放电中的电场与惰性气体碰撞，汞原子会加速，并达到激发态（图3）。激发态的汞原子在253.7 nm波长下会释放出近85%的能量。在可见光波段释放的能量非常少，因此剩余的能量会在紫外波段（主要是185 nm）产生各种不同的波长（图4）。然而，用于室内上层空间紫外线杀菌的优质UV-C灯有内部涂层，旨在防止灯发出真空

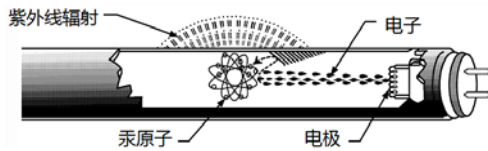


图3：杀菌灯内的汽化汞原子释放紫外线示意图。图片来源：

源：IESNA

紫外线（200nm及以下），因此不会有臭氧产生。而质量差的UV-C灯会产生臭氧。更换的UV-C灯不应产生臭氧。使用过的UV-C灯的回收应符合国家和地方环境法规，为此，需要考虑制造商提供的UV-C灯内汞含量的数据。

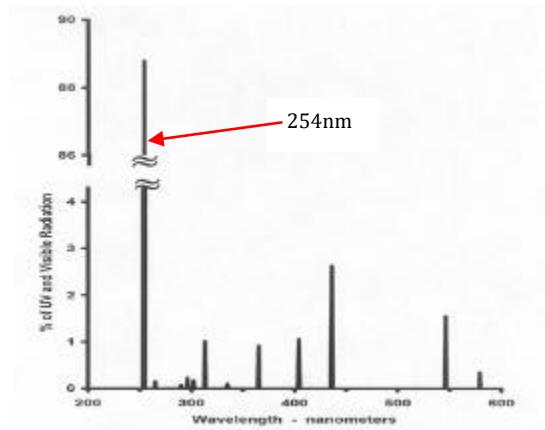


图4：低压汞汽UV-C灯的光谱输出。图片来源：Robert E. Levin

UV-C灯的使用寿命因型号、制造商和运行特性而异。目前可用的大多数UV-C灯的标称有效寿命为6,000-10,000小时或直至燃尽。一些新型灯和镇流器套件的标称使用寿命为18,000小时。关于灯的有效寿命，应当参考制造商提供的提示，并考虑镇流器和其他性能指标（如温度）。灯的整体寿命受电压、开关次数的影响，这取决于用于启动和维持电流的镇流器，因此让灯连续工作有利于延长灯的使用寿命。灯的使用寿命取决于灯中电极（或灯丝）的击穿和石英的劣化。当灯由于电极击穿而发生故障时，灯通常无法点亮，故障显而易见。当灯光强度下降时，即使杀菌效能降低到合格水平以下，灯仍会继续“发蓝光”。紫外辐照计（辐射计）用于测量灯具/灯的绝对或相对输出，从而监测灯的使用寿命。另一种成本效益高的方法（取决于当地经济水平）是根据制造商的建议设定固定的灯管更换时间表。如果劳动力成本低，定期监测灯具的输出可以延长灯具的使用寿命，如下文所述。

紫外线杀菌灯在磨合期（约 100 小时）内会经历初始输出下降，随后由于灯的老化（霜化）和内表面上的金属沉积而在其使用寿命期间逐渐减少输出。在其寿命即将结束时，即使几乎不发出紫外线，您也可能会看到灯具发出蓝光。这就是为什么有必要知道灯具的基线输出是多少，并定期检查输出以确定何时更换灯管。

- 观察到灯的年度发光量下降（First 等，2007b）：
 - 对于管形灯，平均下降 16%
 - 对于折叠式（紧凑型）灯，平均下降 26%

镇流器

镇流器控制灯具中的灯的电流。紫外线杀菌灯具中使用的镇流器与标准荧光照明灯具中的镇流器在设计 and 用途上相同。电子镇流器带有内置启辉器，其中一些支持调光。该电子元件还允许调节电压，并削减供电不稳导致的波动。可调光镇流器允许根据安全性要求调控已安装的紫外线杀菌灯具。镇流器故障容易识别和诊断。如果在更换灯之后灯具仍不工作，说明可能镇流器有故障，或者可能是供应给灯具的电压有问题。大多数镇流器的部件都不可维修，因此出现故障后必须整体更换。必须注意确保镇流器与灯的电气规格相匹配。如果使用不匹配的镇流器，灯可能会点亮，但其寿命和效率可能会受到影响。应当遵循制造商关于更换部件和接线说明的所有建议。

强烈建议使用制造商为每种类型的灯推荐的镇流器，因为如果不符合最优条件，会影响灯的启动性能、紫外线杀菌照度和工作寿命。

灯具

许多紫外线杀菌灯具由不锈钢或铝制成。这些材料可以抵抗长期高强度的 UV-C 照射。涂在百叶窗的金属片或电源上的涂料可随着长期暴露于 UV-C 而降解。不锈钢则不太可能随着时间的推移而变形；而铝的重量更轻，这对于降低安装和运输成本很重要。灯具内部的电线需要屏蔽，以防止因 UV-C 照射而变得脆弱。灯具的设计必须确保百叶窗、灯、镇流器和反光板易于清洁和维护。

安全开关/运动传感器/观察窗、调光开关

灯具的多种特征可以为室内人员和维护人员创造更安全的环境，但同时会增加成本和维护负担。安全开关可以关闭单个紫外线杀菌灯具，以便于进行清洁。运动传感器可以自动关停灯具，以防止人所处位置高于视线水平时意外暴露于高强度 UV-C。由常规非透射紫外线玻璃制成的观察窗可以显示紫外线杀菌灯是否点亮。可以将额外的传感器嵌入紫外线杀菌灯具中，以提示灯的照度。一些室内上层空间紫外线杀菌灯具具有调光镇流器，可降低灯具的初始照度，从而确保安全，或者当后期灯光照度降到较低水平时，可以调节调光器以保持杀菌紫外线输出。所有灯具都需要满足所在国家的电气规范。

通风

研究表明，充分混合的室内空气对于室内上层空间紫外线杀菌的有效性至关重要。研究（Xu 等，2003）发现在室内空气不混合的情况下紫外线杀菌的效果降低了 80%。许多没有机械通风的场所使用低速吊杆风扇或摇摆式壁扇。当使用风扇、机械通风或二者的组合时，必须对其进行适当维护，以实现有效的紫外线杀菌。

植物和材料降解

即便是低强度的紫外线杀菌也会抑制室内植物的光合作用，室内植物不能耐受这类波长。因此，植物应置于室内上层空间紫外线处理区下面。如同在阳光下暴露于紫外线的情形那样，UV-C 的能量会导致有机材料随着时间的推移而褪色和降解。这一点应该在设施维护工作中予以考虑。

制定维护计划

有必要制定一份书面文件，用于维护已安装的室内上层空间紫外线杀菌空气混合系统。本文档可指导紫外线杀菌空气混合系统的维护，无论是机构内部执行维护还是外包给紫外线杀菌维护服务公司。

书面计划的要素

书面记录—保留日志

记录室内上层空间紫外线杀菌灯具的安装、检查、清洁、移动等情况。按照既定的清洁频率（通常每 3 至 6 个月一次）记录紫外线杀菌灯具的输出；然而，清洁频率可因环境污染、气候条件、相对湿度和建筑物通风系统的类型而不同。

沟通—确立沟通责任

<ul style="list-style-type: none">• 如果紫外线杀菌灯烧坏（或发现其他问题），谁负责通知设施维护团队或紫外线杀菌服务公司？
<ul style="list-style-type: none">• 在室内上层空间紫外线杀菌系统投入使用后，谁负责检查/更换灯？
<ul style="list-style-type: none">• 如果负责人离开了机构，沟通程序会做怎样的调整？
<ul style="list-style-type: none">• 室内上层空间紫外线杀菌系统的维护和维修程序应纳入现有设施维护程序，并由结核感染控制工作人员监督其落实情况。

维护成本

与接受过室内上层空间紫外线杀菌维护培训的服务公司签订 5 年期维护合同，包括购买室内上层空间紫外线杀菌系统。维护服务的内容应当包括：定期清洁，每年更换一次灯（或根据输出量下降百分比更换）以及更换故障灯，并且在清洁和更换灯具后，使用合格的紫外线辐射计（采用余弦校正 UV-C 254 nm 带宽探测器）对室内上层空间紫外线杀菌灯具进行清洁/检修（包括测量输出强度和安全性）。应当要求维护服务公司保有充足（大约 5%）的灯具和替换部件（如镇流器），以保证系统正常运行。

为机构工作人员和用品/设备制定内部维护计划和预算：采购紫外线杀菌仪（辐射计和探测器）（如下所述）和校准服务、清洁用品（纱布，用于清洁灯的浸有 70% 酒精的棉签，棉花或一次性非无菌检查手套，带侧板的防护眼镜，用于清洁灯具百叶窗的刷子，用于清除昆虫和灰尘的手持真空吸尘器等）、备用灯管和零件，以及更换损坏或有缺陷的灯具，包括运输和处理成本以及汞泄漏处理套件（用于清洁维护过程中 UV-C 灯破损后泄露的汞）。还要考虑到委托专业废弃物处理公司（见 <http://almr.org/>）处理汞灯（以便保护环境免受汞的污染）的费用。通常，如果紫外线杀菌灯含有的汞少于 5mg，则不需要这样做。人工费用：纳入日常人工费用，例如灯具维护；以及/或专项人工费用（例如季度或年度维护任务），需要确定每个灯具的人工费用。纳入紫外线杀菌仪的重新校准（根据制造商的规格要求）费用。

设备成本：用于结核感染预防控制的紫外线杀菌设备

设备成本：用于结核感染预防控制的紫外线杀菌设备				
适用于低天花板（2.4 米/8 英尺）的屏蔽/百叶窗式室内上层空间紫外线杀菌灯具	200-1,500 美元	每套灯具	1	当安装在 2.1 米（7 英尺）处（从灯具底部到室内地板）时，视线水平杀菌紫外线最大测量值应为 0.4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。费用从 200 美元到 1500 美元不等。
适用于较高天花板（>2.7 米/9 英尺）的屏蔽式室内上层空间紫外线杀菌灯具	200-1,000 美元	每套灯具	1	安装后，视线水平杀菌紫外线最大测量值应为 0.4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。费用从 200 美元到 1000 美元不等。
紫外线杀菌灯	15-100 美元	每个灯	1	备件；费用从 15 美元到 100 美元不等。一些有专利的灯非常昂贵。低端的灯有 30W T8 紫外线杀菌灯，高端的灯有 Atlantic & American UV 灯。
紫外线杀菌 (UV-C) 辐射计和一个带有 254nm 滤光片的 UV-C 探测器	500-2,500 美元	每个仪器	1	对于 0.01-2,000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，推荐使用电池驱动仪器
GUV 辐射计和探测器的（年度）校准	300-400 美元	每次校准辐射计	1	

摘自：WHO One Health Tool: Infection Control working group, November 2014.
<http://www.who.int/choice/onehealthtool/en/>
 有关更多信息，请联系全球结核病项目的 Ernesto Jaramillo，电子邮件地址：jaramilloe@who.int。
 注：请参阅相应制造商关于安装紫外线杀菌灯具的建议。

在职培训

<ul style="list-style-type: none"> 关于室内上层空间紫外线杀菌系统的初步培训应当由受过紫外线杀菌培训的顾问或制造商代表（负责交付最终安装和验证的系统）提供。
<ul style="list-style-type: none"> 而后，机构内部人员应当每年对医务人员和维修工作人员进行培训，培训内容包括室内上层空间紫外线杀菌系统的用途、如何在紫外线杀菌系统附近安全工作，以及如何报告发现的问题以进行故障排除。
<ul style="list-style-type: none"> 在入职时，所有新员工都应当接受室内上层空间紫外线杀菌系统和安全性方面的培训。
<ul style="list-style-type: none"> 与维护服务公司和/或当地员工一起评估任何影响室内上层空间紫外线杀菌系统的空间用途调整情况。
<ul style="list-style-type: none"> 根据需要（但不少于每年一次）与结核感染控制人员一起评估机构设施的变化情况，以确定是否需要重新部署室内上层空间紫外线杀菌灯具或者采购额外的设备。书面记录与结核感染控制人员商定的调整变更。

室内上层空间紫外线杀菌灯具维护工作的主要内容

室内上层空间紫外线杀菌灯具根据品牌、型号和制造商而有所不同。必须注意遵循制造商的所有安装、维护和维修建议。然而，为了保持灯具的功效和有效性，也需要遵循某些标准或通用的维护程序。应定期佩戴适当护目镜开展目视检查，如果发现灯管故障，应立即采取整改措施使灯具恢复正常。本文讨论到的主要维护任务包括：

- 辐照（灯具输出）性能和安全性监测
- 灯具和灯管清洁
- 例行检查
- 维修和更换
- 故障灯管、镇流器、灯具的处理/清洁。

监测

性能（辐照）测量 — 使用手持式辐射计测量紫外线杀菌灯具的杀菌紫外线输出辐照强度和视线水平安全性。作为整体部署过程的一项内容，应当在紫外线杀菌灯具安装的初始验收测试期间，在新 UV-C 灯工作 100 小时（老化）后对灯具进行评估。经过 100 小时的老化期后，灯的输出将保持稳定，这时可进行基线测量，以监测紫外线杀菌灯具的输出。在清洁室内上层空间紫外线杀菌灯具（清洁周期取决于室内上层空间紫外线杀菌灯具的必要清洁频率）前，测量输出强度，并与基线测量结果进行比较。当输出强度低于基线测量值的 70% 时（即便已经进行了清洁），应当更换灯。新 UV-C 灯工作 100 小时后，为灯具确立一个新的基线值。

安全性监测 — 如果人体直接暴露于超过由 ACGIH 和 ICNIRP 确立的极限阈值（TLV）（即 8 小时达到 $6\text{mJ}/\text{cm}^2$ ）的杀菌紫外线照射，可导致眼睛疼痛和皮肤刺激ⁱ。如果不采取适当的防范措施来限制暴露，则可在几秒钟内或几个小时内达到此极限阈值。眼睛的角膜是对杀菌紫外线暴露最敏感的器官；因此，为了确保室内较低空间的安全性，在大多数情况下在房间内任何地方的地面上方 1.7 米处，视线水平辐照强度不应超过 $0.4\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ （使用灵敏的 254 nm UV-C 辐射计测量）。在某些区域（例如驻留人员经过的走廊），由于人员停留的时间很短，因此 $0.4\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上的值仍在允许的安全范围内。反之，在重症监护室、候诊区、病房、大厅、护士站等区域，如果驻留人员可能久坐甚至仰卧，则可能需要保持更低的辐照强度。

紫外线强度可以使用紫外线辐射计测量，方法是直接面对设备，在房间的不同位置、在视线水平高度上进行测量，并且每次测量都必须在相同的位置上。取决于区域的类型和驻留时长，如果读数表明视线水平上的辐照强度始终远高于 $0.4\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，特别是当驻留人员的眼睛受刺激时，必须停用紫外线杀菌系统，直到进行调整或联系制造商。如果天花板是倾斜的，则室内下层空间紫外线杀菌水平更容易过于强。

用于监测的手持式紫外（UV-C）辐照计（辐射计）

如图 3 和图 4 所示，辐射计（紫外辐照计）用于在现场进行杀菌紫外线测量，具有安装在探测器（带有 254 nm 窄带滤光片）上的余弦校正滤光片。漫射器还用作衰减器，可防止探测器在高紫外线强度下工作时受损和饱和。

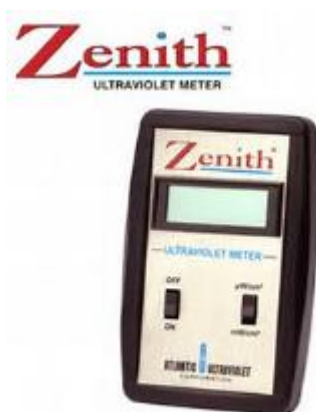
紫外（UV-C）辐照计（辐射计）的维护要求

建议 - 根据制造商的建议校准仪表。

图 4: a) 手持式 UV-C 辐射计 (Zenith), 用于测量灯具的 UV-C 输出。图片来源: Atlantic Ultraviolet



3a)



4a)

图 3: 带有相应探测器和滤光片的手持式 UV-C 辐射计。图片: 3a): Gigahertz-Optik 照度计; 3b): 国际 ILT 2400 UV-C 辐射计。图片来源: ILT。



3b)



4b)

测量步骤

1. 在下列情况下应当测量杀菌紫外线辐射强度：
• 最初安装时
• 每当安装新灯管后（新型灯管可能有更高的辐照强度）
• 每当对室内上层空间紫外线杀菌系统或房间进行变更后（例如，调整灯具高度、百叶窗的位置、增加紫外线吸收或反射材料、改变房间大小、改变模块化隔板高度）。
• 每当清洁室内上层空间紫外线杀菌灯具时。
• 每当收到关于照射强度可能过高的投诉时。
2. 装配一套测量工具，包括：
a. 1 米或 3 英尺长的卷尺，用于测量绳子或杆子。
b. 带有 254 nm 探测器的紫外辐照计（辐射计），附带用于固定传感器的延长杆
c. 梯子
d. 带有侧板的防护眼镜
e. 用于高风险区域的 N95 或 FFP2 呼吸器
f. 日志簿，包含记录测量原因的表格（安装新灯或定期维护等）
i. 人员驻留区域内的视线水平辐照强度
ii. 距灯具 1 米处的灯具最大输出（辐照强度？）
g. 标签
3. 记录测量过程中做出的任何调整（例如清洁、反光板、更换灯管）
4. 进行测量
h. 穿戴所有必要的个人防护装备（呼吸器和防护眼镜）
i. 根据紫外辐照计（辐射计）制造商的说明，在传感器上盖上盖子，将紫外辐照计归零。
j. 取下盖子，将传感器放置在距离室内上层空间紫外线杀菌灯具背面 1 米处。
k. 对于输出强度测量 （参见图 5），在正对灯具前方的中点位置上上下移动传感器，以确定最大输出强度。
l. 在日志里记录读数。注明该读数是否为可与未来读数进行比较的基线读数。（参见下面的日志记录表格样例）。
m. 如果测量值不是基线读数，则将其与初始基线读数进行比较。如果该值小于原始值的 70%，应当通过清洁灯管和灯具进行整改。而后重新测量，如果该值仍低于原始值的 70%，则应更换灯具里的灯管。查看 1.7 米处的视线水平安全性读数，以确保安装新灯管后的灯具在 100 小时老化期内的安全性。如果安全性读数不合格，通过调整反光板进行整改。如果人员驻留区域内的视线水平安全性读数小于或等于 $0.4\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，则说明系统是安全的（Nardell 2008）。
n. 对于安全性监测 （见图 9-11），在视线水平（地板上方 1.7 米处）上正对视野中的各个室内上层空间紫外线杀菌灯具平移传感器。在多个灯具都照射到的区域，在不同位置进行此操作。检查是否有任何读数超过 $0.4\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ；如果有，采取整改措施。将传感器放在医务人员的座位附近和病床附近，以查看是否有过高的读数结果；如果有，采取整改措施。整改措施可以是调整百叶窗、使用不反射紫外线的涂料涂装表面，以及（如果可能的话）调暗紫外线杀菌灯具的镇流器。
o. 在日志簿记录表格中记录各个灯具的读数。注明是否采取了整改措施或者需要采取进一步的措施。
p. 有关测量技巧的示例，参见图 6-8。
5. 做书面记录并签署。



照片来源：Grigory Volchenkov



照片来源：Grigory Volchenkov

图 5（上图）：使用卷尺确保从紫外线杀菌灯具背面到传感器有 1 米的距离。上下移动探测器（左侧）以确定紫外光束的最大输出强度（辐照强度），并记录下来。如果可行的话，在地板上做永久性标记，以便于以后再次测量。或者使用码尺/米尺确定灯具正面与紫外线辐射计的探测器之间的距离。



图 6：技术人员使用紫外线辐射计检查视线水平安全性。注意：蓝色可见光不是紫外线，只有辐射计才能准确测定紫外线。

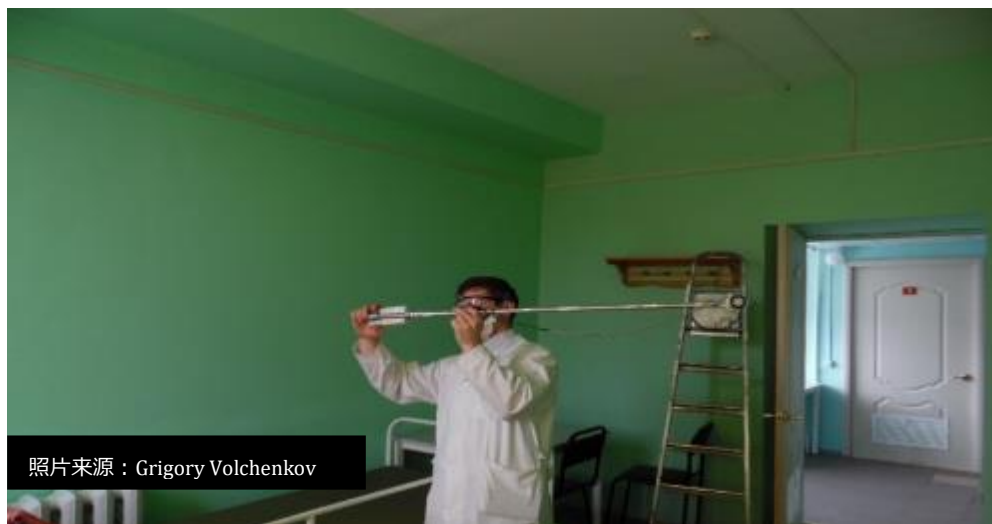




图 7：病房内视线水平紫外线安全性读数。



图 8：技术人员检查走廊里的视线水平紫外线安全性。

紫外线照射/紫外线杀菌维护记录模板 - 日志簿样例

机构:		房间名:				
辐照强度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)		合格标准 $\text{XX}=(\mu\text{W}/\text{cm}^2@1\text{m})$	季度读数记录 (清洁前后)			
			1 季度	2 季度	3 季度	4 季度
灯具 ID: 型号/制造商 已安装:		低于 xx 的 70%				
灯具 ID: 型号/制造商 已安装:		低于 xx 的 70%				
灯具 ID: 型号/制造商 已安装:		低于 xx 的 70%				
室内下层空间 :		$\leq 0.4\mu\text{W}/\text{cm}^2$				
UV-C 辐照计的型号和序列号						
校准日期						
日期:						
更换紫外线杀菌灯/日期:						
备注:						
审批人:	姓名:		签字:			

灯具和灯管的清洁

室内上层空间紫外线杀菌灯具的反射面和灯管上积聚的灰尘会导致性能显著下降。应按照灯具制造商的建议进行灯具清洁和维护。如果没有制造商的指导说明，应遵循以下程序：

- 组装一套清洁工具，包含：
- 干净且无粉尘的手套
- 柔软的无绒布
- 70%乙醇或异丙醇
- 手持式真空吸尘器和百叶窗刷子
- 防护眼镜
- 个人防护装备：用于高风险区域的 N95 或 FFP2 呼吸器
- 将用于记录清洁和输出强度重新测量情况的表格提交给主管人员
- 在进入辐照区域或打开室内上层空间紫外线杀菌设备之前，穿戴好个人防护装备。
- 关停灯具，等待灯管冷却。
- 使用干燥的无绒布清除外表面的灰尘，使用刷子和真空吸尘器清除百叶窗间的灰尘。
- 按照制造商的规定打开设备。
- 处理灯管时佩戴干净的无粉尘手套，以防止油污沉积在灯管和反光面上。
- 按照既定时间表更换紫外线杀菌灯，或者根据例行性能监测的结果来更换。
- 如果灯管闪烁，更换有问题的镇流器。
- 使用蘸有 70%乙醇或异丙醇的无绒布清洁紫外线杀菌灯和反光板（不要用皂水）。若要去除顽固污垢，小心施加压力。
- 用干净的无绒布擦拭紫外线杀菌灯、反光板、百叶窗和外表面。
- 正确闭合室内上层空间紫外线杀菌灯具。
- 启动系统，带着护目镜检查紫外线杀菌灯是否正常运作。
- 确保室内上层空间紫外线杀菌灯具干燥，然后重新测量其输出强度和安全性。
- 按照建议在维护日志簿中记录检查、清洁和更换情况。

清洁的频率取决于当地条件。清洁和监测等维护操作的最合理间隔通常为：对于不清洁的环境，3 个月；对于清洁的环境，6 个月。清洁频率应当根据机构内不同场所的具体情况而定。间隔时间应当取决于通风类型（机械或自然通风）以及环境粉尘水平。可根据日常监测过程中获得的性能数据调整维护计划。

清洁步骤

1. 准备好一部梯子、擦拭用 70%乙醇或异丙醇、柔软的无绒布、无粉尘手套、日志簿、紫外辐照计、卷尺、新的紫外线杀菌灯、螺丝刀（平头，飞利浦或制造商推荐的专用工具）。如果紫外线杀菌灯具正在工作，佩戴防护眼镜。在结核高风险环境中工作时，应佩戴个人防护装备（呼吸器）。

2. 关停紫外线杀菌灯具，**等待灯管冷却**。



3. 打开室内上层空间紫外线杀菌灯具，进行维护。**处理反光板和灯管时，佩戴无粉尘手套**。使用蘸有 70%乙醇或异丙醇的干净无绒布擦拭反光板和灯管，以清除粉尘。使用刷子或真空吸尘器清洁百叶窗。小心谨慎地更换灯管。按照制造商的建议更换紫外线杀菌灯，或者根据测量结果更换。**遵守国家关于废弃物处理和回收的环境保护规定。**



4. 闭合室内上层空间紫外线杀菌灯具。仅当安全地处于室内下层空间时，启动室内上层空间紫外线杀菌灯具，并让其预热 10 分钟，然后使用紫外线探测器和辐射计测量并记录输出值和安全性监测值。测量并记录输出值和视线水平安全性值。

更换灯管

紫外线杀菌灯和/或其镇流器和启辉器随时有可能发生故障/失效，或者随着时间的推移性能逐渐降低，进而对光效产生不利影响，因此需要予以更换。

利用紫外辐照计进行常规性能监测，并根据监测结果决定是否更换性能已降低的灯，这样做可以实现经济性。对于已经安装了很多灯具并且有技术能力来执行监测程序的机构，建议根据各个灯具的性能比照最低效能标准（达到已经历老化期的新灯管输出强度的 70%）决定更换哪些灯具。

如果室内上层空间紫外线杀菌灯具的已有数量不够多，没有必要采购和维护紫外线辐射计，则应考虑采用集中更换策略。取决于人工成本，每年集中更换全部灯管可能比基于性能监测结果更换灯管更具成本效益。

汞汽灯的意外故障可以通过观察灯点亮后的状态来发现。虽然这类灯的特征性蓝光不是杀菌紫外线输出的可靠指标，但可以提示灯或其控制部件是否有故障。在包含多个紫外线杀菌灯管的灯具中，应注意安全地检查各个灯管是否失效。

例行检查

最初的观察：

确保由经过培训的专业人员安装室内上层空间紫外线杀菌灯具。无论由谁进行安装，都应确保灯具安装正确，而在**初始检查**过程中需要考虑的一些问题包括：

- 灯具与地面齐平吗？在与墙壁平行和垂直这两个方向上在灯具上放置水平尺，以便进行检查。
- 电气连接是否正确？
- 灯具是否牢固、正确地固定在墙壁/天花板上？
- 灯具是否朝向正确的方向？
- 灯具安装得足够高吗？灯具的理想高度取决于室内高度，但应高于 2.1 米（7 英尺）。
- 对驻留人员安全吗？使用 UV-C 探测器在室内下层空间（5 英尺 8 英寸或 1.7 米）测量。

每日观察：

- 应在最初安装室内上层空间紫外线杀菌灯具时进行，并在安装后定期进行。应当将此任务纳入到机构日常标准操作规程中，例如可以随窗口管理一起执行。
- 在标准操作规程中应当列明负责处理故障灯的指定人员。

日常运行和维护检查（每 3-6 个月）：

- 紫外线杀菌灯是否处于开启状态？不要在夜间将其关闭；连续运行可令使用寿命比制造商建议的使用寿命延长近 60%。
- 是否干净？
- 查看维护日志，以确定是否需要进行维修。

维修

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 与供应商订立明确、全面的灯具更换和维修合同，或者给机构内部员工提供培训以执行更换和维修任务。
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 核查保修情况。
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 提前获取替换件，并适当地包装要返修的故障灯具。
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 如果灯管很早就发生故障，务必从供应商处换新。年度灯故障率（约 9000 小时后）：
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 对于管形灯， <1%
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 对于折叠式灯， <2%

故障灯管、镇流器、灯具的处理/清洁

紫外线杀菌灯的处理应当遵照其他含汞设备（如荧光灯）的处理方法。许多灯管必须作为危险废物处理，而不能与普通废物一起丢弃。如果含汞量低于 5 mg，低汞灯泡通常可作为普通废物丢弃；然而，国家法规将这类灯归类为危险废物。美国环境保护署的通用废物管理条例允许用户将汞灯作为常规废物运输到回收设施。这套简化的规程是为了促进回收利用。应遵循最严格的处置规定。

大多数室内上层空间紫外线杀菌系统目前依赖于使用电子镇流器来为 UV 灯提供电力；然而，许多旧系统使用的是电感镇流器。1979 年以前制造的电感镇流器在其电容器的电介质中含有多氯化联二苯（PCB）。回收是处理电感镇流器的最佳方式。该工艺允许回收利用铜和铝线、钢片和钢制外壳，并在高温焚烧炉中将电容器和灌封化合物作为危险废物销毁。

一旦电子镇流器失效，管理人员应将其视为电子垃圾。许多灯管和镇流器回收企业正在扩大其业务并获得电子垃圾回收资格认证。一些回收企业可同时回收灯管和电子镇流器。

总结

总而言之，上面讨论了紫外线杀菌系统的可持续维护方案的各项要素。一项关键的决定是是否由机构内部人员执行紫外线杀菌系统维护工作，因为积极的维护操作可以将灯管的使用寿命延长到 9000 小时以上，使得每年只需更换一次灯管。这是可以实现的；然而，要使这种方案奏效，需要积极的投入和密切的监测。如果仅由机构内部员工执行这种积极的维护，那么一种适宜的安排是每季度执行一次例行清洁，每半年执行一次监测，每年更换一次所有的灯管。另一种方案是雇佣一家公司来开展紫外线杀菌系统维护工作。

紫外线杀菌系统的过程评价着眼于室内上层空间紫外线杀菌空气混合系统的长期、持续、有效的运作。应当将该系统的维护工作整合到机构整体结核感染预防控制工作中。该系统的功效依赖于系统运作达到和保持设计输出强度和安全性。在综合监测和评估系统中，基于一整套分层控制措施，应当可以看到紫外线杀菌对减少机构内感染的作用。

参考文献

ACGIH. (2017). *TLVs® and BEIs®*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH. ASHRAE. (2017). *ASHRAE Handbook HVAC Applications*, Chapter 60, Ultraviolet Air and Surface Treatment

CDC. (2005). Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)* 37-38, 70-75.

CIE. (2011). *International Lighting Vocabulary*. Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna.

Escombe AR, DAJ Moore, RH Gilman, M Navincopa, E Ticona, *et al.* (2009). Upper-Room Ultraviolet Light and Negative Air Ionization to Prevent Tuberculosis Transmission. *PLoS Med* 6(3): e1000043. doi:10.1371/journal.pmed.1000043.

First MW, K Banahan, TS Dumyahn. (2007b). Performance of ultraviolet light germicidal irradiation lamps and luminaires in long-term service. *Leukos* 3:181-188.

First MW, SN Rudnick, KF Banahan, RL Vincent, PW Brickner (2007a). "Fundamental Factors Affecting Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation--Part 1. Experimental." *J Occup Environ Hyg.* 4: 1-11.

First MW, RA Weker, S Yasui., EA Nardell (2005). Monitoring human exposures to upper-room germicidal ultraviolet irradiation. *J Occup Environ Hyg.* 2: 285-92.

Miller SL. (2015). Upper room germicidal systems for air disinfection are ready for wide implementation. *Editorial, Am J Resp Crit Care Med* 192;4:407-408.

Mphahlele M, AS Dharmahikari, PA Jensen, SN Rudnick, TH van Reenen, MA Pagano, W Leuschner, TA Sears, SP Milonova, M van der Walt, AC Stoltz, EA Nardell. (2015). Institutional Tuberculosis Transmission: Controlled trial of upper room ultraviolet air disinfection – A basis for new dosing guidelines. *Am J Respir Crit Care Med.* 192(4):477-84. doi: 10.1164/rccm.201501-00600C.

Nardell EA, SJ Bucher, PW Brickner, C Wang, RL Vincent, K Becan-McBride, MA James, M Michael, Wright JD. (2008). Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: results from the Tuberculosis Ultraviolet Shelter Study. *Public Health Rep.* 2008;123(1):52-60.

Available at:

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2099326&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Nardell E, R Vincent, DH Sliney. (2013), Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) for Air Disinfection: A Symposium in Print. *Photochemistry and Photobiology*, 89: 764–769. doi: 10.1111/php.12098*This research was supported by a Fogarty International Center training grant, 1D43TW009379, Testing Novel Interventions to Protect Workers from Airborne Infections, (P.I., E. Nardell).

NIOSH. (1972). *Criteria for Recommendation of Occupational Exposure to Ultraviolet Radiation*. <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/7311009a.pdf>.

NIOSH, editor. (2009) *Environmental Control of Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*. U.S. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH).

Reed N, S Wengraitis (2012) Ultraviolet spectral reflectance of ceiling tiles with special emphasis on implications for the safe use of upper-room ultraviolet germicidal irradiation. *Photochem. Photobiol.* 88(6), 1480–1488.

Reed NG. (2010). The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection. *Public Health Reports*, 125(1), 15–27.

Riley RL, M Knight, G Middlebrook. (1976). Ultraviolet susceptibility of BCG and virulent tubercle bacilli. *Am Rev Respir Dis* 113:413–418.

Rudnick SN, MW First (2007). Fundamental Factors Affecting Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation—Part II. Predicting Effectiveness. *J Occup Environ Hyg.* 4: 352–362.

Sliney DS (2013). Balancing the risk of eye irritation from UV-C with infection from bioaerosols. *Photochem and Photobio*, 89:770-776.

Singh T, P deJager, M Poulta, T van Reenen, A Stoltz (2015) UV Disinfection of Room Air: An Evidence Based Guideline for Design, Implementation and Maintenance. Discussion Version 6.1 http://www.tb-ipc.co.za/downloads/tb-ic_Seminar/11.pdf

Xu P, J Peccia, P Fabian, S Miller (2003). Efficacy of ultraviolet germicidal irradiation of upper-room air in inactivating bacterial spores and Mycobacteria in full-scale studies. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 405–419.



Partner of the **Stop TB Partnership**



<http://www.stoptb.org/wg/ett/>