

For more information or support :

Philips Special lighting(China)

Tel :+86 21 5910 7047

Fax :+86 21 5915 4024

E-mail : Rong.Ge@philips.com

www.philips.com/uvdisinfection

www.lighting.philips.com.cn



飞利浦紫外杀菌灯管应用手册

纯净光源完美演绎



© 荷兰皇家飞利浦电子公司2006

版权所有。未经版权所有者优先书面同意，任何全部或部分复制都是被禁止的。本文内容不能自动作为任何报价或者合同的组成部分。我们保证本文内容是可信的和可靠的，保留在没有事先通知的情况下更改的权利。对使用的后果作者不承担任何责任。本文并没有传达或暗示任何专利权、工厂产权或知识产权。

PHILIPS

目录

序言		2
1. 微生物	概述	3
	1.1 细菌和细菌孢子	3
	1.1.1 细菌	3
	1.1.2 细菌孢子	3
	1.2 霉菌和酵母菌	3
	1.2.1 霉菌	4
	1.2.2 酵母菌	4
	1.3 病毒	4
2. 紫外辐射	概述	6
	2.1 短波紫外辐射的生成和特性	7
	2.2 杀菌过程	8
3. 紫外灯杀菌	概述	11
	3.1 空气消毒	11
	3.1.1 吊顶安装的TUV光源	12
	3.1.2 使用向上反射器的TUV光源	12
	3.1.3 使用向下反射器的TUV光源	13
	3.1.4 通风管中的TUV灯	13
	3.1.5 独立消毒装置中的TUV灯	14
	3.2 表面消毒	15
	3.3 液体消毒	15
4. 应用	概述	18
	4.1 空气消毒	18
	4.2 冷却旋管	18
	4.3 水的净化	19
	4.3.1 家庭用水	19
	4.3.2 工业(市政)饮用水	20
	4.3.3 废水	21
	4.3.4 冷水器, 自动售水机	21
	4.3.5 冷却塔	21
	4.3.6 半导体工业水处理	21
	4.3.7 温泉与游泳池	22
	4.4 减少鱼塘中的藻类	22
	4.5 水族馆	23
	4.6 飞利浦杀菌灯及应用	23
5. 灯管数据	概述	25
	5.1 UV辐照度值	25
	5.2 温度对UV输出的影响	26
	5.3 灯管寿命	26
6. 参考文献		27

序言

宏观和微观环境中的污染长期以来受到人们的关注。近年来，宏观上的问题已经由旨在减少污染的国际公约得到控制。另外，各国和国际上也在积极立法以控制微生物，尤其是那些会影响人类、动物和鸟类健康和食物链的微生物。基于这一污染减少的问题已形成一个产业，包括改良技术以减少初级污染、次级污染以及物理、生物、化学方式的清洁。在这些技术中包括使用UV-C紫外辐射以起到杀菌作用，这是种高效的杀菌方法，并可能是最为高效节能的技术。

UV-C紫外杀菌在室内空气消毒上有着辉煌且悠久的历史。然而，其在其他领域的应用也正在日益扩张，例如在高技术水质处理和池塘清洁方面已得到很大发展，另外对食物表面的处理可以延长保质期，从而减少食物浪费和降低库存风险。

UV-C紫外辐射在某些场合的应用独树一帜，然而在更多的时候如果单一的技术处理效果不够理想，它可以与其他技术结合使用。由于UV-C紫外辐射的简单和节能，它将是您明智之选。

飞利浦照明密切联系该领域的技术进展，开发、生产、销售UV-C紫外辐射光源并积极致力研发新规格光源。本手册是为生产和技术部门人员解决微生物问题提供的全方位的四个概述之一。



可以通过物理、生物和化学方法来消灭细菌、霉菌、酵母菌和原生物等种类的微生物。UV-C紫外辐射利用辐射的光解作用来杀灭微生物或使其失活而无法繁殖。

对于DNA来说，通过辐射使得其周边的胸腺嘧啶基形成化学键，从而生成二聚物，当这种二聚物达到一定程度，那么DNA就不能再复制了。对于某些微生物来说，他们可以通过吸收UV-A进行自我修复。而对于另一些微生物来说，UV-C（包括UV-A和UV-B）紫外辐射作用可以使得分子化学键断裂，导致自由激发态形成，这些状态很不稳定并可能互相作用而最终形成惰性物质。320nm以下的波长辐射可以消除这些影响，并且在260nm附近效果最为理想。微生物如何被失活或杀灭的现象与其主体状态（固态或液态）有关，还包括pH值和温度，这一过程最重要的特征在于有辐射到达生物体表面；如果一个细菌被另一个细菌或颗粒遮挡，那么它将逃脱辐射攻击。与其他技术不同，利用UV-C紫外光解技术几乎不会带来潜在的危险副作用。

1. 微生物

概述

微生物是生命的原始状态。将它们与普通动物和植物分开命名不仅仅是因为它们较小的尺寸，还与它们的形态以及生态分布有关，它们可以自由活动和变形。它们包括有原生物，细菌和霉菌。

对于微生物来说，细胞死亡即是指失去生长和繁殖能力，或通俗地讲，细胞失去分裂的能力。杀菌是指杀灭所有的微生物。

使用巴氏杀菌法或使用防腐剂可以减少微生物的总量。杀菌可以通过加湿热、干热、过滤、化学制剂或是紫外辐射。

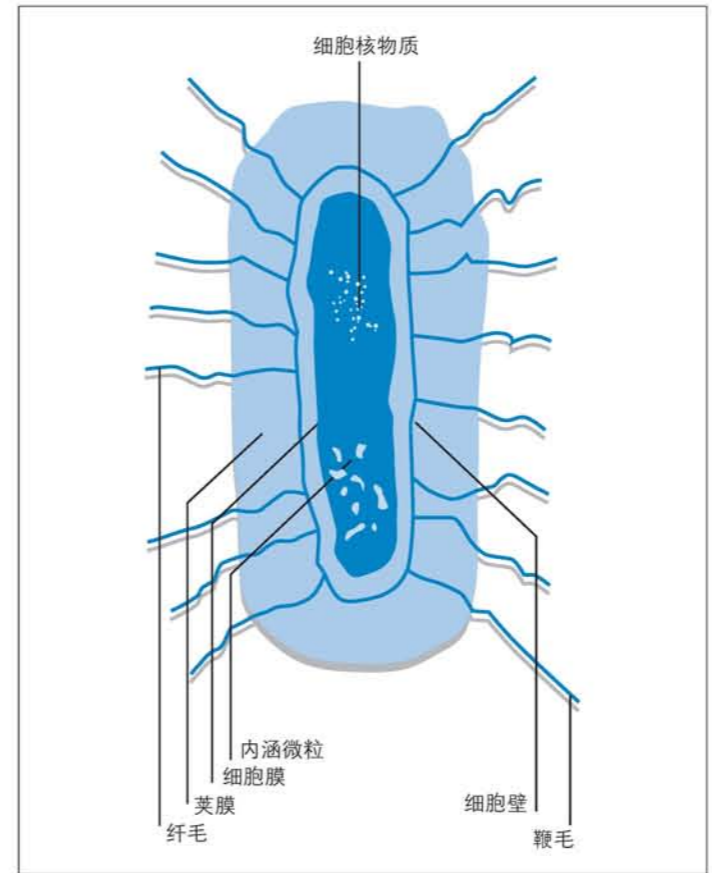


图1. 一个典型细菌细胞的主要构成

1.1 细菌和细菌孢子

1.1.1 细菌

细菌是指一大类的生物体，可以是单细胞生物或是多细胞

生物；它们的核质量较为简单，通过简单的裂变快速繁殖。图1显示了典型的细菌细胞结构图，图2给出了一些细菌形状的样本。

细菌可能出现在空气、水体、土壤、腐烂生物体、或是动物和植物中。腐生态（寄居在腐烂生物体上）的数量要远大于寄生态细菌；后者包括动物和植物病原体。一些细菌种类是自养型的，例如可以从简单物质中制造养料。

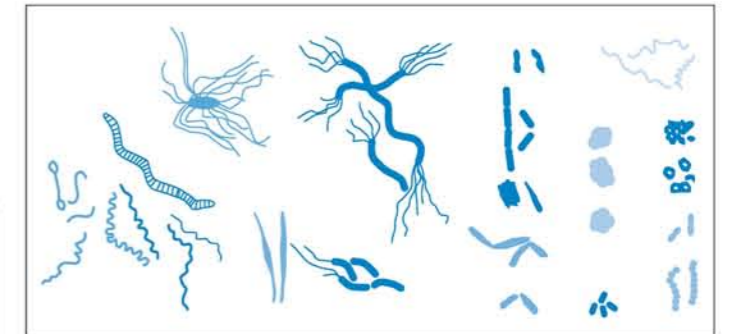


图2. 一些细菌样本

1.1.2 细菌孢子

细菌孢子对于极端环境具有抵抗性，如高温和干燥环境。对于一些细菌孢子可以承受120°C的高温却不失去生长能力。不同类型的枯草杆菌孢子在已经干旱数百年的地方被发现，这就证明了他们在极端恶劣条件下生存的能力。

1.2 霉菌和酵母菌

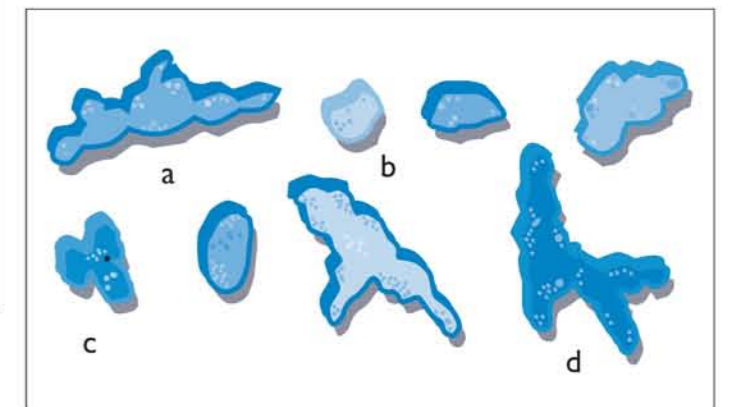


图3. 啤酒酵母（麦芽酵母）不同的生长阶段：
a 不同样式 b 带孢子的酵母细胞 c 酵母孢子
d 长成后的酵母孢子

2. 紫外辐射

概述:

紫外辐射是指电磁辐射中位于可见光下限和X光上限之间的波段。紫外辐射的波长范围定义在100到400nm之间 (1nm=10⁻⁹m)。对人眼是不可见的。根据CIE对UV(紫外)波段的分类,紫外光可分成3类:

- UV-A (长波) 从315nm到400nm
- UV-B (中波) 从280nm到315nm
- UV-C (短波) 从100nm到280nm

实际上,许多光生物学家认为对于光波对于肌肤作用的效果可以320nm为分界,因此提供了另一种紫外定义。

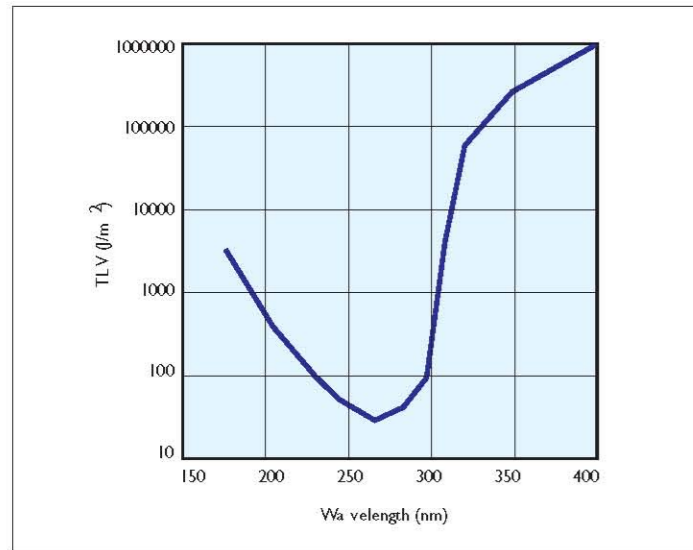


图9. 根据ACGIH 1999-2000规定的紫外辐射阈值限量(TLV)(文献1)

阈值波长短波UV-C波段具有很强的杀菌能力。除了可以引起红斑(肌肤变红),同时该类辐射还能导致结膜炎(眼睛黏膜炎)。基于这些原因,在应用紫外灯时,需要注意排除UV-C的泄漏以防止产生上述症状。

显然,人们应该尽量避免UV-C的辐射。幸运的是,这很容易办到,因为其被绝大多数物质所吸收,即使是普通的平板玻璃也能吸收全部的UV-C紫外辐射。然而,特例也有石

英和聚四氟乙烯(PTFE)。同时侥幸的是,大多UV-C紫外辐射会被代谢失活的皮肤所吸收,所以所引起的红斑是有限的。另外,UV-C紫外辐射并不能穿透人眼的晶状体;不然的话,即使接受短暂的UV-C紫外辐射,角膜也会剧烈疼痛;这与红斑效应是一样的道理。

安全辐射量持续照射时间	
有效辐照度	每日 E _{eff} (μW/cm ²)
8 小时	0.2
4 小时	0.4
2 小时	0.8
1 小时	1.7
30 分钟	3.3
15 分钟	6.6
10 分钟	10
5 分钟	20
1 分钟	100

表1. 根据ACGIH规定的254nm安全辐射量

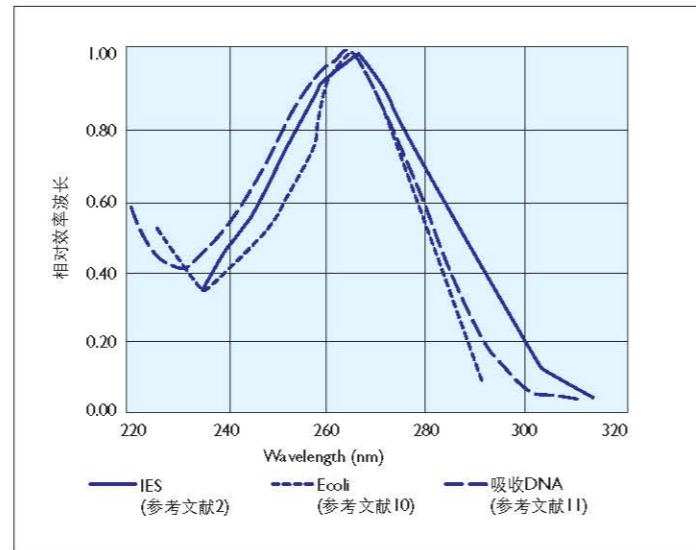


图10. 杀菌作用光谱效率图

暴露于UV-C紫外辐射下时,要注意控制在正常的安全范围内。图9显示了CIE大多紫外光谱的安全值。实际上,表1是美国国会和劳动卫生部门(ACGIH)规定的人类照射不同能量大小紫外线所对应的安全时间。

这一时间表中值得注意的是对于240nm以下的辐射波长会使空气中的氧气形成臭氧。臭氧是有毒的且性质十分活泼;因此必须防止这些紫外线对人体和某些材料的辐射。

2.1 短波紫外辐射的生成和特性

UV-C紫外辐射最有效的生成源在低压汞灯中,平均有35%的输入能量转化为UV-C辐射能。所生成的紫外辐射几乎集中在254nm,位于最大杀菌效果的85%处(图10)。飞利浦的低压TUV灯管外裹了一层特殊的玻璃层,滤去了能形成臭氧的辐射(185nm)。这种玻璃的光谱透射特性如图11所示, TUV灯管的光谱能量分布如图12所示。

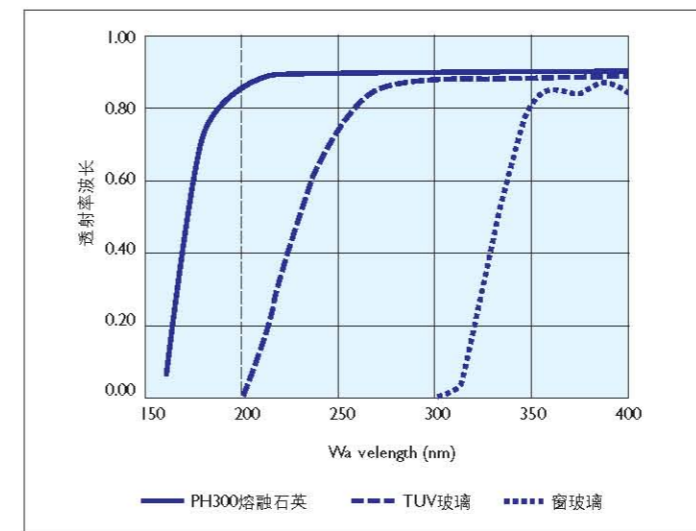


图11. 玻璃的特殊透射性能(1mm)

对于飞利浦不同种类的TUV杀菌灯管,相同照明特性的灯管,其电气特性和机械特性均相同。这就保证了这些灯管可在同一条件下工作,例如使用同一电子或电感镇流器或启动电路。

对于所有的低压光源,灯管的工作温度和光输出之间存在一定联系。当放电管汞蒸气达到某一特定值时,低压灯管中的254nm共振线最强。该压强值取决于工作温度,当环境温度在25°C时,管壁温度达到40°C的工作压强最优。例如,一根TUV灯管工作在10°C时的UV-C辐射量是工作在25°C时的80%(详见5.2章节,图28)。另外,灯管光输出还受到通过灯管的气流(人为或自然)影响,称之为冷端效应。读者应该注意,对于某些光源,增加气流或降低温度可增加有效的杀菌光输出。由于灯管的尺寸大小,这一现象在大功率灯管中比普通灯管更为明显(图29)。

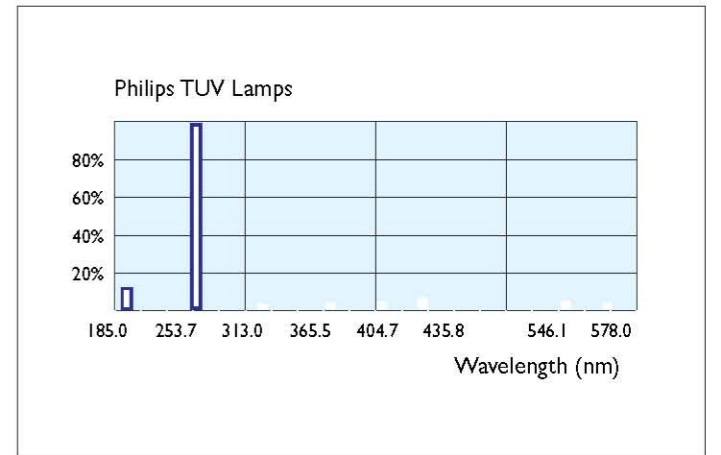


图12. TUV灯管的相对光谱能量分布,绿色为有效杀菌成分

另一种紫外光源是中气压汞灯,高压下激发了更多能级,形成了更多的谱线,产生连续谱(复合辐射)(图13)。此处需要注意的是石英管能投射240nm以下的波长,在空气中能形成臭氧。中气压光源的优点在于:

- 高功率密度
- 高功率,相同场合所使用的光源数量比低压灯管少
- 对环境温度要求不高管壁工作温度在600到900°C,夹封处温度不超过350°C。这些光源同低压光源一样可以调光。

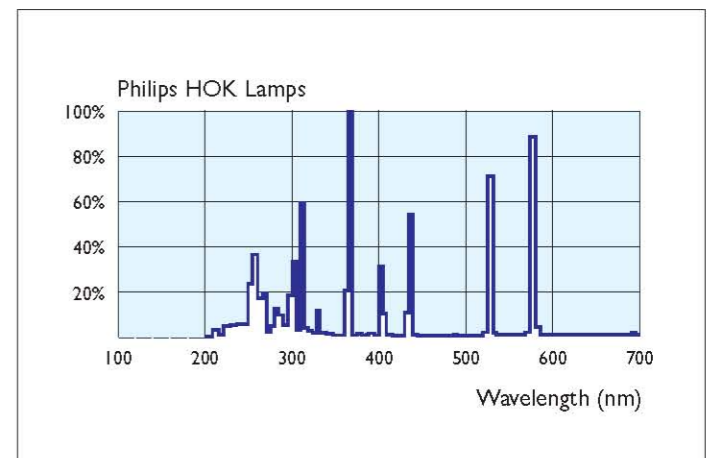


图13. HOK和HTK灯管的相对光谱能量分布,蓝色为有效杀菌成分

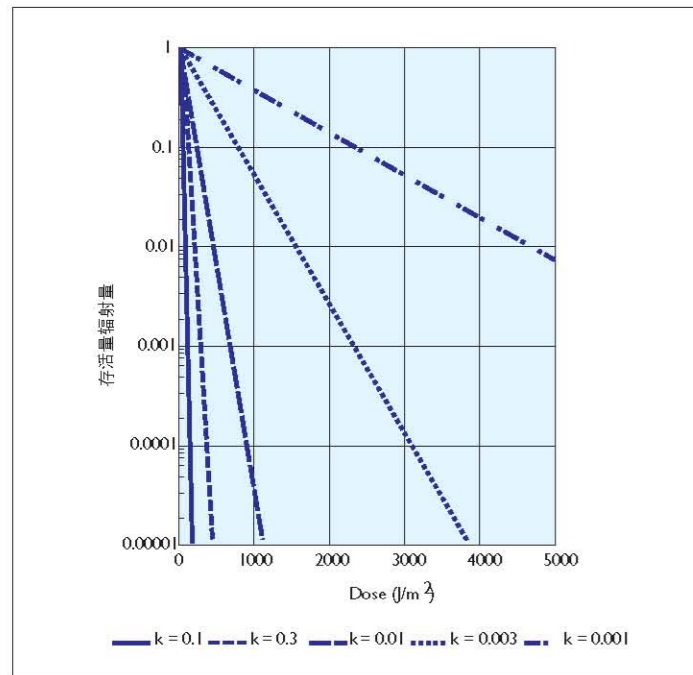


图14. 随辐射量变化的微生物存活量和速度常数k

2.2 杀菌过程

光源出射的紫外辐射量以瓦特 (W) 表示，辐照度以瓦特/平方米 (W/M²) 表示。杀菌过程的辐射量很重要，该辐射剂量以辐照度乘以时间 (t，单位秒) 表示，单位为焦耳/平方米 (J/M²) (1焦耳等于1瓦特秒)。

从图10可以看到，最大杀菌辐射线在265nm处，两边依次递减。低压光源的主波长在254nm，对于DNA的杀灭作用是峰值的85%，对IES是峰值的80%。波长小于235nm的杀菌作用没有明显差别，但可以假设与DNA吸收曲线相吻合。

微生物对紫外辐射的抵抗能力具有相当大的差别。另外，某一种微生物所处的环境会极大地影响消灭它们所需要的辐射量。例如对于水来说，不同的污物集中程度会决定其吸收有效辐射量的大小。铁外层的盐溶液是很好的抗辐射保护层，因为铁离子能有效吸收紫外辐射。

紫外辐射下的微生物存活率可以根据下式估算：

$$N_t/N_0 = \exp. (-kE_{\text{eff}}t) \dots\dots\dots 1$$

$$H_{\text{eff}} \ln N_t/N_0 = -E_{\text{eff}}t \dots\dots\dots 2$$

- N_t 是t时刻的微生物总量
- N_0 是开始辐射前的微生物总量
- K 是由不同菌种决定的杀菌速度常数
- E_{eff} 是有效辐射照度 (W/m²)

$E_{\text{eff}}t$ 和时间t的乘积称之为有效辐射剂量用 H_{eff} 表示，单位 W.s/m² 或 J/m²

根据公式2，达到90%杀菌率时，即

$$2.303 = kH_{\text{eff}}$$

部分k值在表2中给出，我们看到从对病毒和细菌的0.2m²/J，到对霉菌孢子的2.10⁻³和对藻类8.10⁻⁴不等。利用以上公式，便能得到辐射剂量与存活率或杀菌率的关系图 (图14)。

细菌	辐射剂量	k
炭疽杆菌	45.2	0.051
巨大芽孢杆菌 (孢子)	27.3	0.084
巨大芽孢杆菌 (绿叶)	13.0	0.178
杆菌	32.0	0.072
杆菌	71.0	0.032
杆菌孢子	120.0	0.019
空肠弯曲杆菌	11.0	0.209
破伤风梭菌	120.0	0.019
白喉棒杆菌	33.7	0.069
霉菌孢子痢疾杆菌	22.0	0.105
伤寒菌	21.4	0.108
大肠埃希菌	30.0	0.077
克雷伯菌	26.0	0.089
嗜肺军团杆菌	9.0	0.256
白小球菌	60.5	0.038
微球菌	100.0	0.023
结核杆菌	60.0	0.038
卡他奈瑟球菌	44.0	0.053
冠肺炎菌	44.0	0.053
铜绿假单胞菌	55.0	0.042
荧光假单胞菌	35.0	0.065
普通变形杆菌	26.4	0.086
病毒肠炎沙门菌	40.0	0.058
副伤寒沙门菌	32.0	0.072
鼠伤寒沙门菌	80.0	0.029
藤黄八叠球菌	197.0	0.012
粘质沙雷菌	24.2	0.095
赤痢菌	16.3	0.141
索氏志贺菌	30.0	0.077
原生物红色螺菌	44.0	0.053
白色葡萄球菌	18.4	0.126
金黄色葡萄球菌	26.0	0.086
粪链球菌	44.0	0.052
链球菌	21.6	0.106
藻类链球菌	61.5	0.037
草绿色链球菌	20.0	0.115
沙门氏肠炎杆菌	40.0	0.057
霍乱弧菌	35.0	0.066
小肠结肠炎耶尔森菌	11.0	0.209

表2. 254nm辐射下10%存活率的辐射剂量(J/m²)和速度常数(k/m²/J). 参考2,3,4,5,6,7

酵母菌	辐射剂量	k
面包酵母	39	0.060
啤酒酵母	33	0.070
普通糕点酵母	60	0.038
酿酒酵母	60	0.038
葡萄酒酵母菌	60	0.038
酵母属	80	0.029

Mould spores	辐射剂量	k
黄曲霉菌	600	0.003
灰绿曲霉菌	440	0.004
黑曲霉菌	1320	0.0014
甲型总状毛霉菌	170	0.013
乙型总状毛霉菌	170	0.013
游动孢子乳球菌	50	0.046
指状青霉菌	440	0.004
扩展青霉菌	130	0.018
青霉菌	130	0.018
匍枝根霉菌	1110	0.002

Virus	辐射剂量	k
甲型肝炎病毒	73	0.032
流行感冒病毒	36	0.064
MS-2 Coliphase病毒	186	0.012
脊髓灰质炎病毒	58	0.040
轮状病毒	81	0.028

Protozoa	辐射剂量	k
隐孢子虫	25	0.092
蓝氏贾第鞭毛虫	11	0.209

Algae	辐射剂量	k
蓝绿藻	3000	0.0008
绿球藻	120	0.019



3. 紫外灯杀菌

概述

在实际生产中，杀菌灯应用和设计主要考虑以下3种因素：

A有效辐射剂量 (H_{eff})

有效辐射剂量是时间和有效辐照度的乘积（辐照度是杀菌的主要贡献）。然而，辐射剂量受其本身穿透介质能力的限制。穿透能力取决于吸收系数大小，对于固体，表面将吸收所有辐射；对于水，视其纯净度而言，光辐射被吸收90%前能相应穿透几毫米到几微米不等。

B 这些辐射可能导致的危害

杀菌辐射能导致结膜炎和皮肤红斑，所以人类不能在超过表9所规定最大值的辐射下受照。换句话说，要在设计杀菌装置时就将此考虑在内。

UV杀菌可用于所用三态物质即气体（空气），液体（主要为水）和工艺达到吸收系数很小的固体（表面）。

然而，通过使用“薄膜技术”和环路设计（使产品循环），即使在吸收系数不理想的情况下，也取得了巨大成功。

C光源

5种不同规格的飞利浦光源可作杀菌用：

- 传统的T5和T8管的TUV光源
- 高输出TUV光源
- PL-S和PL-L双管紧凑TUV光源
- 以及最新的XPT超高输出的T6和T10汞齐光源

所有这些均基于低压汞灯技术。提高低压光源的灯电流以获得相同管长的更高光输出，但以降低紫外辐射效率为代价（紫外瓦特/输入瓦特）；这是由于自吸收的增加及温度的影响。在灯中使用汞齐替代纯汞可以减少上述温度的影响。

- HOK光源，中气压汞灯，比低压光源产生更多的UV-C紫外辐射，但效率也更低。

选择何种规格光源取决于不同的应用场所。对于大多数场合来说，低压光源较受欢迎。由于这类杀菌灯杀灭微生物十分有效，因此大功率光源的需求很有限。对于水的消毒，低压和中压光源均可以使用，因为选择何种光源不单单依据UV-C紫外辐射的发光效率，初始的系统总成本，包括金属支架和空间限制，比起效率来是更值得关注的因素。

3.1 空气消毒（参考12, 13）

这类形式的杀菌效果很好，这是由于空气的吸收系数很低，使UV-C紫外辐射直接杀菌的机会更大。另外，还有两个有利的因素，即由于细菌的随机运动使得分子的定向攻击更为有利，而且多次循环杀菌的机会更多。由此可见，空气消毒是紫外辐射很重要的应用之一。

即使是最简单的系统（自然循环），房间中空气的微生物会急剧减少。因此许多疾病空气感染的危险会大大减小。

然而，此处需要记住的是消毒处理过的空气本身并非是消毒剂。

现在，通常有5种使用紫外光源进行空气消毒杀菌的基本方法即：

- a. 安装在天花板或墙面的TUV光源
- b. 使用向上反射器的TUV光源以清洁顶部空气
- c. 使用向下反射器的TUV光源以对地板空间进行消毒（常与b结合使用）
- d. 在通风管中使用的TUV光源，有时与滤尘网结合使用。
- e. 空气过滤器中加装TUV光源，配以简单的滤网。

3.1.1 吊顶安装的TUV光源

这一方式适用于室内空间，无论是无人室内空间或是加戴防辐射处理的有人房间。这些防护措施包括：

脸部	玻璃眼镜，紧身护目镜或塑料脸盆。
手部	手套（耐长时间辐射，特殊的塑料质地比橡胶更好）
头颈部	头盔

注意事项：普通的玻璃或塑料均可以提供有效防护，因为其只透过少量或不透过UV-C紫外辐射。而特殊的紫外玻璃、石英玻璃或是聚四氟乙烯则是例外。

3.1.2 使用向上反射器的TUV光源

该类杀菌方式可以有效杀灭细菌和霉菌；另一个好处是即使在有人的空间使用也无需防辐射处理。光源配以合适的反射器使得在水平线下无辐射。

反射器必须安装在离地2.10米以上，这就保证了其下方无紫外辐射。2.10米以上空间的空气由于受到UV-C紫外辐射的直射，故能保持在一个低细菌含量的状态。

没有强制通风设施的自然空气对流可以保持每分钟1.5-8立方米的空气运动，这就保证了房间中上部已消毒的空气和下部未消毒的空气能够不断交换。这一过程使得空气污染程度是未使用TUV光源时的一个零头。通常对于一个简单密闭空间的使用所建议的UV-C辐射值是：**0.15W/m³**

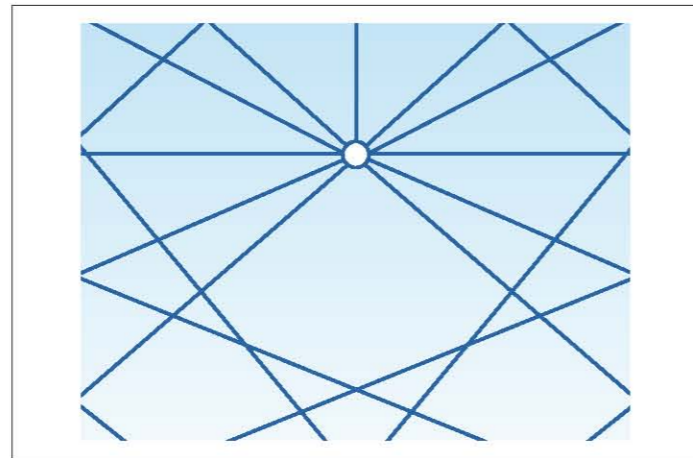
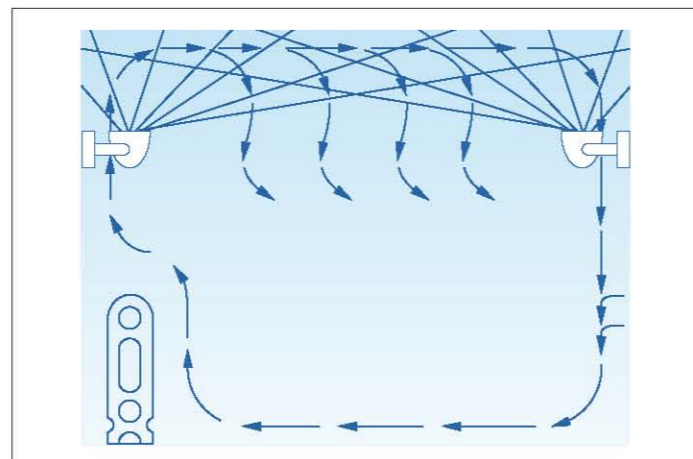
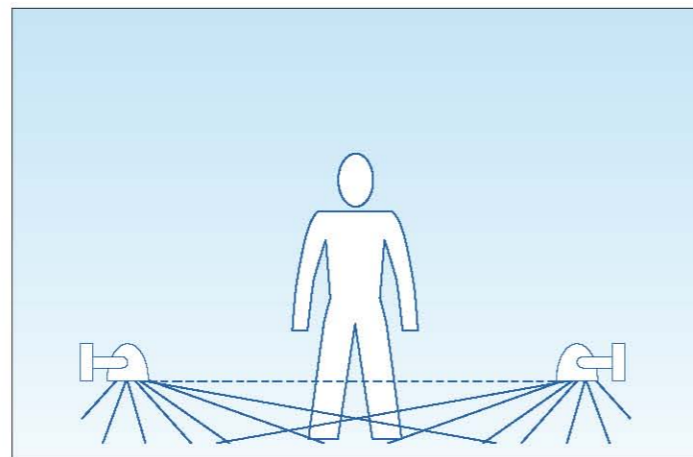


图15. 不同种类的空气消毒
a. 吊顶安装光源



b. 使用向上反射器



c. 使用向下反射器

3.1.3 使用向下反射器的TUV光源

这一方式主要应用于那些需要保证整体房间空气，哪怕是地板附近空气尽可能的清洁。在这种情况下，光源是对向上辐射消毒方式的一个补充，向下的反射器应安装在离地约60cm处。

在3.1.1, 3.1.2, 3.1.3中，可以配用人员探测器或探测系统来控制TUV光源在必要时停止工作。

3.1.4 通风管中的TUV灯

按照这个方法，所有的空调处理空气在进入之前都先经过紫外线的照射。通过调节安装的光源数量与在这些光源下有效的杀菌区域里的停留时间，能对被充入的空气消毒达到指定的杀菌程度。明确来讲，还应该考虑到空气管的尺寸。这种系统具有可控制的气流速率，可以理论预测其消毒结果。然而以下几点应铭记于心：

- 这些装置仅适用于细菌，大多数的霉对紫外线有比较高的抵抗能力，以至于气流速率不可能提供一个足够的停留时间来对其产生一份足够有效的辐射剂量。
- 安装灰尘过滤器可以避免光源弄脏而严重减少有效辐射的情况。
- 对于在一个用空气管系统进行消毒的房间，灯的数量取决于所需要达到的杀菌程度、气流速率、周围温度、空气湿度和室内墙壁反射紫外线的特性。

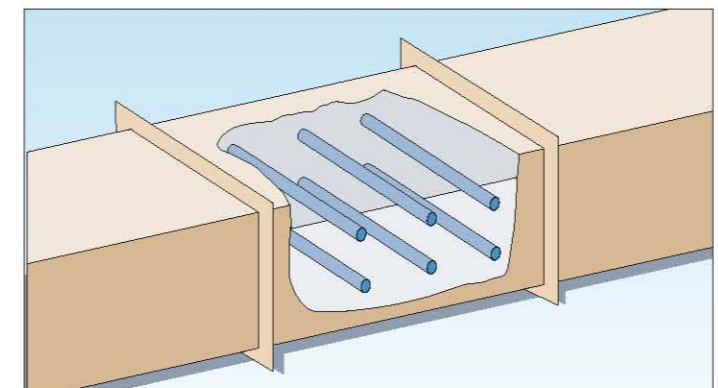


图16. 用于室内消毒的通风管中的TUV灯简单布置

在进入房间之前就进行消毒的好处就是无需对紫外线的最大放射剂量进行限制，因为此时紫外线与人处于隔离状态。

设计输送管系统需要考虑实际问题，比如由于外部天气变化引起的气温与湿度的变化。假设空气总是由外部进入，那么进入房间的气体只经过一次灯光照射消毒。应使循环的气体能多次经过灯管，从而提高系统使用效率。

在紫外线灯区域加上铝涂层也可以提高效率。灯与管壁应便于定期清洁和维护，这也是模具设计的另一个理由。

微生物暴露在紫外线下其数量会呈一个典型的指数衰减，正如第十页所表述的那样。

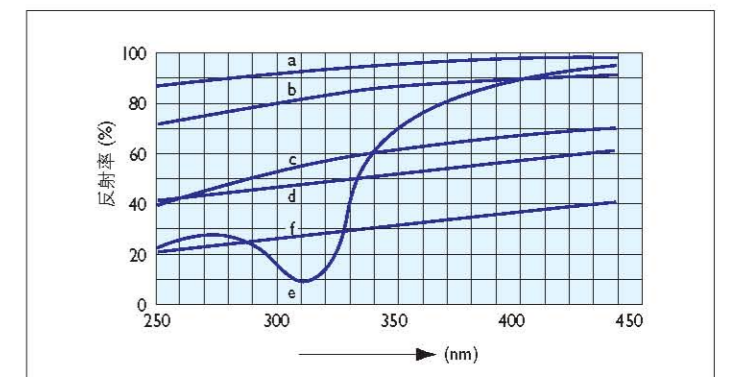


图17. 金属表面
a. 浓缩铝
b. 铝箔
c. 铬
d. 镍
e. 银
f. 不锈钢

$$N_t/N_0 = \exp(-KE_{eff}t)$$

比率常数是指数微生物对于紫外线辐射的敏感程度而且它对于每种微生物都是唯一的。只有少数经空气传播的比率常数已被人们所确定。

在水装置系统中，我们经常使用大肠杆菌来测试生物。然而它不是通过空气传播的病菌。在烟雾化（作用）测试中，我们则经常使用无害的灵杆菌。

在通风管安装TUV灯的时候应注意的要点：

- 管内的表面应该对254nm紫外线有一个高的反射率。例如使用经阳极氧化处理的铝墙纸（反射率为60%-90%）
- 灯的布置应使区域内无盲区。

- 灯应该安装在与气流垂直的方向。
- 灯和管内（反射）壁应经常用软布清洁。
- 应该额定寿命到期后更换灯管，可借助计时器的帮助。
- 应在外部使用一个指示灯来显示灯的工作情况。

对254nm的紫外线各种不同材料的反射率

曲线图展示了不同金属（图17）和有机物对紫外波长（图18）的光谱反射率。这些图表明了确定一种材料对254nm的紫外线反射率的重要性。由图可见，对可见光辐射的高反射率与对短波的紫外线辐射并不保持一致性。

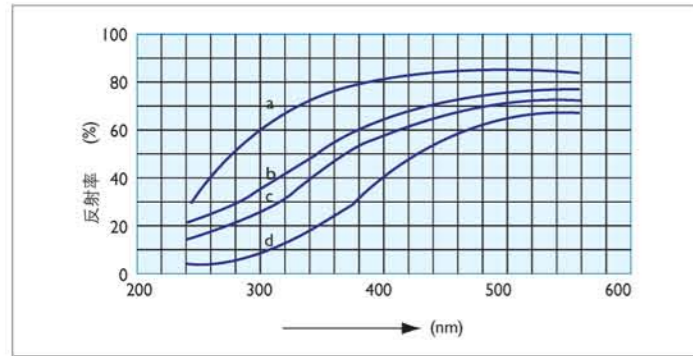


图18. 有机物质
a. 漂白的棉织物
b. 白纸
c. 亚麻布
d. 白羊毛

对254nm的紫外线具有高反射率的材料一般被用于制造直接辐射或向上投射的反射器。对254nm的紫外线具有低反射率的材料被用在非紫外线工作区域需要吸收紫外线的地方。对不需要254nm紫外线的地方应尽量避免其引起的不良后果，因此，考虑到人的舒适与安全因素，天花板与墙壁应使用反射率低材料。

3.1.5 独立消毒装置中的TUV灯

最近，由于满足了人们对于更好的室内空气品质的日益增长的需要，这一消毒方法已成为商业宠儿。

独立封闭的装置既安全又简单灵活。实质上，这个装置包含有TUV灯（主要是以高频镇流器驱动的PL-L型），装于一个“灯光捕捉器”中。系统内置的风扇将空气抽进过滤器，然后通过灯管。可以通过选用一个装有单或双端灯选项的小外部装置来选择单灯或多灯应用。为了最大限度

地使设计合理化，PL-L和PL-S型灯提供了最佳的解决办法，因为它们结构紧密，可以缩小体积；它们单端结构使得它们可以提供更多种安装选择。

这种装置的优点是便于携带，因此可以装在任何地方，比如墙壁、地板、天花板等无论是长期或临时的地方，其设计特点是易于清洁、更换灯管和过滤。

此外这种便携特性也有利于满足进行即时消毒的需要。可以通过调节灯管的数量和瓦数来产生不同的短波紫外线辐射量（或通过下文所讲的调光）。例如，同一个尺寸的装置可以使用PL-L灯管的额定功率范围在18至95W'HO'，并适合于单灯和多灯装置。目前市场上的产品少至使用一个PL-L18W，多至使用4个PL-L 95W HO灯，其有效辐射量相差可达25倍。PL-L灯更灵活，它们可与现成而且价格具有竞争力的电子镇流器(调光)配套，简单可靠地改变紫外线的输出。镇流器可带单灯、双灯，对18W灯管甚至四灯，这又增加了便携式消毒装置的灵活性。

材料	反射率 %
铝: 未经处理的表面	40-60
处理过的表面	60-89
玻璃碎片	75-85
'ALZAK' 处理过的铝	65-75
'硬铝'	16
不锈钢	25-30
铬镀层	39
不同的白色油画纸	3-10
不同的白色水彩画纸	10-35
铝涂料	40-75
氧化锌油漆	4-5
黑瓷漆	5
白指甲油	5-10
白石膏	40-60
新型石膏	55-60
氧化镁	75-88
碳酸钙	70-80
亚麻布	17
漂白过的羊毛	4
漂白过的棉织物	30
墙纸: 乳白色	31
白色	21-31
红色印刷纸	31
乳白色印刷纸	26
褐色印刷纸	18
白色便条纸	25

表3. 不同材料对UV254nm辐射的反射率

3.2 表面消毒

表面消毒一般需要高强度短波紫外线辐射。这就需要把TUV灯安装在与需远离传染或需进行消毒的表面较近的距离。

表面消毒的成功与否很大程度上取决于要消毒的材料表面的不平整度。因为只有足够的紫外辐射才能使那些微生物失去活性。因而只有在整个表面都暴露在紫外线辐射下时才能成功地杀菌消毒。位于表面缝隙里的微生物不可能通过凹壁的反射就可被消除，这可由表3所示的反射率推导得到。

实际上，固体表面、粒状材料和包装材料（如塑料、玻璃、金属、厚纸板、箔，等等）是通过强烈、直接的照射来进行消毒和防止细菌污染的。此外，通过沿着它的路径照射的方法，已消毒的材料在它以后的加工过程中基本上能防止细菌污染。

3.3 液体消毒

具有杀菌能力的辐射能够以不同的效率渗入液体。从处理的角度来说，液体就好比空气，所以紫外线辐射穿透液体的程度越深，那么它的效率就越高。因此，效率的高低很大程度上取决于液体，尤其是其在254nm紫外线辐射情况下的吸收系数（如表4）。举例来说，同样是在254nm紫外线辐射下，纯水的透明度的变化幅度会在10左右，随着地点的不同，变化幅度甚至会更大。受过污染的水往往需要通过消毒来净化；这种情况下，紫外线消毒在北美和欧洲



图19. 用UV对香料杀菌的设备

正越来越普及，好几万的系统已经被使用，每一个系统都需要大量的光源。通常来说，紫外线辐射能够补充或替代传统的加氯消毒法（详见后文）。

和氯化消毒技术相比，紫外线消毒技术更具有优势，因为其产生的有毒副产品要远远少于前者，此外，它还不受水的温度及pH值的影响。

读者应当注意的是：后者指的是辐射，而不是指光源之前提到的环境之类。

想在潮湿的环境中杀死微生物要比在脏空气中远远困难得多。这是由于他们限制了254nm紫外线辐射的传播。更定量地描述，液体使杀菌强度呈指数下降，如下面方程：

$$E = E_0 \cdot e^{-\mu(x)}$$

E_0 入射强度

E 在深度(x)处的强度

μ 吸收系数

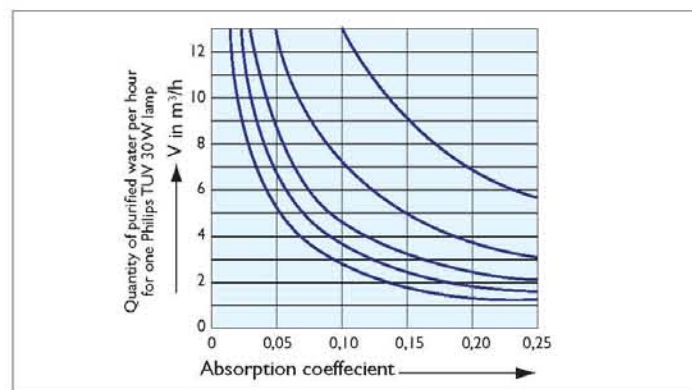
μ 指数高的液体只有在薄膜的状态下才能被消毒。大致估计穿透深度是1/a时辐射水平将降至1/e，换句话说，也就是37%。为了克服众所周知的静态液体的壁效应，有必要对液体进行振荡或激烈的搅拌以达到更好的杀菌消毒的目的，进一步消灭藏在粒子后面的微生物。

铁盐（以及其他的无机盐）和在液体中的悬浮物将会减少紫外辐射的杀菌效力。

此外，有机化合物尤其是那些在紫外辐射下容易产生碎片结合的有机化合物可能会改变被测水的质地与味道。

因此我们需要不断的试验。大致地讲，能达到90%杀菌率的有效渗入深度对蒸馏水来说是3米，对一般的饮用水是12厘米，对酒和糖浆来说甚至可以少于2.5mm（见表4）

渗入深度的问题使我们应用特殊的技术来使254nm放射线能够高效的进行渗透。其中包括产生“薄膜”或者减少紫外辐射穿透液体的速度使其能够达到足够的辐射剂量。



如果要将紫外线灯浸入液体中，则应将其装入石英或者可透过UVC的PTFE外壳中。

进行消毒液体的装置可以有如下的形式：

1. 一个或多个灯装入石英或者类似材料（在254nm时有高透射率）制成的容器后浸入待消毒液体中。在一个大容器中可使用多个这样的装置。
2. 将石英管（在254nm时有高透射率）放置入反射器里的若干灯管中或具有一体化反射器的TUV产品（例如TUV115WVHO-R）中，液体通过石英管可实现消毒。
3. 将装有反射器的灯管或具有一体化反射器的TUV产品（例如TUV115WVHO-R）置于液体表面上方。

液体	
红葡萄酒	30
白葡萄酒	10
啤酒	10-20
透明糖浆	2-5
浓糖浆	20-50
牛奶	300
蒸馏水	0.007-0.01
饮用水	0.02-0.1

表4. 不同液体对uv-254nm每cm深度的吸收系数 (a)



4. 应用

概述

尽管紫外线杀菌灯可以应用在各方各面并能达到多种目的，它的应用领域主要可概括为如下几个方面：

- 空气消毒
- HVAC冷却旋管
- 家庭用水
- 工业饮用水
- 工艺用水 (饮料)
- 废水
- 半导体和IC制造业
- 池、温泉、水族馆、鱼塘。

4.1 空气消毒

室内的空气一旦不流通，空气常常重复被利用，室内易于充满污染物，如细菌、病毒、发霉物、霉、花粉、烟和来自建材的有毒气体。随着这些污染物污染程度的加重，它会引起各种疾病的发生。其中哮喘病是最显著的一种疾病。在办公或工业环境下，被称作HEPA（高效率空气微粒）的过滤器安装在HVAC管道中。优质的纤维材料压在一起形成开口结构。对于大多数微粒子污染物来说其空隙都很小。这种过滤器很有效，但在气压下会引起下沉变形。随着对室内空气质量的关注与日俱增，最近有了新的措施。在用于通风、加热和冷却的通风管道中应用紫外线已经被证实能杀灭空气中的病菌从而可以对人提供足够的保护。

在室内使用时应当考虑各种不同种类的过滤器：

- 纤维网孔过滤器：通常为25微米或者更大些的粒子而设计的。
- 活性炭过滤器：能中和某些气体，烟和气味。
- 电子空气清洁剂：清洁像灰尘、花粉和毛发这样的粒子。他们被一系列释放相反电极的金属盘所吸引。
- 氧离子发生器
- 紫外线光：唯一一种对微生物真正致命的处理方式对于病人与访客身上携带的致病病菌，如肺结核，病房、诊所、手术室以及类似的场所都应该注意消毒保护以防止

医护人员与病人被传染。如果条件允许，应进行合理的投入。医院一般传统的控制疾病的方法有：

- 通风：用干净的空气来稀释可能被污染的空气
- 负压隔离室
- HEPA(高效率空气微粒)紫外线杀菌过滤提供一种高效的解决方案加强防护防止传染。（参考12、13）

特别是对上层空气的消毒已经被证明是一种有效的方式来加强对TB和其他通过空气传播的疾病控制（文献8）。许多引起疾病的生物在“微滴核”中围绕空气流流动，它们的大小在1到5微米，通过咳嗽、喷嚏、甚至是说话被释放出来。这些“微滴核”一旦被吸入就会传染。

据估计，99%通过空气传播的病菌在有充分的空气循环与紫外线曝射的情况下都会被杀死。

4.2 冷却旋管

空调的冷却旋管几乎总是又潮又多灰尘的，因此它是一个滋生已知过敏源——霉菌的理想场所。用紫外线对冷却旋管的照射可大大减少或抑制霉菌的生长。与此同时可提高热交换率和降低压降。只需很小的紫外线照射就可以使对旋管保持长期照射。



图20. 污水处理系统

4.3 水的净化 (文献 7,14)

聚集在水中的大量的微生物会引起疾病，尤其是对于婴幼儿或老年人而言，因为他们的免疫系统相对较弱。利用UV灯进行消毒无需添加化学物质，因而不产生有害副产物和难闻的气味。它还有其他的优点包括安装简单、维护费用低和所需空间小。

UV灯可以抑制细菌、病毒和原生物的活动能力。每一种有机物都需要一定的照射量才能达到灭菌效果。杀死病毒的辐射量要高于杀死细菌与原生物的量。了解进行杀菌的有机物种类，有利于决定所需的UV系统的尺寸。例如：要杀死99%的大肠杆菌需要90J/m³或者9mW.sec/cm²的UV辐射量。UV装置适用于工业、商业和住宅市场。

水的质量对UV系统的性能有着重要的影响。一般普遍要考虑的因素有：铁、硬度、悬浮体的总浓度和紫外线透射率。不同的有机物与无机物混合后能够吸收UV。

当不能确定水里所存在的物质时，就要测量紫外线透射率。大多数饮用水的紫外线透射率在85%到95%之间。

在消毒之前，经常使用分离处理技术来改进水的质量。

- 沉淀物过滤器：去除一些能阻挡微生物或者吸收紫外线的微粒
- 碳过滤器：除去有机化合物和难闻的气体
- 硬水软化剂：降低水的硬度

我们经常将UV与反渗透一起应用。在反渗透系统之前进行紫外线消毒以减少细菌生物膜的积聚，从而增加RO薄膜的耐久性。这需要在紫外线消毒装置中设计一个反应器，从而确保所有的微生物充分接受紫外线的辐射。

大多数生产厂家的紫外线设备使用低压汞灯。高输出产品正趋于流行。大容量饮用水和废水处理则由中气压汞灯主导。灯表面温度是决定UV辐射量最关键的因素之一。灯的紫外线效率（输出一次紫外线所消耗的功率）取决于灯泡的温度。

（见第28页）



图21. UV饮用水工厂，日处理量405,000m³（俄罗斯）

起保护作用的石英套筒的直径应该与特定功率的光源（瓦特每单位弧长）、温度和水流速度完全吻合。

随着光源寿命减少，由于灯壳（玻璃或者石英）的过度曝光，将降低紫外线的输出。当灯管辐射达到一个指定的最低值时即为灯管的寿命终期。

绝大多数的生产者提供电子功率补偿和在较低温度下工作来提高效率（提高至10%）。这种镇流器能够承受电压的较大波动，并且向光源提供稳定电流。

为了选用合适的紫外线设备的尺寸以符合对目标进行消毒的需要，应考虑最高流速、所需的辐射量和紫外线透射率等因素。

对流速和各种水质等不同条件下所进行的理论计算应通过生物鉴定测试进行验证。

4.3.1 家庭用水

POU或者POE紫外线消毒系统由一个低压紫外线汞灯组成。它带有石英套筒来防水，位于一个不锈钢反应器中央。通过使用一个合适的紫外线传感器控制紫外线的输出量，并通过视觉或听觉的指示器提供紫外线灯的工作状态。为了改善水的气味，POU系统常与一个活性炭过滤器一起使用。

新的ANSI/NSF标准55（紫外线微生物水处理系统）规定制造商至少要通过A级或B级紫外线系统的鉴定。

等级A的POU/POE装置可以对微生物包括细菌和病毒进行消毒，从而使已污染水达到一个安全水的标准。污水已被明确指定不能用作饮用水。从2002年三月起，紫外线系统必须具有 $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的辐射量。

等级A类的装置要有一个紫外线感应器，当投射进水中的紫外辐射量未达到标准就会发出警告。

等级B的POU系统是为了处理已经处理和消毒过的公共饮用水中含有的附加细菌而设计的。这种装置不适用于消毒含有微生物的不安全水。该系统在紫外线输出为正常的70%或在警报临界点时产生的辐射量至少为 $16 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。2002版的标准55规定了所有零部件所要达到的要求。例如，需要经过一个15分钟的流体静力学压力测试。

4.3.2 工业（市政）饮用水

在欧洲用紫外线光对饮用水消毒技术已得到良好的发展。欧洲数以百计的公众饮用水供应商已经使用紫外线消毒技术，采用此技术的动机源于实现无须使用氯便能阻止细菌和病毒的活动愿望。最近关于消毒添加物对健康产生潜在危害的研究表明氯的使用不容乐观。

在北美爆发的一些致命的似隐孢菌病已经证明现有的消毒和过滤技术无法保证除去自来水中的似隐孢菌。

似隐孢菌病是一种通过人类传播的病毒。它会引起腹泻，有时甚至会致命。该生物体对环境具有较强抵抗力并且存活达数月之久。

氯对于似隐孢菌病几乎完全没有作用。臭氧可能是有效的，但很大程度受到水质和温度的影响。它的体积很小，因此一般的标准过滤技术很难将它除去。

最近的研究表明使用很少量的紫外线辐射就能杀灭似隐孢菌。仅用 $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的辐射便可使细菌浓度的数量减少4个对数单位。



图23. POU居民饮水机UV进化装备。

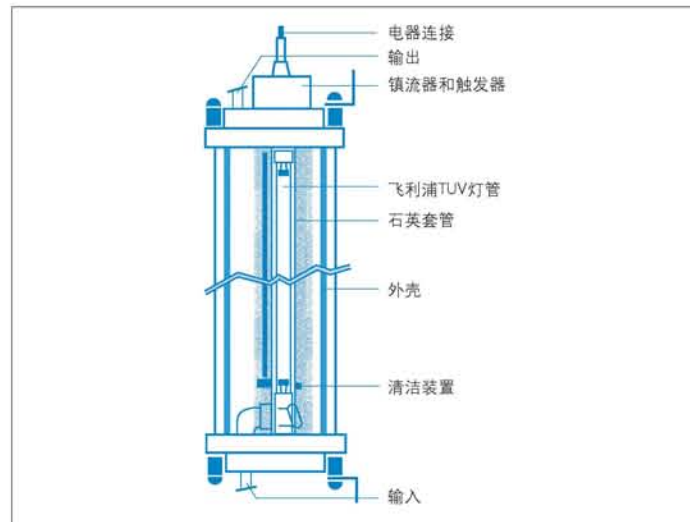


图24. TUV灯管在水进化系统中的应用草图。

用紫外线杀灭似隐孢菌效率高，且无添加化学物质，因而紫外消毒技术在北美市场的发展应具有较大前景。

由于具有较高的紫外输出效率，低压和高输出汞灯无疑将在许多地方饮用水UV设备中占有一席之地。然而由于占用的空间将会是个问题，高强度中等气压的光源将会更受欢迎，特别是当现有的水处理设备必须重新装备UV消毒装置就更适宜。



4.3.3 废水

使用氯对废水消毒已经有一个多世纪的历史了。然而，虽然氯是非常有效的，但它与环境与健康问题都有关系。废水中的氯化副产物对水生生物与水面生物都有毒。氯气对人类也有危害。

紫外辐射被证实为对公共废水进行消毒处理的一种环保、方便和经济的方法。紫外线消毒比氯气废水消毒处理系统更加安全，因为它无需投放大量有害的化学物质。现今全世界已有超过2000个废水处理装置依靠紫外线消毒。所需的紫外辐射量取决于上游的处理，同时应考虑流速率和紫外线在水中的透射率，通常取值在 50 到 $100 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 之间。

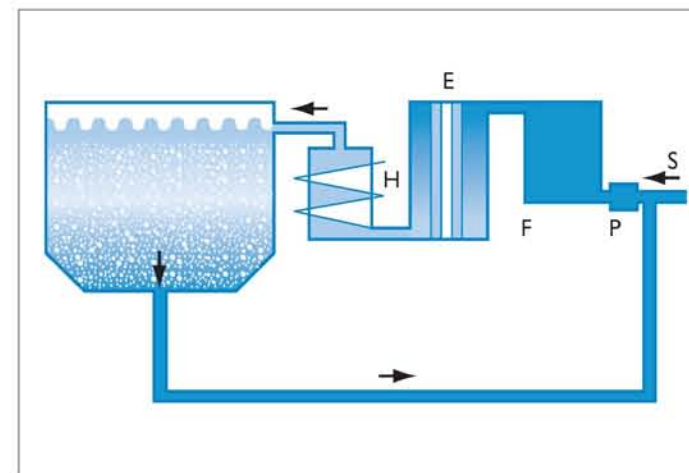


图25. 一个私人游泳池的水净化系统图解。
E=紫外发生器；F=过滤器；H=加热器；
P=抽水机；S=供应水源。

4.3.4 冷水器，自动售水机

自动售水机储存和发售的水是非氯化的。该类机器必须得到当地公共医疗卫生服务部门的许可。要得到许可的条件之一就是该自动售水机必须配有一组消毒设备来减少细菌和其它微生物的数量。

瓶装水的冷却器所装也为非氯化的水，但并不要求其具有消毒设备。然而一旦没有能有效消毒的系统，瓶装冷水器的储藏空间将会逐渐形成一个生物膜，为细菌的滋生提供了充足的养分，并形成一种凝胶体的保护物质。这种细菌，姑且不论它是否无害或甚至是有益的，其存在就无法保障饮用水的质量。因而通常推荐使用简单的UV发生器以防止生物膜的形成。

4.3.5 冷却塔

冷却塔和循环道通常都很脏，温度较高并且含有丰富的生化营养物质。它们是微生物理想的繁殖地。

为了控制细菌的生长速度，每隔一定的时间会在此类系统中注入氯或臭氧等化学物质。若改为UV消毒将可以大大降低成本并且安全和环保。

4.3.6 半导体工业水处理

在半导体工业中漂洗水里所含的有机化合物会影响产品的产量和质量，因此规定水中的总有机碳（TOC）污染物的含量不得超过百万分之一（ppb），即在此应用中只能使用超纯水。

紫外照射技术的强大发展使其成功地被引入到半导体、制药、化妆品、保健品等工业的超纯水制造中。此项技术不仅在消毒方面发挥出巨大的作用，在降低TOC、去除臭氧和氯方面也效果显著。

在这一应用中使用2种UV波长：254nm和185nm。254nm波长的紫外光用于消毒作用，同时能破坏水中残留的臭氧分子。185nm辐射能分解有机物分子，它比254nm波长的



能量更高，能从水分子中分解出自由羟基，从而将有机物氧化分解成二氧化碳和水。

185nm灯管所使用特殊的石英材料对较低的波长就有高透过率。通常要求的照射量为100 到 500 mJ/cm²之间，飞利浦 XPT汞齐灯发射185nm谱线，而HOK和HTK中气压放电灯也能提供极佳的效果。

4.3.7 温泉与游泳池

TUV灯被用作传统水处理方法的一个补充。重要的一点是有了UVC作为补充，加氯消毒法就不需要使用那么多的氯了，这对于那些对氯过敏或不喜氯的味道的人们来说是一个福音。UVC不适合作为唯一的一种消毒方法，原因是在游泳池中要考虑水循环系统中具有沙石、无机物等物质，因此过滤法和化学处理必不可少。通常的紫外消毒法是使水流过持续辐射UVC的设备中，从而形成一个部分封闭的循环空间，与加氯法一起，达到有效消毒的目的，并可以降低50%的加氯量。

4.4 减少鱼塘中的藻类

养鱼者常常为鱼塘中的光养微生物感到烦恼。这些微生物广泛地存在各种淡水和咸水中，它们含有光合色素，颜色很深，常以绿色、橄榄色、紫色、红色、肉色或棕色密集地悬浮在水中。在有些季节中由于光照促进了光合作用，



会大面积地生长（象水中的花饰）。

为了使海藻的生长得以破坏或抑制，应使用UV254nm的辐射或使用很长的时间进行照射。每天将水通过一个具有UVC源的封闭循环系统数次可以简单地完成上述处理。灯可装入石英管中。实践表明，一个TUV PL-S 5W 的灯管可以使容量为4.5千升（英制1000加仑）的水池保持净化。



对于更大的水池或水塘则应按比例增加灯的数量。照射的目的是使海藻解体，重组合成更大的分子链，最终可以被过滤器过滤掉，或沉入池底。

4.5 水族馆

不管是淡水还是海洋水族馆常面临有以下两个问题：一是水里逐渐长满海藻；二是水中的寄生虫引起鱼类疾病。温水对于微生物的滋长提供了极佳的条件；人工的光照则促进了海藻的生长。对此可以使用类似于上述鱼塘的消毒系统，对于私人的养鱼池仅需使用一套TUV PL-S 5W灯管。抽水速度宜慢，以保证水流有足够的时间停留在灯管前方，有利于提高细菌杀除率及海藻的集聚。在水塘和水族馆中使用UVC还有利于除去新进鱼带来的寄生虫，这种寄生虫有时会带来灾难性的后果。UVC处理法尤其有利于除去悬浮的游走孢子、抑制繁殖、保持水中在较短的时间内没有寄生虫。甚至已感染细菌的鱼的病态症状也得以消失。



4.6 飞利浦杀菌灯及应用

紫外消毒	TUV T5 迷你型 (+HO)	TUV T8	TUV T12 (+R)	TUV T5 (+HO)	TUV PL-S	TUV PL-L	T5 LP 185nm I	汞齐灯 TUV XPT	HOK/HTK/HTQ
水									
家庭用水	•				•	•			
超纯水				•			•	•	•
废水				•				•	•
生产用水				•					
工业饮用水				•				•	•
鱼塘	•	•			•	•			
水族馆	•				•				
游泳池				•					
农业再生水			•	•			•		
空气									
太空/高空空气		•		•	•	•			
通风设备		•		•	•	•			•
冷却螺旋管		•					•		
干碗机等		•							
表面									
食品工业				•					•
包装			•	•					•

I. 不在目前产品系列中

5. 灯管数据

概述

若需要完整的资料, 请参见各自的产品手册。

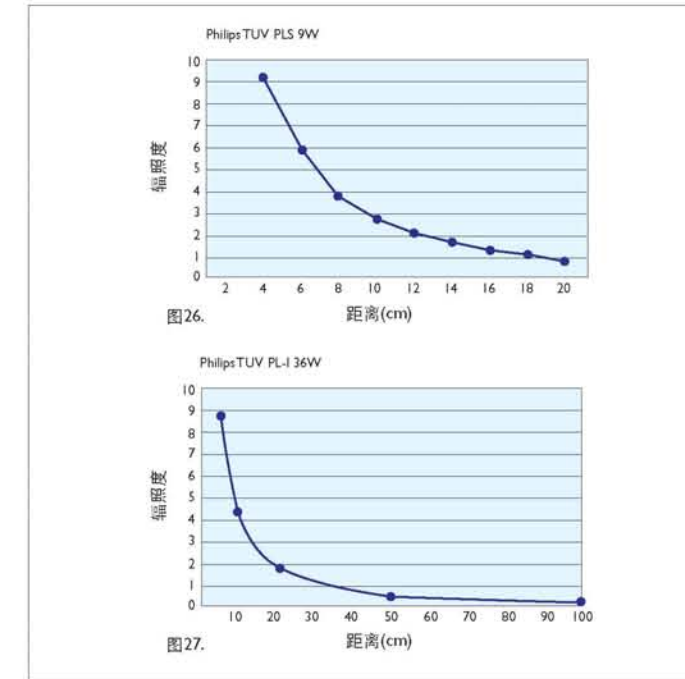
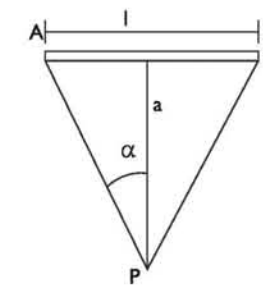


图26. 27. UV辐照度与灯管距离的关系

5.1 UV辐照度值

一个长为L的理想线光源AB在距离a外某一个小表面上的P点处形成的辐照度E为:

$$E = \frac{\Phi}{2\pi^2 \cdot l \cdot a} (2\alpha + \sin 2\alpha)$$



Φ 是总的辐射通量(单位: W)。本公司引自: H. Keitz, Light calculations and measurements, Philips Technical Library, MacMillan and Co Ltd, 1971.

若与灯管距离更大, 则:

$$E = \frac{\Phi}{\pi^2 \cdot a^2} \dots (\alpha \gg 1) \dots (2)$$

(2)与灯管距离更短, 则辐照度呈比例变为:

$$E = \frac{\Phi}{2\pi \cdot a \cdot l} \dots (\alpha < 0.51) \dots (3)$$

(3)对不同的低压汞TUV灯在1m距离处的辐照度值如下所示。

Irradiance values			$\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Philips TUV 4W	T5		9
Philips TUV 6W	T5		15
Philips TUV 8W	T5		21
Philips TUV 10W	T8		23
Philips TUV 11W	T5		26
Philips TUV 15W	T8		48
Philips TUV 16W	T5		45
Philips TUV F17T8	T8		88
Philips TUV 25W	T5		69
Philips TUV 25W	T8		
Philips TUV 30W	T8		100
Philips TUV 36W	T8		145
Philips TUV 55W HO	T8		150
Philips TUV 75W HO	T8		220
Philips TUV 115W -R VHO	T12		610
Philips TUV 115W VHO	T12		360
Philips TUV 240W XPT	T6		800
Philips TUV 270W XPT	T10		920
Philips TUV PL-S 5W/2P			9
Philips TUV PL-S 7W/2P			15
Philips TUV PL-S 9W/2P			22
Philips TUV PL-S 11W/2P			33
Philips TUV PL-S 13W/2P			31
Philips TUV PL-L 18W/4P			51
Philips TUV PL-L 24W/4P			65
Philips TUV PL-L 35W/4P HO			105
Philips TUV PL-L 36W/4P			110
Philips TUV PL-L 55W/4P HF			156
Philips TUV PL-L 60W/4P			166
Philips TUV PL-L 95W/4P HO			250
Philips TUV 36T5			144
Philips TUV 64T5			280
Philips TUV 36T5 HO			230
Philips TUV 64T5 HO			442

表 6. TUV灯在1m距离处的辐照度值

5.2 温度对UV输出的影响

低压汞灯的UV输出效率直接与汞的（饱和）气压有关，而这一气压又取决于灯的冷端温度。在此温度为大约40°C时UV能获得最高输出效率。如图28所示。流通的空气对管壁温度会有很大影响。使用较高的电压可以补偿空气流（或较低的环境温度）的冷却效果。图29所示为使用具有相同尺寸的标准TUV PL-L 36W灯管和使用“高输出”60W灯管的比较。可以看出上述功率的补偿结果。

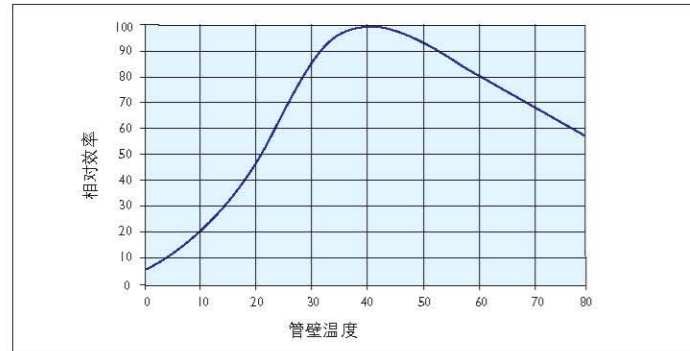


图28. 汞灯效率受温度的影响

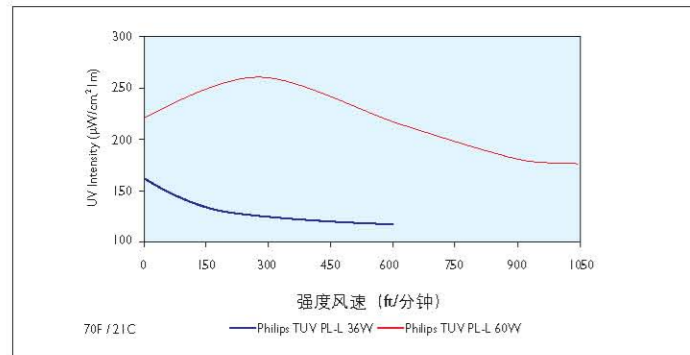


图29. UV与空气冷却因素

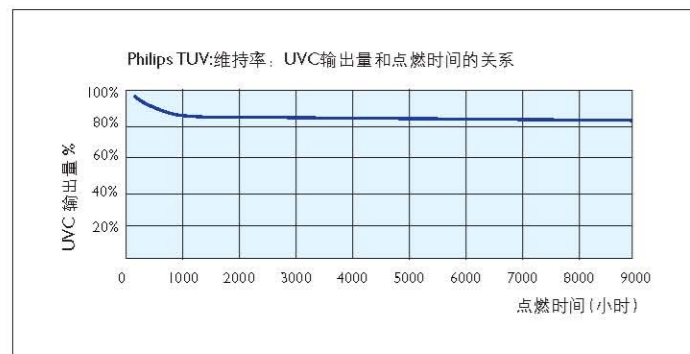


图30. 飞利浦TUV维持率

5.3 灯管寿命

低压汞蒸气放电灯（TUV）的寿命取决于以下因素：

- 电极尺寸
- 灯电流
- 惰性气体充量
- 开关频率
- 环境温度
- 电路

选用的镇流器应符合应用的需要。

预热式电子镇流器对延长灯管寿命极为有利。特别是当灯管需要频繁开关时。

频繁的开关会对灯管寿命有极大的影响。

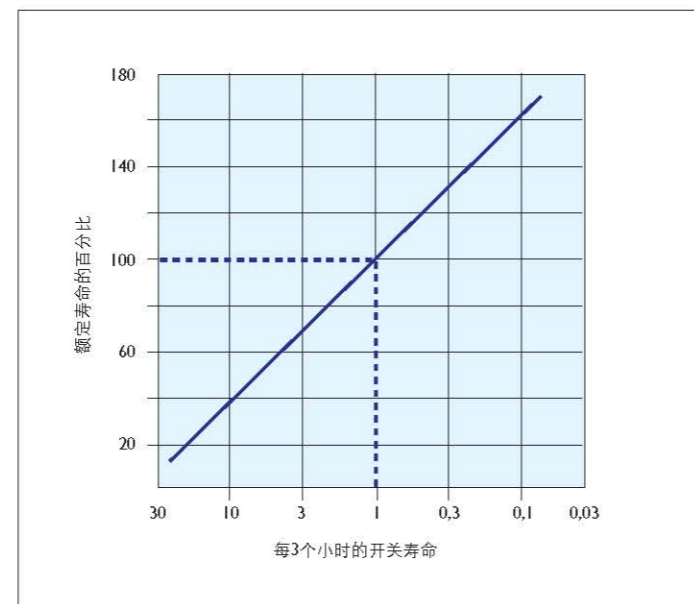


图31. 灯管寿命

6. 参考文献

1. Threshold Limit Values, ACGIH, 1999-2000
2. IES Lighting Handbook, Application Volume, 1987, 14-19
3. Legan, LW. UV Disinfection Chambers, Water and Sewage Works R56-R61
4. Groocock, NH, Disinfection of Drinking Water by UV Light. J. Inst. Water Engineers Scientists 38(2) 163-172, 1984
5. Antopol, SC. Susceptibility of Legionella pneumophila to UV Radiation. and Environmental Microbiology 38, 347-348. 1979
6. Wilson, B. Coliphage MS-2 as UV Water Disinfection Efficacy Test. Surrogate for Bacterial Viral Pathogens (AWWA/WQT conference 1992)
7. Wolfe, RL. Ultraviolet Disinfection of Potable Water: Current Technology and Environmental Sci. Technology 24 (6), 768-773, 1990
8. Brickner, PW; Vincent R.L., First, M, Nardell E., Murray M., Kaufman W.; The application Ultraviolet Germicidal radiation to Control Transmission of Airborne Disease, Public Reports / March-April 2003, VHI 18
9. Abboud N., Water Conditioning and purification, June 2002. P. 38-39
10. Biological Effects of Ultraviolet Radiation. W. Harm, Cambridge University Press,
11. Jagger, J. Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology, Prentice Hall, 1967
12. Grun, L and Pitz, N. Zbl. Batt. Hyg., vol. B 159, 50-60, 1974
13. Menzies, D.; Popa, J.; Hanley, J.A.; Rand, T.; Milton, D. K.; Lancet 2003; 362, p. 1785-
14. H. Martiny. Desinfektion von Wasser mit UV Strahlen. Techn. Univ. Berlin. 1991

图片来源:

Lumalier, Memphis USA (www.lumalier.com)

LIT Technology, Moscow Russia (www.lit-uv.com)

Technilamp UV+IR, Southdal S.A. (uv.ir@pixie.com)

Trojan Technologies, London Ontario, Canada

Eureka Forbes, Bangalore India (www.aquaguardworld.com)

GLA, The Netherlands (www.gla-uv.nl)

Notes: