



白皮书

发光二极管在牙科手术照明中的使用



目录

背景	3
本文目的	3
牙科工作手术灯的关键构成要素	4
光量	4
光质	4
颜色	5
相关色温	5
色度	6
显色指数	6
光的一致性和均匀性	7
阴影	7
与光固化复合材料的兼容性	8
牙科手术灯的其他重要构成要素	9
牙科手术灯的人机工程学考虑	9
视敏度和合适的光照度	9
手术灯的可定位性	10
操作简单且直观的牙科手术灯控制	11
感染控制	11
无忧无虑的所有权	11
美观	11
LED基础知识，优缺点	12
在牙科工作手术灯中采用LED照明的优点	12
在牙科工作手术灯中采用LED照明的缺点	13
参考书目	14

背景

在过去二十年里，发光二极管(LED)技术已迅速在广泛的行业和应用中取代了各类传统照明技术（如，白炽灯泡和荧光灯等）。LED光所固有的潜在优势（光输出较高，颜色、光谱和强度具有灵活性，热辐射低，使用寿命更长，体积小巧，并且功耗低）使得该项技术极具吸引力。

在过去五年里，较高端LED的质量和性能已经获得了极大的改进，目前该技术也适用于牙科工作手术灯的应用。截至目前，已有大量的牙科设备制造商在开发和出售使用LED的牙科工作手术灯。

针对竞争性产品的严格评估显示，制造商们尚未生产出能够超越一流的卤素灯泡照明产品。但是，在包括制造商和牙科从业人员在内的牙科行业中，已出现了明确的LED技术开发势头。未来的5至10年在牙科手术灯市场，LED技术发生改进和革新，将能够淘汰（如果不是替换的话）卤素灯泡照明。

本文目的

本文的目的有三个：首先，它旨在向牙科行业内的专业人士传达关于牙科工作手术灯的基本要求。其次，它在利益和权衡方面描述了LED技术的应用与这些要求的相关性。第三，也是最重要的一点，这些信息应该能够为用户选购优质牙科手术灯时提供良好的建议或决策。

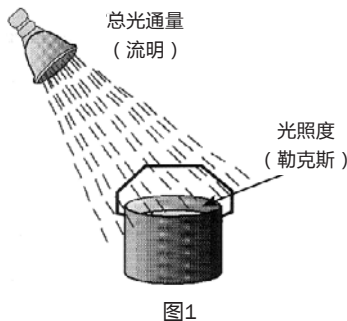


图1

首先，它与手术灯在口腔中的性能有关。

牙科工作手术灯的关键构成要素

首先，任何牙科手术灯都必须使牙科从业人员能够提供最高效、最优质的牙科护理。为了实现这些目标，牙科手术灯必须提供具有足够光量、质量和稳定性的光源。这几个术语只是某些定性的说明而流于主观，因此需要用较为客观的参数来描述光照的性能。

光量

对于口腔照明，可把光量想象为照射在指定区域的光总数量（图1）。

它使用术语“光照度”¹ 进行描述并且通常以勒克斯（流明/m²）作为单位进行测量，但是也可以采用英尺烛光进行表示。

优质的手术灯通常可以覆盖高90-100毫米、宽150-160毫米的区域，这可使手术灯完全照亮口腔而不需要重新定位，此外，还可以照亮口腔周围以减少眼部疲劳。大多数牙科应用的照明等级范围可能从低于8,000勒克斯（例如，光固化复合树脂修复期间使用的白光）到最高30,000勒克斯 - 在对口腔后部使用间接视角技术和水降温式钻头的治疗时会使用这一最高值（例如，上颌第二颗臼齿上的窝洞预备）。

虽然该光照度范围相对于大多数其他办公室的照明应用较强，但它适合于更具挑战性的治疗过程，如上例所示。但是，请务必注意，并非所有应用都需要此光量，牙科团队应该注意仅使用治疗过程所需的光量以保证长期的眼部健康。[（有关选择合适的照明级别的详细信息，请参见“牙科手术灯的人机工程学注意事项” - 位于第9页）](#)

光质

随着越来越多的公众意识到口腔健康诊断和治疗的重要性，以及对天然且具有高度美感的牙科美容修复强劲需求的出现，使人们对性能优越的牙科照明的要求变得极为严苛。

¹ 根据ISO9680的描述，在50毫米x25毫米的区域内必须能实现不小于最大光照度的75%，但是，大多数牙科手术灯制造商的做法是提供更大的照射区，以便能够更有效地照亮患者的口腔和脸颊。

从光源发出的光决定从患者口腔照射区反射（即感知）光的最高质量。

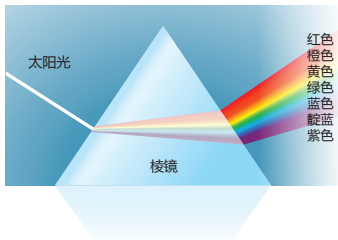


图2



图3

在这数十年，牙科专业人员和牙科行业认同口腔照明应该使用中性白光，这种颜色最有利于从业人员诊断口腔健康和损坏的牙组织。

出于这些原因，牙科手术灯制造商已经开始寻找尽可能模仿自然日光的设计产品。因为自然日光可以提供宽阔和具有良好平衡的光谱或光谱功率分布，这是人类眼睛看到物体“真实”颜色的理想光源。光源与日光的光质越接近，牙科从业人员越能够准确看到口腔内的真实情况。简言之，从业人员看到口腔照射区反射的光质取决于光源源头发出的光质。

颜色

主观上，牙科手术灯的其中一个主要目标是通过使用白光显示自然牙组织。值得注意的是，人类眼睛看到的白光实际上是包含可见光的所有颜色（即，波长）协调出来。此协调颜色由光源产生的光谱功率分布作代表。

光谱功率分布（图2）可被理解为光源颜色特征的指纹。尽管它包含关于光源的颜色内容的完整信息，但它不可以作为一种简单的方式、易于诠释的方式来表现整体颜色外观，或用光源来辨别颜色的能力。为了方便地描述光源的颜色质量特征，照明行业普遍使用多个度量：相关色温、色度和显色指数。

相关色温

光源的感知颜色通常由相关色温(CCT)进行描述。色温的概念基于以下现象：当物质被加热到足够高的温度时，它将会发光。光的颜色取决于以开尔文温标(K)测量的温度，这就是温度和颜色之间的关系。图3以理想的黑色物质(辐射体)加热发光来说明此关系。事实上，大多数光源无法与理想的黑色辐射体所产生的颜色完全匹配，只可取最接近的来匹配（称为相关的色温），以强调该颜色在指定温度下并不一定与理想的黑色辐射体所产生的一致。

中性白光的CCT为5,000K，这也是为什么大多数牙科制造商都提供达到该值或接近该值的手术灯。

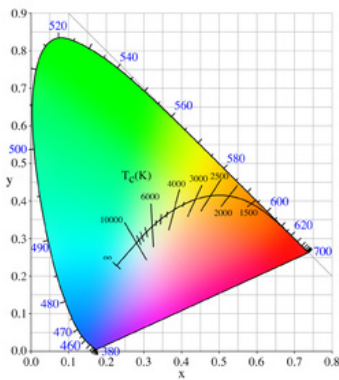


图4

关于色温有几个重要事项需要注意，因为出于某些原因，此方法可能会造成混淆。首先，通常人们认为色温即是光的实际温度。但事实未必如此（钨在所有金属元素中熔点最高，其熔点为3,695K）。其次，人们通常将红色描述为“热”并将蓝色描述为“冷”。相反的是，蓝光的相关色温(CCT)比红光的高。

CCT是一种有用的用于描述光的冷热程度的度量标准，但它不提供该光的颜色质量的完整信息。对于不是通过灯丝加热发光的光源(包括LED)而言尤其如此，其颜色可能会与由黑色辐射体产生的颜色大相径庭。

色度

由于LED光的特性与白炽灯光源的特性不同，仅以CCT来描述白光的颜色是不够的。因此需要配合色度坐标来描述。

色度涵盖所有颜色，而不像CCT仅限于由黑色辐射体所产生的颜色，特定的颜色可以通过几类色度二维图系统的坐标来定义。而广泛被使用的一个样例是(x, y)色度坐标系统，如图4所示。通过指定x值和y值，便可以精确地描述该颜色。

请注意此图也包括一条曲线以代表由理想的黑色辐射体所产生的颜色。而当中的短直线代表在这条线上的CCT值保持不变。这就显示了CCT值如何不足以描述颜色的质量。就拿6,000K等值线来看。当它与理想的黑色辐射体所产生的曲线交叉时，该颜色接近白色。沿该线向上移动便呈现带绿色的光，向下便呈现出带桃红色的光。

色度坐标与使用CCT相比，能够更加完整的描述光源的颜色。色度坐标的限制是一般人在没有图表的情况下不能够轻易地理解特定色度坐标所表示的颜色。

显色指数

CCT和色度旨在描述光源的颜色外观，而显色指数(CRI)则量度光源重现各种物体原本颜色的程度(这是与理想的或自然的光源作比较)。正如前面所提到的，日光包含足够照明度的所有颜色（即，波长），使它能够在准确地显示由物体反射的所有颜色。也就是说，白日光中的红光成份令我们可以看到所有红色的微细色调，不管是牙龈组织中的所有红色，还是从微笑中感知的广泛颜色（图5）。



高显色指数来源 低显色指数来源

图5

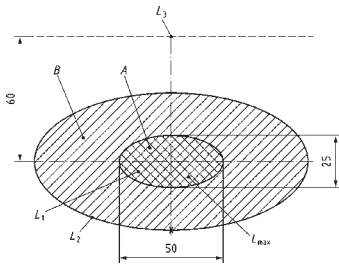


图6

根据ISO9680:2007的灯光照射区

- A 内部区域的光照度
- B 外部区域的光照度

日光被认为是最完美的显色，其CRI为100。因此，牙科手术灯应该拥有高CRI值（以及正确的颜色和适当的光照度），以便能够更加准确的识别口腔情况。

采用石英卤素灯泡和分色反射镜的传统手术灯设计，例如A-dec 6300 手术灯，其CRI值可以恒常地超越95。但是，采用LED的牙科工作手术灯通常达不到相等的CRI值。可以确定的是，达到90或以上的产品日益增多，但是市场上也有LED手术灯在5,000K 时CRI值低于80。

人类的眼睛适应能力极强，因此在使用具有较低CRI值的手术灯时对临床影响并不明显，但研究确认具有高CRI值（例如，~90或以上）的手术灯可以更加完整且更加准确地显示口腔内的牙组织。

光的一致性和均匀性

灯光照射区的整体一致性（图6）可以进一步区别手术灯的性能。关于光照度，灯光的中央照射区应该能够在目标区域达到清晰而均匀的照明。

在照射区的边缘，由于眼睛在强烈对比的区域之间进行回聚，所以应该使用带羽化的边缘逐渐降低光照度以舒缓眼部疲劳。[（另请参见牙科手术灯的人机工程学注意事项，第9页。）](#)

另外值得注意的是，由手术灯产生的照射区应该有效地避免投射到患者的眼睛。ISO标准，ISO9680指定从距离中央照射区60毫米线以外直接或散射的光线（即是从口腔到眼睛水平中心线的大致距离）决不能超过1,200勒克斯。优良的牙科手术灯表现应该可以低于这门槛；但是，值得注意的是，并非所有的手术灯（包括某些LED手术灯）都满足此要求。

阴影

牙科手术灯必须展现优秀的无影效果，以保持牙科团队的良好工作姿势及提高工作效率。手术灯灯头的设计，在部分光线被阻碍的情况下，将不会产生过多的阴影或大幅度减少照明，以免导致牙科团队减慢速度、调节手术灯或采用不符合人体工程学的姿势。

光源应该具有至少150毫米的跨度，以使灯光照射区达到“体育场”般泛光照明效果。

若要获得良好的无影效果，牙科手术灯灯头必须在水平方向和垂直方向保持足够宽度，以确保阻碍物（例如工具或手）不会导致明显的阴影。灯光照射区要达到像体育场的泛光照明效果，按手术灯灯头到口腔700毫米的标准距离，灯源跨度应该不少于150毫米。这可以使用大反射器或以广泛分布的光点阵列获得该效果。

与光固化复合材料的兼容性

现代牙科学在使用光引发牙科材料方面取得了突破性进展。最值得注意的是，由于其自然的外观，易于应用性，改良了强度和耐久性，光固化复合树脂已越发的受欢迎，而无需考虑汞合金。

樟脑醌是用于光固化复合材料（修管用复合树脂、封剂、正畸托槽粘接剂等）的最常见的光引发剂。由于樟脑醌在蓝光范围内固化（波长500纳米下的可见光），因此明亮的白色牙科手术灯光可能会导致材料过早固化。这是因为白光内自然包含了蓝色光谱中的光。材料过早固化可能导致修复不佳（带有空隙或缺陷），或者需要牙医去除材料并重新修复。

随着光固化牙科材料的普遍使用，牙科手术灯应该与这类型的应用高度兼容。传统上，卤素式牙科手术灯的制造商已提供了某些形式的强度调整功能，以允许用户降低灯的功率。虽然此方法可以延长从业人员操作时间以及固化光固化树脂，但它不会完全消除材料过早固化的可能性。结果令许多牙医宁愿把手术灯光移走或者关掉，在没有手术灯照明的情况下进行工作，而不愿冒此风险。

采用LED照明技术尤其适用于解决此问题。虽然任何白光（包括LED）都会带来可引起固化的蓝光，但事实是，在一个灯头中使用多个LED可以以一种模式降低（通过混合多色LED）或完全消除（通过使用过滤器或非白色LED）该照射区中的所有蓝光。当然，该照射区在此情况下将不会为白光，但它允许牙医在修复的重要步骤中，在口腔中使用全部光照度。

牙科手术灯的其他重要构成要素

当然，手术灯在口腔中的性能表现是任何牙科手术灯的最重要因素，但要真正成功，牙科工作手术灯还必须要照顾到牙科团队和环境的一些需求。当成功实现时，人机工程学、感染控制、无忧无虑的所有权，以及美感都会使该牙科手术灯的价值倍增。

牙科手术灯的人机工程学考虑

现代牙科学已认识到人机工程学实践对牙科专业人员所产生的重要影响。为了提供出色的牙科护理和治疗，从业人员经常牺牲舒适的姿势，以便获得口腔中更好的视角。不良人机工程学的后果会导致慢性损伤、降低工作效率以及缩短职业寿命。牙科手术灯在这方面起着重要作用，因此它的设计应最大程度地支持良好的视角和姿势。

视敏度和合适的光照度

如前所述，灯光照射区应首先完全照亮口腔。这会支持舒适的姿势并减少重新定位手术灯的需要。一旦这些条件建立，牙科手术灯必须提供合适的光照度，以便满足特定用户和应用的需要。

牙科手术灯的合适光照度级别已成为许多研究和辩论的主题。在许多牙科临床医生中持有一种非常普遍的观点，即，更多的灯光通常会提供更好的视敏度（即精确观察口腔中各种组织条件的能力）。然而，更多的灯光并非与更好的视敏度必然相关，因为人的眼睛将自然适应灯光级别 (Calleja & Hernandez, 1998)。

诸如年龄、性别和种族等因素可以影响用户有关“适当”光照度的偏好。同时，特定的牙科治疗过程也会影响需要的光照度级别。例如，一位棕色眼睛的60岁男性牙医，在口腔的内部区域进行工作，与一位使用直接照明在口腔外部区域进行修复工作的蓝眼睛35岁女性相比，他可能需要更多的光照度。当然，带照明装置的小型放大镜、光纤手机和/或带照明装置的抽吸设备也会导致灯光反射或直接照射到用户的眼睛。

因此，牙科手术灯能够调节光照度以便仅提供用户和治疗过程需要的亮度是其基本功能。

还值得注意的是，在调节光照度方面，采用LED的牙科手术灯相对于传统采用灯泡的手术灯具有明显的优势。因为它们以不同的控制方法和功率调节，所以光照度可以在不影响灯光颜色的情况下进行亮度调节。另一方面，灯泡式手术灯将随着灯光亮度的调节而改变灯光的颜色。对用户的好处是当较低的亮度正合适时，灯光的颜色不受到灯光的亮度影响。

总之，牙科手术灯必须能够易于选择最低级别的光照度，以满足用户偏好和特定治疗过程的需要。这可减少眼睛疲劳并提高工作效率。

手术灯的可定位性

牙科手术灯的大致位置。 手术灯应当易于移入存放位置并从该位置移出。牙科手术灯应易于定位，并有足够的移动范围，以便在所有可预见上下颌的治疗过程中提供适合的光照度。这些治疗过程肯定将包括使患者仰卧或坐着，但还应支持特殊情况，比如对不能移动到治疗椅上的坐轮椅的患者进行治疗。

有关手术灯粗略定位的最后提醒：为了达到人机工程学的位置，手术灯移动范围和可定位性应允许手术人员将手术灯放置在距垂直角度15度的地方(即与手术人员的视线方向一致)，以便配合使用小型放大镜、间接照明和间接视角的各种技术。

具有三轴可定位性的良好手术灯位置。 虽然某些从业人员会接受具有两轴旋转的手术灯，但具有三轴可定位性的手术灯从人机工程学的视角来讲更受欢迎。该第三轴旋转动作容许手术灯相对倾斜地对准患者的中心线。要使口腔中不存在阴影以及使牙医在治疗过程中移动其头部而不产生阴影，这就十分必要。其结果是获得更好的姿势和视角，同时避免产生阴影。

最终，牙科手术灯应该不需要经常作定位，而在需要时，其移动应是直观的，几乎毫不费力便可完成定位，这才算得了表现良好。尽管LED技术已经能够开发具有真正卓越定位的牙科手术灯，但并非所有手术灯的设计都已意识到此机会。

为减少眼部疲劳和提高效率，牙科手术灯必须提供简单的光照度调节，容许选用低级别亮度而同时能满足用户的偏好，并确保特定治疗过程的优化。

手术灯的启动应不需要用手触碰，或主要使用者视线无需从病人口腔中移走。

操作简单且直观的牙科手术灯控制

如前所述，LED技术实现了更好地支持牙科治疗过程的模式（例如，光照度级别、防固化照明）。然而，牙科临床医生只是希望专注于口腔，不想分神去调节照明模式。

理想情况下，应当能够启动手术灯而无需触摸它或者使主要使用者将视线从口腔中移开。

感染控制

尽管LED技术明显地具有改进牙科照明的潜力，但重要的是紧记任何新设计必须要满足现代牙科环境严格的清洁和消毒规则。

必须最大程度地减少接触面而不影响直观的启动和定位。理想情况下，手术灯的外形和轮廓应易于擦拭，或者便于隔离防护，以便手术间的周转能够快速地完成。

无忧无虑的所有权

产品设计必须可靠、坚固，将维修需要降至最低。良好设计的LED手术灯从来不需要更换照明部件。最坚固耐用的设计可在满足性能需求的同时，而不需要使用例如风扇、限热开关和灯泡等部件，这些部件可能导致过早发生故障。

维修和调整必须简单、直接和廉价。

美观

对于治疗椅上的患者，治疗室中有些对象是比较突出和刺眼。因此，手术灯的设计必定要反映专业形象。简单的形状和精心设计的线条传达了一种精密的高科技外观，这将影响整体治疗室体验。因为高质量的牙科手术灯应使用10至20年，所以其设计必须在长时间内保持吸引力。

此外，可见的表面，尤其是灯罩或反光镜等部件，应易于清洁或作隔离防护，若有明显的条纹或污迹可能在患者心中产生不太舒服的感觉。

LED基础知识，优缺点

对于任何寻求代替现行技术的新技术而言，总有需要考虑的优缺点。从传统的石英卤素灯泡式手术灯转换到采用LED的牙科手术灯也不例外。

在牙科工作手术灯中采用LED照明的优点

更多照明，更低能耗。 LED在产生照明方面非常高效。随着技术的发展，现在已经可以显着增加照明却同时大幅降低能耗。典型的灯泡式牙科手术灯功率大约为100W，提供大约24,000勒克斯的照明。与此对照的是，采用LED的手术灯可提供的照明多25%，而所需能耗仅为五分之一。而且，在可预见的未来，LED将朝着越来越高效的方向发展。虽然牙医们不会仅仅为了减少能耗而牺牲手术灯性能，但他们也希望降低电费以及获得可持续性发展的好处。

超长寿命，无需更换灯泡。 即使是最好的灯泡其寿命也是有限的，最终会出现故障，而且通常是在治疗过程中。其结果就是陷入降低工作效率和增加费用的重复循环。与此相反，采用LED的手术灯基本上能够达到在其整个产品使用寿命期内无故障运行，估计可使用20多年，约40,000小时。这对具有健全的热管理和均衡的功率调节设计的手术灯尤为如此 [\[请参见关于缺点内文中第13页的‘热管理’信息\]](#)。此外，发光二极管在本质上就比白炽灯泡更坚固耐用。

无辐射热。 采用LED的手术灯不产生辐射热，这意味着没有“热灯”效应。这有助于防止牙科团队在使用个人防护装备（例如手套、眼镜、口罩和长袍）时出汗。其结果是创造一个更舒适、工作效率更高的环境。

这在大型诊所或需要近距离装置大量手术灯的院校设施中尤其明显。卤素式手术灯产生的BTU可大幅升高室温。

促进更多牙科照明应用。 如前文所述，LED可更高效地提供更多照明、改进人机工程学可定位性，以及更高效地支持各种应用，如在复合树脂修复应用期间的照明。

如果LED结点设计不利于散热，则LED的寿命会大打折扣。

在牙科工作手术灯中采用LED照明的缺点

热量管理。 虽然LED在可见光谱之外不产生辐射热（或红外线光），但在LED结点会产生热。如果这些热量不消散，LED的使用寿命会大大缩短，因为过热会导致二极管结点出现故障。

将多个LED聚集在一起（某些制造商选择的方法）会加重热量管理问题，因为这样做可能需要有效的散热装置，例如风扇和过热传感器，这会导致耐用性和可靠性受到限制。

通过避免LED的紧密聚集以保持较低的结点温度的，以及无须使用散热装置的LED手术灯，在热量管理方面本质上便更坚固耐用。

显色指数。 虽然采用LED的手术灯的CRI值已受益于技术的发展，但石英卤素灯泡/分色反射镜方式的手术灯仍然具有性能优势（CRI值可高于97）。然而，现在某些LED手术灯在该性能上已足够接近，许多临床医生不会觉察到实际区别。虽然如此，牙科专业人员应直接评估预期的牙科手术灯，并基于其自己的偏好做出决定。

初始价格。 在性能方面要等同于（或超过）其灯泡式对等产品的LED手术灯要求更高的技术和精密性。LED部件本身必须安装到电路板上，并且由驱动器板电子驱动。此外，手术灯性能需求也驱使采用更高级的光学技术或热量管理。

LED光源发生器的更换（如果需要）更昂贵。 LED在其较长的使用寿命方面已得到广泛赞誉。然而，值得注意的是，如果发生故障（例如过热），维修手术灯所需要的成本和精力将比简单的灯泡更换大得多。



A-dec总部

美国 俄勒冈州纽伯格 97132
克雷斯特新街2601号
美国
电话：1.800.547.1883
(美国/加拿大境内)
电话：1.503.538.7478
(美国/加拿大境外)
传真：+1-503-538-0276
a-dec.com

国际营销中心

A-dec澳大利亚分公司

Ricketty街8、5-9单元
新南威尔士州马斯科特2020
澳大利亚
电话：1.800.225.010 (澳大利亚境内)
电话：+61.(0)2.8332.4000
(澳大利亚境外)
传真：+61.(0)2.9699.4700
a-dec.com.au

A-dec英国分公司

自由路11号奥斯汀楼
沃里克郡努尼CV11 6RZ
英格兰
电话：0800.ADEC.UK (2332.85)
(英国境内)
电话：+44.(0)24.7635.0901
(英国境外)
传真：+44.(0)24.7634.5106
a-dec.co.uk

参考书目

Calleja, F. R., & Hernandez, A. (1998)。达到视觉舒适所需要的条件。
In J. M. Stellman, 职业健康和安全百科全书, 第II卷。日内瓦：国际劳工组织。

Chu, S. J., Devigus, A., & Mieleszko, A. (2004)。颜色基础知识：
着色搭配和美学牙科交流。美国伊利诺斯州Carol
Stream：Quintessence Publishing Co, Inc.

技术委员会ISO/TC 106, 牙科, 附属委员会SC 6, 牙科。(2007)。
ISO 9680：牙科 - 手术灯。瑞士：ISO版权办公室。

van Boheeman, J., Albayrak, A., Molenbroek, J., & de Ruijter, R. (2009)。
适当的牙科工作手术灯。Tijdschrift voor Ergonomie, 14-21。

van Boheeman, J., Albayrak, A., Molenbroek, J., & de Ruijter, R. (2008)。
牙科手术灯的设计。荷兰代夫特：代夫特技术学院。

维基百科。(无出版日期)。色温。检索于2011, 源自
http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature

维基百科。(无出版日期)。二向色滤光片。检索于2011, 源自维基百
科：http://en.wikipedia.org/wiki/Dichroic_filter

维基百科。(无出版日期)。光照度。检索于2011, 源自维基百
科：<http://en.wikipedia.org/wiki/Illuminance>

维基百科。(无出版日期)。钨。检索于2011, 来自维基百
科：<http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten>

Young, J. M. (1987)。口腔牙科手术灯：测试和评估。
(L. J. Boucher, Ed.) The Journal of Prosthetic Dentistry, 57 (1)。