

宽角度调色温冷反射镜薄膜

王银河 阴晓俊 赵盛宇 姚春龙 马 敬 李明星 赵帅锋

(沈阳仪表科学研究所沈阳汇博光学技术公司, 辽宁 沈阳 110043)

摘要 为了简化手术灯照明系统的光学结构,设计了一种新型宽入射角调色温冷反射镜。分析了医学手术灯的光谱技术要求,分别使用三角垂直插值法计算光源系统的相关色温和标准三刺激值计算法计算显色指数编制程序计算。对比一种普通色温调整膜系的计算结果,通过膜系和反光镜面型的优化设计,得到了一种新型宽角度调整色温薄膜。实现了光线入射角度较大的范围内变化时,出射光的色温变化小的要求,显色性良好。这种薄膜减小了手术灯整体结构的复杂程度,提高了光能利用效率,可以替代传统的手术灯光学结构。

关键词 薄膜光学; 冷反射镜; 色温; 显色指数; 手术灯

中图分类号 O484.4 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200929s1.0404

Increase Color Temperature Reflector Thin Films with Wide Incident Angle

Wang Yinhe Yin Xiaojun Zhao Shengyu Yao Chunlong Ma Jing
Li Mingxing Zhao Shuaifeng

(Huibo Optical Technology Co. Ltd., Shenyang Academy of Instrumentation Science,
Shenyang, Liaoning 110043, China)

Abstract The paper mainly discusses the design of a simplified operating lamp structure—an increase color temperature reflector with wide incident angle. We analyze the spectrum requirement on surgery light by using vertical triangular interpolation calculate color temperature and Tristimulus calculate color-rendering Index. And by comparing one result of an ordinary thin film, we optimized the design of on the film and shape of the reflector and designed a new color temperature reflector with wide incident angle. And the color rendition of the new design is even better when the incident angle changes in a wide range. As a result, the design of thin film decreases the complexity of the surgery light structure and enhanced the applying efficiency for the light which can be used as a replacement of traditional operating lamp structure.

Key words optical thin films; cold reflector; color temperature; color-rendering index; operating lamp

1 引 言

医学手术照明系统中光谱要求色温适宜、亮度高、显色性好、出射热光截止等特点^[1]。典型手术灯光学系统采用卤素光源配合冷反射镜和色温调整片的结构,光学系统复杂,光效较低。为了简化结构,减少色温滤光片光线反射,提高光效,把色温调整膜和冷光膜直接镀制在反光镜上。本文通过设计膜系和反射镜的面型,研发出色温和显色指数随光源入射光线角度不敏感的膜系结构反光镜。当入射光线角度变化时,出射光的色温和显色指数变化很小。实现了宽入射角度下稳定色温和良好显色性。

2 新型手术灯光学结构

与传统典型手术灯光学结构相比,新型调色温光学系统的结构更加简单,如图1、图2所示。这种新

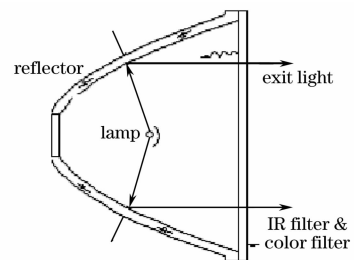


图 1 典型手术灯光源的结构

Fig. 1 Typical structure of the operating lamp

新型反光镜通过镀制特殊设计的光学薄膜,取代了典型手术灯光源的冷反光镜与色温调整片的组合结构。只使用一只色温调整反光镜,实现出射光的色温和显色指数要求。

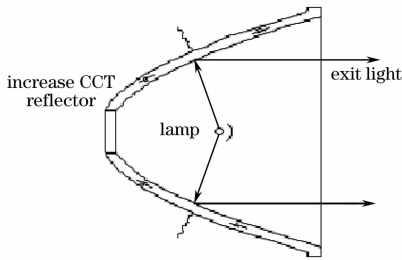


图2 新型调色温光学系统的结构

Fig. 2 New optical system structure with color temperature adjust

3 医学手术灯光谱技术要求

3.1 色温和显色性要求

出射光的色温(4000±500) K。手术灯系统一般使用的是3000 K左右的卤素光源,通过色温调整片改变色温。色温调整片同冷反射镜配合以后,色温值在3500~4500 K之间。这种配合调色温滤光片的反射镜具有良好的显色性,平均显色指数达到90以上。反光镜上不同位置的光线入射角一般从20°变化到50°,需要在宽入射角度范围内,保持色温与显色指数的一致性。

3.2 低温升要求

手术灯的温升要控制在2℃以内。为了减小温升,主要通过冷反射镜和红外截止滤光片消除红外光的影响。红外截止滤光片一般采用的是红外吸收玻璃或是镀制红外截止膜如图3所示。

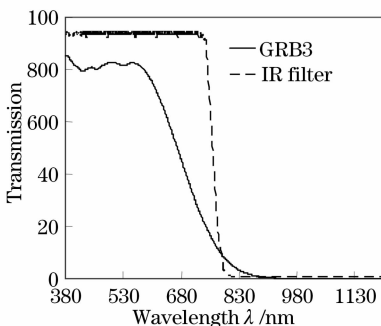


图3 吸热玻璃与红外截止膜光谱曲线

Fig. 3 Spectral curve of heat-absorbing glass and IR cut-off thin films

3.3 照度要求

无影灯的照度一般要求达到40000~100000 Lux。人眼在不同的亮度条件下对光线的敏感程度不同,

不同波长对人眼视觉函数的影响不同(图4)。因此,反射光谱设计要充分考虑对人眼最为敏感的波长位置,实现高照度的需要^[2]。

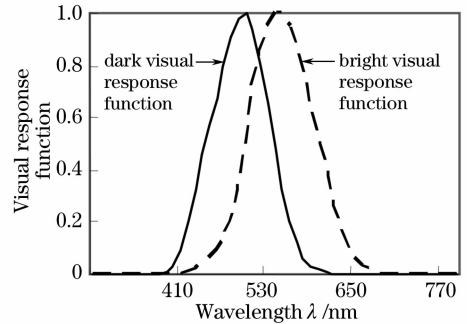


图4 明视觉和暗视觉函数响应曲线

Fig. 4 Response curve in Bright and dark vision function

4 相关色温和显色指数的计算

4.1 相关色温

色温是描述黑体温度的一个基本参数。实际光源的光谱功率分布很少与黑体一致,但在色度坐标系统中可以找到与黑体色度坐标最接近的一组值,把这组黑体坐标值称之为光源的相关色温,实际光源色温中都指的是相关色温。相关色温的计算方法很多,如三角垂足插值、黑体轨迹 Chebyshev 法、模拟黑体轨迹弧线法和近似公式法等^{[3][4]}。

4.2 显色指数

待测光源下和参考光源下物体颜色符合程度的度量。通过计算得到的显色指数可以辨别待测光源是否可以“真实”显示物体的颜色。显色指数的计算方法比较复杂,有标准方法、特征矢量法、沃尔特斯法等^[5,6]。

本文使用三角垂直插值法计算光源系统的相关色温,使用标准三刺激值算法计算显色指数,编制程序进行计算。

5 光线入射角度对色温和显色指数的影响

手术灯系统一般都使用3000 K的卤素光源,出射光的色温要达到4300 K左右。不同的黑体色温下,黑体的相对功率分布发生了偏移。图5设计一个反射光色温为4300 K左右的反射光谱膜系。反光镜不同位置的光线入射角度不同,膜层均匀分布时,反射光谱随入射角度的增大向短波方向偏移。入射角度从10°~50°变化的过程中,波长偏移50 nm左右,如图6所示。反射光谱波长位置的偏移使出射光功率分布改变,色温和显色指数变化很

大。常规设计膜系不同角度下不同波长位置偏移后的色温与显色指数结果见表 1。从表 1 中可以看

出,宽入射角度下色温和显色指数变化很大,不能满足要求。

表 1 模型在不同入射角度下的色温和显色指数

Table 1 The color temperature and color-rendering index in different incident angle of model

Incident angle / (°)	Color temperature /K	Color rendering index									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Ra
0	4337	85	90	97	85	78	92	90	85	39	86
10	4394	85	90	97	85	78	93	89	85	40	86
20	4490	83	90	97	93	75	91	89	83	32	85
30	4854	81	88	97	81	74	91	87	82	—	84
40	5295	75	86	97	78	65	89	85	78	—	80
50	6063	59	83	96	74	60	89	81	74	—	77

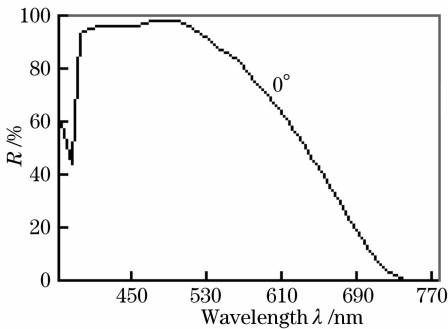


图 5 模型光谱反射曲线

Fig. 5 Reflectance curve of model

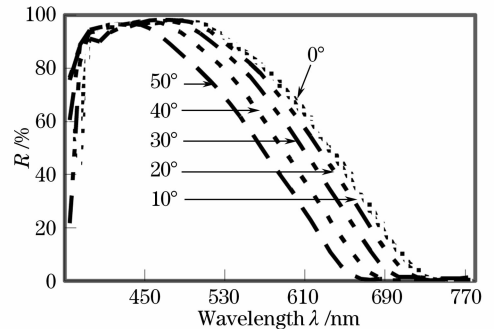


图 6 模型不同入射角度下的光谱反射率

Fig. 6 Reflectance curve of model in different incident angle

经过膜系的优化设计,得到宽角度入射,色温、显色指数变化较小的膜系,设计的新型手术灯光谱特性,色温和显色指数结果如表 2 所示,与传统典型手术灯相比,两种手术灯的光效对比如图 7 所示。

表 2 优化膜系不同光线入射角度的色温和显色指数

Table 2 The color temperature and color-rendering index in different incident angle of optimized film

Incident angle / (°)	Color temperature /K	Color rendering index									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Ra
10	4385	91	89	90	81	97	94	86	91	89	90
20	4383	95	93	91	95	97	94	90	94	96	94
30	4354	98	96	95	94	97	95	96	98	98	96
40	4289	98	97	92	94	94	94	94	98	91	95
50	4200	99	97	93	95	97	95	96	98	93	96
Average	4322	96	94	92	92	96	94	92	96	93	94

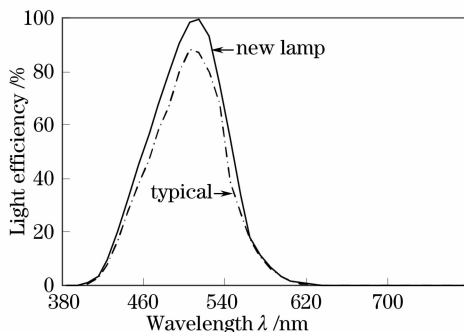


图 7 典型手术灯和新型手术灯光效对比

Fig. 7 Comparison of lighting efficiency between typical and new operating lamp

5 结 论

3000 K 色温的卤素光源下,使用优化设计的抛物面反射镜^[7],通过镀制优化设计膜系经宽入射角度(20°~50°)反光镜反射后,色温保持在(4300±150) K,显色指数大于 90。简化了手术灯整体结构,提高了光效,改善了光学系统的性能。

参 考 文 献

- Zhu Yue. The quality requirements and market prediction of shadowless operating lamp [J]. *China Medical Devices Information*, 1999, 5(4): 44~47

- 祝月. 手术无影灯的质量要求及市场预测[J]. 中国医疗器械信息, 1999, **5**(4): 44~47
- 2 Jin Qicheng, Jiao Shulan, Yu Bailin *et al.*. Colorimetry[M]. Beijing: Science Press, 1979. 17~18
- 荆其诚, 焦书兰, 喻柏林 等. 色度学[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 17~18
- 3 Zhang Hao, Xu Haisong. Comparative study of correlated color temperature algorithm for lighting sources [J]. *Optical Instruments*, 2006, **28**(1): 54~58
- 张浩, 徐海松. 光源相关色温算法的比较研究[J]. 光学仪器, 2006, **28**(1): 54~58
- 4 Wang Anxiang, Zhai Xuejun, Liu Hanchen *et al.*. Study on the calculating methods for correlated color temperature of light source [J]. *J. Xi'an University of Engineering Science and Technology*, 2006, **20**(4): 490~493
- 王安祥, 翟学军, 刘汉臣 等. 光源相关色温计算方法的研究[J]. 西安工程科技学院学报, 2006, **20**(4): 490~493
- 5 Tan Li, Liu Yuling, Yu Feihong. Method for the computing of color-rendering index [J]. *Optical Instruments*, 2004, **26**(4): 41~44
- 谭力, 刘玉玲, 余飞鸿. 光源显色指数的计算方法研究[J]. 光学仪器, 2004, **26**(4): 41~44
- 6 Liu Yicheng. Color-rendering properties and color-rendering index of light source [J]. *J. Electron Devices*, 2000, **23**(1): 43~48
- 刘义成. 光源的显色性与显色指数[J]. 电子器件, 2000, **23**(1): 43~48
- 7 Guo Xuguang, Chen Dahua, Chen Yuming. Calculation reflector lamps equipped with ray tracing method [J]. *China Light & Lighting*, 1999, (12): 1~3
- 郭旭光, 陈大华, 陈育明. 用射线追踪法计算灯具反射器配光曲线的探讨[J]. 中国照明电器, 1999, (12): 1~3