

新式单镜管结构硬管内窥镜LED贴片前置照明方式可行性探讨

袁野¹, 魏丽瑶¹, 刘小华², 潘一峰¹

1. 中南大学湘雅医院, 湖南 长沙 410008; 2. 北京理工大学光电学院, 北京 100081

【摘要】医用硬管内窥镜是重要医疗工具,传统形式的硬管内窥镜为内外双镜管结构,前端位置无法提供足够空间放置LED贴片,只能将光源后置,通过光纤束导光的方式将光能传输至前端实现照明,由此带来的问题是功耗大,并且光效均匀性不够理想。目前存在一种新式单管结构的硬管镜,其前端具有足够空间放置LED贴片,由此为硬管内窥镜采用前端照明方式提供了途径。本文对单镜管结构的硬管内窥镜采用LED贴片前置照明方式的可行性进行探讨。首先,对两种照明方式分别进行分析,通过仿真计算,获得两种照明方式的像平面光照度分布的伪彩色图以及曲线,并搭建光路对光照度进行测量,通过峰度系数作为评价指标对光照均匀性进行定量考察,结果表明单管结构内窥镜采用LED前置照明方式的光照均匀性优于光纤束照明方式。然后,对LED贴片前置照明方式在管壁及前端保护片形成的热效应进行仿真计算与实际测量,结果表明温度稳定时,管壁及前端保护片约为39℃,符合人体组织所能接受的范围。因此,通过光照均匀性及热效应,证明新式单镜管结构硬管内窥镜可以采用LED贴片前置照明方式,为后续工程设计建立了基础。

【关键词】硬管内窥镜;单镜管;LED;表面贴片装置;前置照明

【中图分类号】R318.6

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)05-0456-07

Feasibility of LED surface mounted devices front-illumination for rigid endoscope of new single-tube structure

YUAN Ye¹, WEI Li-yao¹, LIU Xiao-hua², PAN Yi-feng¹

1. Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China; 2. School of Opto-electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract: Medical rigid endoscope is an important medical tool, and the tube structure of traditional rigid endoscope is the double tube, without enough space for LED surface mounted devices (SMD) in the front, so the light source is putted in the rear and the luminous energy was transferred to the front by optical fiber to achieve illumination, which is high power consumption, with unsatisfactory illumination uniformity. At present, a new structure of single-tube which has enough front space for LED SMD provides a way of front illumination for rigid endoscopes. The feasibility of LED SMD front-illumination for the rigid endoscope of the new single-tube structure was studied in the paper. The two illumination modes were firstly analyzed by simulation calculation to obtain the pseudo-color and curve of two illumination distributions, and built the light-path system to measure the illuminance. The kurtosis was taken as the evaluation index to quantitatively study on the illumination uniformity. The results showed the single-tube endoscope with LED front-illumination was superior to optic fiber in the illumination uniformity. Secondly, the thermal effects produced by LED SMD on the front sheet and wall of endoscope were simulated and measured. The result showed the stable temperature of the wall and the front sheet was about 39℃ which was safe for human tissues. The experiment result of illumination uniformity and thermal effect prove the LED SMD front-illumination is feasible for single-tube rigid endoscope, which is regarded as the foundation for the subsequent engineering design.

Key words: rigid endoscope; single-tube; LED; surface mounted device; front-illumination

【收稿日期】2016-03-12

【基金项目】国家国际科技合作专项(2013DFA30590),北京市科技型中小企业技术创新基金(Z13010101334,Z15010101464)

【作者简介】袁野(1991-),硕士,研究方向:医疗仪器设计、医学信号处理, Tel: 18684971212, E-mail: abovmyuanye@163.com。

【通信作者】潘一峰(1960-),博士,研究员,研究方向:纳米生物技术, Tel: 13469046006, E-mail: 1356931763@qq.com。

前言

目前医用内窥镜有多种形式,在技术领域有广阔的发展空间^[1]。对于内窥镜的照明方式,主要有两种形式:一种是使用卤素灯、氙气灯或大功率LED贴片器件作为照明光源,光能通过内窥镜后端的耦合接口进入光纤束,光纤束再将光能传导至前端实现

照明,称为光源后置照明方式;另一种是将LED贴片等形式的低功率发光元件置于内窥镜前端保护片之后,也就是光源前置照明方式^[2-4]。前一种主要适用于管体直径较细的情况,典型应用是光学硬管内窥镜。后一种主要适用于管体较粗的情况,如电子内窥镜。从功耗、光照均匀性及装调难度等方面考虑,后者优于前者。对于光学硬管内窥镜而言,无法采用光源前置照明方式的原因是由于其内外镜管的双层结构造成管壁空间狭小,无法容纳LED贴片。因此只能采取光源后置的方式,这样直接导致光照均匀性不够理想,造成图像对比度不均匀,降低了硬管内窥镜的分辨率,影响诊疗准确性。对于以上不足之处,内窥镜技术领域的研究人员正在围绕此问题进行改进工作,目前已设计出一款无内镜管的单管结构的硬管内窥镜^[5-6],相比传统的双管形式的硬管内窥镜,单管结构有足够空间容纳LED贴片,因此为硬管内窥镜采用光源前置方式提供了有效途径。将

LED贴片作为硬管光学内窥镜光源之前,需要根据管壁直径对LED贴片照明的光照均匀性进行分析计算与实验验证可行性,本文将对此问题进行探讨。

1 传统硬管内窥镜结构及照明方式

传统的医用硬管内窥镜的结构图如图1所示,硬管镜的镜管采用的是内外双镜管结构。以4 mm硬管镜为例,为了保证视场角及整体尺寸,国标规定内外镜管直径分别为4 mm和3 mm,因此内外镜管之间空隙小于LED贴片尺寸,无法在硬管镜前端的内外镜管之间放置LED光源。目前的照明解决方案是在其中填充光纤束,再将光源置于靠近眼罩部位的供光通道处,光能通过光纤束传输至前端,并且通常采用月牙形偏心式照明,具体实现形式的示意图如图2所示,实物图如图3所示,每根光纤的结构及光纤中光线的传播路径如图4和图5所示^[7]。

由于外包层的折射率大于纤芯的折射率,因此

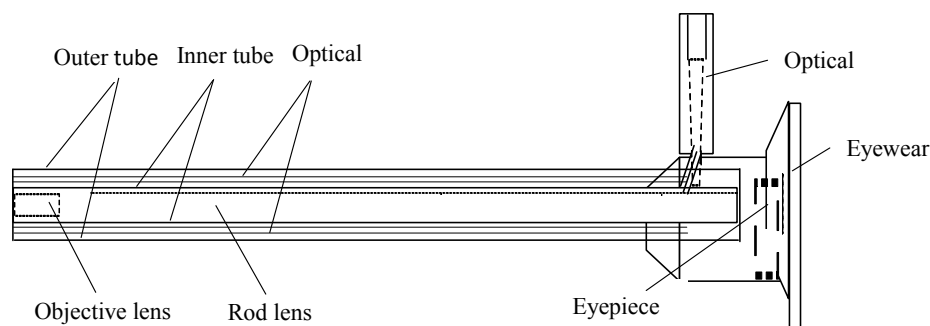


图1 传统硬管内窥镜

Fig.1 Traditional rigid endoscope

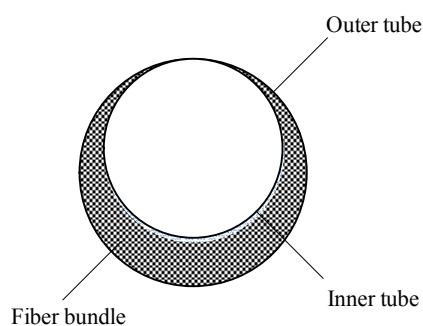


图2 月牙形偏心式照明

Fig.2 Crescent illumination

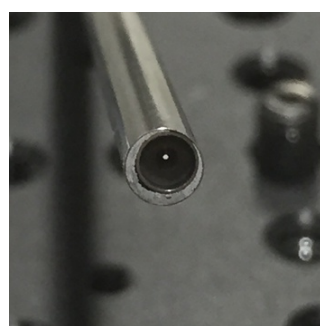


图3 月牙形偏心式照明装置实物图

Fig.3 Crescent illumination device

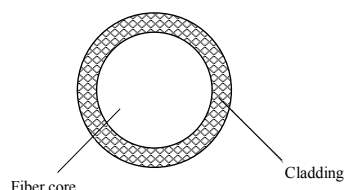


图4 光纤结构示意图

Fig.4 Fiber structure

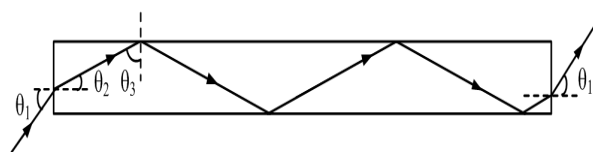


图5 光纤中光线传播路径示意图

Fig.5 Light path of optical fiber

光纤内的光线以全反射方式传播,根据 Snell 定律及图中几何关系可知:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\theta_2 + \theta_3 = \frac{\pi}{2}$$

其中, n_1 为空气的折射率, n_2 是纤芯的折射率, θ_1 是入射角, θ_2 是折射角, θ_3 是全反射角。

根据全反射临界角公式:

$$\delta = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_3}\right)$$

其中, n_3 是外包层的折射率。从公式中可知,采用光纤照明时,为了满足全反射传播条件,存在一个最大入射角 $\theta_{1\max}$, 当光线以 $\theta_{1\max}$ 入射时,有:

$$\theta_3 = \delta$$

因此可以得知,从光纤出射的光线存在一个最大出射角,数值等于最大入射角 $\theta_{1\max}$ 。根据前面叙述的公式可以推导出最大入射角 $\theta_{1\max}$ 的计算公式为:

$$\theta_{1\max} = \arcsin\left\{\frac{n_2}{n_1} \sin\left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{n_3}{n_2}\right)\right]\right\}$$

采用光纤照明的方式存在以下几方面不足:第一,发光器件由电能转换为光能的过程存在功率损耗,光能由发光器件耦合进入光纤以及在光纤中传输的过程中会再度发生损耗,采用光源后置光纤束导光照明方式的光能传输路径较长,因此功耗较高;第二,光纤束照明方式结构复杂,增加了制造及装调难度;第三,受到装配工艺的限制,目前只能在内外镜管之间随机填充光纤,因此通常情况下单位面积内的光纤数目不同,从而会对光照均匀性产生不良影响,导致成像质量降低,并且光源偏心照明同样会给均匀性带来影响^[8]。为了克服上述缺点,需要对内窥镜进行改进,从而出现单管结构的新型硬管内窥镜。

2 新型单管结构的硬管内窥镜结构及照明方式

单管结构的硬管内窥镜结构图如图6所示,端面LED光源排布示意图如图7所示,前置照明光源实物图如图8所示。

与传统双镜管结构的光学硬管镜相比,单管结

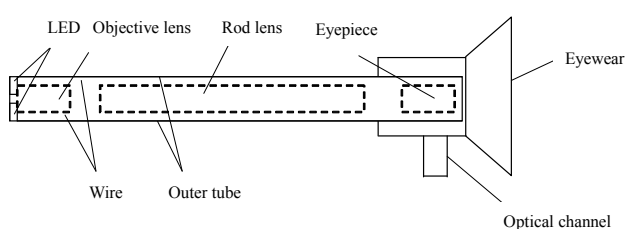


图6 新型单管结构的硬管内窥镜示意图

Fig.6 Rigid endoscope of new single-tube structure

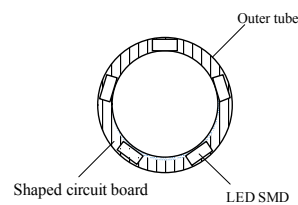


图7 LED光源排布示意图

Fig.7 LED light source arrangement



图8 LED前置照明光源实物图

Fig.8 LED front-illumination device

构硬管镜的优势有以下几点:第一,由于此结构不包含内镜管,因此内部空间变大,有充足的空间放置LED光源及环形电路板,同时可以通过增大物镜、棒镜及目镜的直径,也就是可以通过增大通光口径的方法增大视场角;第二,将LED置于硬管镜前端能够使光源更加贴近待测表面,减少光能在介质中传输造成的损失,因此效率高,功耗低;第三,单管内窥镜结构简单,减小了装调难度;第四,LED作为一种均匀的面光源,采用同心放置方法可以同时避免光纤填充的非均匀性以及偏心结构对光照均匀性造成的不良影响,从而提升系统的成像质量。

3 光照均匀性仿真计算与实际测量结果

为充分考察LED与光纤束两种照明方式的光照均匀性,本文采用仿真计算与实测两方面进行实验。首先进行仿真计算,计算时认为光纤束及LED两种照明光源均为光强符合余弦定律的朗伯辐射体,像平面光照计算公式为^[9-12]:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I \cos \alpha}{l^2}$$

其中, Φ 是光通量, S 是像平面的面积, I 是光照强度, α 是照明面的法线与光轴的夹角,通常情况下光线直射像平面,因此 $\alpha = 0$, l 是光源到像平面的距离。通过上面公式可得轴外点光照度与轴上点光照度数值的比例关系式:

$$\frac{E}{E_0} = \cos^4 \omega$$

根据上述公式,本文使用光学设计软件ZEMAX非序列模式对光照分布进行仿真。首先对LED及光纤两种照明方式进行仿真计算,采用5个LED贴片光源照

明时视场相对光照度分布伪彩色图如图9所示。相同功率下采用光纤束照明时视场相对光照伪彩色图如图10所示。

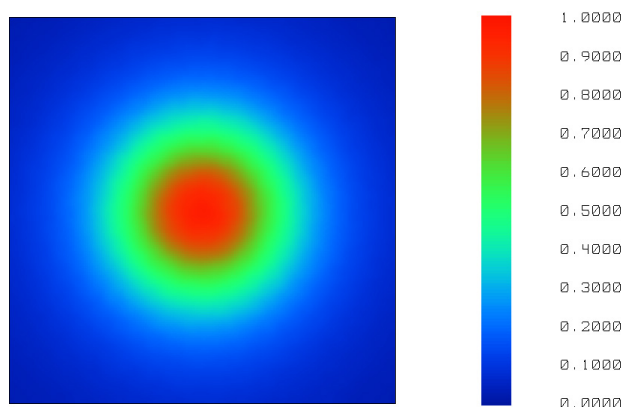


图9 仿真计算LED贴片照明相对光照度分布伪彩色图

Fig.9 Pseudo-color image of simulated relative illumination distribution of LED surface mounted devices

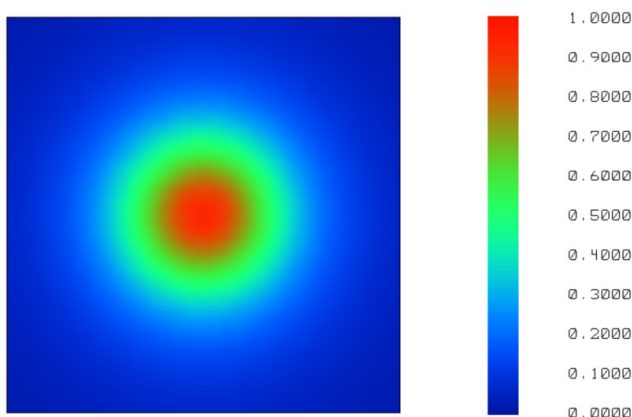


图10 仿真计算光纤束照明相对光照度分布伪彩色图

Fig.10 Pseudo-color image of simulated relative illumination distribution of optic fiber lighting

仿真计算过程中认为像平面光照度分布是旋转对称的,因此沿直径任意方向直线上的光照度数据均能够代表像平面光照度。两种照明方式沿水平直径方向相对光照度分布曲线如图11所示。

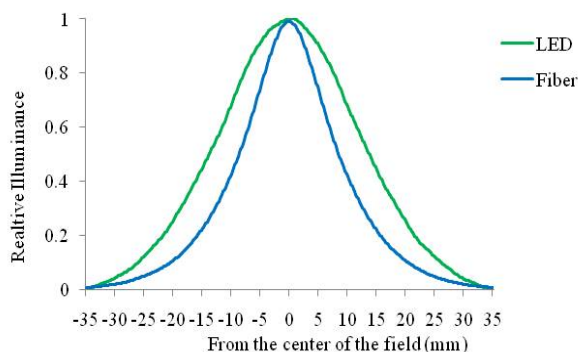


图11 仿真计算相对光照度分布曲线

Fig.11 Curve of simulated relative light illumination distribution

从伪彩色图可以得知,采用LED贴片照明方式的红色及绿色部分光斑直径较大,从相对光照分布曲线可以得知,采用LED贴片照明方式的光照度从中心到边缘下降速度较慢,并且曲线较为平坦,因此照明面积大,且光照均匀性较好。为定量考察两种照明方式的均匀性,本文选用峰度作为评价指标。峰度是描述曲线陡峭程度的统计量,本文使用的峰度计算公式为^[13]:

$$K = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x - x_i}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

式中 s 为样本方差, K 值越小,表明曲线越平坦。通过上述公式对图11中两条曲线对应的数据进行计算,得到LED照明方式的峰度为-1.34,光纤照明方式的峰度为-0.39。可知对于硬管内窥镜,采用LED照明方式的光照均匀性优于光纤照明方式。

为了验证仿真结果的准确性,本文搭建光学系统对两种照明方式进行光照均匀性实验。实验系统光路图如图12所示,光学系统采用漫反射系数较高的毛玻璃作为像平面,为了避免成像设备非共轴成像时造成图像畸变,本文将成像设备置于像平面后方进行共轴成像。实验系统装置图如图13所示^[14],实验测量出的采用5个LED贴片光源照明时视场相对光照度分布伪彩色图如图14所示,相同功率下采用光纤束照明时视场相对光照伪彩色图如图15所示,两种照明方式沿水平直径方向相对光照度分布曲线如图16所示。通过对图16中两条曲线对应的数据进行计算,得到LED照明方式的峰度为-1.22,光纤照明方式的峰度为-0.42。

结合图16对比图11可以观察到:实测光照度分布曲线与仿真曲线相比,形状及趋势一致,但宽度稍窄,并且含有高频噪声。下面对两个问题分别予以解释:(1)造成光照度分布曲线稍窄的主要原因是毛玻璃对光能具有一定的吸收作用,轴外光照度较弱区域的光能将会被全部毛玻璃吸收,或大部分被毛玻璃吸收,剩下的部分能量过低,无法使成像设备产生响应,导致成像设备无法探测,直观表象就是光照度分布曲线与仿真曲线相比稍窄。(2)实测曲线中的高频噪声是由于成像设备噪声及背景环境噪声引起的,同时毛玻璃漫反射不均匀也会给测量结果带来一定影响。

从相关数据可以看出,采用LED与光纤束照明的曲线峰度值基本一致,因此可以证明采用LED贴片的照明方式在光照均匀性这一方面优于光纤照明方式。

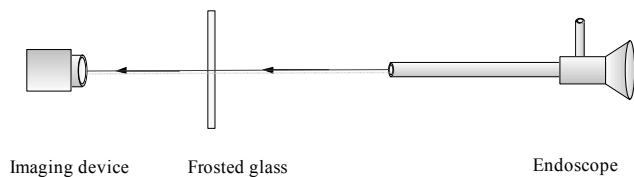


图12 实验系统光路图

Fig.12 Light path diagram of experimental system

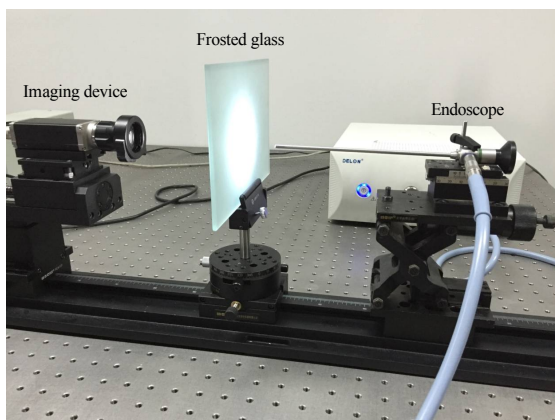


图13 实验系统装置图

Fig.13 Experimental system apparatus

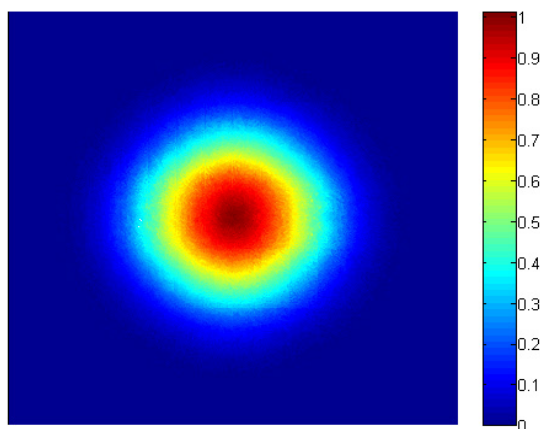


图14 LED贴片照明方式光照度相对分布伪彩色图

Fig.14 Pseudo-color image of relative illumination distribution of LED surface mounted devices

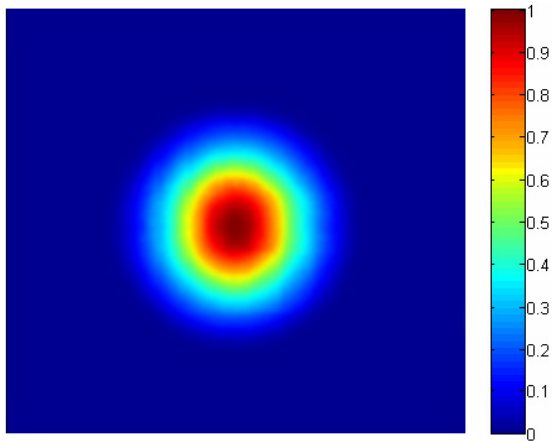


图15 光纤束照明方式光照度相对分布伪彩色图

Fig.15 Pseudo-color image of relative illumination distribution of optic fiber lighting

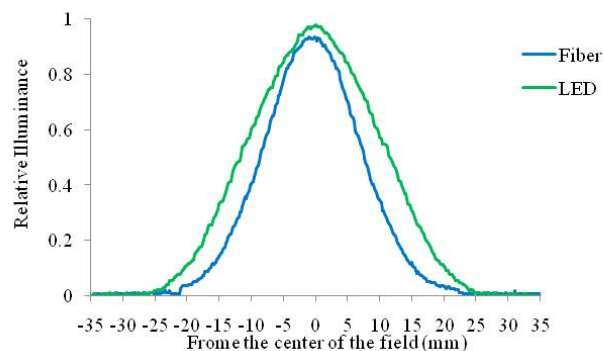


图16 实测相对光照度分布曲线

Fig.16 Curve of measured relative illumination distribution

4 基于LED贴片照明方式的热力学仿真与实际测量结果

LED贴片照明和光纤束照明的不同之处在于LED发光的同时会产生明显热效应,造成放置LED光源的硬管镜前端保护片及附近的管壁温度会高于其它位置。如果温度超过人体组织可接受范围,轻者会引起患者不适,严重时会对人体组织造成损害,这是选择前置LED照明方式必须考虑的问题^[15-16]。从发光器件的外部特性考虑,LED发热是由于电功率向光功率转换不完全引起的。由此可知,LED的发热功率计算公式为:

$$W_H = W_E - \Phi$$

其中, W_E 为电功率, Φ 是光通量。在LED元件手册中通常会标明正常工作的电压及电流,从而可以求出电功率。光通量 Φ 这个参数通常不会直接提供,需要根据手册中的光强 $I(\theta)$ 及发光角度半宽 θ_0 这两个参数求取,计算公式为:

$$\Phi = \int_{-\theta_0}^{\theta_0} I(\theta) d\Omega$$

其中, Ω 是立体角,与 θ_0 的关系为:

$$\Omega = 4\pi \sin^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right)$$

根据以上公式可以求出光通量,进一步可以计算发热功率。求取发热功率后,再根据保护片及管壁材料、工作环境温度等物理量设置导热系数、环境温度等参数,然后就可以通过软件进行热力学有限元分析^[17-18]。首先展示的是热交换稳定之后,管壁及前端保护片的温度分布伪彩色图(图17和图18)。

从图17和图18可知,管壁及前端保护片最高温度约为39℃,符合人体组织可接受温度范围。本文根据仿真结果,在LED工作过程中对管壁及前端保护片的温度进行实时测量,镜管及前端保护片温度随时间变化的仿真曲线图及实际测量数据如图19和图20所示。

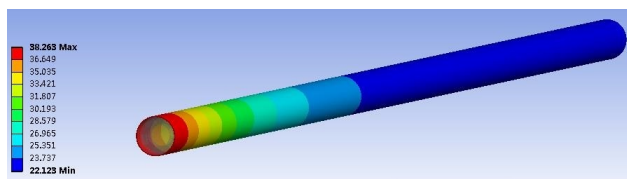


图17 管壁温度分布

Fig.17 Temperature distribution of tube

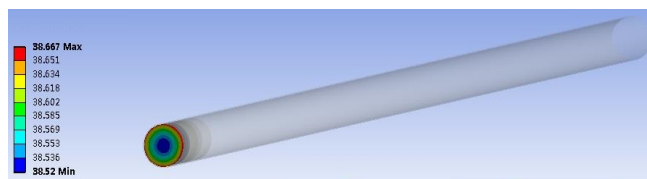


图18 前端保护片温度分布

Fig.18 Temperature distribution of the front sheet

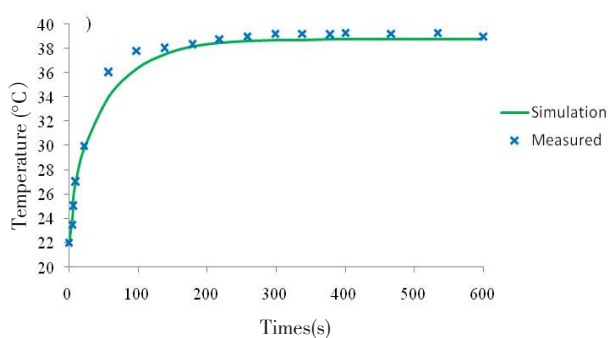


图19 管壁温度变化曲线

Fig.19 Temperature distribution curve of tube

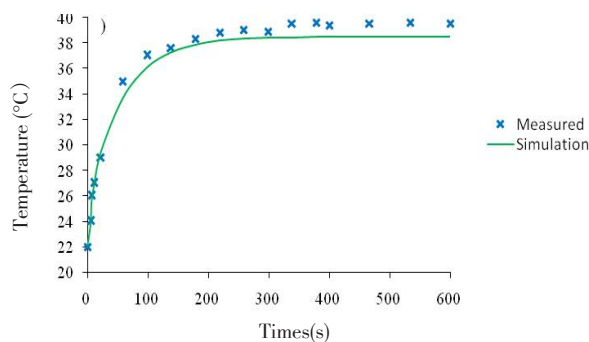


图20 前端保护片温度变化曲线

Fig.20 Temperature distribution curve of the front sheet

对两组曲线进行分析,在升温阶段,实测数据与仿真数据一致性最好;当温度分布稳定时,实测数据比仿真计算结果稍高,且存在一定波动。这个原因是因为仿真过程认为周围温度场及湿度是恒定的,而实际测试环境中并不是在完全恒温的环境下进行,周围实验设备仪器工作时散发的热量及暖气等设备均会对环境温度产生影响,因此会出现波动以及偏差,但实验数值仍符合人体可接受范围,因此通过实验数据可以说明采用LED贴片的前置照明方式的发热量符合人体安全标准。

5 结论

本文从光效均匀性及温度分布两方面对新式单管型硬管内窥镜的照明方式进行了探讨。仿真分析与实验结果均表明,采用LED贴片的照明方式作为硬管内窥镜的照明在光照均匀性方面优于传统的光纤束照明方式,并且在温度方面符合使用要求,因此可以初步确定LED可以作为硬管内窥镜照明光源使用。医学研究表明,皮肤表层毛细血管与其它组织对某几种特定频率的窄带光的吸收程度具有明显差别,因此已有应用这一特性实现图像纹理增强的窄带成像技术^[19-20]。由于LED贴片具有多种波段可供选择,因此如果在环形电路板放置上述几种波段的LED贴片,结合光源控制电路可以分时点亮不同颜色的贴片,即可实现窄带成像。并且LED贴片的价格远低于频率可调谐的窄带激光器,因此可以根据

上述方法制造低成本的窄带成像内窥镜,这是硬管内窥镜工程技术及产品设计今后的发展方向。本文光照均匀性实验采用毛玻璃作为观察平面,将成像设备摆放在毛玻璃后方拍摄漫反射光斑图像。由于毛玻璃除了漫反射以外还存在少部分的透射效应,而内窥镜实际观察的生物组织较厚,通常不会存在透射现象。由于透射效应存在会导致更多的光能进入成像设备,造成实验测量平面的照度数据存在少量系统误差。对于今后实验,一方面需要选择漫反射系数更高的毛玻璃,同时考虑选择更接近于生物组织光学特性的材料作为照明面进行光照均匀性实验。另外,为了使实验结果更加精确,需要继续选择不同批次以及不同厂商生产的LED贴片进行光照均匀性与发热功率实验,详细考察LED贴片作为硬管内窥镜光源的光学及热效应。

【参考文献】

- [1] 吕平, 刘芳, 吕坤章, 等. 内窥镜发展史[J]. 中华医史杂志, 2002, 32(1): 10-14.
LÜ P, LIU F, LÜ K Z, et al. A developmental history of endoscopy [J]. Chinese Journal of Medical History, 2002, 32(1): 10-14.
- [2] 陆小建, 杨琰, 濮悦. 内窥镜照明方式的选择[J]. 无损检测, 2013, 35(3): 60-61.
LU X J, YANG Y, PU Y. Choice of illumination pattern of industry endoscope [J]. Nondestructive Testing, 2013, 35(3): 60-61.
- [3] 周文光, 王春飞, 毛坤剑, 等. 基于LED的医用内窥镜照明系统设计[J]. 医疗卫生装备, 2015, 36(8): 26-28.
ZHOU W G, WANG C F, MAO K J, et al. Design of LED-based lighting system for medical endoscope [J]. Chinese Medical

- Equipment Journal, 2015, 36(8): 26-28.
- [4] 谭俊廷. LED光源设计及其在生物医学工程中的应用研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2010.
- TANG J T. LED lighting source design and its application in the field of biomedical engineering [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Technology, 2010.
- [5] 刘小华, 程德文, 袁野, 等. 一种基于单镜管LED照明的硬管镜: 201520531437.8[P]. 2015.
- LIU X H, CHENG D W, YUAN Y, et al. A rigid endoscope of single-tube in LED lighting: 201520531437.8[P]. 2015.
- [6] 刘小华, 吴季哲. 一种基于LED照明的可分离式光学硬管镜: 201420086562.8[P]. 2014.
- LIU X H, WU J Z. A detachable rigid endoscope based on LED lighting: 201420086562.8[P]. 2014.
- [7] 王惠文. 光纤传感技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- WANG H W. Fiber optic sensing technology and application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001.
- [8] 朱云青. 医用内窥镜照明用光缆的应用特征[J]. 中国医疗器械信息, 2015(10): 8-10.
- ZHU Y Q. Application features of endoscope lighting cable [J]. China Medical Devices Information, 2015(10): 8-10.
- [9] 李林. 应用光学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010.
- LI L. Applied optics [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010.
- [10] 李运江, 彭惠明, 徐波. 几种照度计算方法的比较及研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003, 25(1): 30-32.
- LI Y J, PENG H M, XU B. Comparison and research on several methods of illumination calculation [J]. China Three Gorges University: Natural Science Edition, 2003, 25(1): 30-32.
- [11] 汪鲁才, 王耀南, 毛六平, 等. 基于照度矩阵的照度计算方法研究[J]. 照明工程学报, 2002, 13(2): 40-42.
- WANG L C, WANG Y N, MAO L P, et al. Method of illuminating calculation based on illumination matrix [J]. Journal of Illuminating Engineering, 2002, 13(2): 40-42.
- [12] 屈思世, 张恒金, 曹剑中, 等. 对光学设计中照度计算公式的讨论[J]. 光学学报, 2008, 28(7): 1364-1368.
- QU E S, ZHANG H J, CAO J Z, et al. Discussion of the illumination optical design calculation formula [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(7): 1364-1368.
- [13] 贾俊平. 统计学[M]. 第3版. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- JIA J P. Statistics [M]. 3rd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2007.
- [14] 姬军, 蒋昌松, 王云龙, 等. 医用硬性内窥镜光学性能检测系统的设计与研究[J]. 中国医学装备, 2013, 10(11): 11-13.
- JI J, JIANG C S, WANG Y L. Introduction of optical performance testing device for medical rigid endoscope [J]. China Medical Equipment, 2013, 10(11): 11-13.
- [15] 郭凌曦, 左敦稳, 孙玉利, 等. LED散热技术及其研究进展[J]. 照明工程学报, 2013, 24(4): 64-70.
- GUO L X, ZUO D W, SUN Y L, et al. Research on LED cooling technology [J]. Journal of Illuminating Engineering, 2013, 24(4): 64-70.
- [16] 徐玉珍, 林维明. 一种简化变量的新型LED光电热模型[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 222-228.
- XU Y Z, LIN W M. A new simplified variable model of LED photoelectric thermal [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(5): 222-228.
- [17] 沈亚峰. LED灯具散热建模仿真关键问题研究[J]. 半导体光电, 2013, 34(4): 630-634.
- SHEN Y F. Key issues study on LED heat modeling and simulation [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2013, 34(4): 630-634.
- [18] 董少杰. LED照明系统光学设计和热分析研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- DONG S J. Optical design and thermal analysis for LED lighting systems [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [19] AKBARI H, KOSUGI Y, KOJIMA K, et al. Enhanced blood vessels in laparoscopy by using narrow-band imaging [C]//Proceedings of the IAPR Conference on Machine Vision Applications (IAPR MVA 2007), May 16-18, 2007, Tokyo, Japan. 2007: 244-247.
- [20] ZHANG J, GUO S B, DUAN Z J. Application of magnifying narrow-band imaging endoscopy for diagnosis of early gastric cancer and precancerous lesion [J]. BMC Gastroenterology, 2011, 11(47): 135-135.

(编辑: 黄开颜)

(上接436页)

- [7] STASI M, BRESCIANI S, MIRANTIA A, et al. Pretreatment patient-specific IMRT quality assurance: a correlation study between gamma index and patient clinical dose volume histogram [J]. Med Phys, 2012, 39(12): 7626-7634.
- [8] LANDRY J C, YANG G Y, TING J Y, et al. Treatment of pancreatic cancer tumors with intensity-modulated radiation therapy (IMRT) using the volume at risk approach (VARA): employing dose-volume histogram (DVH) and normal tissue complication probability (NTCP) to evaluate small bowel toxicity [J]. Med Dosim, 2002, 27(2): 121-129.
- [9] FENG Z, WU H, ZHANG Y, et al. Dosimetric comparison between jaw tracking and static jaw techniques in intensity-modulated radiotherapy [J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 28.
- [10] BARRIGER R B, FORQUER J A, BRABHAM J G, et al. A dose-volume analysis of radiation pneumonitis in non-small cell lung cancer patients treated with stereotactic body radiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 82(1): 457-462.
- [11] STRAUBE W, MATTHEWS J, BOSCH W, et al. DVH analysis: consequences for quality assurance of multi-institutional clinical trials [J]. Med Phys, 2005, 32(6): 2021.
- [12] EISBRUCH A, HARRIS J, GARDEN A S, et al. Multi-institutional trial of accelerated hypofractionated intensity-modulated radiation therapy for early-stage oropharyngeal cancer (RTOG 00-22) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76(5): 1333-1338.
- [13] Varian Medical Systems. Dose Volume Histograms. Procedure. [R]. Revision 1.1.0. 2009.
- [14] Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT): contents [J]. J ICRU, 2010, 10(1): NP.
- [15] YOON M, PAPP S Y, SHIND, et al. A new homogeneity index based on the statistical analysis of dose volume histogram [J]. J Appl Clin Med Phys, 2007, 8(2): 9-17.
- [16] FEUVRET L, NOËL G, MAZERON J J, et al. Conformity index: a review [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(2): 333-342.
- [17] EBERT M A, HAWORTH A, KEARVELL R, et al. Comparison of DVH data from multiple radiotherapy treatment planning systems [J]. Phys Med Biol, 2010, 55(11): N337-N346.

(编辑: 薛泽玲)