

伪装涂层激光反射特性检测与实验研究

凌 军 张拴勤 吴坚业 潘家亮

(总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘要 通过分析伪装涂层防激光半主动制导的隐身机理,提出了降低涂层激光反射率并同时控制涂层表面激光空间反射特性的激光伪装技术途径。结合伪装涂层研究对激光反射特性测量的实际需要,分析了半球反射率和双向反射系数的测量原理、方法和特点,利用设计研制的测量装置实验研究了伪装涂层的激光反射特性。结果表明,利用所述方法能够准确、客观测量伪装涂层的激光反射特性,可用于指导涂层激光吸收剂的配方设计和涂层表面工艺控制研究。

关键词 激光光学;激光半主动制导;伪装涂层;半球反射率;双向反射系数

中图分类号 O433 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.0308005

Measurement and Experimental Study of Laser Reflectance Characteristics of Camouflage Coat

Ling Jun Zhang Shuanqin Wu Jianye Pan Jialiang

(The First Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi, Jiangsu 214035, China)

Abstract By means of analyzing concealment mechanism of camouflage coat versus laser semi-active guidance, the laser camouflage technology approach of reducing coat laser reflectivity and controlling surficial laser spatial reflectance characteristics simultaneously is put forward. According to the actual demand of laser reflectance characteristics measurement in the process of researching camouflage coat, the measurement theory, method, characteristics of hemisphere reflectivity and bidirectional reflectance factor are analyzed, and laser reflectance characteristics of camouflage coat are studied experimentally with the measuring devices that have been developed. Experimental results show that the proposed methods can accurately and objectively measure laser reflectance characteristics of camouflage coat, and guide laser absorbefacient compound design and surface technical control of coat.

Key words laser optics; laser semi-active guidance; camouflage coat; hemisphere reflectivity; bidirectional reflectance factor

OCIS codes 220.4840; 240.6645; 290.5820; 290.1483

1 引言

激光半主动制导武器因其抗干扰、高精度、高命中率的特点备受战争的青睐,在近几年局部战争中发挥出至关重要的作用,摧毁了诸多重点军事目标^[1,2]。作为对抗激光侦察和制导的有效手段,激光伪装与隐身材料得到了各国高度重视并得以重点发展。1064 nm 激光反射特性是评价伪装涂层激光伪装性能的一个重要参数^[3]。激光反射特性主要是指激光反射率和空间反射能力,常用检测方法包括:

室内采用分光光度计测量半球反射率,野外采用消光试验来计算反射衰减。半球反射率主要表征材料对光谱的吸收性能;消光试验要求激光发射轴、接收轴垂直于靶面,只能得到法向入射法向接收($0^\circ:0^\circ$)一种几何条件下的激光空间反射。两种方法不能全面反映材料表面半球空间对激光的反射特性,这对于评价伪装涂层激光伪装性能存在一定的局限性。双向反射分布函数(BRDF)是描述材料空间反射特性具有唯一确定性的函数,主要用于各种目标和材

收稿日期: 2011-10-08; 收到修改稿日期: 2011-12-19

作者简介: 凌 军(1976—),男,硕士,工程师,主要从事伪装材料技术与性能检测方面的研究。

E-mail: 328105519@qq.com

料表面的反射特性研究,并在可见光、红外和微波波段的散射、辐射以及遥感等领域得到了广泛的应用^[4~6]。将 BRDF 用于表征伪装涂层激光空间反射特性还处于研究阶段。由于实际测量 BRDF 比较困难,通常用双向反射系数(BRF)来等效评价材料表面的空间反射特性。本文针对防激光伪装涂层研制过程中激光吸收剂配制和涂层表面工艺控制研究两个不同阶段的测试需要,分别提出利用半球反射率和双向反射系数来描述伪装涂层对 1064 nm 激光的反射特性,并通过设计研制的测量装置开展了实验研究。结果表明,半球反射率可以准确表征激光吸收剂的吸收性能,双向反射系数可以用于表征防激光伪装涂层的激光空间反射特性。

2 伪装涂层激光隐身机理

目前,激光半主动制导武器多数采用 1064 nm 近红外激光^[7],其工作过程如下:激光目标照射器在目标表面的半球空间内以任意角度照射目标,导引头的光学探测系统在视场范围内接收从目标反射的激光回波,确定目标后并导引攻击。

针对激光半主动制导武器的工作方式和制导原理^[8],伪装涂层实现 1064 nm 激光伪装的原理就是在目标表面涂覆一层对 1064 nm 激光具有强烈吸收的材料,减小目标对入射激光的反射回波,降低激光导引头探测能力,缩短有效作用距离^[9],从而实现目标的激光伪装。伪装涂层激光反射率和表面空间反射特性是衡量激光伪装涂层的重要技术指标,要实现激光伪装与隐身,在防激光涂层研究制备过程中通常分两个阶段实施:首先是提高涂层对激光的吸收能力,降低涂层激光反射率;第二阶段是在实现对激光强吸收的基础上,控制与优化涂层表面激光空间反射能力。

降低涂层激光反射率采取的主要技术途径是配制激光吸收剂,通过设计材料的导磁率和介电常数,以及元素掺杂等手段增强对 1064 nm 激光的吸收性能。控制涂层表面空间反射特性主要是通过涂层制备、喷涂工艺来改变涂层表面的粗糙状态、空间结构,优化涂层对激光的空间反射能力。通常衡量伪装涂层表面状态的指标为 60°漆膜光泽^[10]。只有两种途径相互匹配才能实现有效的激光伪装与隐身。

3 半球反射率测量

伪装涂层对激光的吸收能力主要是采用半球反射率指标来衡量,该指标可以排除涂层表面状态(光

泽、粗糙度等)、入射条件等因素对材料本身吸收性能的影响,适用于伪装涂层激光吸收剂的配方设计与制备过程中的性能检测。

3.1 测量装置与原理

半球反射率定义为在 2π 空间物体的反射通量(辐射出射度)与入射通量(或辐照度)之比^[11]。通常测量涂层半球反射率的方法是利用积分球系统,该系统主要由积分球、D65 光源(色温 6500 K,照度大于 1400 lx,均匀性大于 90%)、光谱探测器和参考标准板等组成,原理图如图 1 所示。测量的几何条件为 $8^\circ:di$,即为 8° 方向照明,漫反射接收,包括镜面反射成分。该条件可用于代替 0° 方向几何条件,也就是照明光束的轴线与样品中心之间的夹角为 8° ,照明光束的轴线与任一条光线之间的夹角不应超过 5° ,样品被照明面积应小于被测面积,漫反射光用积分球从所有的方向上接收。 $8^\circ:di$ 的几何条件与其他测量条件相比,具有更好的一致性,而且对样品表面结构也较不敏感。

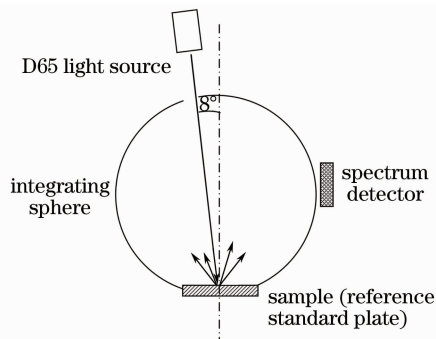


图 1 涂层半球反射率测量原理图

Fig. 1 Schematic diagram of measuring hemisphere reflectivity of coat

3.2 实验结果

利用稀土元素具有丰富能级的特性,配制出某种稀土氧化物作为 1064 nm 激光吸收剂,通过调整激光吸收剂含量,并采用丝网印刷的制备工艺制备出三块防激光伪装涂层样品。三块涂层样品的激光吸收剂质量分数分别为 50%,50%,65%;涂层厚度分别为 210,212,209 μm ;60°漆膜光泽分别为 4.5,5.1,5.1。为了验证半球反射率测量 1064 nm 激光吸收性能的有效性,利用积分球系统在相同的实验室条件下分别对三块样品做了半球反射率检测,检测结果如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,(a)和(b)为相同激光吸收剂含量不同光泽度的两块涂层样品半球反射曲线,反射光谱在特征反射峰的波长位置、谱线形状和主

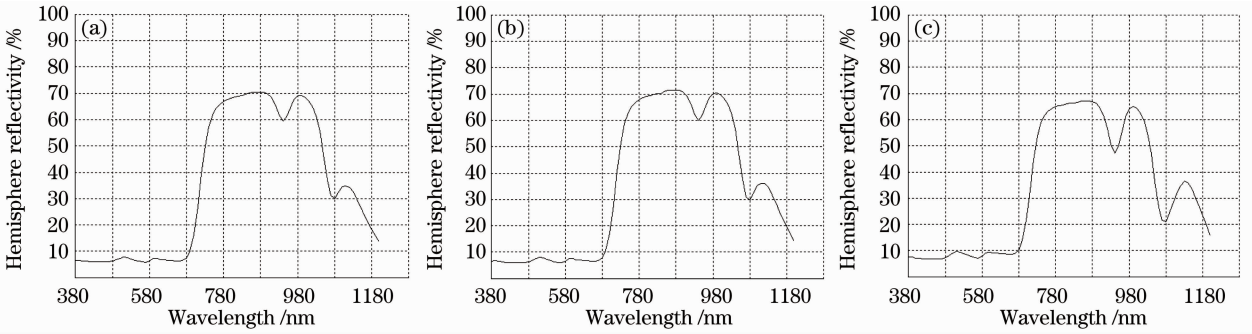


图 2 三块不同激光吸收剂含量不同光泽度的伪装涂层样品半球光谱反射率。(a)质量分数 50%、光泽度 4.5；(b)质量分数 50%、光泽度 5.1；(c)质量分数 65%、光泽度 5.1

Fig. 2 Hemisphere spectral reflectivity of three camouflage coat samples with different laser absorbefacient mass content and different glossiness. (a) Mass fraction 50%, glossiness 4.5; (b) mass fraction 50%, glossiness 5.1; (c) mass fraction 65%, glossiness 5.1

要拐点的位置都几乎一致，激光吸收波长在 1064 nm 处，该波长处半球反射率均为 30%，可见，涂层光泽度的变化没有影响半球反射率值的变化。对比(b)和(c)可以看出，相同光泽度不同激光吸收剂含量的涂层半球反射曲线，光谱的区别主要表现在特征反射峰反射率大小的变化，激光吸收剂含量高的，1064 nm 波长吸收性能更好，反射率更低。

可知，利用积分球系统测量伪装涂层的半球反射率能够客观地评价伪装涂层激光吸收剂本身对 1064 nm 波长的吸收性能，规避了涂层表面结构工艺、入射条件等对检测结果的影响，对于伪装涂层激光吸收剂的配方设计具有明确的指导方向。

4 双向反射系数测量

伪装涂层对激光的空间反射特性与涂层材料的种类、表面状态(光泽、粗糙度等)以及目标的几何结构有关^[12]，是材料本身对 1064 nm 激光的吸收能力和表面状态的综合反映，是伪装涂层材料表面的固有特征，与其他测量因素无关。伪装涂层对激光的空间反射特性主要采用双向反射分布函数来表征，该函数对伪装涂层表面状态的变化极为灵敏，适用于在确定激光吸收剂的前提下，开展防激光伪装涂层实际使用过程中表面状态的工艺控制研究。

BRDF 是描述材料空间反射特性具有唯一确定性的函数。20 世纪 70 年代，美国学者 Nicodemus^[13]首次提出其概念，用以表达目标的二向性反射特征。其定义是：来自入射方向 i 的辐照度的微增量与其所引起的反射方向 r 的反射辐亮度增量之间的比值，即

$$f_{\text{BRDF}}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r; \lambda) = \frac{dL(\theta_r, \phi_r; \lambda)}{dE(\theta_i, \phi_i; \lambda)}, \quad (1)$$

式中 θ_i 和 ϕ_i 分别是球坐标系下入射辐射的天顶角和方位角， θ_r 和 ϕ_r 分别是反射辐射的天顶角和方位角， $dL(\theta_r, \phi_r; \lambda)$ 为 (θ_r, ϕ_r) 方向上的反射辐亮度， $dE(\theta_i, \phi_i; \lambda)$ 为 (θ_i, ϕ_i) 方向上的入射辐照度。BRDF 几何示意图如图 3 所示。

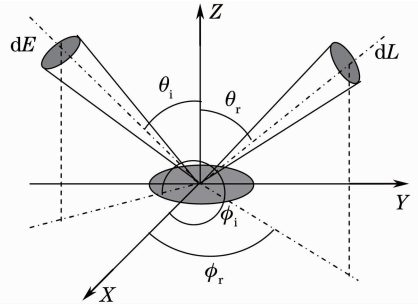


图 3 材料 BRDF 测量示意图

Fig. 3 Schematic diagram of measuring BRDF of material

从 BRDF 的定义可知，BRDF 是 $\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, \lambda$ 五个自变量的函数，在 2π 空间中无论是入射还是反射均有无穷多个方向，要完整地表达一个具体目标的空间反射特性需要有无穷多个测量数据。虽然从理论上能较好地表征目标的空间反射特性，但在实际测量中困难较大，测量全部数据不可能，也不现实。因此，需要从无穷多个测量数据集中找到一组数有限的特征子集，能够表征目标对入射辐射的空间反射特性，并且它与目标的表面特征有着稳定的函数关系。

对于涂层材料的 BRDF 测量一般不直接测量入射辐照度和反射辐亮度，可以采用测量涂层双向反射系数的方法来等效评价涂层的空间反射特性。BRF 定义为在一定的辐照和观测条件下，目标的反射辐亮度与处于同辐照度和观测条件下的漫反射参

考标准板(朗伯表面)的反射辐亮度之比^[14]。BRF和BRDF一样,其仅仅取决于材料表面的反射特性,不同之处在于,BRF是无量纲量,而BRDF是有量纲量,它们之间的关系为^[15]

$$f_{\text{BRF}} = \frac{dL_{\text{T}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}}; \lambda)}{dL_{\text{P}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}}; \lambda)}, \quad (2)$$

$$f_{\text{BRF}} = \pi f_{\text{BRDF}}, \quad (3)$$

式中 T 与 P 分别表示目标与漫反射参考标准板。

BRF 的测量,由于探测器的输出电平与接收的物体反射辐射亮度成比例,因此,用探测器的输出电压之比可以代替探测器接收到的物体反射辐射亮度之比。理想的朗伯表面是不存在的,选用聚四氟乙烯(F4)材料制作的参考标准板具有较好的朗伯表面,与理想朗伯表面存在很小的误差,这种方法是可行的。

对于伪装涂层来说,只要测量涂层样品和漫反射标准参考板在一定入射接收条件下探测器的输出电压,由漫反射参考标准板的 BRF 就可以得到伪装涂层的 BRF,进而评价其空间反射特性。

4.1 测量装置

根据 BRF 测量的需要,设计出了激光测量装置。该测量装置主要由半导体抽运激光器、比例分光镜、样品台、反射镜、激光能量探测器、测控系统等组成,并集成于密闭的箱体中,起到暗室的作用,消除了杂散光等对测量结果的影响,如图 4 所示。根据防激光伪装涂层在实际使用中面临的激光侦察与制导方式,将测量装置设计出具有激光器垂直入射样品-探测器接收角度转动、激光器入射角度与探测器接收角度固定-样品台转动等两种模式,这两种模式的测量数据对于伪装涂层的激光空间反射特性的表征属于两组特征子集,可以表征目标对入射激光辐射的空间反射特性。

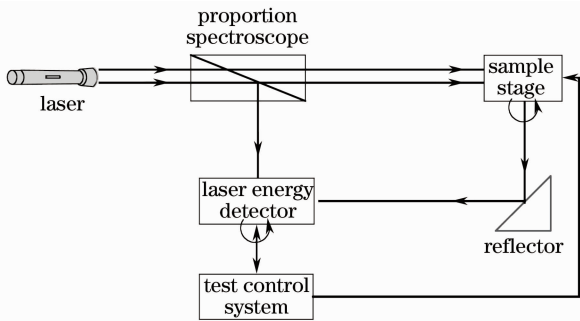


图 4 激光双向反射系数测量装置

Fig. 4 Measuring device of laser BRF of material

工作原理如下:半导体抽运激光器由温控/驱动器推动发射 1064 nm 激光,在激光传输光路的主轴

上设有比例分光镜,激光通过比例分光镜分成两束激光,一束用于激光光源功率的稳定性监控,约占 5% 的激光能量,一束经过光学调整器件调制后沿激光器发射光轴方向照射样品台上的样品(或漫反射参考标准板)。样品台采用可 360° 旋转的电控转台,通过设定零位和 180° 位置的限位开关,可实现 0°~180° 旋转。激光能量探测器置于电控转台,可绕样品台-90°~+90° 接收样品的散射激光。样品的激光双向反射系数测量过程由测控系统完成。

4.2 测量方法及实验结果

选用激光器垂直入射样品-探测器接收角度转动模式来测量伪装涂层的激光 BRF,该模式测量示意如图 5 所示。测量方法如下:启动测量装置,选择激光法向照射样品、探测器转动-90°~+90° 接收的测量模式。当激光光源功率处于稳定状态时,在样品台放置漫反射参考标准板,激光法向照射参考标准板,激光能量探测器每隔 1° 自动测量出参考标准板对入射激光的反射能量在-90°~+90° 角度范围内的分布,并给出对应能量值。在同样入射和观测条件下,换上涂层样品,测量出涂层样品对激光的反射能量角度分布。在此基础上计算涂层样品的 BRF 为^[16]

$$f_{\text{BRF}} = \frac{\Phi_{\text{T}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}})}{\Phi_{\text{P}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}})} (f_{\text{BRF-P}}), \quad (4)$$

式中 $\Phi_{\text{T}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}})$ 与 $\Phi_{\text{P}}(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}})$ 分别为涂层样品与漫反射参考标准板在 $(\theta_{\text{r}}, \phi_{\text{r}})$ 反射方向上对激光的反射能量, $f_{\text{BRF-P}}$ 为漫反射参考标准板的双向反射系数。

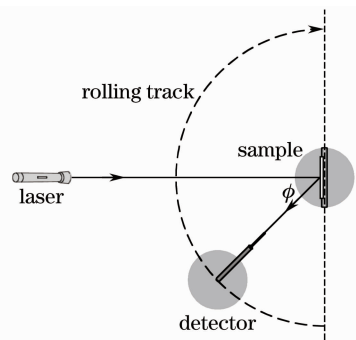


图 5 探测器转动模式测量示意图

Fig. 5 Measuring schematic diagram of the mode of detector rotation

选用研制的激光吸收剂,按照质量分数为 75% 的比例配制成伪装涂料,分别采用丝网印刷和空气喷涂两种制备工艺制作了两块伪装涂层样品,样品一涂层厚度为 205 μm 、60° 漆膜光泽为 5.3,样品二涂层厚度为 214 μm 、60° 漆膜光泽为 5.2。利用激光测量装置分别对两块样品进行了 BRF 测量,漫反射

参考标准板由中国科学院安徽光学精密机械研究所研制,其 BRF 如图 6 所示。在测试过程中,激光光源功率始终保持稳定,如图 7 所示。

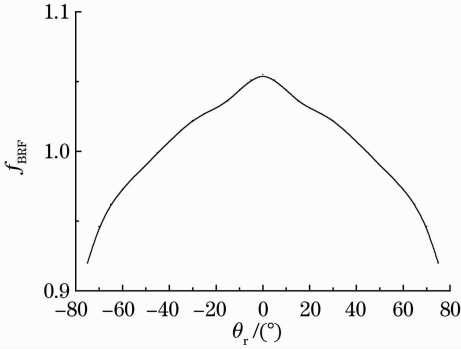


图 6 入射角 $\theta_i=0^\circ$ 时,漫反射参考标准板双向反射系数
Fig. 6 BRF of diffuse reflection reference standard plate when the incident angle θ_i is 0°

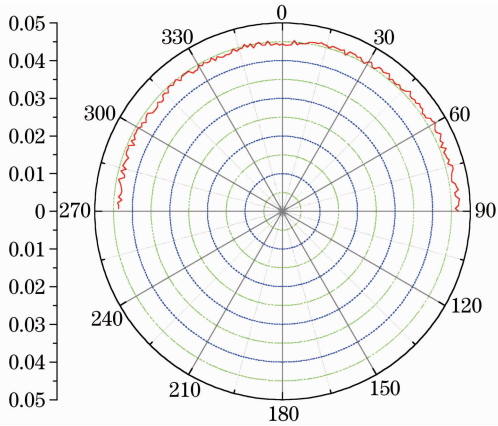


图 7 激光光源功率监测曲线极坐标图
Fig. 7 Polar diagram of laser power monitoring

两块样品的 BRF 测量结果如图 8 所示。可以看出,在激光法向入射时,反射辐射天顶角在 $-80^\circ\sim+80^\circ$ 范围内,对样品一的 BRF 影响较小,涂层对激光的空间反射表现为各向同性,BRF 关于法向基本对称。样品二在相同的入射观测条件下,BRF 在反射辐射天顶角 $-20^\circ\sim+20^\circ$ 范围内出现了反射峰,峰值时的天顶角在 0° 附近,应属于镜向反射,其 BRF 也是沿法向对称。

两块涂层样品的 60° 漆膜光泽基本一致,按照伪装涂层的使用要求,可以认为表面状态相同,满足使用。通过 BRF 测试结果分析,可以看出,BRF 能够反映出涂层表面在半球空间内不同方向上的激光空间反射特性,相对于 60° 漆膜光泽的测量更加全面,可整体反映涂层表面状态。可见,采用激光双向反射系数表征涂层的空间反射特性,对于指导防激光伪装涂层表面工艺控制研究更具有针对性。

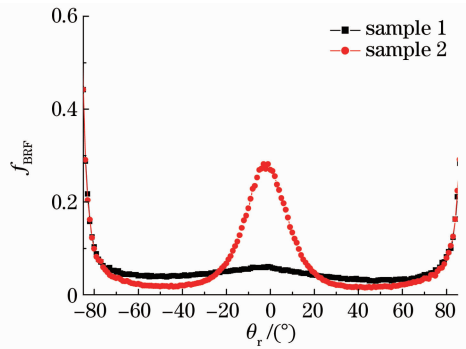


图 8 入射角 $\theta_i=0^\circ$ 时,两种涂层样品的双向反射系数
Fig. 8 BRF of two kinds of coat samples when the incident angle θ_i is 0°

5 结 论

本文针对防激光伪装涂层研制过程中激光吸收剂配制和涂层表面工艺控制研究两个阶段的测试需要,分别提出采用半球反射率和双向反射系数来表征检测伪装涂层防激光反射特性,并利用积分球系统、激光双向反射系数测量装置开展了实验研究。结果表明,在伪装涂层激光吸收剂的配方设计阶段,利用积分球系统 8° 的几何条件测量半球反射率,可以规避涂层表面状态等因素对测量结果的影响,准确表征出涂层激光吸收剂对 1064 nm 激光的反射能力;在伪装涂层表面工艺控制研究阶段,利用设计的激光双向反射系数测量装置来测量伪装涂层对 1064 nm 激光的双向反射系数,可以客观表征出伪装涂层由于表面状态的不同而导致在半球空间内不同方向上对激光的空间反射特性。因此,在防激光伪装涂层的研制过程中,涂层半球反射率和双向反射系数测量可分别适用于涂层激光吸收剂配方设计和涂层表面工艺控制研究等不同阶段的激光反射特性测试,对于防激光伪装涂层的实际使用性能提高具有重要的指导作用和现实意义。

参 考 文 献

- 1 Cui Yunguo, Lu Chunhua, Xu Zhongzi. The threaten and countermeasure of laser[J]. *Laser & Infrared*, 2005, **35**(5): 315~318
崔运国,陆春华,许仲梓. 激光威胁与对策[J]. *激光与红外*, 2005, **35**(5): 315~318
- 2 Wang Kuangbiao. Latest development and trends of semi-active laser guidance technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(s3): 276~279
王狂飙. 激光半主动制导技术的新发展[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(s3): 276~279
- 3 Zhang Leihong, Yang Yan, Zang Huaguo et al.. Reflective characteristics of target in laser rangefinder [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 1001~1004

- 张雷洪, 杨 艳, 臧华国 等. 目标反射特性对激光测距的影响[J]. 中国激光, 2008, **35**(7): 1001~1004
- 4 Feng Weiwei, Wei Qingnong, Wang Shimei *et al.*. Study of polarized bidirectional reflectance distribution function model for painted surfaces[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 290~294
- 冯巍巍, 魏庆农, 汪世美 等. 涂层表面偏振双向反射分布函数的模型研究[J]. 光学学报, 2008, **28**(2): 290~294
- 5 Zou Jieshu, Zhu Qunzhi, Li Yongguang *et al.*. Experimental study of the reflectance for architectural energy saving coating[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(2): 480~484
- 邹捷书, 朱群志, 李永光 等. 一种建筑节能涂料反射特性的实验研究[J]. 光学学报, 2010, **30**(2): 480~484
- 6 Cao Yunhua, Wu Zhensen, Zhang Hanlu *et al.*. Experimental measurement and statistical modeling of spectral bidirectional reflectance distribution function of rough target samples[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 792~798
- 曹运华, 吴振森, 张涵璐 等. 粗糙目标样片光谱双向反射分布函数的实验测量及其建模[J]. 光学学报, 2008, **28**(4): 792~798
- 7 Chai Guoqing, Zhao Wei. Suppressing jamming analysis of the 1.06 μm -laser to laser-guided apparatus [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2007, **22**(5): 13~15
- 柴国庆, 赵 威. 1.06 μm 激光对激光导引头压制干扰分析[J]. 光电技术应用, 2007, **22**(5): 13~15
- 8 Ling Jun, Zhang Shuanqin, Bi Daokun *et al.*. Development research and application prospects of laser guidance camouflage materials[J]. *Engineer Equipment Research*, 2010, **29**(4): 41~44
- 凌 军, 张拴勤, 毕道鹏 等. 防激光制导伪装材料发展现状与应用前景[J]. 工兵装备研究, 2010, **29**(4): 41~44
- 9 Chen Qianrong, Wang Guoyu, Chen Yongguang *et al.*. Analysis and evaluation of influence factors on detecting rang of laser guided weapon[J]. *Electronic Warfare*, 2007, (6): 34~40
- 陈前荣, 王国玉, 陈永光 等. 激光制导武器探测作用距离影响因素分析评估[J]. 电子对抗, 2007, (6): 34~40
- 10 Mei Jinfeng, Jia Yongke, Wen Jianxian *et al.*. Colour for Films of Camouflage Paint[S]. China PLA Patent, 1990, GJB 798_90
- 梅金凤, 贾永科, 文建贤 等. 伪装涂料漆膜颜色[S]. 中华人民共和国国家军用标准, 1990, GJB 798_90
- 11 Hu Weijie, Tang Shunqing, Zhu Zhengfang. Modern Color Science and Application [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007. 307~313
- 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007. 307~313
- 12 Wu Zhensen, Han Xiang'e, Zhang Xiangdong *et al.*. Experimental study on bi-directional reflectance distribution function of laser scattering from various rough surfaces[J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(3): 262~268
- 吴振森, 韩香娥, 张向东 等. 不同表面激光双向反射分布函数的实验研究[J]. 光学学报, 1996, **16**(3): 262~268
- 13 F. E. Nicodemus. Reflectance nomenclature and directional reflectance and emissivity [J]. *Appl. Opt.*, 1970, **9**(6): 1474~1475
- 14 Song Fangni, Fan Wenjie, Liu Qiang *et al.*. A method of acquiring BRDF of objects in the field[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, **11**(3): 296~302
- 宋芳妮, 范闻捷, 刘 强 等. 一种获取野外实测目标物 BRDF 的方法[J]. 遥感学报, 2007, **11**(3): 296~302
- 15 Qi Chao, Yang Maohua, Sun Xiaogang *et al.*. Analysis and experimental study of BRDF measuring[J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(s1): 146~148
- 齐 超, 杨茂华, 孙晓刚 等. 双向反射分布函数的测试方法分析和实验研究[J]. 中国激光, 2003, **30**(s1): 146~148
- 16 Wei Qingnong, Fu Hongming, Xiao Jian *et al.*. The Method of Measuring Reflectivity and Emissivity for Material and Coating Part 1: Reflectivity[S]. China PLA Patent, 2003, GJB5023.1
- 魏庆农, 付宏明, 肖 健 等. 材料和涂层反射率和发射率测试方法 第 1 部分: 反射率[S]. 中华人民共和国国家军用标准, 2003, GJB5023.1

栏目编辑: 何卓铭