

典型粗糙表面激光后向散射特性实验

崔 骥, 付 欢, 刘 烨, 王清华, 李振华, 贺安之

(南京理工大学 理学院 信息物理与工程系, 江苏 南京 210094)

摘 要: 对现有的粗糙度比较样块和其他典型粗糙目标进行了后向光散射特性的实验。实验结果表明, 当入射光为 632.8 nm 波长时, 随着入射角的增大, 不同的被测目标的散射强度变化得比较明显。如果被测目标的表面斜率均方根比较接近, 可以发现它们整体的散射光强度变化趋势几乎一样, 而且它们的偏振度也相差不大。表面斜率很小的被测目标, 相对其他被测目标, 其散射光光强明显大很多, 其偏振度也是最大的, 说明相对光滑的表面探测到的后向散射光强度比相对粗糙表面探测到的散射光强度大得多。文中关于典型粗糙表面后向散射偏振特性的研究结果对于探讨进行目标识别的理论及应用方面有一定的价值。

关键词: 后向散射特性; 粗糙表面; 偏振度

中图分类号: O436; O439 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)05-1208-04

Experiment of laser back scattering characteristics for typical rough surfaces

Cui Ji, Fu Huan, Liu Ye, Wang Qinghua, Li Zhenhua, He Anzhi

(Department of Information Physics and Engineering, College of Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: This paper is focused on the experiment of light back scattering characteristics for existing roughness blocks and other typical rough targets. The experimental results show that, when the wavelength of incident light is 632.8 nm, an obvious change of scattering intensity for different targets can be observed as incident angle gradually increases. If the root mean square of surface slope for different targets keeps close, as a whole, the scattering intensity will show almost same tendency when it varies and there will be no obstacle difference between the polarization degrees for different targets. Particularly, the target with relative small root mean square of surface slope will show obviously larger scattering intensity as well as polarization degree than other targets. This means that the intensity of back scattering light for the target which has relative smooth surface is much stronger than those which show relative rough surface. The research results in terms of back scattering characteristics for typical rough targets in this paper are useful for further theoretical and experimental studies on the target recognition.

Key words: back scattering characteristics; rough surface; polarization degree

收稿日期: 2012-09-04; 修订日期: 2012-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(10904072); 南京理工大学基金(2010ZYTS059, AE88030)

作者简介: 崔骥(1972-), 男, 副教授, 博士, 主要从事激光与红外及光电测试技术等方面的研究。Email: 1055051871@qq.com

0 引 言

粗糙表面散射特性科学地描述了可探测和可识别的物理量,揭示了被测目标与背景之间的相互关系,反映了被测目标除几何特征以外的所有其他散射特性^[1-2]。因此,研究粗糙表面的散射特性对红外探测、激光遥感及军事目标识别领域具有理论和应用上的重要意义^[3-4],是粗糙表面特性研究领域的重要课题。

由于现代战争光电对抗、多平台、多传感器和多波段的信息获取及利用的需求,美国、俄罗斯等国家十分重视空间目标光散射特性研究。自 20 世纪 60 年代,美国的陆军研究实验室 (Amy Research Laboratory, ARL)、海军研究实验室(Naval Research Laboratory, NRL)、空军研究实验室(Air Force Research Laboratory, AFRL)三大国防研究机构先后独立开展或资助其他研究机构(华盛顿大学、阿拉巴马大学、俄亥俄州立大学等)开展随机粗糙面和随机粒子场的光散射特性研究^[5]。近几十年来经过许多研究者的努力,随机粗糙面散射已发展为一个独立和富于成果的研究领域,已经在军事、遥感、工业非接触监测和生物医学领域获得了有效的应用^[6-7]。

文中的主要工作是对一些典型的随机粗糙表面的激光后向散射特性进行了实验测量,分析研究粗糙表面特性与光散射特性之间的关系,为粗糙表面光散射领域的研究提供一定的参考。

1 实 验

1.1 被测目标

实验测量的条件有限,采用现有的抛(喷)丸表面粗糙度比较样块,材质是镍合金。图 1 为样品的实物图,从左到右,目标编号依次为 1#-8#,编号越大,表明表面越粗糙。

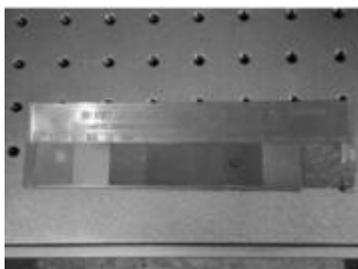


图 1 抛(喷)丸表面粗糙度比较样块

Fig.1 Comparison samples with surface roughness

由南京市计量测试所对粗糙度比较样块的表面统计参数(均方根高度 σ 、相关长度 l 、均方根斜率 σ_s)进行检测标定,具体参数如表 1 所示。

表 1 粗糙度比较样块表面统计参数

Tab.1 Surface statistical parameters of the roughness comparison samples

No.	$\sigma/\mu\text{m}$	$l/\mu\text{m}$	$\sigma_s/\mu\text{m}$
2#	0.5	4.254	0.166 2
3#	1.07	6.58	0.23
4#	1.95	8.84	0.312
5#	4.29	14.31	0.424
6#	9.5	28.22	0.467

实验中除了有现有的抛(喷)丸粗糙度比较样块,还有几个比较常见的典型粗糙表面,如海绵、硬纸夹、泡沫板、树叶、混凝土等。由于条件有限,没有将目标性质、粗糙度等参量进行定量描述。

设计并搭建了如图 2 所示的光路,对现有的粗糙目标进行后向光散射特性的实验测量。实验用到的主要仪器和设备有:He-Ne 激光器,出射波长为 632.8 nm,功率为 4 mW,发散角约为 1.3 mrad;二向色性偏振片;型号为 TES1332A 的数字式照度计,测量范围为 200, 2 000, 20 000, 200 000 lx;转动平台,旋转台可以在 360°内旋转,精度达 1',高度是可以调节的;光学减振平台。

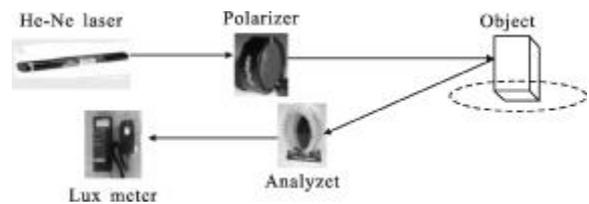


图 2 实验原理图

Fig.2 Experimental schematic

由于照度计的灵敏度很高,温度、噪声都会干扰照度计的取值,这就会影响测量数据,造成数据的不准确性。因此在实验过程中,应尽量排除外界光的干扰,实验在黑暗的环境下进行。同时保持实验平台的稳定性,通过多次测量(3 次)取平均值的方法来减小实验数据测量的误差。检偏器从 0°开始,每次旋转 10°,直至转至 360°。

1.2 散射光的描述

当入射角 θ 一定时, 通过检偏器在各个方向探测得到的光强中, 用 $I_{\max}(\theta)$ 表示最大光强, 用 $I_{\min}(\theta)$ 表示最小光强。如果入射光是线偏振光, 那么散射光中既有线偏振的部分也会有退偏部分^[8]。用 $P(\theta)$ 表示其中的偏振部分, 用 $D(\theta)$ 表示退偏部分, 则有下列关系:

$$D(\theta) = 2I_{\min}(\theta) \quad (1)$$

$$P(\theta) = I_{\max}(\theta) - I_{\min}(\theta) \quad (2)$$

而总的散射光与这两个部分相关, 表示为:

$$S(\theta) = P(\theta) + D(\theta) = I_{\max}(\theta) + I_{\min}(\theta) \quad (3)$$

偏振度为:

$$P = \frac{P(\theta)}{S(\theta)} = \frac{I_{\max}(\theta) - I_{\min}(\theta)}{I_{\max}(\theta) + I_{\min}(\theta)} \quad (4)$$

2 实验结果分析

2.1 被测目标的散射光强与目标粗糙度之间的关系

选取了粗糙度比较样板中的 2#、3#、5#、6# 目标作为被测目标, 旋转检偏器, 从 0° 开始, 间隔为 10° , 旋转至 360° , 测量了入射角分别为 0° 、 10° 、 20° 、 30° 时的散射光光强。图 3 给出了当入射光为 632.8 nm 波长时, 2#、3#、5#、6# 目标的散射光强度变化情况。

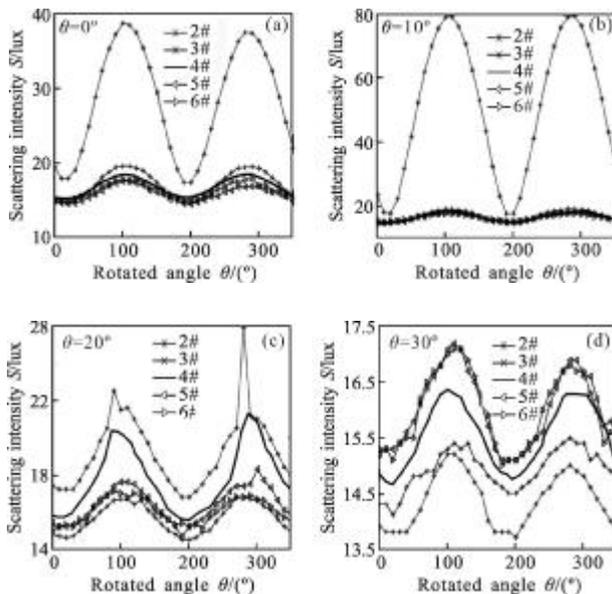


图 3 不同入射角下, 不同被测目标的散射光强度

Fig.3 Scattering intensities for targets with different roughness at different incident angles

图 3 展示了入射光波长为 632.8 nm , 入射角不

同时, 探测到的被测目标的散射光强的强度变化。根据曲线图可以看出, 随着入射角的增大, 不同被测目标的散射强度变化比较明显。如果被测目标的表面斜率均方根比较接近, 如 5# 目标和 6# 目标, 可以发现它们整体的散射光强度变化趋势几乎一样。入射角小于 30° 时, 表面斜率很小的被测目标, 如 2# 目标, 相对其他被测目标, 其散射光光强明显大很多, 说明相对光滑的表面探测到的后向散射光强度比相对粗糙表面探测到的散射光强度大得多。

2.2 不同材质目标的后向散射光强

目标表面的散射特性与目标的材料也有关系。实验中, 测量了混凝土、海绵、泡沫板、硬纸夹、树皮等常见的粗糙表面。除了粗糙度比较样板外, 其他目标表面的性质没有明确的参数表征, 只能做定性的说明。实验结果如图 4 所示。

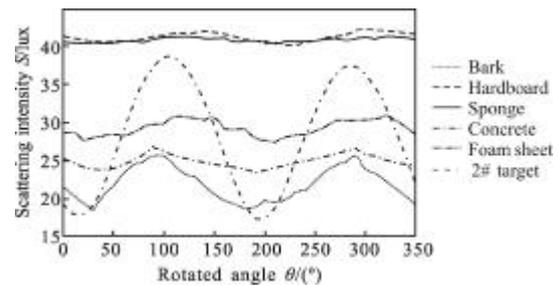


图 4 入射波长为 632.8 nm 时, 入射到不同材质粗糙表面的散射光强

Fig.4 Scattering intensities for rough targets made of different materials with incident wavelength of 632.8 nm

由于硬纸夹和海绵都是人工做成的, 它们的表面分布很整齐, 因此它们的散射光强在这几种目标样品中是最强的, 并且起伏变化很小。树皮和混凝土, 它们的表面是随机分布的, 散射光强的分布呈现出正弦曲线的趋势, 这一点和 2# 目标是类似的。而泡沫板就是介于两者之间, 有正弦曲线的趋势但不是很明显, 散射光强比树皮和混凝土大, 比硬纸夹和海绵小。

2.3 被测目标的散射光偏振度与入射角之间的关系

图 5 为入射光波长为 632.8 nm 时, 不同被测目标散射光的偏振度。可以发现, 目标表面粗糙度最小的 2# 目标, 对应的后向散射光偏振度是最大的, 和其他被测目标之间的差距是很明显的。随着粗糙度的增大, 3#、4#、5# 和 6# 目标, 它们的偏振度也是随着入射角增大而减小的, 但是起伏没有 2# 目标那么

明显,正入射和 30° 入射的偏振度相差很小。且这几块目标样品的表面斜率相差不大,得到的偏振度曲线也是很接近的。

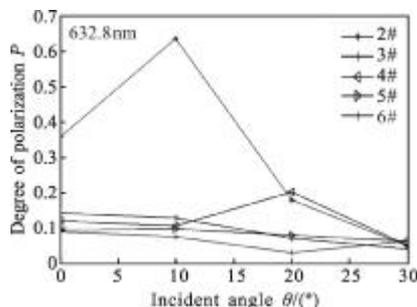


图5 入射光波长为 632.8 nm 时,不同被测目标散射光的偏振度

Fig.5 Polarization degree of scattering light for different targets

when the incident wavelength of 632.8 nm

随着粗糙度的增大,被测目标的散射光的偏振度都有所降低,这是因为随着被测目标表面的粗糙度变大,入射光在接触表面发生多次散射的可能性就增大,且多次散射的光强会越来越强,多次散射导致了退偏,从而降低了偏振度。

3 结论

文中首先给出了粗糙表面光散射特性研究的应用和意义,介绍了关于该领域最近的研究现状。通过实验,对现有的粗糙度比较样块进行了后向散射的测量,发现当入射光为 632.8 nm 波长时,随着入射角的增大,不同的被测目标的散射强度变化的比较明显。如果被测目标的表面斜率均方根比较接近,如 5# 目标和 6# 目标,可以发现它们整体的散射光强度变化趋势几乎一样,而且它们的偏振度也相差不大。入射角小于 30° 时,表面斜率很小的被测目标,如 2# 目标,相对其它被测目标,其散射光光强明显大很多,其偏振度也是最大的,说明相对光滑表面探测到的后向散射光强度比相对粗糙表面探测到的散射光强度大得多。被测目标的材质不同,对应的散射光强也会不同,人工加工的目标表面相对较为光滑,散射光强也就相对较高,随机粗糙表面其散射光强分布趋近正弦曲线分布。

文中关于典型粗糙表面后向散射偏振特性的研究结果对于探讨进行目标识别的理论及应用方面有一定的价值,这将对目标特性的进一步研究有着积极的意义。

参考文献:

- [1] Liu Kexiang, Xu Rongguo, Wu Zhensen, et al. Measurement and analysis about laser scattering characteristics of field goal[J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(2): 206-212. (in Chinese)
刘科祥, 许荣国, 吴振森, 等. 外场目标激光散射特性测量及分析[J]. 中国激光, 2006, 33(2): 206-212.
- [2] Wang Mingjun, Wu Zhensen, Li Yingle, et al. Statistical characteristics of the laser scattering intensity's covariance on the horizontally moving and rotating targets[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(5): 810-813. (in Chinese)
王明军, 吴振森, 李应乐, 等. 平动和旋转目标激光散射强度协方差统计特性[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(5): 810-813.
- [3] Fang Qiang. Surface depolarizer effect on the measurement of holographic interferometry [J]. Photon Sinica, 1994, 123(5): 402-406. (in Chinese)
方强. 物表面消偏振效应对全息干涉计量的影响[J]. 光子学报, 1994, 123(5): 402-406.
- [4] Wang Guangjun, Tian Jinwen, Liu Jian. The front-view imaging simulation of imaging laser radar and the obstacles identification approach [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(6): 462-465. (in Chinese)
王广君, 田金文, 柳健. 激光成像雷达前视成像仿真及障碍物识别方法研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 462-465.
- [5] Tian Wei. The study of light scattering characteristics of random rough surface [D]. Xi'an: University of Electronic Science and Technology, 2009. (in Chinese)
田炜. 随机粗糙面光散射特性研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [6] Zeng Yan, Li Runhua, Deng Huaqiu. Measurement of surface horizontal profile parameters using laser scattering distribution of solid angle [J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(1): 156-159. (in Chinese)
曾焱, 李润华, 邓华秋. 以激光散射立体角分布测量表面横向形貌参数[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(1): 156-159.
- [7] He Yi, Wu Jian, Liu Shenggang. Theoretical study of laser scattering characteristics from rough surfaces[J]. Acta Optica Sinica, 1997, 17(9): 1202-1208. (in Chinese)
何毅, 吴健, 刘盛纲. 粗糙表面激光散射特性的理论研究[J]. 光学学报, 1997, 17(9): 1202-1208.
- [8] Ma Guilan. Experimental study about the polarization properties of laser echo from rough surfaces [D]. Nanjing: University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)
马贵兰. 粗糙表面激光回波偏振特性的实验研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007.