

·测试、试验与仿真·

## 常见自然地物对 1.06 $\mu\text{m}$ 激光反射特性研究

陆 君<sup>1</sup>, 李季波<sup>2</sup>

(1. 第二炮兵装备研究院第四研究所, 北京 100085; 2. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

**摘 要:**地物光谱反射特性通常采用直观的反射光谱曲线来研究, 基于此通过分析双向反射比系数随激光反射角度的变化规律来研究常见自然地物对 1.06  $\mu\text{m}$  激光的反射特性, 直观且便于外场数据采集。通过外场试验测得了 10 余种常见自然地物的双向反射比系数, 并按照激光反射能力对其进行了排序。研究表明, 杂草、风化岩石、龙眼树、灌木丛等自然目标对 1.06  $\mu\text{m}$  激光的反射能力较强。

**关键词:**地物激光反射特性; 双向反射比系数; 1.06  $\mu\text{m}$  激光

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-05-0071-03

## Research on 1.06 $\mu\text{m}$ Laser Reflectance Characteristic for Common Natural Features

LU Jun<sup>1</sup>, LI Ji-bo<sup>2</sup>

(1. The Fourth Institute of the Second Artillery Equipment Academy, Beijing 100085, China;

2. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

**Abstract:** The reflectance spectral curve is often used to research spectral reflectance characteristic of features. According to this, 1.06  $\mu\text{m}$  laser reflectance characteristic for common natural features is researched through analyzing the bidirectional reflection ratio changing with the reflectance angle of laser, which is explicit and easy to collect field data. The bidirectional reflection ratio of more than ten kinds of common natural features is measured through the field experiments, which is ordered according to the ability of laser reflectance. Research results show that natural targets such as weed, weathered rock, longan tree and shrub have stronger reflectance ability to 1.06  $\mu\text{m}$  laser.

**Key words:** laser reflectance characteristic of features; bidirectional reflection ratio; 1.06  $\mu\text{m}$  laser

随着光学遥感技术的不断发展, 光谱在电磁波谱中占据的位置日益重要, 20 世纪 50 年代以来, 国内外各科研机构及相关科研人员广泛开展了自然地物的光谱反射特性研究。反射率(或反射系数)是用来表征不同地物对入射电磁波反射能力的物理量。自然地物的反射波谱是专门用于研究地面物体反射率随波长变化规律的, 通常用二维几何空间内的曲线表示, 如图 1 所示。横坐标表示波长  $\lambda$ , 纵坐标表示反射率  $\rho$ 。由于不同地物的物质组成和

结构不同, 使其具有不同的反射光谱特性。同一物体的波谱曲线反映出的是不同波段的相应反射率<sup>[1-5]</sup>。

从可见光波段起始, 向上延伸至近、中、远红外波段, 均为地物波谱特性的研究范畴。地物对 1.06  $\mu\text{m}$  激光的反射特性是其波谱特性在近红外波段的一种典型反映, 随着 1.06  $\mu\text{m}$  激光器在地面激光雷达、激光测距等设备上的应用日益广泛, 研究地物对 1.06  $\mu\text{m}$  激光的反射特性显得尤为重要。

实际上不同自然地物对 1.06  $\mu\text{m}$  激光的反射有

较大差别,反射率虽然可以很好的表征地物对1.06 μm激光的反射特性,但它不仅与激光入射角的大小、地物表面颜色和粗糙度有关,还与物体表面的风化程度、物体的含水性、光照度、阴坡、阳坡、植被发育程度等因素密切相关。因此,实际外场测量中,反射率很难直接获得,为此,文中采用了一种便于在外场测量的双向反射比系数方法开展研究,可方便地评估不同地物对1.06 μm激光的反射能力。

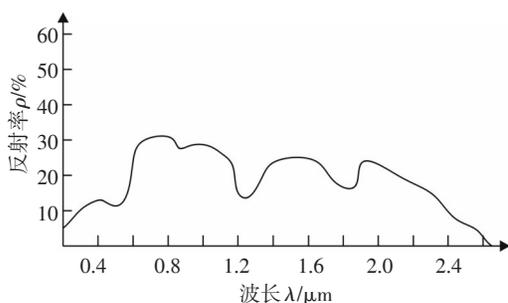


图1 地物的反射光谱曲线

## 1 双向反射比系数外场测试方法

双向反射分布函数(BRDF)是指在半球空间内,某一方向入射到物体表面的平行光束在另一方向的散射特性;它描述了物体表面对入射光束的反射能力和在半球空间的散射分布情况,是用以表征物体表面本质属性的物理量。对于理想朗伯体,双向反射分布函数为 $1/\pi$ ;对于有一定大小探测立体角的物体,即方向-锥角的情况,双向反射分布函数如式(1)。

$$f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{P_r}{P_i \cos \theta_r \Omega_r} \quad (1)$$

式中,  $(\theta_i, \phi_i)$  表示光的入射方向;  $(\theta_r, \phi_r)$  表示反射光的探测方向;  $P_i$  为光入射到表面的辐射功率;  $P_r$  为立体角  $\Omega_r$  内探测器探测到的反射功率,这里假设  $f_r$  和  $\cos \theta_r$  在立体角  $\Omega_r$  内不变<sup>[6-7]</sup>。

双向反射比系数定义为,物体的反射辐射通量与标准板反射辐射通量之比。在同样光源照射条件下,因探测器接收到物体反射辐射通量与探测器的输出电压成比例,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通量之比。地物、标准板对探测器输出电压分别如式(2)、式(3)所示<sup>[8]</sup>。

$$V_s = kP_0 \cos \theta_i \cdot f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) \cos \theta_r \cdot \Omega \quad (2)$$

$$V_{id} = kP_0 \cos \theta_{i,d} \cdot f_{r,d} \cos \theta_{r,d} \cdot \Omega_r \quad (3)$$

式中,  $V_s$  为物体输出电压;  $V_{id}$  为标准板输出电压;  $k$  为响应系数,  $P_0 \cos \theta_i = P_i$ 。将  $V_s$  与  $V_{id}$  相比可得双向反射比系数如式(4)。

$$\frac{f_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)}{f_{r,d}} = \frac{V_s}{V_{id}} \cdot \frac{\cos \theta_{i,d} \cdot \cos \theta_{r,d}}{\cos \theta_i \cdot \cos \theta_r} = R(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) \quad (4)$$

式中,  $R(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)$  即为物体的双向反射比系数。可知,只要测量物体与标准板在一定入射接收条件下的探测器输出电压,就可以得到物体的双向反射比系数,并以此来评估物体的空间反射特性<sup>[9]</sup>。

基于测试双向反射比系数的方法,利用波长1.06 μm脉冲激光器分别照射选定自然地物和标准漫反射板,激光探测器在相近角度接收反射信号,利用示波器观察探测器输出信号幅度,计算二者之间的比值得到自然地物的双向反射比系数。不断改变测试角度,通过数据处理得到不同地物的双向反射比系数随夹角的变化曲线。

## 2 地物激光反射特性研究

综合考虑地形地貌,试验把待测试的14种地物样本分为了丘陵、平地 and 道路三类,其分布情况如图2所示。其中,丘陵类地物有杂草(丘陵类)、风化岩石、灌木丛、红土、山茅草、松树和竹子,平地类地物包括杂草(平地类)、龙眼树、芭蕉和芦苇,道路类包括砂石路、水泥路和柏油路。

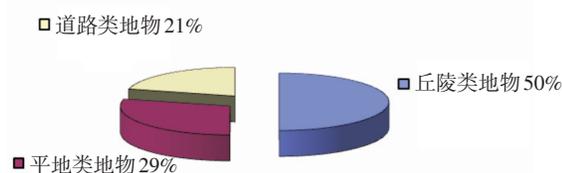


图2 自然地物各类分布图

基于以上测试双向反射比系数的方法进行外场测试,得到了草地和水泥路的双向反射比系数随夹角的变化曲线,如图3所示。

由于在外场比对测试试验时边界条件无法严格控制,导致测试数据离散性较大,但总体测试结果显示,草地在相同夹角处对1.06 μm激光的反射能力要强于水泥路。

同样方法测试了丘陵类杂草与平地类杂草的双向反射比系数,二者随角度的变化曲线如图4所示。可知,同样的地物,由于其所处地形不同,会导

致其对 1.06 μm 激光反射能力的不同,同一夹角处丘陵类略高于平地类。

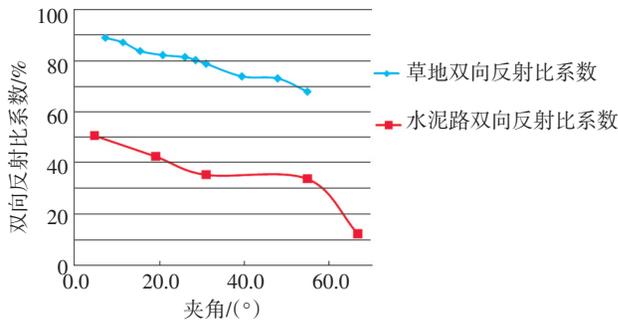


图3 草地和水泥路双向反射系数随夹角的变化曲线对比图

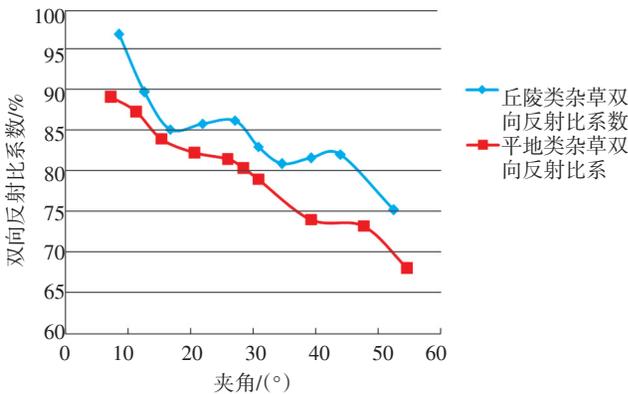


图4 丘陵类杂草与平地类杂草双向反射系数随夹角的变化曲线对比图

利用以上方法还分别对松树、竹子、山茅草、灌木丛、红土、风化岩石、干稻田、砂石路、柏油路等典型地物进行了测试试验,得到其双向反射系数随夹角的变化曲线,如图5所示。

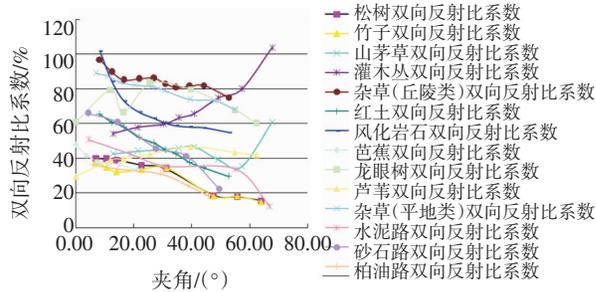


图5 所测自然物双向反射系数曲线对照图

由图5可知,草类、树木类等对 1.06 μm 激光反射率较高,风化岩石、砂石地面等对 1.06 μm 激光也具有较好的反射能力。

根据所有自然物对 1.06 μm 激光的双向反射系数曲线,对所有自然物对 1.06 μm 激光的反射能力按照三类地物排序如图6所示。越靠近每类顶端的自然物,其对 1.06 μm 激光的反射能力越

强。由图6可知,丘陵类地物中的杂草(丘陵类)、风化岩石、灌木丛,平地类中的杂草(平地类)、龙眼树,道路类中的砂石路对 1.06 μm 激光的反射能力较强。

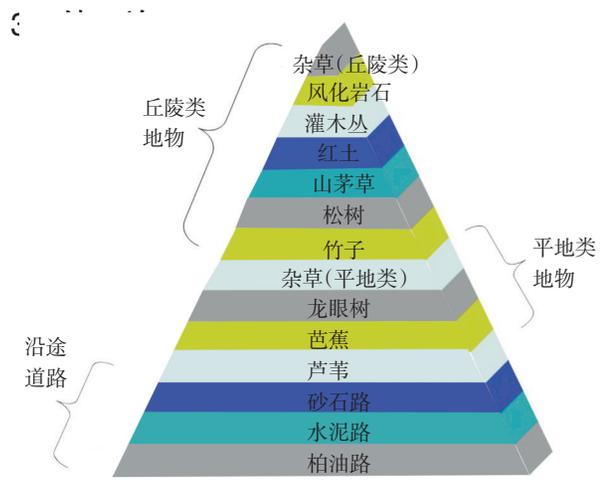


图6 所测试的自然物反射能力顺序图表

试验数据处理结果表明,丘陵类地物中的杂草(丘陵类)、风化岩石、灌木丛,平地类中的杂草(平地类)、龙眼树,道路类中的砂石路对 1.06 μm 激光的反射能力较强;同种地物,丘陵类对 1.06 μm 激光反射能力要略高于平地类。

参考文献

- [1] 浦瑞良. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [2] 姚连兴, 仇维礼, 王福恒. 目标和环境的光学特性[M]. 北京: 宇航出版社, 1995:43-44.
- [3] 王冬寅, 朱谷昌, 张远飞. 典型地物光谱空间结构特征与基本统计参数分析[J]. 国土资源遥感, 2012(4):138-145.
- [4] 王伟民. 地物反射光谱对 MODIS 近红外波段水汽反演影响的模拟分析[J]. 遥感学报, 2005(1):8-13.
- [5] 傅银贞, 汪小钦. 基于光谱测量的南方典型树种反射光谱特征分析[J]. 厦门理工学院学报, 2009(3):37-42.
- [6] 张百顺. 基于双向反射分布函数实验测量的目标散射特性的分析[J]. 光学技术, 2006(2):180-182.
- [7] 李晓. 一种计算复杂目标激光近场反射特性的方法[J]. 航空兵器, 2004(3):20-23.
- [8] 王建, 王风贺, 包国彬. 漫反射板双向反射比系数的测量[J]. 光电技术应用, 2005,20(4):32-34.
- [9] 刘宗新, 李相军, 凡小杰. 激光目标反射特性测量技术研究[J]. 光电技术应用, 2007, 22(4):46-48.