

复杂目标激光雷达散射截面的数值计算

王明军^{1,2},李应乐¹,张辉¹,王党朝¹,陈景文¹

(1. 咸阳师范学院 物理系, 陕西 咸阳 712000; 2. 西安电子科技大学 理学院, 陕西 西安 710071)

摘 要:将粗糙面散射理论与计算图形学结合起来,利用基尔霍夫方法,建立复杂体粗糙面激光雷达散射截面(LRCS)理论模型。依据复杂目标粗糙面的散射特性,设计数值算法,对复杂目标进行精细几何建模。计算了激光(波长 $1.06\mu\text{m}$)入射下,朗伯板以及一种组合复杂激光散射体的LRCS随接收天顶角的变化。该建模方法可根据不同工程需求进一步推广用于计算更复杂表面粗糙目标的激光雷达散射截面,应用于目标激光识别和光学特征提取。

关键词:激光散射; 激光雷达散射截面; 粗糙面散射; 基尔霍夫近似

中图分类号:TN958.98 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2914(2007)04-0012-03

激光雷达散射截面(LRCS)是目标激光散射特性研究中涉及的主要方面之一^[1]。在激光波段,目标的LRCS与目标的几何外形、几何尺寸和入射光波长有关外,还与目标表面的粗糙度统计特性、材料的光学常数有关^[2]。通过获取目标的激光雷达散射截面可以计算或者测量出目标的回波信号功率,因此,开展对目标激光雷达散射截面理论建模和试验测量在军事航天和民用工业中都有很强的实际应用价值。例如在军事航天领域中,人们可以利用目标的LRCS实现对目标的激光引信^[3,4],探测定位^[5],识别和回波信号特征提取^[6-8]等。为了通过空间、空中和地面复杂目标的激光雷达散射截面获取目标激光特征,美国建立大型的光学特征测量靶场,推进激光雷达散射截面项目认证标准。在民用方面,交管部门利用汽车的LRCS实现对运动的汽车测速测距等等。目前,国内通过实验方法获取大尺寸目标激光雷达散射截面还存在一些技术上的难度,并且在地面测量复杂目标的LRCS过程中,由于大气等各种背景的影响,给测量结果带来了很大噪声,另一方面,在实际工程应用中存在一些无法测量的非合作性目标。因此,理论计算获取各类空间、空中或者地面复杂目标的LRCS是一种行之有效的方法^[9]。

本文将粗糙面散射理论和计算图形学结合起来,利用基尔霍夫方法,建立复杂体粗糙面激光雷达散射截面(LRCS)计算模型。设计数值算法,并对复

杂目标进行精细几何建模。计算了激光(波长为 $1.06\mu\text{m}$)入射下,标准反射体球体和朗伯板,以及一种组合复杂激光散射体LRCS随接收天顶角的变化。理论建模方法,有一般性,可以根据不同工程需求,将建模方法进一步推广用于计算更复杂目标的激光雷达散射截面。

1 粗糙面的激光雷达散射截面

粗糙目标的激光散射场是目标几何形状、光学常数特性以及目标表面机械加工特性或涂层性质等的复杂函数。根据随机场的分析方法,可将其相应的LRCS分解为相干部分和非相干部分,即^[10]

$$\langle\sigma\rangle=\langle\sigma\rangle_{\text{相干}}+\langle\sigma\rangle_{\text{非相干}} \quad (1)$$

基尔霍夫方法的适用条件是^[11]:



图1 粗糙表面高度起伏轮廓曲线

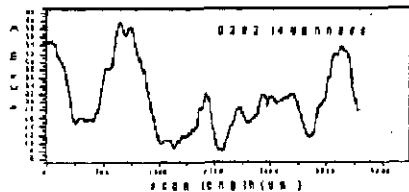


图2 粗糙表面高度起伏轮廓曲线

收稿日期:2007-02-01

基金项目:咸阳师范学院科研基金项目(06XSYK256)。

作者简介:王明军(1979-),男,陕西旬阳县人,咸阳师范学院物理系讲师,西安电子科技大学博士研究生,主要研究方向是光散射辐射及其光信号处理。

$$k_0 L > 6 \quad L_2 > 2.768 \lambda$$

式中 $k_0 = 2\pi/\lambda$, δ 为目标表面材料的高度起伏均方根值, L 为目标表面材料的相关长度。利用基尔霍夫方法处理的粗糙表面如图1所示, 粗糙表面高度起伏轮廓曲线如图2所示。

对于各向同性的粗糙面来说, 在激光与散射体相互作用过程中, 最令人感兴趣的是后向散射系数, 对探测器和发射机来讲, 入射和接收在同一方向上, 在同一坐标下, 其天顶角和方位角满足 $\theta_i = \theta_r$, $\phi_i = \pi$ 和 $\phi_r = 0$, 此时目标, 则单位面积的后向散射截面可以表示为^[1]:

$$\sigma_{pp}^r(\theta) = \frac{|R_{pp}(0)|^2 \exp\left[-\frac{\tan^2 \theta}{2\delta^2 |\rho''(0)|}\right]}{2\delta^2 |\rho''(0)| \cos \theta} \quad (2)$$

式(2)中, 下标 p 表示接收机的极化状态, $R_{pp}(0)$ 是垂直入射时的菲涅耳反射系数, $\rho''(0)$ 是在原点处相关函数 ρ 的二阶微商, 而 $\delta^2 |\rho''(0)|$ 为表面的均方根斜率。

2 计算方法和计算结果

2.1 计算方法和程序模块结构

基尔霍夫方法所适用的粗糙表面, 要求散射体材料相关长度必须大于入射波的波长, 散射体粗糙度必须很小。计算复杂目标的激光雷达散射截面, 采用以下算法结构流程:

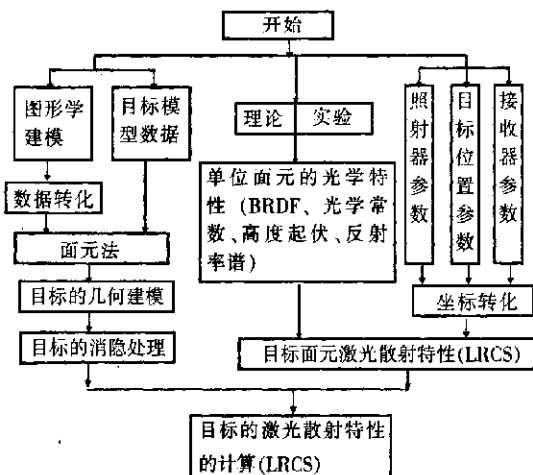


图3 复杂目标激光雷达散射截面的计算流程

算法设计上主要包括四个主要部分:

- 建立复杂目标的精细几何模型;
- 计算单个面元的 LRCS;
- 探测器参数设计;
- 模型数据格式的转化, 并将计算出来的每个

面元上的 LRCS 在探测器上进行叠加。

2.2 复杂目标精细几何建模和数值计算

对于复杂目标的复杂部件, 可以利用 3DMAX 的 NUBRS 曲面进行描述, 以提高模型的几何建模精度。计算复杂目标的激光散射截面时, 需要准确存在散射体表面各点位置、外法线方向、面元面积等数据。当激光入射在目标表面后必须在建立目标的几何模型基础上对其进行消隐, 考虑目标各个部分是否能被入射波照射, 并判断不同部件之间的遮挡关系。为了提高激光散射截面计算精度, 需要对复杂目标表面面元进行细化, 存储点索引格式, 并进行数据转化。利用基尔霍夫方法, 将粗糙面散射理论、计算图形学结合起来, 针对几个典型散射体计算 LRCS 随散射方位角的变化情况, 计算算例如下。

算例1:

入射激光波长 $\lambda = 1.06\mu\text{m}$, 计算模型为抛光铝球, 其光学常数为 $(2.43, 10.7)$ ^[2], 表面高度起伏 $\delta = 0.04\mu\text{m}$, 相关长度 $l = 5.8\mu\text{m}$, 铝球面元剖分和 LRCS 的数值计算结果如图4所示。

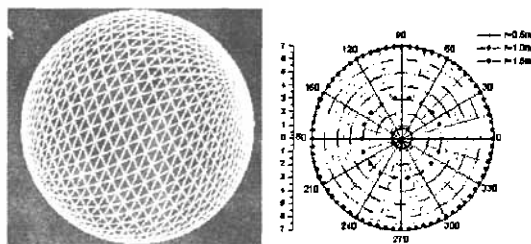


图4 球形标准体的模形面元精细剖分和 LRCS 随探测天顶角的变化

从计算结果可以得出抛光铝球半径 $r = 0.5\text{m}$ 时, $\sigma = 0.77\text{m}^2$, 半径 $r = 1.0\text{m}$ 时, $\sigma = 3.07\text{m}^2$, $r = 1.5\text{m}$ 时, $\sigma = 6.92\text{m}^2$ 。

算例2:

入射激光波长 $\lambda = 1.06\mu\text{m}$, 半球反射率为 $\rho = 0.98$, 计算模型为郎伯圆盘, 郎伯面元剖分和计算结果如图5所示。

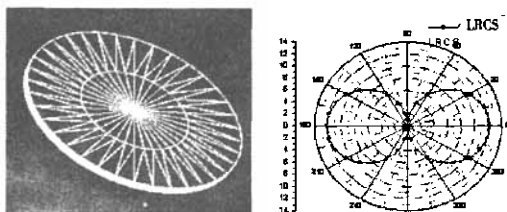


图5 郎伯面元剖分和 LRCS 随探测天顶角的变化

算例3:

入射波长 $\lambda = 1.06\mu\text{m}$, 圆柱 $\phi 4\text{m} \times 10\text{m}$, 平板 $4\text{m} \times$

10m, 圆柱球冠的高度为 $h=0.5\text{m}$, 光学常数(1.227, 10.377), 计算条件表面高度起伏 $\delta=0.04\mu\text{m}$, 相关长度 $l=5.8\mu\text{m}$, 最大值可探测的 LRCS 出现在圆柱体底面上 $\sigma_{\text{max}}=15.06\text{m}^2$, 侧面的最大 LRCS 为 $\sigma_{\text{max}}=22.56\text{m}^2$; 圆柱体底面的 LRCS 为 $\sigma_{\text{max}}=4.13\text{m}^2$, 计算结果如图 6 所示。

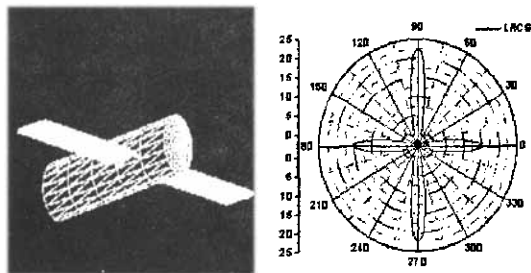


图 6 圆柱和平板复杂组合体剖面
LRCS 随探测天顶角的变化

3 结论

复杂目标激光雷达散射截面描述了目标重要的激光散射特征, 有利于目标的激光识别和探测。通过目标表面材料的光学特性与计算机图形学、粗糙面光散射理论结合起来, 获取简单标准体和一种复杂组合体的激光雷达散射截面。该方法能够根据不同工程需求, 计算出更复杂的散射体如飞机、车辆等, 以实现对这些复杂目标的激光识别和光学特征提取。

参考文献:

[1]姚建兴, 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.

- [2]王明军, 董雁冰, 吴振森, 等. 粗糙表面光散射特性研究与光学常数反演[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(5): 549-553.
- [3]王建国. 用复合红外通道解决激光引信引战配合问题[J]. 红外与激光工程, 2000, 29(3): 40-43.
- [4]薛谦忠, 吴振森, 李良超, 等. 激光引信目标近场散射特性理论[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2000, 27(5): 594-596.
- [5]路远, 时家明, 凌永顺, 等. 红外被动定位研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 406-409.
- [6]王日, 徐玉滨, 孙宝举, 等. 激光探测目标仿真算法研究[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(3): 55-58.
- [7]Monica L. Minden, Alan Kost, Hans W.Bruessebach, et.A Range-resolved Doppler Imaging Sensor Based on fiber Laser[J]. IEEE, 1997: 1080-1086.
- [8]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.
- [9]Wu Zhensen. IR. Laser backscattering by arbitrarily shaped dielectric object with rough face[J]. Journal of Electronics, 1993, 10(4): 298-306.
- [10]E. T. Ulaby, R. K. Moore, A. K. Fung. Microwave remote sensing[M]. Addison-Wesley publishing company, 1982: 922-991.
- [11]王明军, 吴振森, 李应乐, 等. 全尺寸目标激光脉冲后向散射回波功率测定和建模[J]. 中国激光, 2001, 33(11): 1557-1561.
- [12]王明军. 空间目标光散射特性测量与工程计算研究[D]. 西安电子科技大学硕士论文, 2004.

Numerically Computed the Laser Radar Cross Section (LRCS) of Complex Targets

WANG Ming-jun^{1,2}, LI Ying-le¹, ZHANG Hui¹, WANG Dang-chao¹, CHEN Jing-wen¹

(1. Department of Physics, Xianyang Normal University, Xianyang, Shaanxi 712000;

2. Department of Science, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: Combined the light scattering theory of random rough surface and computer graphics together, Kirchhoff approximation is used to build theoretical models for computing the LRCS of complex target in this paper. Based on the rough surface characteristic of complex target, numerical algorithm and the precise geometrical models of complex target are designed. Under 1.06 laser wavelength, the LRCS of all kinds standard reflectors, such as sphere, lambert surface and other complex targets which change with scattering zenith angles are computed. The computational methods and results is satisfied with engineering precision requirement. According to different requirements, the theoretical models can be further study and compute the LRCS of complex target with rough surface applied for the extraction optical signature of target, recognition and classification.

Key words: laser scattering; LRCS; rough surface scattering; Kirchhoff approximation

雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

更多培训课程:

- **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>