

文章编号: 1672-8785(2014)05-0019-05

雾对水面舰船目标的偏振特性的影响研究

尹成亮^{1,2} 王 峰^{1,2} 袁宏武^{1,2}

(1. 偏振光成像探测技术安徽省重点实验室, 安徽合肥 230031 ;

2. 陆军军官学院光电技术与系统实验室, 安徽合肥 230031)

摘 要: 在米氏散射理论的基础上, 通过仿真试验分析了不同浓度的雾对水面舰船目标偏振特性的影响, 并利用 6SV 模型对其进行了数值模拟, 得到了雾对目标偏振特性的影响数据。随着雾的浓度的不断增加, 退偏现象趋于明显。然后对产生退偏现象的原因进行了分析。该试验结果对于偏振探测技术在雾天环境下的应用具有一定的参考价值。

关键词: 偏振特性; 退偏现象; 米氏散射

中图分类号: P407 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.05.004

Study of Effect of Fog on Polarization Characteristics of Warship

YIN Cheng-liang^{1,2}, WANG Feng^{1,2}, YUAN Hong-wu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Polarization Imaging Detection Technology in Anhui Province, Hefei 230031, China;

2. Laboratory of Electro & Optical Technology and System, Army Officer Academy PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: On the basis of Mie scattering theory, the effect of fog with different concentration on the polarization characteristics of a surface ship target is analyzed in a simulation experiment. By carrying out numerical simulation with a 6SV model, the data about the effect of fog on target polarization characteristics is obtained. It is found that with the increase of fog concentration, the depolarization phenomenon is getting more obvious. The reason of this depolarization phenomenon is analyzed. The result is of reference value to the application of polarization detection technologies in fog environment.

Key words: polarization characteristics; depolarization phenomenon; Mie scattering

0 引言

由于能够获取传统探测手段无法得到的偏振信息, 偏振探测技术已被广泛用于地物遥感、目标检测与识别以及大气探测等众多领域^[1]。作为一种大气气溶胶, 雾不仅会对大气辐射、气

候效应和生态环境产生重要影响, 而且还会对交通运输和目标侦察等造成极大制约。研究人员对雾的气候特征、微物理特征及其气溶胶光学性质等方面进行了较多研究^[2,3], 但对于雾对目标偏振特性的影响研究得还比较少。研究

收稿日期: 2014-03-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41176158)

作者简介: 尹成亮 (1988-), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生, 主要从事偏振成像和图像处理方面的研究。

E-mail: armyinchliang@qq.com

雾对目标偏振特性的影响是在雾环境下进行偏振探测的必要理论基础。

本文在米氏散射理论的基础上,分析了雾散射光的偏振特性,并通过仿真试验研究了不同浓度的雾对水面舰船目标偏振特性的影响。利用 6SV 矢量辐射传输模型模拟了不同浓度的雾对大气偏振度的影响,并对其原因进行了分析。该研究结果对于光在雾中的传输以及如何消除雾的影响具有一定的应用价值。

1 雾的散射偏振特性

雾是由靠近地面且悬浮在空气中的极细小水滴或冰晶质点组成的。雾滴的半径与含水量有关,通常为 $1 \sim 60 \mu\text{m}$ 。在雾的不同时期,雾滴的半径不同:在形成或消散期间,其半径一般小于 $15 \mu\text{m}$;当能见度小于 50 m 时,其半径为 $20 \sim 30 \mu\text{m}$;当能见度大于 100 m 时,其平均半径大多小于 $8 \mu\text{m}$ [4]。

当雾的浓度较低时,雾的粒子半径与可见光的波长接近,此时引起的散射为米氏散射。根据米氏散射理论,在大气传输中,由于受到大气分子和气溶胶粒子的散射作用,光的偏振态、光强以及传播方向都会发生变化。由此可见,光在雾中传输时也会发生同样的变化。当入射光为线偏振光或非偏振光时,由于雾粒子的散射,散射光均为部分偏振光,从而产生退偏现象。因为雾滴间距大,所以可认为各个粒子的散射是相互独立的。它们属于单次散射,即每个粒子的散射不会因其他粒子的存在而受到影响,此时探测器所探测到的光强则是单位体积内单次散射强度的累加。

当雾的浓度较高时,光会发生相干散射。经一个雾滴散射的光又辐射在其附近的雾滴上,引起二次散射,随后二次散射又引起三次散射,如此下去便形成多次散射。多次散射是一个复杂的问题,而米氏散射理论并不适用于多次散射。

2 雾对水面舰船目标偏振特性的影响

本文通过设计室内仿真试验,研究不同浓度的雾对水面舰船目标偏振特性的影响,然后利用 6SV 矢量辐射传输模型模拟不同能见度下大气偏振度的变化情况。

2.1 光偏振信息的表示

光的偏振信息通常是采用斯托克斯参量 (I, Q, U, V) 描述的。其中, I 为光的总强度; Q 为 0° 与 90° 线偏振分量之差; U 为 45° 与 135° 线偏振分量之差; V 为右旋与左旋圆偏振分量之差。由于自然界中大部分物体反射的圆偏振分量极少,一般假定 $V = 0$ [5]。

在确定 0° 参考方向之后,任意偏振方向 β 上的光强为

$$I(\beta) = \frac{1}{2}(I + Q \cos 2\beta + U \sin 2\beta) \quad (1)$$

式中, β 为偏振器的透过轴与参考坐标轴之间的夹角。由式 (1) 可知,只要测出 3 个不同偏振方向上的光强,便可计算出斯托克斯参量 (I, Q, U), 进而得到光波的偏振度 P :

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \quad (2)$$

偏振度 P 是一个在 $0 \sim 1$ 之间取值的无量纲数。当 $P=0$ 时,表示光是非偏振光;当 $P=1$ 时,表示光是全偏振光;当 $0 < P < 1$ 时,表示光是部分偏振光 [5]。

当线偏振光入射到目标上时,由于目标的特性不同,散射光的偏振度会发生不同的变化,从而表现出不同程度的去偏振特性,即去偏振度 $dP = 1 - P$ [6]。

2.2 试验概述

本文利用水雾环境模拟试验箱和室内雾天环境仿真平台开展试验,获取了仿真雾天环境及不同雾粒子浓度下的目标偏振信息。为了定量分析不同雾条件下的目标偏振特性,我们在实验室中采用位置固定的稳定平行光照射试验目标,并对其进行了偏振成像观测。试验采用短弧氙灯作为照明光源,由直流稳压稳流电源供

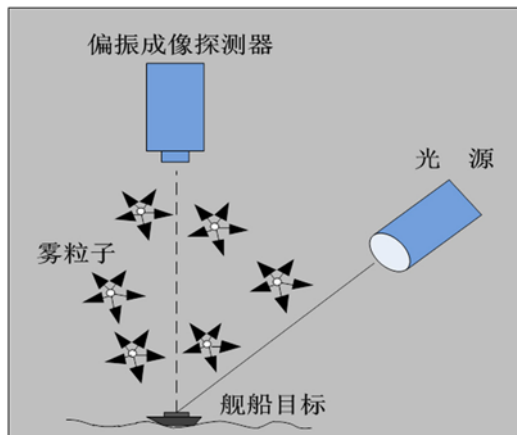


图1 试验示意图



图2 试验场景图

电。此类光源稳定且为非偏振光源,其光谱特性与太阳光相近,并能模拟室外的自然光照明条件。根据试验需求,我们将光源的入射角设置成一定的角度,并采取垂直观测偏振成像方式,如图1所示。利用平台的水雾模拟功能,在试验空间中产生不同浓度的均匀雾粒子,并通过激光测雾仪精确测量雾的浓度。如图2所示,试验目标为舰船的缩比模型,背景为水面。本文使用分光型偏振成像探测系统采集数据。该系统利用偏振分光设计技术,能够同时采集三路(0° 、 60° 、 120°)原始偏振图像,进而求得斯托克斯参量。这样可以消除大气扰动的影响,符合雾天数据采集要求。

2.3 矢量辐射传输模型

光在散射介质中传输时,光子与散射粒子之间的相互作用是一个复杂的过程。为了对此过程进行较为精确的模拟,本文利用6SV矢量辐射传输模型进行模拟。该模型是在原有6S模型的基础上推出的,它采用连续阶散射方法求解矢量辐射传输方程^[7],可以计算出大气的4个斯托克斯参量——辐射亮度、水平偏振、垂直偏振和圆偏振。与蒙特卡洛方法的模拟结果相比,6SV模型的相对误差小于1%^[8]。

电磁波在大气中的辐射传输可以用辐射传输方程表示^[9]:

$$\mu \frac{\partial I(\tau, \mu, \phi)}{\partial \tau} = I(\tau, \mu, \phi) - \frac{\omega_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^{+1} P(\tau, \mu, \phi, \mu', \phi') \times I(\tau, \mu', \phi') d\mu' d\phi' - \frac{\omega_0}{4\pi} e^{\tau/\mu} P(\tau, \mu, \phi, \mu_s, \phi_s) E_s \quad (3)$$

式中, τ 为大气光学厚度; ω_0 为大气的单次散射反照率; μ 为天顶角的方向余弦; ϕ 为方位角; E_s 为太阳辐照度; I 为斯托克斯矢量^[9]。

3 试验结果及分析

3.1 试验数据分析与结论

我们利用分光型偏振成像探测系统获得了不同雾浓度下目标和场景的 0° 、 60° 、 120° 三个方向上的偏振图像,并通过融合处理得到了强度图和偏振度图。对图2所示舰船目标和所选水面背景的平均强度值、平均偏振度值以及去偏振度值进行了计算。图3所示为舰船目标和水面背景的平均强度值、偏振度值以及去偏振度值随雾浓度的变化情况。

从图3(a)中可以看出,光强会随雾的浓度的增加而增大,达到最大值后,又会随雾的浓度的增加而减小。这主要是因为雾薄时属于单次散射,雾浓时属于多次散射。当雾的浓度较小时,探测到的光强是粒子单次散射强度的累加。此时,单位体积内的雾滴少,散射光强较弱;随着雾的浓度的逐渐增加,单位体积内的雾滴逐渐增多,散射光强增强;当雾的浓度增加到一定程度时,单位体积内粒子数目的增加将会使雾粒子之间的距离缩短,雾内多次散射(属于相干散射)增多,溢出观测方向上的能量增强,到达探测器的散射光强减弱。

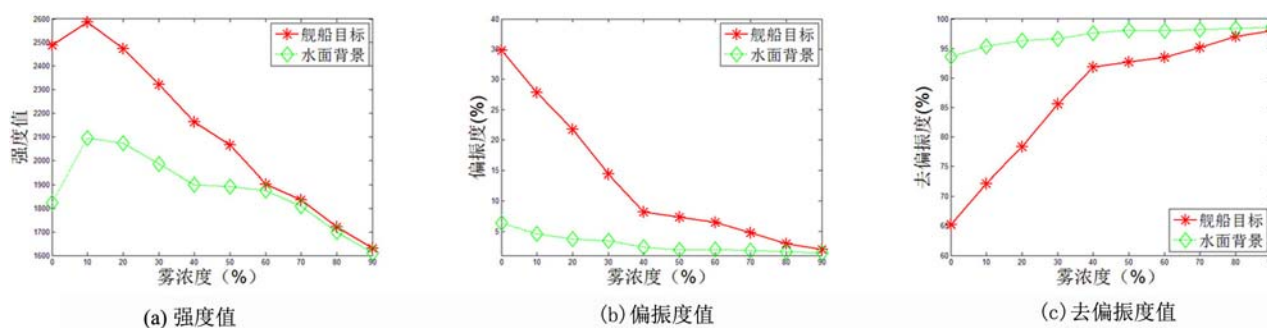


图3 舰船目标和水面背景强度值、偏振度值以及去偏振度值随雾浓度的变化情况

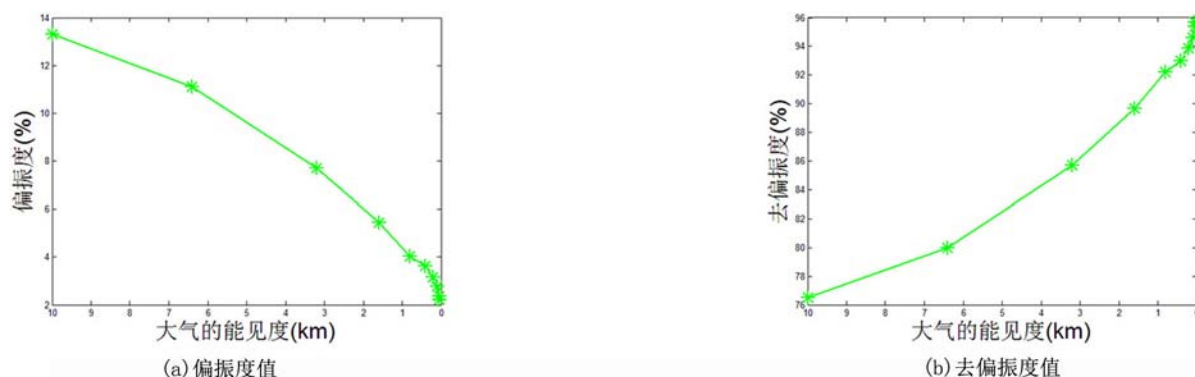


图4 偏振度随大气能见度的变化情况

从图 3(b) 和图 3(c) 中可以看出, 偏振度会随雾的浓度的增加而降低。随着雾的浓度的不断增加 (即散射系数的不断增加), 偏振度减小, 去偏振度增大; 当雾的浓度较高时, 退偏现象明显, 散射光近似解偏为自然光。

3.2 用 6SV 模型模拟雾的退偏现象

为了验证仿真试验的正确性, 本文利用 6SV 矢量辐射传输模型模拟大气的 TOA 斯托克斯向量, 进而得到大气的偏振特性随雾的浓度的变化情况。在 6SV 模型中输入参数时, 参照仿真试验的环境条件, 将大气模式选为中纬度夏季模式。根据雾的成分, 采用自定义的气溶胶模式模拟不同能见度条件下的大气偏振度。图 4 所示为大气层顶的偏振度值和去偏振度值随能见度的变化情况。

用 6SV 模型模拟得到的数据和上述试验数据虽然具有不同的初始偏振度值, 但是都反映了不同浓度的雾对光偏振度的影响, 而且还呈现出相同的变化趋势: 随着雾的浓度的不断增

加 (即散射系数的不断增加), 偏振度降低, 去偏振度增大; 当雾的浓度较高时, 退偏现象明显, 散射光近似解偏为自然光。这是因为随着雾的浓度的不断增加, 雾滴间距缩短, 光子碰撞次数增多, 雾粒子对光子产生多次散射, 使得产生的偏振度降低。由此可见, 雾粒子对光的散射是去偏振效应的主要原因, 而且去偏振效应主要发生在光子与粒子的碰撞过程之中。

4 结束语

本文通过仿真试验模拟了真实环境中不同浓度的雾对水面舰船目标偏振特性的影响。结果表明, 雾不仅会直接影响散射光的强度, 而且其对目标偏振度的影响是不容忽视的; 随着雾的浓度的不断增加, 退偏现象趋于明显。利用 6SV 模型模拟了不同能见度时雾对大气偏振度的影响, 并验证了仿真试验的正确性。本文不仅对进一步研究雾天条件下水面舰船目标的偏振探测

具有重要的参考价值, 而且还能为利用偏振技术消除雾的影响提供技术支持。

参考文献

- [1] 刘必鉴, 时家明, 赵大鹏, 等. 偏振探测的机理及应用 [J]. **红外**, 2008, **29**(5): 5–9.
- [2] 刘建斌, 吴建. 群体雾粒子散射模型及散射角谱研究 [J]. **强激光与粒子束**, 2005, **17**(3): 355–358.
- [3] 于兴娜, 李新妹. 北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 [J]. **环境科学**, 2012, **33**(4): 1057–1062.
- [4] 李素娟, 蒋维安. 雾对能见度的影响估算 [J]. **中国民航大学学报**, 2010, **28**(6): 1–3.
- [5] 王勇, 薛模根, 黄勤超. 基于大气背景抑制的偏振去雾算法 [J]. **计算机工程**, 2009, **35**(4): 271–272.

(上接第 18 页)

提出了一种目标与背景对比度的增强方法, 并验证了该方法的可行性和有效性。

参考文献

- [1] Gurton K P, Melvin F. Calibrated Mid-wave Infrared (IR) (MidIR) and Long-wave IR (LWIR) Stokes and Degree-of-Liner Polarization (DOLP)[R]. Army Research Laboratory, 2008.
- [2] Cooper A W, Lentz W J, Walker P L, et al. Infrared Polarization Measurement of Ship Signature and Background Contrast[C].*SPIE's International Symposium on Optical Engineering and Photonics in Aerospace Sensing. International Society for Optics and Photonics*, 1994:300–309.
- [3] Forssell G, Hedborg-Karlsson E. Measurements of Polarization Properties of Camouflaged Objects and of the Denial of Surface Covered with Ceno-spheres[C]. *SPIE*, 2003,**5075**:246–258.
- [4] Michelson J L, Romano J M, and Roth L. Stokes Vector Analysis of LWIR Polarimetric in Adverse Weather[C].*Proc SPIE*, 2011, 8160: 81600N.

- [6] 赵一鸣, 江月松, 路小梅. 气溶胶散射光偏振度特性的理论研究 [J]. **红外与激光工程**, 2007, **36**(6): 862–865.
- [7] Vermote E, Tanre D, Deuze J L, et al. Morcette Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview [J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1997, **35**: 675–686.
- [8] Kotchnova S Y, Vermote E F, Matarrese R, et al. Validation of a Vector Version of the 6S Radiative Transfer Code for Atmospheric Correction of Satellite Data. Part I: Path Radiance [J]. *Applied Optics*, 2006, **45**(26): 6762–6774.
- [9] 陈伟, 晏磊, 杨尚强. 海洋气溶胶多角度偏振辐射特性研究 [J]. **光谱学与光谱分析**, 2013, **33**(3): 600–607.

- [5] Sagiv L, Rotman S R, Blumberg D G. Detection and Identification of Effluent Gases by Long Wave Infrared (LWIR) Hyperspectral Images[C].*2008 IEEE 25th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 2008,**4736560**: 413–417.
- [6] 徐参军, 赵劲松, 蔡毅等. 红外偏振成像的几种技术方案 [J]. **红外技术**, 2009,**31**(5): 262–266.
- [7] 廖延彪. **偏振光学**[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] Sadjadi F A, Chun C S L. Remote Sensing Using Passive Infrared Stokes Parameters[J].*Optical Engineering*, 2004,**43**(10):2283–2291.
- [9] Gurton K P, Dahmani R, Videen G. Measured Degree of Infrared Polarization for a Variety of Thermal Emitting Surfaces[R]. Army Research Lab, 2004.
- [10] Miller M A, Blumer R V, Howe J D. Active and Passive SWIR Imaging Polarimetry[C].*SPIE*, 2001,**4481**:87–99.
- [11] 孙晓兵, 洪津, 乔延利. 一种基于偏振角参数图像的特征提取方法研究 [J].**遥感技术与应用**, 2005,**20**(2):256–260.
- [12] Samuel G, Olga M S, Nikolaos B. Exploring Polarimetric Infrared Using Classic Image Computing Methods[C]. *2011 IEEE National Aerospace and Electronics Conference*, 2011,**6183116**: 286–290.