

黄海水透明度对蓝绿激光通信的影响研究

李松朗¹,毛忠阳¹,刘传辉¹,刘敏¹,魏帅²

(1. 海军航空大学,山东 烟台 264001;2. 95910 部队)

摘要:针对现有计算蓝绿激光在水下的衰减时,同类海水采用固定衰减系数估算,而实际不同海域的衰减系数存在差异,导致某些理论可行的区域无法正常通信的问题,提出结合透明度遥感观测数据计算蓝绿激光在水下透过率的新方法。根据中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据反演黄海部分海域蓝绿激光衰减系数,分析黄海衰减系数的时空分布特点,并估算水下 50 m 的透过率,评估蓝绿激光通信的可行性。分析结果表明:透明度越高,衰减系数越小,传输距离一定时透过率越高;透明度大于 5.295 m 时,激光在水下 50 m 的衰减小于 40 dB,可以进行蓝绿激光通信。

关键词:蓝绿激光通信;透明度;水色遥感图像;无线光通信;衰减系数

中图分类号:TN929.3 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)03-0006-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.03.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study of the effect of water transparency in the Yellow Sea on blue-green laser communication

LI Songlang¹, MAO Zhongyang¹, LIU Chuanhui¹, LIU Min¹, WEI Shuai²

(1. Naval Aviation University, Yantai Shandong 264001, China; 2. 95910 Troop)

Abstract: In view of the existing calculation of the attenuation of blue-green laser underwater, the same kind of sea water is estimated by fixed attenuation coefficient, but the actual attenuation coefficient of different sea areas is different, which leads to the problem that some theoretically feasible areas cannot communicate normally. A new method is proposed to calculate the transmission of blue-green laser underwater based on the transparency remote sensing observation data. According to the moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) remote sensing data is used to retrieve the attenuation coefficient of blue-green laser in some areas of the Yellow Sea, this paper analyzes the temporal and spatial distribution characteristics of the attenuation coefficient of the Yellow Sea, estimates the transmissivity of 50 m underwater, and evaluates the feasibility of blue-green laser communication. It is concluded that the higher the transparency is, the smaller the attenuation coefficient is, and the higher the transmittance is when the transmission distance is fixed; When the transparency is greater than 5.295 m, the attenuation of the laser at 50 m underwater is less than 40 dB, and the blue-green laser communication can be carried out.

Key words: blue-green laser communication; transparency; water color remote sensing image; optical wireless communication; attenuation coefficient

0 引言

蓝绿激光作为水下窗口,在水下具有衰减系数小

的特点,可作为空中目标和水下目标通信的新手段。但同一类海水由于浮游植物和黄色物质等分布不同,衰减系数也会有差异^[1],因此需要根据具体海域情况分析蓝绿激光的衰减系数。

透明度作为评价水体的指标,与衰减系数有着紧密的联系^[2],且获得方式较为简单,可通过水色遥感图像计算获得,也可通过透明度盘测量获得。文献[3]从物理意义上建立了海水透明度与衰减系数的关系。文献[4]指出透明度和衰减系数的倒数有很强的相关性。文献[5]通过实测数据验证了黄海不同波长激光的衰

收稿日期:2019-08-26。

基金项目:国家自然科学基金(6170012154)资助;山东省“泰山学者”建设工程专项经费基金(ts20081130)资助。

作者简介:李松朗(1995-),女,河北唐山人,硕士研究生,现就读于海军航空大学电子与通信工程专业,研究方向为现代通信理论与应用、无线光通信,包括蓝绿激光通信信道模型仿真与分析、海上无线光信道测试等,参与近海水平及斜程衰减系数测量工作。



减系数与水文成分的相关性。文献[6]通过理论模型分析与实测数据拟合建立了不同波长激光的衰减系数与透明度的反演公式。文献[7]通过 490 nm 波段的漫衰减系数反演了其它波段的漫衰减系数。文献[8]研究了水体各组分对 490 nm 波段漫衰减系数的影响。文献[9]采用经验反演算法对 2002~2011 年渤海黄海海域 490 nm 波段漫衰减系数时空分布进行了分析。但这些文献研究重点都是利用实测数据或遥感图像反演衰减系数模型的精确性,并未对模型加以利用。此外,蓝绿激光在水下衰减模型较为复杂,为估算蓝绿激光在水下的能量衰减,现有做法一般为采用固定的衰减系数简化计算:一是采用固定衰减系数简化计算,但衰减系数存在空间和季节性差异,使用固定值不能准确描述蓝绿激光的水下衰减状况;二是根据浮游植物和黄色物质的分布参数建立模型,但它们的分布参数往往难以获得。由于利用透明度反演衰减系数的经验算法可以较简单地分析蓝绿激光在水下的衰减情况,因此本文基于水下通信的实际需要,提出结合遥感图像中的透明度数据估算激光在水下的透过率的新思路,利用 2016 年黄海部分海域透明度分布图反演出 532 nm 波段衰减系数分布,并评估水下目标在不同海域进行 50 m 蓝绿激光通信的可行性。

1 海水透明度反演衰减系数

大量近岸海区的衰减系数实测数据表明:近岸海区的衰减系数在垂直分布上基本均匀,可做衰减系数均匀一致的假设^[5]。远岸的辐照度随深度变化的实测数据也表明:大部分站点辐照度随深度变化呈现指数衰减趋势,不同深度的衰减系数可做均匀一致的假设^[9]。

王晓梅利用 2003 年春秋两季黄海、东海水色联合实验中获取的衰减系数实测数据与透明度数据建立了反演模型,其反演数据与实测数据的相关性较好,并有较高的置信度^[7],适合东海、黄海等二类水体 412~565 nm 的衰减系数反演模型,为:

$$K_{d490} = \left(\frac{SD}{1.43} \right)^{-\frac{1}{0.89}} \quad (1)$$

其中, K_{d490} 为 490 nm 的激光衰减系数, SD 为透明度。

其它波长的衰减系数与 490 nm 波长的衰减系数关系为:

$$K_d(\lambda) = (6.686\lambda^2 - 10.25\lambda + 4.356) \cdot K_{d490} \quad (2)$$

其中, λ 为蓝绿激光通信波长,单位为微米。

2 黄海海域衰减系数反演

本文中的透明度数据采用搭载在 Aqua 卫星上的中分辨率成像光谱仪(MODIS)的海洋遥感反射率反演 2016 年黄海海域透明度^[10],选取海域为成山角海域、海州湾海域和黄海中心海域。

根据衰减系数反演模型,3 个海域的 532 nm 激光衰减系数分布如图 1~图 3 所示。

由图 1~图 3 可知,成山角海域与海州湾海域衰减系数整体上呈现近岸高、远岸低的特点,且近岸衰减

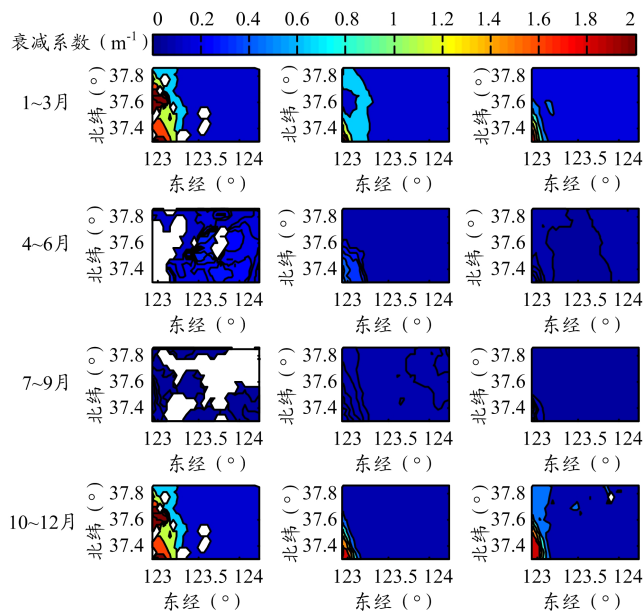


图1 成山角海域衰减系数分布(1~12月)

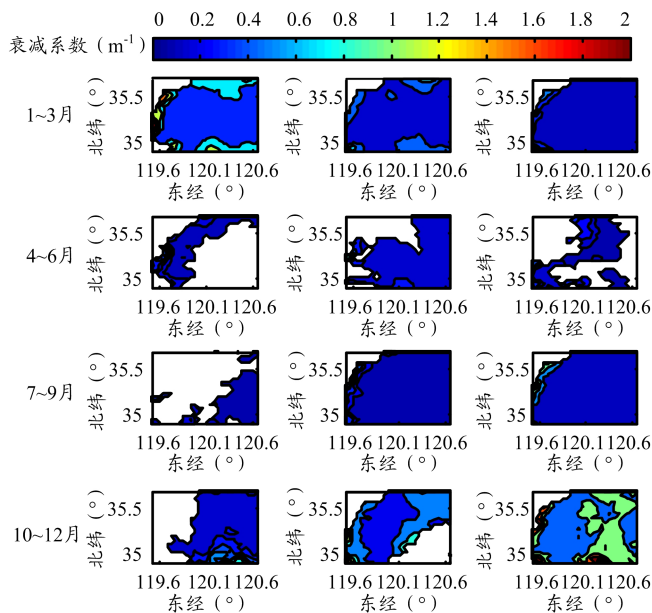


图2 海州湾海域衰减系数分布(1~12月)

李松朗,毛忠阳,刘传辉,等:黄海水透明度对蓝绿激光通信的影响研究

系数的季节性差异明显,夏季高、冬季低;黄海中心海域衰减系数整体较低。

本文计算 3 个海域月平均衰减系数和年平均衰减系数,结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出,海州湾海域年平均衰减系数最大,成山角海域次之,黄海中心海域最低;成山角海域 4~11 月衰减系数低于年平均,海州湾海域 2~10 月衰减系数低于年平均,黄海中心海域 5~12 月衰减系数低于年平均。从总体上看,黄海在 5~10 月衰减系数较低,比较适合使用蓝绿激光进行水下通信。

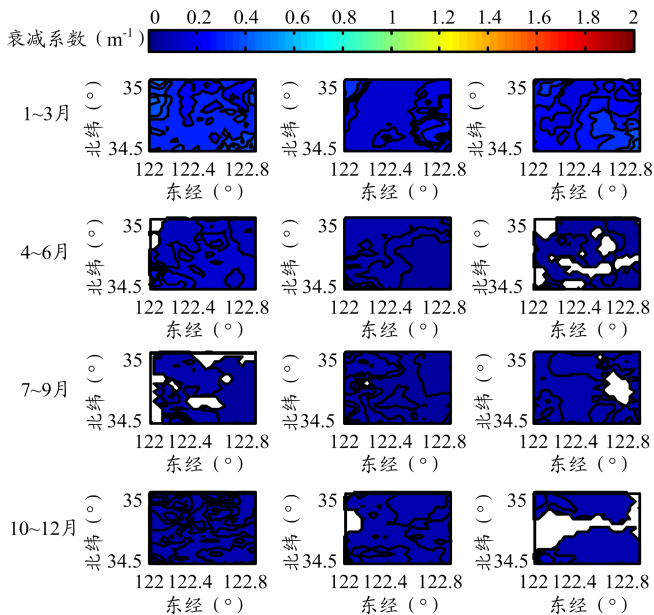


图 3 黄海中心海域衰减系数分布(1~12月)

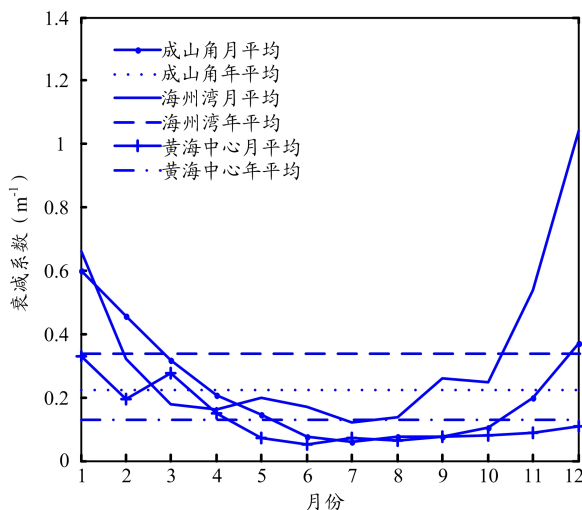


图 4 3 个海域的月平均衰减系数及年平均衰减系数

3 黄海海域蓝绿激光衰减

假设激光在水下传播距离为 L , 则激光在水下的能量衰减遵循朗伯定律:

$$I = I_0 e^{-K_d(\lambda)L} \quad (3)$$

其中, I 为传播 L 后的光强, I_0 为初始光强, 则激光透过率为:

$$T = e^{-K_d(\lambda)L} \quad (4)$$

结合式(1)~式(4)可得海水透明度与 532 nm 激光在水下 50 m 时透过率的关系如图 5 所示。

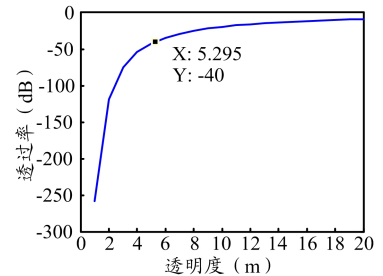


图 5 透明度与水下 50 m 透过率

从图 5 可以看出, 传输距离一定时, 海水透明度越高, 激光在水下的透过率越高。通过前期对空地蓝绿激光通信链路余量的分析, 假设发射器位于 $L=8$ km 高处, 通信波长 $\lambda=0.532 \mu\text{m}$ 、发散角 $\theta=15$ mrad、发射功率 $P_t=15$ W、接收孔径 $D_R=250$ mm、接收器灵敏度 $S=-50$ dBm 和大气湍流强度为 $C_n^2=3.19 \times 10^{-15}$ 时, 链路余量 $LM=40$ dB。若要进行空中目标对水下 50 m 目标的蓝绿激光通信, 则应保证激光在水下的衰减小于 40 dB, 即相应海域的透明度应大于 5.295 m。

为研究黄海海域是否能进行水下 50 m 的激光通信, 本文绘制相应海域的激光透过率分布图如图 6~图 8 所示。

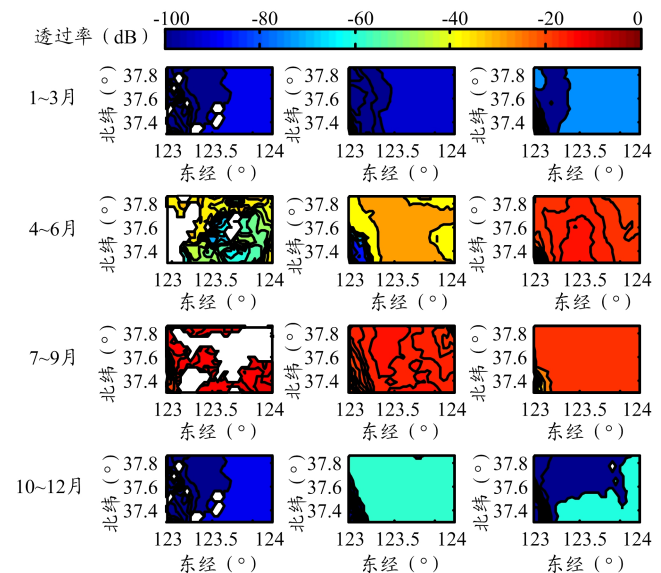


图 6 成山角海域水下 50 m 透过率

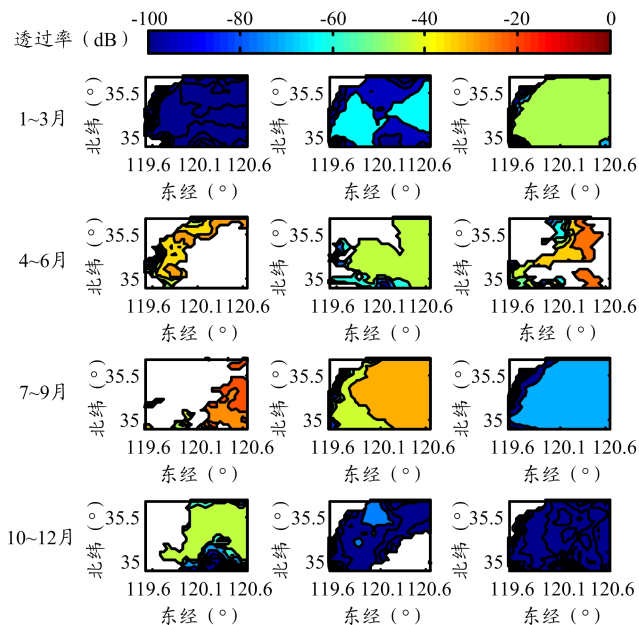


图7 海州湾海域水下 50 m 透过率

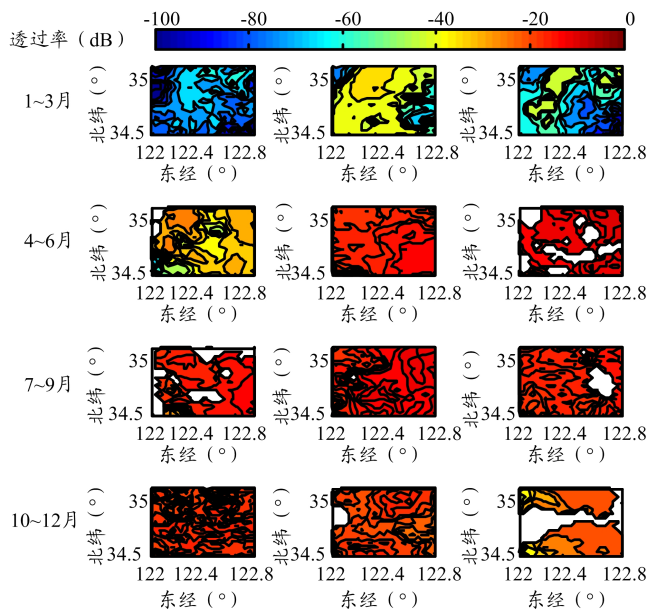


图8 黄海中心海域水下 50 m 透过率

从图 6~图 8 的透过率分布图可以看出,成山角海域 5~9 月远岸水下 50 m 透过率在 -40 dB 以内,可进行蓝绿激光通信;海州湾海域 4 月、6~8 月水下 50 m 透过率在 -40 dB 以内,可以进行蓝绿激光通信;黄海中心海域除 1 月和 3 月外,水下 50 m 透过率在 -40 dB 以内,可进行蓝绿激光通信。其中,5~11 月部分区域透过率在 -20 dB 以内,可尝试更深距离的蓝绿激光通信。

4 结束语

针对不同海域的海水对激光衰减存在差异,而目前对同类海水采用固定衰减系数计算,导致某些区域通信情况与理论计算不符的问题。本文选取了海水透明度作为参考量,基于 2016 年黄海透明度数据,利用反演模型计算了 532 nm 激光衰减系数,并估算了水下 50 m 的激光透过率,分析了成山角海域、海州湾海域和黄海中心海域的衰减系数时空分布特点,评估了相关海域 50 m 水下蓝绿激光通信的可行性。结果表明:透明度越高,衰减系数越小,传输距离一定时透过率越高,透明度大于 5.256 m 时可进行水下 50 m 激光通信;成山角海域与海州湾海域衰减系数整体上呈现近岸高远岸低的特点,且近岸衰减系数的季节性差异明显,夏季高冬季低,黄海中心海域衰减系数整体较低;成山角海域 5~9 月远岸区域可进行水下 50 m 激光通信;海州湾海域虽然全年水下激光衰减较为严重,但 4 月和 6~8 月远岸地区仍可达到水下 50 m 激光通信的条件;黄海中心海域除 1 月和 3 月外,均可进行 50 m 激光通信,并且 5~11 月部分海域由于衰减较小,可尝试更深距离的通信。

由于本文选取的透明度反演衰减系数模型是基于黄海、东海等二类水体得出的,在评估一类水体时可能会有较大误差,有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨虹. 蓝绿激光对潜通信光信道特性研究[D]. 成都:电子科技大学, 2008.
- [2] 张运林,秦伯强,陈伟民,等. 太湖水体透明度的分析、变化及相关分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003(2): 30-36.
- [3] 张绪琴. 海水透明度[J]. 海洋湖沼通报, 1982(4): 16-20.
- [4] ZANEVELD J R, PEGAU W S. Robust Underwater Visibility Parameter[J]. Optics Express, 2003, 11(23): 2997-3009.
- [5] 刘莲珍, 李武. 海中不同波长光衰减特性的研究 [J]. 黄渤海海洋, 1986(1): 30-35.
- [6] 李武, 梁懋钢, 陈涛. 海中准直光衰减系数与透明度盘深度的经验关系[J]. 海洋学报, 1993, 15(5): 130-135.
- [7] 王晓梅, 唐军武, 丁静, 等. 黄海、东海二类水体漫衰减系数与透明度反演模式研究[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 38-45.
- [8] 王积峰. 鄱阳湖水漫衰减系数及透明度遥感反演研究[D]. 赣江: 江西理工大学, 2018.
- [9] 吴婷婷. 中国近海水体漫衰减系数遥感反演[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2013.
- [10] 李松朗. 2016 年黄海透明度时空分布研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2017.