

# 高低海拔地区地面目标可见光对比度对比分析

邹前进，陈前荣，郝永旺，杨淼淼，刘连伟，姚梅

(洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 高低海拔地区气象环境迥异, 将对可见光目标背景对比度产生影响。通过分析高低海拔地区到达探测系统前目标可见光对比度随月份变化, 得到高海拔地区目标背景对比度优于低海拔地区。分析了高海拔地区太阳直射照度随气象参数变化、高低海拔地区辐射参数随月份的变化, 指出高海拔地区能见度是影响其目标背景对比度的主要因素。各个月份平均气象条件下高海拔地区目标背景亮度约为低海拔地区一倍以上, 将使得在低海拔地区使用的可见光探测系统直接饱和。

**关键词:** 可见光探测系统; 对比度; 高海拔; 实测气象数据

中图分类号: P422 文献标志码: A 文章编号: 1001-8891(2016)11-0935-04

## Comparative Analysis of Visible Contrast between High and Low Altitude

ZOU Qianjin, CHEN Qianrong, HAO Yongwang, YANG Miaomiao, LIU Lianwei, YAO Mei

(Luoyang Electronic Equipment Test Center, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** There are great differences of the meteorological conditions between high and low altitude. The meteorological conditions have an impact on the visible contrast between target and its background. The visible contrast between target and its background at high and low altitude changed monthly, which were analyzed at first. The results show that the visible contrast between target and its background at high altitude is superior to which at low altitude. And then, the solar irradiance with monthly meteorological conditions at high and low altitude is simulated. The path irradiance and transmission with monthly meteorological conditions at high and low altitude was calculated. It points out that good visibility is the major factor in visible contrast calculation. Through contrastive analysis, the calculated results show that the brightness of different meteorological conditions at high altitude has more than double, and the visible detecting system will be saturated.

**Key words:** visible detecting system, contrast, high altitude, measured meteorological data

## 0 引言

利用可见光进行目标探测, 是高技术战争中获取战场信息的重要手段之一<sup>[1]</sup>。在可见光波段, 目标物体辐射主要来自于其本身对可见光的反射<sup>[2]</sup>。而在户外成像过程中, 由于受到大气分子和气溶胶粒子的吸收和散射, 太阳直射、天空背景散射等受气象环境参数的影响十分严重<sup>[3]</sup>。当前分析大气光学参数对成像质量的影响、建立图像退化的光学模型<sup>[3-5]</sup>和建立各阶段物理效应模型是研究热点<sup>[6-9]</sup>。

高海拔地区气候具有昼夜温差大、大气压强低等特点, 开展高海拔和低海拔地区气象环境对目标和背景影响对比分析, 对可见光军事探测设备的设计、使

收稿日期: 2015-10-17; 修订日期: 2016-03-07。

作者简介: 邹前进 (1982-), 男, 硕士, 从事光电对抗方面研究。E-mail: zouqianjin1982@163.com。

基金项目: 总装预研基金项目。

用和仿真等具有重要意义。本文结合实测的高海拔和低海拔地区整年月平均压强、温度、湿度和能见度等气象数据, 对比分析了高低海拔地区到达可见光探测系统前目标背景对比度变化, 并分析了产生不同变化的原因。

## 1 目标背景传输分析

目标与背景之间的对比度是探测系统所能获得的最终特征, 通过对目标与背景的对比度进行分析, 将目标与背景区分开来, 从而实现对目标的发现、识别和跟踪<sup>[9-10]</sup>, 目标和背景辐射传输过程如图1所示。因此, 对比度是目标探测与信息处理中的一个非常重要的参量, 也是探测系统发现和识别目标的基本依据。

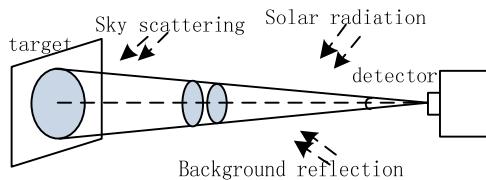


图1 目标背景辐射传输过程示意图

Fig.1 The radiative process of target and its background

在大多数的目标捕获模型中，在目标到探测系统前接收到的目标背景对比度定义如式(1)所示<sup>[9]</sup>:

$$C_s = \frac{I_{Ts} - I_{Bs}}{I_{Bs}} \quad (1)$$

式中:  $I_{Ts}$  和  $I_{Bs}$  分别为目标和背景辐射亮度:

$$I_{Ts} = I_T(s_0) \cdot \tau(s) + I_P(s)$$

$$I_{Bs} = I_B(s_0) \cdot \tau(s) + I_P(s)$$

式中:  $\tau(s)$  为路径透过率;  $I_p(s)$  为路径辐射;  $I_T(s_0)$  为零距离目标辐射;  $I_B(s_0)$  为零距离目标辐射背景。

由图 1, 可见光波段目标和背景辐射亮度主要来源于其表面对太阳直射、天空背景散射和地物阳光反射等辐射的反射。典型情况下平原地区地面附近太阳直射照度为  $100\sim300\text{ W m}^{-2}$ , 高原地区地面附近太阳直射照度甚至可达  $400\text{ W m}^{-2}$ , 远大于天空背景散射和地物阳光反射, 因此本文使用下式(2)计算目标和背景零距离处辐射亮度:

$$I(s_0) = \frac{E_{\text{sun}}}{\pi} \cdot \rho \quad (2)$$

式中:  $I(s_0)$  为零距离目标或背景辐射亮度;  $E_{\text{sun}}$  为太阳直射照度;  $\rho$  为目标或背景反射率。

定义  $C(s_0)$  为零距离情况下固有对比度, 此时路径透过率为 1, 路径辐射为 0, 形式如式(1)。假定目标和背景为朗伯体时, 目标和背景的固有对比度主要取决于目标和背景的反射率。则经推导对比度式(1)可表示为下式(3):

$$C(s) = \frac{C(s_0)}{1 + \frac{I_p(s)}{I_B(s_0)} \frac{1}{\tau(s)}} \quad (3)$$

式中各参数与上式相同。

气象条件主要影响太阳直射、路径辐射、路径透过率等, 导致目标背景对比度变化。

## 2 不同海拔地区可见光目标背景分析

### 2.1 不同海拔地区可见光对比度随月份变化

在获得不同海拔地区气象参数情况下, 太阳直射、天空背景散射、路径背景辐射和路径透过率等参数可借助各种大气辐射传输模型或软件进行计算获得。本文选择 MODTRAN4.0 来计算太阳辐射、背景

辐射、路径辐射和路径透过率等。

假定高海拔和低海拔地区目标、背景的反射率一致,  $C(s_0)$  为 0.5。仿真参数为: 高低海拔地区海拔高度分别为: 4416 m 和 124 m; 气溶胶类型为中纬度乡村气溶胶模式; 时间取每月 21 日上午 9 时; 气象条件为高海拔和低海拔地区 2014 年月平均温度、湿度、压强和能见度实测值。由式(3), 5 km 处目标背景对比度随月份变化如图 2 所示。

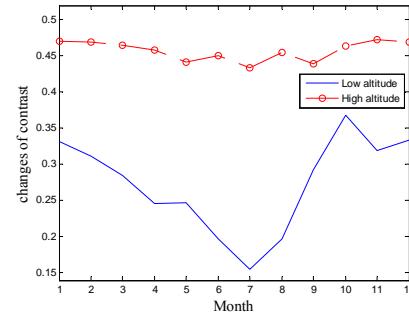


图2 高低海拔地区目标背景对比度随月份变化

Fig.2 The monthly contrast at high and low altitude

由图 2 可以看出, 高海拔地区目标和背景可见光对比度下降程度远小于低海拔地区。

### 2.2 气象条件影响分析

图 3 给出了高低海拔地区某一时刻, 太阳照度随气象参数的变化。仿真过程中, 当改变某一参数时, 其他参数使用当地实测数据。

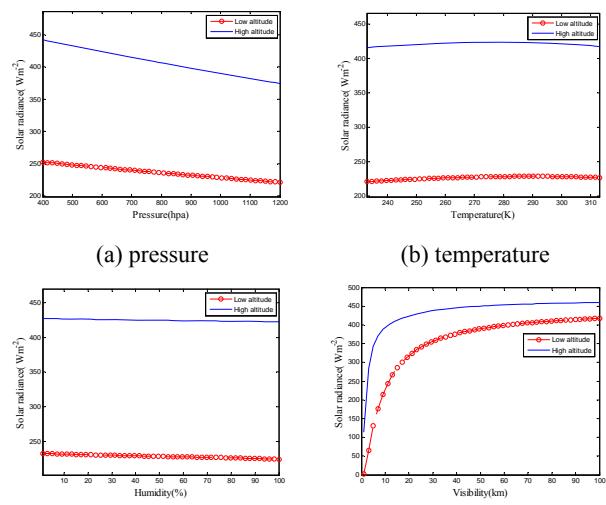


图3 高低海拔地区太阳照度随气象条件变化

Fig.3 The solar irradiance with meteorological conditions at high and low altitude

由图 3 可知, 温度和湿度对太阳直射影响较小。统计实测数据显示高海拔地区大气压在 600 hPa 左右; 低海拔地区大气压强在 1000 hPa 左右, 波动范围约几十百帕, 则压强对太阳直射影响较小。由图 3(d), 太阳照度随能见度变化较为剧烈, 但能见度在 20 km

后, 太阳照度变化较为平缓。典型情况下, 低海拔地区能见度一般为5~25 km, 处于太阳直射照度剧烈变化区域; 高海拔地区能见度高达20~50 km, 处于太阳直射照度平缓区域。所以高低海拔地区能见度的差异是影响可见光波段目标背景对比度的主要原因。

图4给出了高海拔和低海拔地区太阳直射、天空背景辐射、路径辐射和路径透过率随月份的变化。

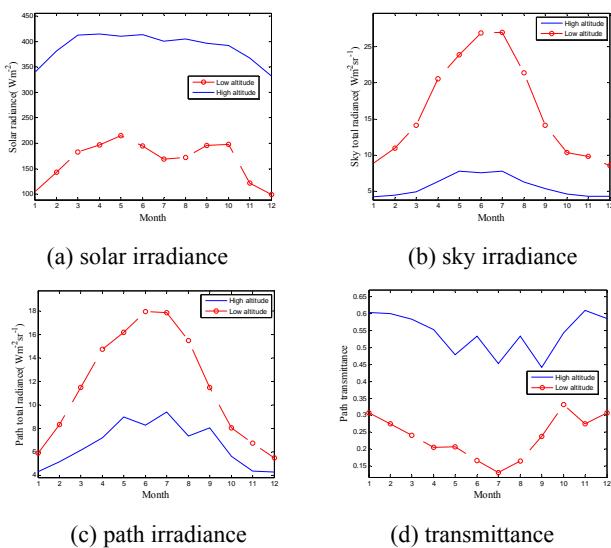


图4 高低海拔地区不同参数计算结果随月份变化

Fig.4 The monthly calculated parameters at high and low altitudes

由图4, 由于能见度较高, 高海拔地区路径透过率大于低海拔地区、天空背景辐射和路径辐射小于低海拔地区共同造成了高海拔地区目标背景对比度优于低海拔地区; 作为主要辐射源, 高海拔地区太阳直射照度是低海拔地区两倍, 使得高海拔地区目标和背景辐射远大于低海拔地区, 将对可见光探测系统目标探测产生影响。

### 2.3 小结

通过分析高低海拔地区目标背景可见光波段对比度变化可以看出: 高海拔地区到达光学系统前目标和背景对比度优于低海拔地区。主要原因是: 高海拔地区不同月份平均能见度优于低海拔地区。但上述分析建立在高低海拔地区目标、背景的辐射均处于探测系统线性范围内, 同时未考虑探测系统背景噪声和光学系统杂散辐射等。由上述计算: 各个月份平均气象条件下, 高海拔地区目标和背景亮度约为低海拔地区一倍以上, 将使得在低海拔地区正常使用的可见光探测系统直接饱和。所以高海拔地区使用的可见光探测系统需考虑加装衰减装置和杂光抑制手段。

## 3 结论

本文对高低海拔地区到达探测系统前目标可见光对比度随月份变化进行了分析。通过分析高低海拔

地区太阳直射照度随气象参数变化、高低海拔地区太阳直射、路径辐射和透过率等随月份的变化, 指出高海拔地区良好的能见度是造成高海拔地区目标背景对比度优于低海拔地区的主要原因。但高海拔地区目标背景亮度约为低海拔地区一倍以上, 将使得在低海拔地区正常使用的可见光探测系统直接饱和, 高海拔地区使用可见光探测系统需考虑加装衰减装置和杂光抑制手段。

本文研究结果对可见光探测系统高海拔应用和设计具有参考意义。但需要进一步开展高原强可见光背景辐射、低温和低压等对可见光探测系统响应的影响效应研究。

### 参考文献:

- [1] Huschke R E. Atmospheric visual and infrared transmission deduced from surface weather observation[M]. New York: The Rand corporation, 1976: 16-28.
- [2] Bailey H H. Target detection through visual recognition and quantitative model[M]. New York: The Rand corporation, 1970: 32-36.
- [3] D Sadot, N S Kopeika. Imaging through the atmosphere: practical instrumentation-based theory and verification of aerosol modulation transfer function[J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1993, **10**(1): 172-179.
- [4] N. s. Kopeika, T. Sheayik, Z. Givati, et al. Restoration of satellite image based on atmospheric MTF[C]//Proc. of SPIE, 1996, **2817**: 106-117.
- [5] N. s. Kopeika. Aerosol modulation transfer function:an overview[C]//Proc. of SPIE, 1997, **3125**: 214-225.
- [6] Y Yitzhaky, I Dror, N S Kopeika. Restoration of atmospherically blurred images according to wether predicted atmospheric modulation transfer function[J]. *Optical Engineering*, 1997, **36**(11): 3064-3072.
- [7] 宁殿艳. 星载推扫型红外传感器建模与仿真[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008: 3-5.
- NING Dianyan. Modeling and simulation of spaceborne pushbroom infrared imaging sensor[D]. Xi'an: Xidian University, 2008: 3-5.
- [8] 吴振森, 窦玉红. 空间目标的可见光散射与红外辐射[J]. 光学学报, 2003, **23**(10): 250-254.
- WU Zhensen, DOU Yuhong. Visible light scattering and infrared radiation of spatial object[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(10): 250-254.
- [9] 张建奇, 王晓蕊. 光电成像系统建模及性能评估理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010: 312-320.
- ZHANG Jianqi, WANG Xiaorui. *The technology on modeling and performance evaluation of electro-optical imaging system*[M]. Xi'an: XiDian University Press, 2010: 312-320.
- [10] 蔡明, 田昌会, 杨百愚, 等. 探测天顶角与太阳天顶角对卫星探测的影响[J]. 红外技术, 2014, **36**(3): 221-224.
- CAI Ming, TIAN Changhui, YANG Baiyu, et al. Effect of the detective zenith and solar zenith angle on satellite-borne infrared detection[J]. *Infrared Technology*, 2014, **36**(3): 221-224.