

文章编号: 1007-5461(2004)01-0092-06

大气、地表条件对目标-背景对比度的影响分析

王毅, 范伟, 饶瑞中

(中国科学院安徽光学精密机械研究所大气光学研究室, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 本文利用辐射传输软件包 MODTRAN, 详细分析了大气模式、地表状况以及气溶胶模式等诸多参数对 $0.43\sim 0.75\ \mu\text{m}$ 波段范围内的目标背景对比度的影响, 主要结果为: ①季节变化给目标识别带来一定程度的影响, 在同一种大气模式下, 在冬季比在夏季更容易识别目标, 但是季节变化仅改变 C 的大小, 且变化幅度较小; ②不同的大气模式下的 C 值随波长变化的分布形式发生变化, 纬度较高的大气模式下 C 值较大, 或者变化趋势较为明显; ③地面反照率对 C 值的影响较小, 同一波长对应的对比度的相对变化较小; ④气溶胶模式的变化不仅影响 C 值的大小, 而且改变了 C 值随波长的分布情况, 但是这种影响与其他影响因素相比是很小的。

关键词: 大气光学; 目标-背景对比度; 辐射传输; MODTRAN

中图分类号: P422 **文献标识码:** A

1 引言

目标-背景对比度是目标可识别的判定标准之一, 在空间目标识别领域内有广泛的应用, 可根据大气辐射传输方程求解。此前我们根据 δ -Eddington 近似和计算精度较高的离散纵标法 DOM (Disort Ordinate Method), 计算了 $0.55\ \mu\text{m}$ 波长上黑体目标的目标-背景对比度, 并分析了多种因素对目标-背景对比度的影响^[1,2]。然后又根据辐射传输软件包 MODTRAN 计算了在典型大气条件下的目标-背景对比度^[3], 对 δ -Eddington 近似和 DOM 计算结果进行了验证, 并且详细分析了从可见光到红外波段上目标背景对比度的变化^[3]。但是在我们前期的工作中仍然忽略了很多影响因素, 例如只考虑了在一种典型大气模式(标准大气模式)下的情况, 均取乡村气溶胶模式以及水平能见度为 23 km 的情况等等, 仍然有很多对目标识别造成影响的因素需要考虑。本文正是基于这种目的, 利用 MODTRAN 详细分析了在多种大气、地表条件下目标-背景对比度的变化。

2 计算原理

经辐射传输方程的推导结果可知^[1~3], 目标-背景对比度只与目标处测得的背景辐射亮度和观测者所看到的目标亮度的比值 L , 以及观察路径的透过率 T 有关:

$$C = L \cdot T, \quad (1)$$

这里 C 为目标背景对比度。计算过程的各参数之间的关系如图 1 所示: 大气层顶处的光学厚度 $\tau = 0$, 目标所在处 $\tau = \tau_1$, 地面处 $\tau = \tau_0$ 。观察者的天顶角为 θ , 太阳的天顶角为 θ_0 。观察者的方位角为 φ , 太阳的方位角为 φ_0 。

收稿日期: 2003-09-25; 修改日期: 2003-10-21

E-mail: ywang@aiofm.ac.cn

在本文的计算分析中, 选取高度为 5 km 处的绝对黑体目标, 用 MODTRAN^[3,4] 分别讨论了影响目标背景对比度的因素。

3 大气模式的影响

在不同的大气模式下, 由于季节和经纬度等条件均发生变化, 我们推测目标背景对比度也会发生相应的变化。根据我们以前对 C 随波长变化关系的结论^[3], 可知在可见光波段 ($0.43\sim 0.75\ \mu\text{m}$) C 随大气模式的变化关系比较明显, 没有大的起伏变化, 因此我们利用 MODTRAN 计算分析了该波段上大气模式的变化对 C 的影响。具体计算参数为:

$\theta = 0^\circ, \theta_0 = 75^\circ, |\varphi - \varphi_0| = 90^\circ$, 地面情况为有植被覆盖的情况, 不考虑云的影响, 选取乡村气溶胶模式, 计算结果如图 2、3、4 所示。

图 2 为中纬度夏季和中纬度冬季大气模式下, C 随波长变化的关系曲线的比较。由图 2(a) 可知, 中纬度冬季的 C 大于相应的中纬度夏季的 C , 但是 C 随波长变化的趋势并不改变, 其变化幅度也较小。图 2(b) 为在中纬度冬季与中纬度夏季大气模式下透过率随波长的变化关系。由图可知, 目标背景对比度与透过率的变化关系基本相似, 并且在中纬度大气模式下, 冬季的透过率高于夏季的透过率。图 2(c) 为两种大气模式下目标与背景的亮度的比值 L 随波长变化的关系曲线, 图中中纬度冬季的亮度比值高于中纬度夏季模式下的比值。由此我们推测, 由于目标与背景亮度对比在冬季较高, 因而在冬季识别目标较为容易。同样, 在图 3 中, 副极地冬季的 C 大于副极地夏季大气模式下的 C , 因而也可推测出在冬季比在夏季更容易识别目标的。从上述分析中我们得到结论: 季节变化给目标识别带来一定程度的影响, 但是在同一大气模式下, 季节变化仅改变了 C 的大小, 且变化幅度较小。

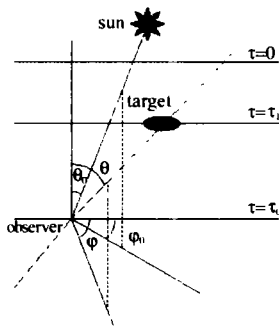


Fig.1 The geometry of radiative transfer

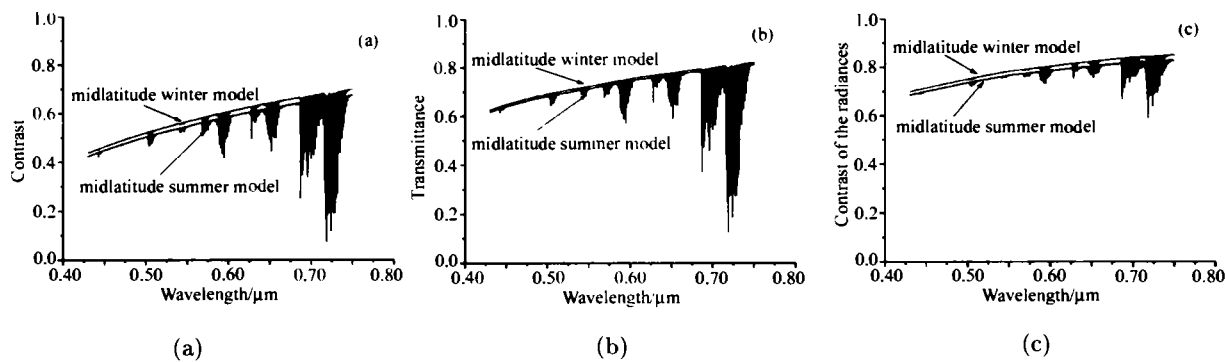


Fig.2 The relation between C and wavelength under the midlatitude atmospheric models

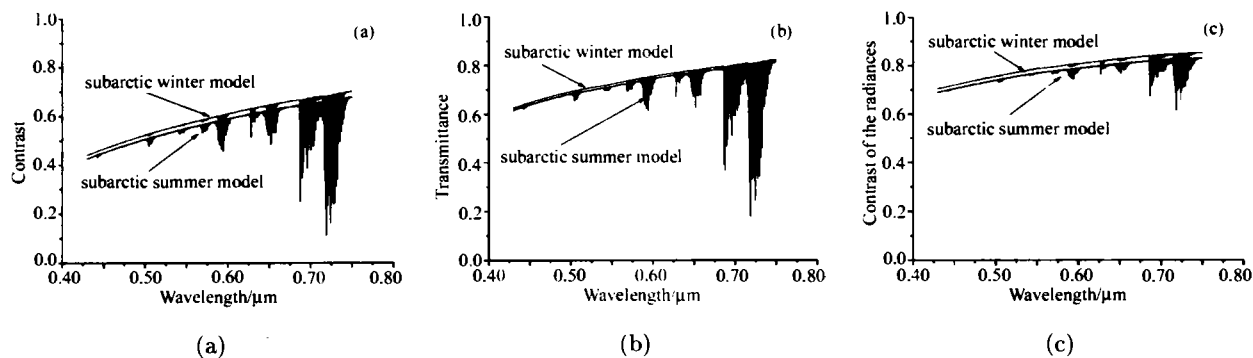


Fig.3 The relation between C and wavelength under the subarctic atmospheric models

图 4 为标准大气模式、热带、中纬度夏季、中纬度冬季、副极地夏季和副极地冬季大气模式情况下的 C 的变化情况。如图所示, 大气模式的变化并不影响 C 随波长的变化趋势, 而只对 C 的大小有影响, 在各种大气模式下 C 的变化差异并不显著, 几条关系曲线几乎重叠在一起。这与图 2、3 所得出的结论是一致的。在图 4(b) 中为在 C 变化比较平缓的区域 ($0.455 \sim 0.470 \mu\text{m}$) 的情况, 可看出: 副极地冬季的 C 值在所考虑的大气模式中相对较大, 热带大气模式下的 C 相对较小, 因而也说明了冬季比夏季的 C 值高。由图可见, 相同季节条件下, 同一波长下副极地冬季比中纬度冬季的 C 值大, 副极地夏季比中纬度夏季的 C 值大, 说明高纬度比低纬度的情况下的 C 值高。

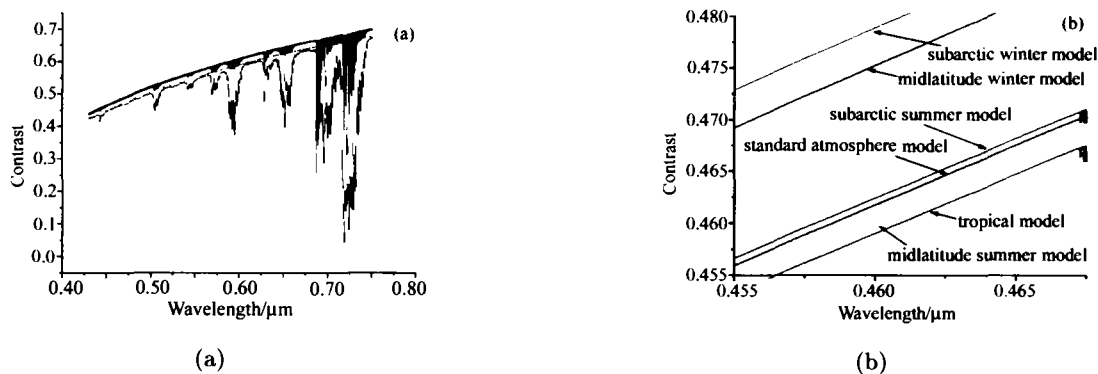


Fig.4 The relation between C and wavelength under different atmospheric models

我们计算过程中的一些具体计算数据如表 1 所示。从数据中可看出副极地冬季的 C 值在所考虑的大气模式中相对较大, 其次为中纬度冬季。而其他大气模式下 C 值的变化较为接近: 副极地夏季的 C 值大于相应的中纬度夏季、热带和标准大气模式下的 C 值。标准大气模式下的 C 值大于热带和中纬度夏季大气模式的 C 值; 中纬度夏季的 C 值大于相应波长的热带大气模式的 C 值。

通过以上对图形的描述和对数据的分析, 不同的大气模式下的 C 值随波长变化的分布发生变化, 纬度较高的大气模式下 C 值较大; C 值随季节变化而变化, 在冬季比在夏季大, 并且变化幅度较小。

4 地表及地面反照率的影响

在实际大气条件下, 由于地面反照率对目标和背景亮度的影响, 目标背景对比度 C 也受到地面反照率的影响。我们首先计算了在 $0.55 \mu\text{m}$ 波长上地面反照率与 C 的关系, 如图 5 所示。具体计算参数为: $\theta = 30^\circ, \theta_0 = 60^\circ, |\varphi - \varphi_0| = 90^\circ$, 不考虑云的影响, 选取乡村气溶胶模式。由图示关系可知, 随着地面反照率的增加, C 只有微小的变化, 其变化趋势为随着地面反照率的增加而减小。

在 MODTRAN 的实例中只有 Vegetation(有植被覆盖的情况, 在可见光范围内为 $0.02 \sim 0.8$)^[4] 在可见光范围内, 按照 Vegetation A、B、C 计算得到的 C 与波长的关系如图 6 所示。由于三种情况下的地面反照率值相差很小, 因而在图中重叠而无法分辨。在有植被覆盖的情况且地面反照率不同的情况下, C 值的变化很小, 从计算数据中比从图形中更易于分析其变化关系。我们具体计算数据如表 2 所示。表 2 中给出了在不同波长上的地面反照率及其对应的 C 值。由数据分析可以看出, 在可见光波段范围内, 地面反照率随着波长的变化而相应变化, 随着地面反照率的增加, C 值减小。

5 气溶胶模式的影响

不同的气溶胶模式下, 目标和背景亮度均受到影响, 目标背景对比度 C 也会发生相应的变化。为研究气溶胶模式对目标背景对比度的影响程度, 我们计算了几种典型气溶胶模式下 C 随波长的变化关系。

在计算中采用标准大气，具体计算参数为： θ 为 30° ， θ_0 为 60° ， $|\varphi - \varphi_0| = 90^\circ$ ，地面情况为有植被覆盖的情况，波段范围为 $0.43 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 。

表 1 在各种具体大气模式下目标背景对比度 C 随波长的变化关系

| 波长 (μm) | 对比度 C | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 标准大气模式 | 热带大气模式 | 中纬度夏季 | 中纬度冬季 | 副极地夏季 | 副极地冬季 |
| 0.43 | 0.42479 | 0.42253 | 0.42273 | 0.43705 | 0.42562 | 0.44063 |
| 0.44 | 0.43757 | 0.43514 | 0.43542 | 0.45024 | 0.43836 | 0.45386 |
| 0.45 | 0.44993 | 0.44735 | 0.4477 | 0.46302 | 0.45067 | 0.46665 |
| 0.46 | 0.46177 | 0.45904 | 0.45946 | 0.47526 | 0.46244 | 0.4789 |
| 0.47 | 0.47294 | 0.46968 | 0.47029 | 0.48693 | 0.47343 | 0.49065 |
| 0.48 | 0.4841 | 0.48113 | 0.48167 | 0.49836 | 0.48464 | 0.50197 |
| 0.49 | 0.49469 | 0.49158 | 0.49221 | 0.50935 | 0.49517 | 0.51293 |
| 0.50 | 0.50476 | 0.50156 | 0.50222 | 0.51979 | 0.50516 | 0.52333 |
| 0.51 | 0.51341 | 0.50838 | 0.50984 | 0.52916 | 0.51325 | 0.53289 |
| 0.52 | 0.52376 | 0.52037 | 0.52114 | 0.53956 | 0.524 | 0.543 |
| 0.53 | 0.53246 | 0.52901 | 0.52974 | 0.54857 | 0.53257 | 0.55197 |
| 0.54 | 0.53915 | 0.53228 | 0.53453 | 0.55635 | 0.53825 | 0.5602 |
| 0.55 | 0.54918 | 0.5453 | 0.54624 | 0.56612 | 0.54905 | 0.56941 |
| 0.56 | 0.55773 | 0.55407 | 0.55488 | 0.5748 | 0.55757 | 0.57803 |
| 0.57 | 0.56189 | 0.55095 | 0.5549 | 0.58054 | 0.55978 | 0.58493 |
| 0.58 | 0.57304 | 0.56765 | 0.56919 | 0.59075 | 0.57234 | 0.59423 |
| 0.59 | 0.56622 | 0.53271 | 0.54664 | 0.58993 | 0.55862 | 0.59797 |
| 0.60 | 0.58844 | 0.5837 | 0.58494 | 0.60654 | 0.58781 | 0.60976 |
| 0.61 | 0.59624 | 0.59229 | 0.59326 | 0.61448 | 0.59583 | 0.61749 |
| 0.62 | 0.60349 | 0.59942 | 0.60053 | 0.62205 | 0.60308 | 0.62498 |
| 0.63 | 0.5835 | 0.57734 | 0.57962 | 0.602 | 0.5825 | 0.60467 |
| 0.64 | 0.61701 | 0.61268 | 0.61406 | 0.63622 | 0.6166 | 0.63899 |
| 0.65 | 0.62282 | 0.61729 | 0.61927 | 0.64255 | 0.62212 | 0.64544 |
| 0.66 | 0.62934 | 0.62439 | 0.62617 | 0.64923 | 0.6288 | 0.65192 |
| 0.67 | 0.63555 | 0.63117 | 0.63275 | 0.65562 | 0.63515 | 0.65813 |
| 0.68 | 0.64125 | 0.63683 | 0.63848 | 0.66162 | 0.64085 | 0.66404 |
| 0.69 | 0.64241 | 0.63788 | 0.63966 | 0.66284 | 0.64198 | 0.66511 |
| 0.70 | 0.63276 | 0.59324 | 0.61019 | 0.66082 | 0.62332 | 0.66932 |
| 0.71 | 0.65374 | 0.64185 | 0.64688 | 0.67622 | 0.65147 | 0.67976 |
| 0.72 | 0.50216 | 0.35391 | 0.40745 | 0.56887 | 0.45312 | 0.62152 |
| 0.73 | 0.62471 | 0.56111 | 0.58683 | 0.66061 | 0.6066 | 0.67645 |
| 0.74 | 0.66727 | 0.65079 | 0.65796 | 0.69116 | 0.66422 | 0.69513 |
| 0.75 | 0.67754 | 0.67333 | 0.67495 | 0.69917 | 0.6772 | 0.70137 |

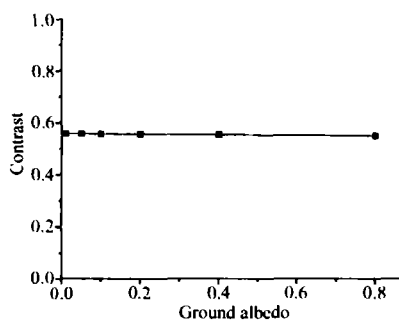


Fig.5 The relation between C and wavelength under different ground albedo

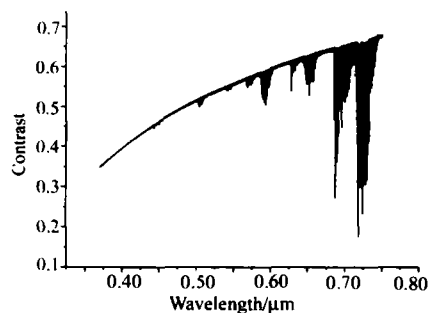


Fig.6 The relation between C and wavelength when the vegetation A, B, C are adopted as ground albedo

表 2 具体情况下地面反照率与目标背景对比度随波长变化的关系

| Wavelength | Vegetation A | | Vegetation B | | Vegetation C | |
|------------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| | Ground Albedo | Contrast | Ground Albedo | Contrast | Ground Albedo | Contrast |
| 0.45 | 0.275 | 0.46135 | 0.20 | 0.46183 | 0.03 | 0.46273 |
| 0.60 | 0.40 | 0.58500 | 0.28 | 0.58626 | 0.04 | 0.58875 |
| 0.70 | 0.50 | 0.60775 | 0.35 | 0.60863 | 0.05 | 0.61049 |

图 7(a) 为乡村气溶胶模式下, 水平能见度为 $V = 23 \text{ km}$ 和 $V = 5 \text{ km}$ 时 C 随波长变化的关系曲线。由图可知, 在 $0.37 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 波长范围内, 随着水平能见度的增加 C 增加, 说明随着水平能见度的增加, 目标易于识别, 这与我们前期工作中在 $0.55 \mu\text{m}$ 波长上计算的结果是一致的^[1,2]。图 7(b) 为乡村和海洋两种气溶胶模式下, $V = 23 \text{ km}$ 时 C 随波长变化的关系。由图示关系可知, 随着波长的增加, C 在乡村气溶胶模式下的变化趋势比在海洋气溶胶模式下更为显著, 两条曲线在 $0.52 \mu\text{m}$ 波长相交。图 7(c) 为乡村和城市两种气溶胶模式下, $V = 5 \text{ km}$ 时 C 随波长变化的关系。由图示关系可知, 随着波长的增加, C 在乡村气溶胶模式下的变化趋势比在城市气溶胶模式下更为显著, 乡村气溶胶模式下的 C 值始终大于城市气溶胶模式下的 C 值。

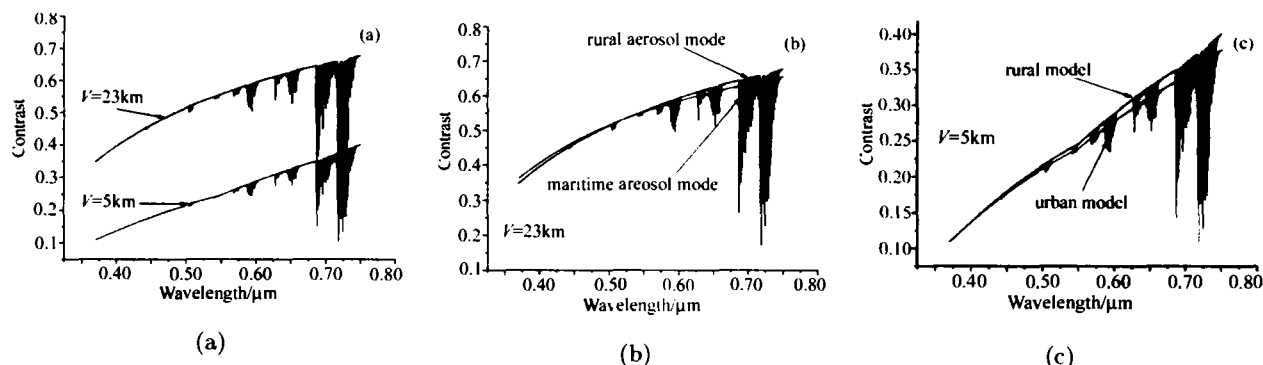


Fig.7 The relation between C and wavelength under different aerosol models

通过上文分析可知, 气溶胶模式对 C 的影响, 不仅改变了 C 值的大小, 而且改变了其随波长的分布情况, 但是这种影响与其他影响因素相比是很小的。相比之下, 水平能见度对 C 值的影响比不同气溶胶模式的影响更为强烈。

5 结 论

本文分析了多种大气模式、气溶胶模式以及地面情况对目标背景对比度的影响, 主要结果如下:

1) 季节变化给目标识别带来一定程度的影响, 在同一种大气模式下, 冬季比夏季更容易识别目标, 但是季节变化仅改变了 C 的大小, 变化幅度较小。

2) 在不同的大气模式下的 C 值随波长变化的分布发生变化, 在纬度较高的大气模式下 C 值较大, C 值随季节变化, 冬季比夏季大; 变化幅度较小。

3) 随着地面反照率的增加, C 值减小, 但是地面反照率对 C 值没有显著的影响, 同一波长下不同地面反照率的 C 值变化很小。

4) 气溶胶模式的改变不仅改变了 C 值的大小, 而且改变了其随波长的分布情况, 但是这种影响与其他影响因素相比是很小的。

参考文献:

- [1] Wang Yi, Fan Wei, Rao Ruizhong. The slant visibility: multi-factor analysis [J]. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 2003, 15(11): 945-950 (in Chinese).
- [2] Wang Yi, Fan Wei, Rao Ruizhong. The analysis of the target-background contrast by numerical radiative transfer computation [J]. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 待发表 (in Chinese).
- [3] Wang Yi, Fan Wei, Rao Ruizhong. The analysis of the target-background contrast under a typical atmospheric condition [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (红外与毫米波学报), 待发表 (in Chinese).
- [4] Berk A, Anderson G P, Acharya P K, et al. *MODTRAN₄ User's Manual* [M]. Air Force Research Laboratory Space Vehicles Directorate Air Force Materiel Command Hanscom AFB, MA 01731-3010, 1999. 7.

Effect of Atmospheric and Ground Condition on the Target-background Contrast

WANG Yi, FAN Wei, RAO Rui-zhong

(Laboratory for Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The problem about target discretion is very important in many applications. In this paper, detailed research about the effects under some typical atmospheric and ground conditions on the target-background contrast at $0.43\sim 0.75\ \mu\text{m}$ computed by the software package-MODTRAN has been carried out. And the results are provided as following description: the numerical values of contrast present subtle variety according to the seasons shift, and it is easier to identify targets in winter than in summer; both the numerical values and the distribution with wavelength of contrast present alternation according to the atmospheric models; similarly, the aerosol models affect both the numerical values and the distribution with wavelength of contrast.

Key words: atmospheric optics; contrast; radiative transfer; MODTRAN

作者简介: 王毅 (1975, 4-), 女, 博士研究生, 从事大气光学研究。