

紫外波段大气背景与目标特性研究

王淑荣, 曲 艺, 李福田

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要: 基于太阳紫外辐射在大气中散射模式理论, 对紫外波段大气传输与背景变化进行了分析。分析了紫外辐射在不同波段与高度下, 大气水平与垂直两个方向的传输特性。分析了不同波段的大气背景变化, 以及不同季节、地理位置、地表反射率和气溶胶类型对大气背景的影响。

关键词: 紫外; 大气; 传输; 背景

中图分类号: TN23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2007)增(探测与制导)-0433-03

Study of atmospheric background and target characteristic in ultraviolet band

WANG Shu-rong, QU Yi, LI Fu-tian

(SKLAO of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: Based on model of atmospheric scattering with ultraviolet band. An analysis was made about atmosphere transmission and background. The transmission curves in atmospheric horizontal and vertical directions were achieved. The simulation calculations of the solar backscattered atmospheric spectral radiance were also made under the different conditions.

Key words: Ultraviolet; Atmosphere; Transmission; Background

0 引言

由于高灵敏度紫外探测器件研制取得的突破, 对紫外波段的研究日益广泛。探测仪器从光谱到成像光谱; 探测的环境从地面到机载、到星载。紫外探测技术向着多波段全方位的方向发展, 已经应用于军事、空间天文、环境监测、工业生产等许多领域中, 如空间探测、导弹预警、灾害天气预报、电晕放电探测、水质检测等^[1-5]。

大气层对太阳辐射的作用是吸收和散射。一方面大气层吸收了部分太阳辐射能, 使到达地球表面的直射阳光减弱。另一方面, 大气气体分子和不同密度、颗粒尺寸的悬浮颗粒将部分太阳辐射反射回空间或

散射偏离太阳直射方向。这些散射介质之间以及散射介质和地表之间进行了多次散射, 构成了分布不均匀的天空向下和向上的散射辐射。使得不同的探测波段、探测高度, 大气的透射和背景迥然各异。因此需要对大气传输与背景进行仔细分析比较, 才能选择合适的探测波段与方案。

1 紫外辐射大气传输特性理论分析

大气对紫外线传输产生影响的主要因素有: 氧分子的吸收、臭氧分子的吸收、瑞利散射、气溶胶的吸收和散射。在波长 200~300 nm 的紫外辐射区, 氧有很强的吸收带。在 250 nm 以上, 氧的吸收效应同其

他衰减效应相比已不明显。臭氧是大气中吸收紫外辐射的重要气体, 臭氧主要分布在 10~50 km 高度层, 极大值在 20~25km 高度层。臭氧在 253 nm 附近有强吸收带。瑞利散射可描述为大气分子和原子对电磁波的弹性散射, 发生在粒子的半径比指定波长小得多的情况下。因为单个分子和原子的直径为 1~10 nm 量级, 对波长 200~300 nm 波段的紫外辐射, 瑞利散射是一种较强的机制。气溶胶是悬浮于大气中的固体或液体粒子, 包括水滴、冰晶、灰尘微粒、各种凝结核。气溶胶对紫外的衰减包括吸收和散射两种过程, 但吸收比散射弱得多。

1.1 太阳紫外辐射在大气中的散射模式

在波长短于 290 nm 的波段, 由于臭氧吸收较强, 太阳辐射几乎被 30 km 以上的大气成分完全吸收, 这些波段的后向散射辐射可认为遵从瑞利单次散射。然而, 在较长波段太阳入射辐射穿过平流层到达对流层, 将发生多次散射, 并受到云、气溶胶、地表反射的影响。下面对两种散射模型进行简要的介绍。

1.1.1 单次散射模型的辐射传输方程^[6]

在考虑只有瑞利散射和臭氧吸收的情况下, 单次散射成分 I_{ss} 表示如下:

$$I_{ss} = F_{\lambda} \frac{\beta_1 P(\theta)}{4\pi} \int_0^{p_0} \exp[-S_x(p)\alpha_{\lambda} X(p) - S_p(p)\beta_{\lambda} p] dp \quad (1)$$

式中: $S_x(p)$ 为整层臭氧光学路径; $S_p(p)$ 为整层大气光学路径。对于星下点观测有 $S_x(p) = S_p(p)$, 对地球

球形大气进行球面订正有:

$$S_x(p) = \frac{1}{x(p)} \int_0^{z(p)} \sec[\theta(Z')] \frac{dX_{z'}}{dZ'} dZ' \quad (2)$$

$$S_p(p) = \frac{1}{p} \int_0^{z(p)} \sec[\theta(Z')] \frac{dP_{z'}}{dZ'} dZ' \quad (3)$$

$$\theta(z') = \sin^{-1} \left[\frac{R - z(p)}{R + z(p)} \sin \theta_0 \right] \quad (4)$$

F_{λ} 为太阳地外入射辐射; β_{λ} 为瑞利散射系数; $P(\theta)$ 为散射相函数; p_0 为反射面气压; α_{λ} 为臭氧吸收系数; $X(p)$ 为大气臭氧含量; P 为气压。

1.1.2 多次散射模型的辐射传输方程^[7]

大于 290 nm 波段的太阳辐射穿过大气平流层, 可到达大气对流层, 后向散射辐射的计算必须考虑地

表反射、云和气溶胶的米散射等。由于它们对散射辐射的影响变化很大而且没有精确的参数化表示方法, 在处理时应用了 Dave 在 1977 年引入的朗伯等效反射率的概念。即计算后向散射时认为散射发生在只有臭氧和瑞利散射而没有米散射的理想大气环境中, 大气下边界是不透明的朗伯表面, 其反射率为 R , 气压为 P_0 , 也就是前述的等效反射率和等效气压。多次散射用查表法。地表反射用 339.8 nm 波段辐射求得。具体方法: 利用 Dave 在 1964 年给出的辐射传输辅助方程求解, 反射率为 R 的朗伯表面后向散射强度 I 为:

$$I = I_0 + \frac{RT}{1 - RS_b} \quad (5)$$

式中: I_0 、 T 、 S_b 均为臭氧吸收系数 α 、瑞利散射系数 β 、等效气压 P_0 、太阳天顶角 θ_0 、大气臭氧廓线 $X(P)$ 的函数。首先建立 I_0 、 T 、 S_b 对 P_0 、 θ_0 、 $X(P)$ 的参照表, 然后利用 339.8 nm 求得的 R 和 P_0 , 通过上式求得后向散射强度 I , 减去 I_{ss} 得到 I_{msr}

2 大气传输特性分析

大气对紫外信号的吸收和散射, 与信号源的波段和高度密切相关。这将直接影响探测器的有效探测距离。首先, 给出了紫外信号源在不同高度下, 大气垂直方向传输特性曲线, 见图 1。计算参数为中纬度夏季, 乡村型气溶胶。信号高度由地面 1~60 km, 紫外波段 200~400 nm。

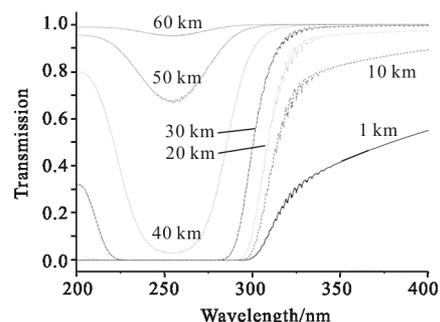


图 1 不同高度紫外辐射大气垂直方向透射曲线
Fig.1 Ultraviolet transmission in atmosphere vertical direction with different source height

对于 300~400 nm 波段, 当信号高度超过 30 km 后, 大气的影 响基本消失; 对于 200~300 nm 波段, 则需要信号源的高度超过 60 km 以上, 这主要是由于

臭氧分布在 10~50 km 高度左右, 超过了这个高度, 大气中的臭氧急剧下降, 因此对 200~300 nm 波段的影响也基本消失。

下面给出不同高度紫外辐射大气水平传输特性曲线。计算参数为中纬度夏季, 乡村型气溶胶。信号高度为 1~50 km, 紫外波段 200~400 nm。图 2 为 2 km 传输距离透射曲线。

在地表由于大气稠密且臭氧浓度低, 在 200~400 nm 波段范围都存在透射; 随着高度的增加, 大气分子密度降低, 臭氧浓度增加, 300~400 nm 透射增加, 而 200~300 nm 透射迅速降低; 超过 50 km 高度后, 大气分子密度稀疏, 臭氧浓度下降, 200~300 nm 透射开始快速增加, 300~400 nm 透射率接近 1。

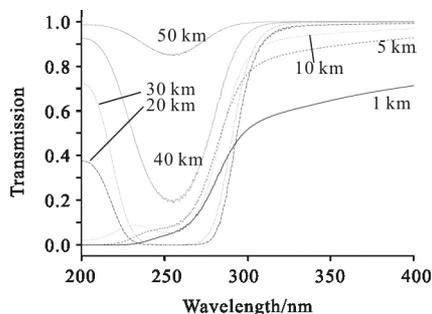


图 2 不同高度紫外辐射大气水平方向透射曲线

Fig.2 Ultraviolet transmission in atmosphere horizontal direction with different source height

3 大气背景辐射曲线

大气背景辐射研究对于紫外探测是十分重要的(如图 3 所示)。环境监测中大气背景辐射的变化,

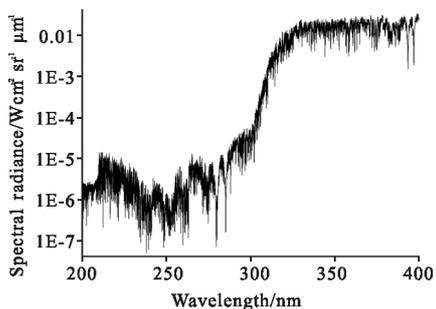


图 3 大气辐射光谱辐亮度曲线

Fig.3 Atmosphere spectral radiance curve

将决定探测器的动态范围; 对于导弹, 想要在大气背景中对潜在目标进行识别, 就要考虑目标的辐射特性与大气背景辐射之间的关系。对于地表处的大气背景辐射, 已有相关的文献进行了介绍^[8], 文中则主要介

绍星载探测条件下, 不同波段的大气背景辐射变化, 以及不同季节、地理位置、地表反射率变化对大气背景影响。并总结了它们之间的变化规律, 为星载探测提供理论依据。图 3 为中纬度夏季, 乡村型气溶胶, 地面为农场地形, 天顶角为 50°情况下, 大气背景辐射的光谱辐亮度曲线。

同时模拟计算了不同季节、地理位置、天顶角、地面反射率、不同波段大气紫外光谱辐亮度, 得到以下结论: 假设仪器从 100 km 以上的高空向地面垂直观测, 随太阳天顶角的增加, 辐射传输距离变长, 大气紫外光谱辐亮度逐渐下降。地面反射率对 300~400 nm 大气辐亮度的影响较明显, 随地面反射率的增加, 大气紫外光谱辐亮度逐渐增加, 但 200~300 nm 大气辐亮度由于受臭氧影响严重, 不受地面反射率的影响。无云条件下的大气紫外光谱辐亮度明显低于有云的情况。各种大气条件下, 大气紫外光谱辐亮度在 290~320 nm 光谱范围内变化较剧烈, 约有 3 个量级的起伏; 小于 300 nm 的太阳辐射, 由于臭氧的吸收比较强烈, 受其他大气条件的影响相对较弱。

4 结论

基于太阳紫外辐射在大气中的散射模式理论分析基础上, 对紫外波段的大气传输与背景特性进行了分析, 并给出了具体的数值结果与变化规律, 为合理的选择探测波段与方案提供了理论依据。

参考文献:

- [1] Deland M T, SHETTLE E P, THOMAS G E, et al. Spectral measurements of PMCs from SBUV/2 instruments[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2006, (68):65-77.
- [2] Takane Yokoi, Kenji Suzuki, Koichiro Oba. Ultraviolet light imaging technology and applications[C]//Proc of SPIE, 1991, 1449:30-40.
- [3] 张忠廉, 刘榴娣. 紫外线技术在军事上的应用研究[J]. 光学技术, 2000, 26(4): 289-296.
- [4] 戴利波. 紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20):97-98.
- [5] 赵勋杰, 张英远, 高雅允. 紫外告警技术[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(1):5-9.
- [6] THOMAS R W L, HOLLAND A C. Simple relationship between the UV radiation backscattered by the earth's atmosphere and the vertical ozone profile[J]. Applied Optics, 1977, 16(10):2581-2583.
- [7] TAYLOR S L, BHARTIA P K. Role of multiple scattering in ozone profile retrieval from satellite measurements in the ultraviolet remote sensing of atmospheres and oceans[J]. Academic Press, New York, 1980:219-229.
- [8] 金伟其, 何玉青. 大气紫外传输特性的计算机仿真分析[J]. 兵工学报, 2001, 22(1):48-52.