

卫星遥感陆地沙尘气溶胶

陆文杰 罗敬宁 郑新江

(国家卫星气象中心)

本文以卫星遥感结构方程和大气辐射传输理论为基础,模拟计算沙尘性高浑浊度大气或沙尘暴的反照率,解出沙尘气溶胶光学厚度,进而得出扬尘天气过程或沙尘暴的大气含沙量。

卫星瞬时视场接收的反照率可以表示为^[1]:

$$R(\mu_s, \mu_v) \approx t_{O_3}(\mu_s, \mu_v, U_{O_3}) t_{H_2O}(\mu_s, \mu_v, U_{H_2O}) [R_{am}(\mu_s, \mu_v) + R_{aa}(\mu_s, \mu_v) + T(\mu_s)T(\mu_v)R_g(\mu_s, \mu_v)/(1-R_g s)] \quad (1)$$

(1) 式中 $R(\mu_s, \mu_v)$ 为卫星接收的反照率, μ_s, μ_v 分别是太阳天顶方向和卫星天顶方向; t_{O_3} 和 t_{H_2O} 分别是臭氧和水汽的漫射透过率; R_{am} 和 R_{aa} 分别为大气分子反照率和大气气溶胶反照率; R_g 和 R_g 分别是遥感目标环境对卫星视场的作用和地面反照率; s 为大气球面反照率; $T(\mu_s)$ 和 $T(\mu_v)$ 分别是日地路径和地星路径上的总透过率。

由于 $R_g s$ 的数量级不大于 0.0x, R_g 和 R_g 在同一地区相近时段内相对稳定^[2], 因此将 (1) 式右边第 3 项 $R_g/(1-R_g s)$ 作为一个因子考虑。

对于 NOAA-AVHRR 的 ch1(0.58 - 0.68 μ m), 有 O_3 吸收带和弱 H_2O 吸收, 其平均漫射透过率由 LOWTRAN 大气辐射传输模式给出^[3]:

$$\tau(\nu) = \exp[-c(\nu)U(p/p_0)^a(T_0/T)^m] \quad (2)$$

(2) 式中 ν 为波数(cm^{-1}), $c(\nu)$ 为吸收系数, U 为吸收气体含量, a, m, n 为经验参数。

由 Rayleigh 散射导致进入卫星视场的分子大气对太阳辐射的平均反照率^[4,5]:

$$R_{am}(\mu_s, \mu_v) = \mu_v * 0.28 / (1 + 6.43\mu_s) \quad (3)$$

随着扬沙强度和沙尘暴强度的增加, 空气中大粒子 ($r > 1 \mu m$) 的浓度急剧增加^[6], 大粒子的散射、消光特征起了主导作用。设沙尘气溶胶层是平面平行气层, 散射光为无偏振自然光, 到达沙尘顶的太阳直接辐射产生的一次散射为:

$$dS_1 = \omega s \exp(-h/\mu_s) * P(\cos A) / 4\pi \quad (4)$$

ω 为散射比, s 为上边界太阳光谱辐照度, h 为光学厚度, P 为相函数。引入衰减因子 β 参与表述相应的光学厚度:

$$\beta = BT_{3.4}/BT_4 \quad (5)$$

$BT_{3.4}$ 为 AVHRR ch3 与 ch4 的亮温差, BT_4 为 ch4 亮温。(4)式中相函数表示为:

$$P(\cos A) = (1 - g^2) / (1 + g^2 - 2g \cos \mu)^{3/2} \quad (6)$$

g 为由 Mie 理论计算的不对称因子。

由以上关系, 用 Monte-Carlo 方法模拟计算逐像元沙尘气溶胶的反照率和吸收率。取西北有关地区沙尘暴多发时期的晴空地面图像, 依 (1) 式对图像进行订正, 可得:

$$R^* = R_g^* / (1 - R_g s) \quad (7)$$

将求出的各项代入(1), 可解出地星路径上沙尘气溶胶的光学厚度。

引用 Junge 谱分布模式 $n(r) = C r^{-(v+1)}$, r 为粒子半径, v 为参数, 光学厚度 h 可以表示为^[7]:

$$h = N_c \pi \int_{r_1}^{r_2} Q(n, x) r^2 n(r) dr \quad (8)$$

这里 N_c 为垂直气柱中 $r_1 - r_2$ 范围粒子总数, $Q(n, x)$ 为由复折射率和粒子尺度确定的 Mie 消光效率。垂直气柱粒子总质量可表示为^[7]:

$$M = \rho (4/3) \pi N_c \int_{r_1}^{r_2} r^3 n(r) dr \quad (9)$$

由 (8) 和 (9) 可以解出逐像元沙尘粒子总质量。

参考文献

- [1] Tanre D et al. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. IEEE Tran Geosci Remote Sensing, 1992, 30(2)
- [2] Tanre D et al. Estimation of Saharan aerosol optical thickness from blurring effects in thematic mapper data. J Geo Res 1988, 93(D12)
- [3] 吴北婴. 大气辐射传输基本算法及实用软件 LOWTRAN. 中国科学院大气物理所, 1994
- [4] 刘长盛, 刘文保. 大气辐射学. 南京大学出版社, 1990
- [5] Lacis A A et al. A parameterization for the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. J Atmos Sci, 1974, 31(1)
- [6] 方宗义, 朱福康. 中国沙尘暴研究. 气象出版社, 1997
- [7] Cachorro V E et al. The correlation between particle mass loading and extinction: application to desert dust aerosol content estimation. Remote Sens Environ, 1997, 60(2)