

文章编号：1001-4675(2007)06-790-06

敦煌地区2001年春季气溶胶光学厚度反演

刘晓云^{1,2}, 岳平^{1,2,3}

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室 中国气象局干旱气候变化与减灾
重点开放实验室,甘肃 兰州 730020;

2 酒泉市气象局,甘肃 酒泉 735000; 3 张掖国家气候观象台,甘肃 张掖 734000)

摘要：利用2001年春季敦煌地区CIMEL CE-318全自动太阳光度计辐射资料,反演了晴空大气、浮尘、扬沙天气条件和沙尘暴前后等不同背景下大气气溶胶光学厚度。结果表明:在不考虑吸收时,440,870 nm 和 1 020 nm 波段晴空大气气溶胶光学厚度均小于0.3;浮尘天气下的大气光学厚度约为晴空天气的2~3倍;扬沙天气大气光学厚度是浮尘天气的2~3倍;沙尘暴发生前夕大气气溶胶光学厚度将明显增加。

关键词：气溶胶;光学厚度;太阳光度计;辐射;敦煌

中图分类号：P402 **文献标识码：**A

大气气溶胶通常是指大气中悬浮着的各种固体和液体粒子。其形状和成分复杂,常常受到地理、地形、地表性质、人类活动状况、距污染源的远近程度及气象条件的影响,在不同的地域,气溶胶粒子的成分和粒子浓度分布不同^[1]。气溶胶粒子的主要来源是地表,可以分为自然产生和人类活动产生,其中宇宙尘埃也是一个来源。气溶胶不仅可以散射,而且可以吸收入射的太阳辐射。各种不同的气溶胶遍布地球大气,能够对地气系统的辐射平衡带来不同的作用,进而对地球气候产生重要的影响。沙尘气溶胶是东亚对流层大气气溶胶的主要成分之一,它主要来自干旱和半干旱地区,通过沙尘暴等强烈天气过程造成广泛影响^[2]。

沙尘气溶胶的光学特征可以用光学厚度描述,大气气溶胶消光特性的精确计算,对大气气溶胶含量估算、大气污染评估、气溶胶气候效应研究等具有重要意义^[3~7]。目前主要采用多波段太阳光度计^[8~12]、卫星反演、地面辐射资料与探空资料的联合反演^[13~17]等方法研究大气气溶胶的光学特性。近几年国内外学者利用CE-318太阳辐射计资料在大气气溶胶领域进行了大量研究。Smirnov等^[18,19]利用NASA的Aeronet资料反演了夏威夷岛沿岸的气溶胶光学厚度的分布特征,分析了巴布多思地区光学厚度和沙尘气溶胶浓度之间的线性相关关系,两者之间的相关系数高达0.93。Dubovik等^[20]对

沙尘、生物燃烧体、城市工业污染及海盐等不同类型的气溶胶光学厚度进行了比较:在1 020 nm 波段,沙尘气溶胶光学厚度平均值约为0.39,海洋上空的气溶胶平均光学厚度为0.04;440 nm 波段生物体燃烧后形成的气溶胶平均光学厚度为0.38;城市工业排放的气溶胶平均光学厚度为0.27。申彦波等^[21]利用CE-318资料分析了2001年春季中国北方沙尘气溶胶光学厚度的时空分布特征,并探讨了大气气溶胶光学厚度与水平能见度以及沙尘天气之间的关系。刘玉洁等^[22]利用CE-318太阳光度计资料,研究了银川地区气溶胶光学厚度的分布特征。本文利用CE-318太阳光度计,反演了敦煌地区春季不同天气条件下的光学厚度变化特征,可为沙尘天气的短时预报提供重要的依据,同时能够为环境监测和同期质量预报提供参考。

1 仪器介绍及资料选取

CIMEL公司制造的全自动跟踪扫描太阳辐射计CE-318,滤光片8个波段中心波长位于340,380,440,500,670,870,940 nm 和 1 020 nm,各波段宽度为10 nm,它的光学头上装有四象限探测器,可以自动跟踪太阳做太阳直接辐射测量、太阳等高度角天空扫描、太阳主平面扫描和极化通道天空扫描。CIMEL公司的CE-318光度计测得的太阳直接辐射数

收稿日期:2006-12-15; 修订日期:2007-02-08

基金项目:干旱气象科学基金项目(IAM200414)及甘肃省气象局科技项目共同资助

作者简介:刘晓云(1980-),女,陕西凤翔人,学士,主要从事天气气候预报服务及研究。E-mail:jqyueping@126.com

据可用来反演计算大气透过率、消光光学厚度、气溶胶光学厚度、大气水汽柱总量和臭氧总量,它的天空扫描数据可以反演大气气溶胶粒子尺度谱分布及气溶胶相函数。因为,太阳光度计是目前最精确的光学厚度监测仪器之一,CE-318太阳光度计不仅用于大气气溶胶光学特性及大气环境质量监测,同时用于遥感卫星传感器辐射资料的光学参数定标。地基遥感气溶胶和臭氧的方法是利用了透射过无云大气的直接太阳辐射光束,通常选用可见光和紫外波谱的特定波长来使臭氧和气溶胶的反演效果尽量达到比较理想的效果。

本文利用中国科学院大气物理研究所于2001年春季在敦煌用CIMEL Electronique公司制造的全自动跟踪扫描太阳辐射计CE-318观测资料,得到了敦煌地区春季大气气溶胶光学厚度日变化特征。观测场位于 $40^{\circ}02'N, 94^{\circ}47'E$,海拔高度1300 m,观测场地比较开阔,可根据敦煌气象站($40^{\circ}15'N, 94^{\circ}68'E$,海拔1140 m)地面观测资料,对天气状况进行判别,剔除云对观测数据的影响。此外,敦煌市经济以旅游业和农业为主,因此受人为排放的影响较小。2001年春季敦煌站观测的42 d资料中,选择了资料序列比较完整,且进行无云处理之后的晴空条件和沙尘天气条件下的资料,用以分析敦煌地区大气气溶胶的变化特征(文中均为北京时间)。

2 仪器标定及反演方法

地面测得的直接太阳辐射强度 $E(\lambda)$ (W/m^2)在给定的波长上,根据比尔-布格-朗伯定律,则有:

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) R^{-2} \exp[-m(\theta)\tau(\lambda)] \cdot T_s \quad (1)$$

式中: $E(\lambda)$ 是波长为 λ 的大气外界太阳辐射强度(太阳常数); R 为测量时的日地距离校正量(平均日地距离/实际测量时日地距离);空气质量因子 $m(\theta) = \sec\theta_0, \theta_0$ 与太阳赤纬角及太阳天顶角有关; $\tau(\lambda)$ 为大气垂直总光学厚度; T_s 为吸收气体透过率。

太阳光度计输出信号为电压,可表示为 $V(\lambda)$,光度计定标值 $V_0(\lambda)$ 采用Langley法定标。若以 $V(\lambda)$ 代替 E_λ , $V_0(\lambda)$ 代替 $E_0(\lambda)$ 时,(1)式两端同时要乘一项比例常数,但 $V(\lambda)$ 与 E_λ 之间和 V_0 与 $E_0(\lambda)$ 之间的比例常数相同,故在(1)式两边同时取对数,则大气总光学厚度可表示为:

$$\tau(\lambda) = -\frac{1}{m(\theta)} \ln \frac{V(\lambda)}{R^{-2} V_0(\lambda)} \quad (2)$$

大气总的消光光学厚度 τ 由分子散射光学厚度 τ_R (Rayleigh散射)、大气中吸收气体的光学厚度 τ_a (如臭氧、水汽)和大气气溶胶光学厚度 τ_{aero} 3部分组成,即:

$$\tau(\lambda) = \tau_R(\lambda) + \tau_{aero}(\lambda) + \tau_a(\lambda) \quad (3)$$

其中Rayleigh散射光学厚度 τ_R 可根据地面气压值计算,其表达式如下^[10]:

$$\tau_R(\lambda) = \frac{P}{P_0} 0.0088 \lambda^{-4.05} \quad (4)$$

式中: P_0 为标准大气压; P 为观测时的实际大气压。

CE-318全自动太阳光度计在设计当中,充分考虑了分子吸收特性,在440,670,870 nm和1020 nm波段,气体分子吸收对光学厚度几乎无影响^[8]。本文在计算光学厚度时,选取了440,870 nm和1020 nm波段。因此,在不考虑气体分子吸收时,式(3)中的 $\tau_a(\lambda) = 0$,总光学厚度 $\tau(\lambda)$ 与 τ_R 之差就是大气气溶胶的光学厚度。可表示为:

$$\tau_{aero}(\lambda) = \tau(\lambda) - \tau_R(\lambda) \quad (5)$$

3 气溶胶光学厚度日变化分析

3.1 晴空大气光学厚度日变化特征

根据图1(a,b)可知,在晴空大气条件下,敦煌地区4月的大气气溶胶光学厚度在没有吸收的波段小于0.3。但是440 nm的光学厚度值明显大于870 nm和1020 nm波段的反演结果;同时可以发现,在敦煌地区,由870 nm和1020 nm波段的太阳辐射观测资料反演的光学厚度,除个别时间(如2001年4月27日08时)具有差异,绝大多数时间的结果非常接近。4月16日的曲线几乎没有起伏,这是由于当天大气层结稳定,风速较小,因此光学厚度没有明显的变化。4月27日的气溶胶光学厚度起伏较大,但是平均大气光学厚度与4月16日相比没有显著变化,一方面是因为当天的风速不大,另一方面可能存在比较明显的大气湍流运动。此外,敦煌地区春季晴空条件下,440 nm波段平均光学厚度在0.25~0.3之间。李韧等^[17]反演的1982年敦煌地区春季晴空条件下,气溶胶光学厚度平均值为0.29,与本文结果符合;与刘玉洁等^[22]给出的银川地区440 nm波段的光学厚度0.22接近,但与邱金桓等^[13]反演的北京地区春季晴空平均光学厚度0.18相比,笔

者反演的敦煌地区春季的光学厚度要大于北京地区。这是因为春季我国西北地区多大风沙尘天气,位于河西走廊西端的敦煌地区和处于腾格里沙漠和

毛乌素沙地附近的银川地区,都是我国北方春季沙尘暴天气的多发地带,所以大气气溶胶光学厚度明显高于北京地区。

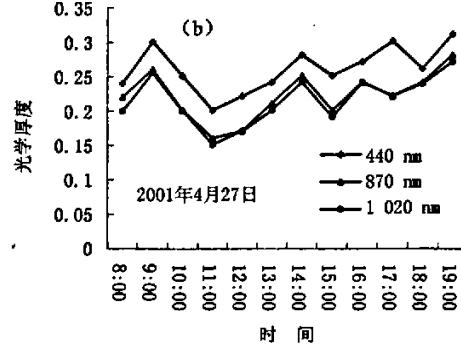
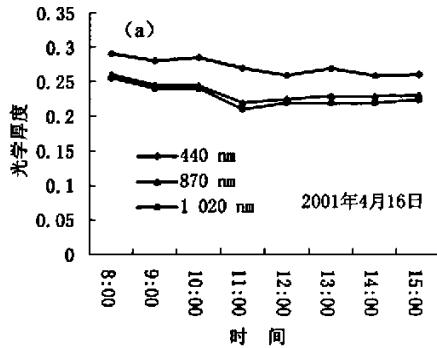


图 1 敦煌春季晴空大气气溶胶光学厚度

Fig. 1 Optical depth of clear-sky aerosol over Dunhuang on April 16 (a) and 27 (b), 2001

3.2 沙尘天气大气光学厚度日变化

3.2.1 由沙尘(浮尘)天气向晴空大气转变时光学厚度特征 图 2(a,b)中大气气溶胶光学厚度在 440, 870 nm 和 1 020 nm 3 个波段的值非常接近, 变化趋势完全一致。根据敦煌气象站地面观测资料, 在 2001 年 4 月 12~13 日分别出现了扬沙和浮尘天气现象, 因此, 用 2001 年 4 月 13 日太阳光度计资料反演的大气气溶胶光学厚度虽然在上午 11 时有明显降低, 但是由于大气中仍然悬浮着大量的沙尘气溶胶粒子, 这些沙尘气溶胶粒子的散射作用, 使得大气气溶胶光学厚度比晴空时高出 3 倍以上。图 2b 中, 23 日当地发生了扬沙, 截至 24 日清晨已经减弱成为浮尘天气, 所以 24 日 15:00 时之前, 气溶胶光学厚度比晴空时高出一倍多; 造成沙尘现象的天气

系统完全过境后, 悬浮在大气中的沙尘气溶胶粒子一方面随高空气流向下游输送, 另一方面通过沉降清除, 使得午后光学厚度明显减少, 基本接近春季晴空大气状态。与张文煜等^[12]利用多波段太阳光度计遥感得到的腾格里沙漠 450 nm 波段的大气气溶胶光学厚度在 0.4~3.2 相比, 图 2 给出的敦煌地区沙尘条件下沙尘气溶胶光学厚度在 0.4~2.0 范围内, 两者比较一致。因为春季腾格里沙漠和敦煌沙漠地带都易受到强冷空气入侵影响, 多大风沙尘天气, 空气中沙尘粒子浓度较高。文献[19]给出的美国西部沙漠区 1 020 波段沙尘气溶胶光学厚度平均值约为 0.39, 这一结果明显小于东亚地区沙尘条件下的光学厚度, 表明东亚地区是沙尘天气的多发区, 沙尘气溶胶浓度较高。

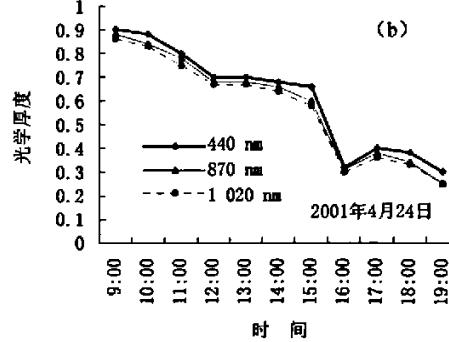
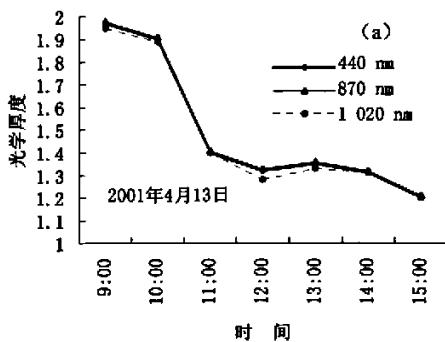


图 2 沙尘暴和浮尘天气后大气气溶胶光学厚度变化特征

Fig. 2 Change of the optical depth of aerosol after sandstorm and floating dust over Dunhuang in spring

3.2.2 沙尘天气前后大气气溶胶光学厚度变化特征

根据敦煌基准气象站地面观测资料, 在 2001 年

4 月 28 日 15 时 36 分, 当地发生了沙尘暴天气现象。图 3 利用 CE-318 太阳光度计观测资料, 反演的

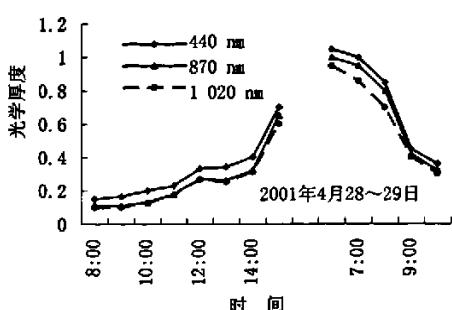


图3 扬沙前后大气气溶胶光学厚度变化特征

Fig. 3 Change of the optical depth of aerosol before and after blowing dust

2001年4月28~29日沙尘暴前后敦煌地区大气气溶胶光学厚度的分布特征。从中可以发现,在28日11时之前,尤其是08:00~10:00时,440、870 nm和1020 nm波段的气溶胶光学厚度都小于0.3,这一结果与前面给出的当地晴空大气气溶胶光学厚度非常吻合;但是在12:00时之后,上述波段大气气溶胶光学厚度明显增加,截至15:00时,3个波段的光学厚度均大于0.4,高于当地晴空大气气溶胶光学厚度。引起这一变化的原因是:受到高空冷空气的入侵,地面冷锋过境前夕地面水平气压梯度逐步加大,地面水平风速增加,沙尘粒子进入大气使光学厚度增加。15:00时以后,由于高空云系较多,加之沙尘天气的影响,太阳光度计自动停止观测。但是次日

(2001年4月29日)太阳光度计观测资料反演的结果表明,由于沙尘结束后空气中悬浮的大量沙尘粒子散射造成的衰减作用,光学厚度在2001年4月29日09时之前比较大,09时之后开始迅速降低,这种变化在440 nm尤为明显。可以推断出,沙尘暴前后及过程当中,大气气溶胶光学厚度的变化应该是单峰态分布,光学厚度峰值应该与沙尘暴最强时段相对应。邱金桓等^[15]利用激光雷达遥感得到了1988年4月11日8:00~16:00时沙尘暴期间的光学厚度平均值为5.27,这一结果远远大于北京和敦煌地区春季晴空条件下的光学厚度。

3.3 边界层特征分析

敦煌地区是我国西北地区沙尘暴的多发地区,沙尘暴发生和发展输送到大气中的沙尘气溶胶主要通过边界层来传输^[21]。因此,分析不同天气条件下,敦煌地区边界层的特征对研究当地气溶胶光学厚度变化有一定帮助。本文将分析敦煌气象站在上述6 d 07时15分的探空资料,包括风向、风速和温度等多个气象要素。敦煌气象站海拔高度1140 m,地面年平均气压为873 hPa,观测场为裸地。根据资料分析的需要,将观测的温度转化为位温。春季敦煌地区晴空条件下空气较干,而热力和动力条件是形成沙尘暴的两大主要因子。因此,本文在分析敦煌地区春季大气边界层结构特征时,主要以温度和风向、风速为主。

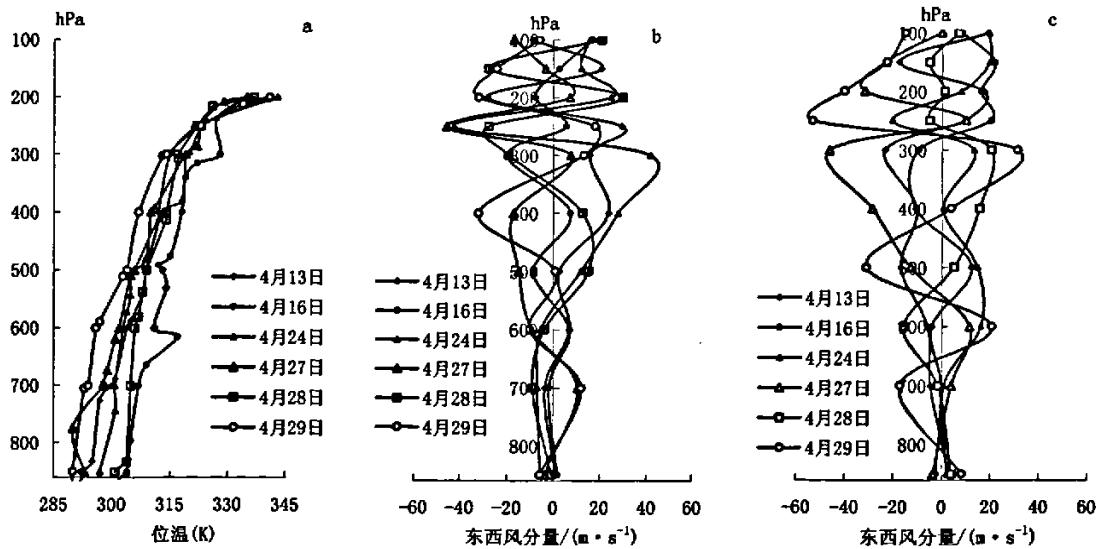


图4 大气层位温和风速水平风分量廓线(a. 位温;b. 东西风分量;c. 南北风分量)

Fig. 4 Profiles of potential temperature and horizontal component of wind speed

(a. Potential temperature; b. East-west component of wind speed; c. South-north component of wind speed)

图4a是不同天气条件下07时15分探空资料计算的位温廓线。4月13,24,28,29日混合层厚度均在600 hPa以上高度层(约为3 000 m),与张强等^[23]初夏在敦煌地区观测的高度3 000 m一致,形成深厚的混合层,主要受干旱地表加热作用比较明显。热力作用恰是发生沙尘天气的主要因子,与之相对应,用CE-318太阳光度计资料反演的气溶胶光学厚度均比较大。4月16日具有稳定的边界层特征;4月27日在780 hPa(400 m)以下形成了逆温层,张强等人^[23]在敦煌地区观测结果表明,初夏在当地常有近地层逆温现象。

图4(b,c)分别是用敦煌地区07时15分探空资料计算的水平风速。图中西风为正,东风为负;南风为正,北风为负。6 d的观测资料表明,800 hPa以下低层东风与张强等^[23]初夏观测结果一致;但中高层东西风所占比例大体相当,与文献[23]得到的结果有差异,主要是春季特别是4月,经向和纬向环流在调整期,冷空气活动频繁,因此高空风变化较大。此外,在低层常有西风急流出现,这一特点与文献[23]给出的结果一致;另外,沙尘暴日(29日)低空西风急流最强。从风的南北分量风速(图4c)分布特征来看,低层风速明显小于东西分量风速,但在发生沙尘暴的29日07时15分,低层同时出现了北风急流,急流强度达到19 m/s。南北分量的高层除沙尘暴日(29日)外,其余各天的南北分量比对应日期的东西分量略小。

4 小结

由CE-318型全自动太阳光度计反演的敦煌地区不同大气背景下的气溶胶光学厚度特征可以发现,在不考虑吸收的情况下,440,870 nm和1 020 nm波段晴空大气观测资料反演得到的当地春季大气气溶胶光学厚度都小于0.3;在沙尘天气即将来临时,气溶胶光学厚度会出现明显的增加,在当地发生沙尘暴前会增加到0.4以上,这一结果对沙尘暴预报和预警具有重要意义,同时对环境质量监测和检测具有参考价值。在沙尘暴结束之后,由于受沙尘气溶胶粒子的影响,大气光学厚度比晴空大气高两倍以上,但是随着沉降,光学厚度逐渐减小。

参考文献(References):

- [1] 盛立芳,耿敏,王园香,等.2002年春季沙尘暴对青岛大气气溶胶的影响[J].环境科学研究,2003,16(5):11-17.[Sheng Li-fang,Geng Min,Wang Yuanxiang,et al. Effects of dust storms on atmospheric aerosols in Qingdao in spring 2002 [J]. Research of Environmental Sciences,2003, 16(5):11-17.]
- [2] 肖辉.东亚地区沙尘气溶胶影响硫酸盐形成的模式评估[J].大气科学,1998,22(3):343-353.[Xiao Hui. A modeling evaluation of the impact of mineral aerosols on the particulate sulfate in east asia [J]. China Journal of atmospheric Sciences, 1998, 22 (3):343-353.]
- [3] Tegan I, Lacis A, Fung I. The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils[J]. Nature, 1996, 380: 419-422.
- [4] Sokolik I, Toom O B. Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols[J]. Nature, 1996, 381:681-683.
- [5] 胡荣明,石广玉.中国地区气溶胶的辐射强度及其气候响应实验[J].大气科学,1998,22(6):919-925.[Hu Rongming, Shi Guangyu. The radiative forcing and climate effect due to anthropogenic sulfate aerosols over Chian [J]. China Journal of Atmospheric Sciences,1998,22(6):919-925.]
- [6] 李霞.乌鲁木齐气象要素对大气气溶胶光学特性的影响[J].干旱区研究,2006,23(3):484-488.[Li Xia. Effects of meteorological factors on optical properties of aerosol in Urumqi [J]. Arid Zone Research,2006,23(3):484-488.]
- [7] 姚晓霞,李杰,权建农.兰州市春季沙尘气溶胶质量浓度的若干研究[J].干旱区研究,2004,21(2):112-116.[Xi Xiaoxia, Li Jie, Quan Jiannong. Study on mass concentration of the atmospheric dust and aerosol over Lanzhou city in spring [J]. Arid Zone Research,2004,21(2):112-116.]
- [8] 牛生杰,孙继明.贺兰山地区大气气溶胶光学特征研究[J].高原气象,2001,20(3):298-301.[Niu Shengjie, Sun Jiming. Researches on optical properties of atmospheric aerosol in Helan mountain area [J]. Plateau Meteorology, 2001 , 20 (3): 298 - 301.]
- [9] Cahill T A, Surovik M, Wittmeyer I. Visibility and aerosols during the 1986 carbonaceous species methods comparison study [J]. Aerosol Science and Technology,1990,12:149-160.
- [10] Holben B, Talor T F W, Rodger C D. Remote sounding of atmospheres[J]. Remote Sensing Environ.,1998,66:1-16.
- [11] 辛金元,张文煜,袁九毅,等.消光法反演腾格里沙漠地区沙尘气溶胶谱分布[J].高原气象,2004,23(5):654-659.[Xin Jin-yuan, Zhang Wen-yi, Yuan Jiu-yi, et al. The spectrum distributions of dust aerosol over Tengger desert retrieved by extinction method [J]. Plateau Meteorology, 2004,23(5):654-659.]
- [12] 张文煜,辛金元,袁九毅,等.腾格里沙漠气溶胶光学厚度多波段遥感研究[J].高原气象,2003,22(6):613-617.[Zhang Wen-yi, Xin Jin-yuan, Yuan Jiu-yi, et al. Multi-band remote sensing study on aerosoloptical depth in tenger desert [J]. Plateau Meteorology, 2003,22(6):613-617.]
- [13] 毛节泰,李成才,张军华,等.MODIS卫星遥感北京地区气溶胶光学厚度及与地面光度计遥感的对比[J].应用气象学报,2002,13:127-135.[Mao Jietai, Li Chengcai Zhang Junhua, et al. The comparison of remote sensing aerosol opticaldepth from

- MODIS data and ground sun-photometer observations[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13: 127–135.]
- [14] 宗雪梅, 邱金桓, 王普才. 宽带消光法反演气溶胶光学厚度与AERONET北京站探测结果的对比研究[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 645–653. [Zong Xuemei, Qiu Jinhuan, Wang Pucai. A comparison study of aerosol optical depths retrieved from broadband extinction method and aerosol robotic network observation[J]. *China Journal of Atmospheric Sciences*, 2005, 29(4): 645–653.]
- [15] 邱金桓, 孙金辉. 沙尘暴的光学遥感及分析[J]. 大气科学, 1994, 18(1): 1–10. [Qiu Jinhua, Sun Jinhui. Optically remote sensing of the dust storm and result analysis[J]. *China Journal of Atmospheric Sciences*, 1994, 18(1): 1–10.]
- [16] 张玉香, 胡秀清, 刘玉洁, 等. 北京地区大气气溶胶光学特性监测研究[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 136–143. [Zhang Yuxiang, Hu Xiusheng, Liu Yujie, et al. Measurement of atmospheric aerosol optical characteristics in Beijing urban area[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13(1): 136–143.]
- [17] 李韧, 季国良. 敦煌地区大气气溶胶光学厚度的季节变化[J]. 高原气象, 2003, 22(1): 84–87. [Li Ren, Ji Guolin. The seasonal variation of aerosol optical depth in Dunhuang area[J]. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(1): 84–87.]
- [18] Smirnov A, Holben B N, Dubonik O, et al. Maritime component in aerosol optic models derived from aerosol robotic network data[J]. *Geophys Res.*, 2003, 108(D1): 4 033–4 041.
- [19] Smirnov A, Holben B N, Savoie D, et al. Relationship between column aerosol optical thickness and in situ ground based dust concentrations over Barbados[J]. *J Geophys Res.*, 2000, 105(11): 1 643–1 646.
- [20] Dubonik O, Smirnov A, Holben B N, et al. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from aerosol robotic network Sun and sky radiance measurements[J]. *J Geophys Res.*, 2000, 105(D8): 9 791–9 806.
- [21] 申彦波, 沈志宝, 汪万福. 2001年春季中国北方大气气溶胶光学厚度与沙尘天气[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 185–190. [Shen Yanbo, Shen Zhibao, Wang Wanfu. Atmospheric aerosol optical thickness and dusty weather in northern China in spring of 2001[J]. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(2): 185–190.]
- [22] 刘玉杰, 牛生杰, 郑有飞. 用CE-318太阳光度计资料研究银川地区气溶胶光学厚度特性[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(5): 615–622. [Liu Yujie, Niu Shengjie, Zheng Youfei. Atmospheric aerosols based on the CE-318 sun tracking spectrophotometer data[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2004, 27(5): 615–622.]
- [23] 张强, 卫国安, 侯平. 初夏敦煌荒漠戈壁大气边界层特征的一次观测研究[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 587–597. [Zhang Qiang, Wei Gaonan, Hou Ping. Observation studies of atmosphere boundary layer characteristic over Dunhuang Gobi in early summer [J]. *Plateau Meteorology*, 2004, 23(5): 587–597.]

Inversion of the Optical Depth of Aerosol over the Dunhuang Region in Spring

LIU Xiao-yun^{1,2}, YUE Ping^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of Gansu Province, Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Jiuquan Meteorological Bureau, Jiuquan 735000, Gansu Province, China;

3. Zhangye National Climatic Observatory, Zhangye 734000, Gansu Province, China)

Abstract: In this study, the optical depths of aerosol under the weather conditions of clear sky, floating dust and blowing dust and before and after sandstorm in the Dunhuang region are derived based on the data of solar radiation measured with heliograph CE-318. The results show that the optical depth of aerosol over Dunhuang is quite different under the different weather conditions in spring. If the absorption is not considered, the optical depths of clear-sky aerosol in wavebands of 440 nm, 870 nm and 1 020 nm over the study area are thinner than 0.3, the optical depths of aerosol in floating dust weather is 2~3 times of that in clear sky, it in blowing dust weather is 2~3 times of that in floating dust weather, and it is significantly increased before occurring sandstorm. Such results are of significance for the forecast and precaution of sandstorm and can be referred in monitoring and measuring environmental quality. After a sandstorm finishes, the optical depths of aerosol becomes two times thicker comparing with that in clear sky due to the effect of dust aerosol, it, however, becomes thinner gradually along with the sedimentation of dust aerosol.

Key words: optical depths of aerosol; heliograph; solar radiation.