

文章编号: 1008-2786-(2009)4-411-07

# 长江源区五道梁的大气质量状况

李 韧<sup>1,2,3</sup>, 赵 林<sup>1,2,3</sup>, 耿建<sup>2,3</sup>, 杨 文<sup>3</sup>, 季国良<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院青藏高原冰冻圈观测试验研究站, 甘肃 兰州 730000 2. 冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000;  
3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 大气质量状况是研究大气对太阳辐射能衰减程度的一个重要方面。利用江河源区五道梁能量收支站 1993-09~1999-12 的辐射观测资料及 1993-09~1995-05 MS-120 太阳光度表的观测资料计算了五道梁地区的大气浑浊度, 分析了该地的大气质量状况。结果表明, 江河源区五道梁的大气洁净, 1994~1999 年间五道梁地区的气溶胶 $\beta$ 、D/S 全波段浑浊度 TG 有增大的趋势, 晴空大气透射比及紫外辐射有减小的趋势。

**关键词:** 长江源区; 大气浑浊度; 透射比; 紫外辐射

**中图分类号:** P422

**文献标识码:** A

气溶胶是大气中的一种粒子成分, 是造成环境污染的主要因子。同时, 大气气溶胶又是影响气候变化的一个重要因素。到目前为止, 气溶胶的气候效应, 仍然是人类活动引起的气候变化预测中最不确定的一个因素<sup>[1]</sup>。大气质量状况是研究大气对太阳辐射能衰减程度的一个重要方面, 为了更好地估计高原地表的加热作用和研究其对天气气候的影响, 必须掌握不同地区所接受到的太阳辐射能, 因此了解高原地区的大气质量状况是十分必要的<sup>[2]</sup>。

长江源区地处青藏高原腹地, 海拔高, 大部分地区尚未受到人类活动的直接影响, 受人类活动的扰动较小, 几乎没有受到局地污染, 是进行大气本底观测研究较为理想的场所。位于江源区地带的五道梁地区地处昆仑山与唐古拉山之间海拔 4 700 m 左右的西藏台块上, 其东部遍布沼泽, 西部为人迹罕至的可可西里地区, 属高原亚寒带半干旱气候区, 自然地带属高寒草原地带<sup>[3]</sup>, 植被覆盖度多在 10% ~

20%, 冰缘冻土地貌发育典型, 为羌塘高原连续多年冻土区<sup>[4]</sup>。该地方圆数百公里范围内无工、农业生产活动, 牧业也很少, 人类活动的影响很小, 近地层大气基本保持着自然状态。

五道梁 (35°13'N, 93°06'E, 4 612 m) 能量收支观测站从建站起, 已进行了近 10 a 的观测, 积累了较为丰富的第一手资料, 为研究长江源区的大气质量提供了可靠依据。

有关长江源区的大气质量状况等问题, 已开展了一些研究工作, 季国良等对五道梁的大气透明度作过具体的研究<sup>[5]</sup>, 袁福茂等讨论了五道梁的大气浑浊度状况<sup>[6]</sup>。但他们的工作仅限于大气透明度及大气浑浊度季节变化的研究, 对大气质量状况年际变化的研究基本上未涉及。本文利用 1993-09~1995-05 期间日本 (EKO) 生产 MS-120 太阳光度表 (此表具有 4 枚干涉滤光片, 通带半宽为 5~6 nm, 中心波长分别为 368 nm、500 nm、675 nm、778 nm,

收稿日期 (Received date): 2008-09-20; 改回日期 (Accepted): 2009-01-11。

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2007CB411504, 2005CB422003)、国家自然科学基金项目 (40471026, 40871037)、中科院方向性项目 (KZCX3-SW-345)、中国科学院青藏高原冰冻圈观测试验研究站。[National Basic Research Program of China (973 Program) No. 2007CB411504 (2007-2010), 2005CB422003 (2005-2007); National Natural Sciences Foundation of China NO. 40471026 (2005-2007), NO. 40871037 (2009-2011); the Innovation Project of the Chinese Academy of Science (2005-2007); Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau Chinese Academy of Sciences]

作者简介 (Biography): 李韧 (1970-), 男, 陕西武功人, 博士, 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所副研究员, 主要从事大气辐射、寒区气候及陆面过程等方面的研究。[The first author's name is Li Ren, the Han nationality. The birth time is Aug. 1970. The native place is Wugong county, Shanxi province. The degree is PhD. The job title is vice Prof. And the main research domains are atmospheric radiation, climate change and land surface processes in arid region.] E-mail: lieren@ns.lzb.ac.cn. Tel: 0931-4967718.

这几个波段范围内均不包  $\text{CO}_2$  和水汽的吸收带)观测资料, 1993-09~1999-12MS-52型直接辐射表、MS-42型天空辐射表及 Eppley 实验室的 TUVB 紫外辐射表(标准带宽 0.295~0.385  $\mu\text{m}$ )的观测资料, 对五道梁地区的大气浑浊度特征及紫外辐射等进行计算和分析, 以便对该地区的大气质量状况及其变化等有个较清晰的了解, 为研究高原腹地地表能量变化特征研究提供依据。

## 1 大气质量

### 1.1 大气浑浊度的计算

混浊度表征了大气质量状况。混浊度大表明大气中气溶胶粒子多, 大气质量状况差, 混浊度小表明大气中气溶胶粒子相对较少, 大气比较清洁。下面给出了几种浑浊度的计算方法。

#### 1.1.1 Ångström 浑浊度的计算

Ångström 浑浊度系数 (1000 nm 波长气溶胶光学厚度) 一般采用窄谱太阳辐射观测资料来计算的, 具体计算方法可参阅文献<sup>[7]</sup>。但五道梁地区窄谱太阳辐射观测只有 1 a 多 (1993-09~1995-05), 利用该资料讨论 Ångström 浑浊度系数的年际变化显然是不够的, 而在五道梁地区宽谱的太阳直接辐射资料观测周期相对较长, 在此我们考虑利用观测周期较长的宽谱太阳直接辐射资料计算该地区 Ångström 大气浑浊度系数, 分析讨论其年际变化。Giichi Yamamoto 提出了利用宽谱太阳直接辐射资料及大气水汽含量等资料计算 Ångström 大气浑浊度系数<sup>[8]</sup>, 文军等利用该方法计算了青藏高原的大气浑浊度<sup>[9]</sup>, 但计算结果对五道梁地区而言明显偏大<sup>[6]</sup>, 因而, 本文未采用 Yamamoto 之方法计算大气浑浊度, 而采用如下方案计算 Ångström 大气浑浊度系数。

到达地面的太阳辐射由于大气之削弱而发生衰减, 据 Iqbal 的建议<sup>[10]</sup>, 晴空条件下, 地面上接收到的太阳直接辐射可以表示成

$$I = S_0 \times e \times T_R \times T_{OZ} \times T_w \times T_m \quad (1)$$

式中  $I$  为实测的太阳直接辐射,  $S_0$  为太阳常数, 本文取  $1367.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $e$  为日地距离订正因子,  $T_R$ 、 $T_{OZ}$ 、 $T_w$ 、 $T_m$  分别为太阳光谱上 Rayleigh 散射、臭氧及水汽吸收、大气气溶胶散射与吸收的平均透射比。其中  $T_R \times T_{OZ} \times T_w \times T_m$  可看成是晴空大气透射比  $T_{am}$ , 于是晴空下大气透射比可表示为

$$T_{am} = \frac{I}{S_0 \times e} \quad (2)$$

大气中气溶胶含量的变化影响大气透射比, 在其他气象条件不变的情况下, 气溶胶含量增大时, 大气透明度减小, 于是, 我们分析了 Ångström 大气浑浊度系数与晴空透射比的关系, 结果如图 1 所示。分析发现, 大气浑浊度与晴空大气透射比的关系为抛物线型, 得到的关系式为

$$\beta = 1.5687 - 3.7606T_{am} + 2.2706T_{am}^2 \quad (3)$$

式中  $\beta$  为 Ångström 浑浊度系数, 其他参量定义与上同, 样本量 174 相关系数 0.96 平均绝对误差 < 0.0035 平均相对误差 < 10%。采用方程 (3) 便可由晴空大气透射比计算出  $\beta$ 。

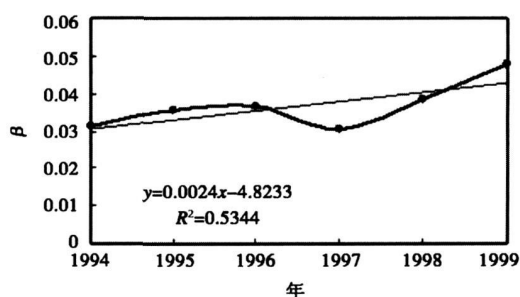


图 1 五道梁地区大气浑浊度随大气透射比的变化

Fig. 1 The variation of atmospheric turbidity with the transmittance over Wudao Liang

#### 1.1.2 全波段浑浊度指标 $T_G$ (Linke 混浊度)

地面气象观测规范中定义了全波段浑浊度指标  $T_G$  (Linke 混浊度)<sup>[11]</sup>, 为总浑浊度系数 (总的光学厚度)  $\tau$  与理想浑浊度系数 (干洁大气光学厚度)  $\tau_{id}$  之比

$$T_G = \frac{\tau}{\tau_{id}} \quad (4)$$

根据太阳辐射在大气中的衰减定律 (布格-朗伯定律)

$$I = S_0 e^{-\tau_m P_h / P_s} \quad (5)$$

式中  $P_h$  为本站气压,  $P_s$  为标准气压 (hPa),  $m$  为相对大气质量

$$m = \frac{1}{\sin H + 0.15(H + 3.3885)^{-1.253}} \quad (6)$$

式中  $H$  为太阳高度角。于是

$$T_G = \frac{1}{-P_h / P_s m \tau_{id} \log \frac{I}{S_0}} \quad (7)$$

式中  $\tau_{id}$  为本站气压与相对大气质量的函数。

当  $m \cdot P_h / P_s \leq 3.3$  时

$$\tau_{ul} = 0.1005 - (m \cdot P_h / P_s - 0.5) \times 0.0074 \quad (8)$$

当  $m \cdot P_h / P_s > 3.3$  时

$$\tau_{ul} = 0.0798 - (m \cdot P_h / P_s - 3.3) \times 0.0047 \quad (9)$$

浑浊度指标  $T_c$  的大小, 取决于地面上观测的太阳直接辐射  $I$ 、本站气压  $P_h$  与太阳高度角  $H$ 。其中  $I$  是最主要的。因此, 观测到无云时的太阳直接辐射愈大, 则  $T_c$  愈小, 表示大气越透明, 反之, 观测到无云时的太阳直接辐射愈小, 则  $T_c$  愈大, 表示大气越浑浊。

1.1.3 浑浊度指标  $D/S$

周淑贞在研究上海市大气质量状况时将  $D/S$  作为大气浑浊度指标<sup>[12]</sup>, 其中  $D$  为散射辐射,  $S$  为直接辐射。 $D/S$  值越小, 大气越洁净,  $D/S$  值越大, 大气越浑浊。在研究五道梁地区的大气质量状况时, 我们也选用了这个指标。

1.2 大气浑浊度计算结果分析

利用上述方法, 计算了五道梁站地方时 12 00 的晴空大气浑浊度及晴空透射比。首先, 分析  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数的变化。

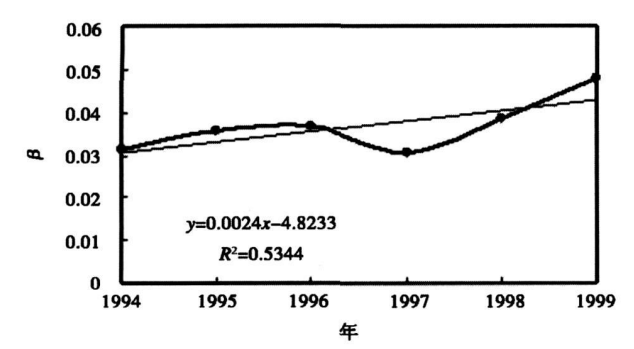


图 2 1994~1999 年五道梁地区大气浑浊度系数的年际变化

Fig. 2 The inter-annual variation of  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  atmospheric turbidity over Wudaliang

图 2 给出了五道梁  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数的年际变化。1994~1999 年间, 五道梁年平均  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数  $< 0.05$ , 最大值 0.047 8, 最小值 0.030 6, 平均 0.036 7, 此值比袁福茂等<sup>[6]</sup>的结果略大, 较瓦里关地区(年平均 0.047)<sup>[13]</sup>的  $\beta$  值略小(图 3)。当  $\beta < 0.100$  时, 可视大气是清洁的, 若以此标准来衡量, 五道梁的  $\beta$  值远低于视为清洁大气的  $\beta$  值。由此可见, 本区上空大气质量的年平均状况是非常洁净的。但从总体变化趋势来看, 在观测的 6 a

中除 1997 年  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数有所减小外,  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数一直是增大的,  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数有增大的趋势, 增大率为 0.002 4/a。祁栋林的研究同样发现, 1995~1999 年瓦里关地区大气浑浊度系数有增大的趋势<sup>[13]</sup>。这表明, 尽管五道梁地区大气相当洁净, 但  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数逐年增大, 1999 相对于 1994 年而言,  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数增大了 0.016 5。如果此情况持续下去, 该地的大气质量状况将有变坏的趋势。

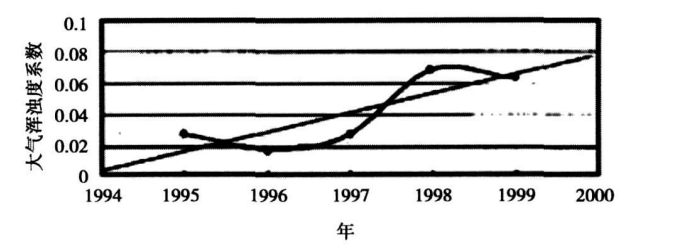


图 3 1995~1999 年瓦里关地区大气浑浊度系数的年际变化<sup>[12]</sup>

Fig. 3 The inter-annual variation of  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  atmospheric turbidity over Wulianguan

全波段浑浊度指标  $T_c$  表征了大气质量的总体状况, 为总浑浊度系数与理想大气浑浊度系数的比值。图 4 给出了五道梁地区晴空全波段浑浊度下  $T_c$  的年际变化, 由图可以看出 1994~1999 年时段  $T_c$  在 3.93~5.6 大小范围内变化, 6 a 平均值 4.59。图 5 给出了年平均  $\text{\AA}ngstr\ddot{o}m$  浑浊度系数  $\beta$  值随  $T_c$  的变化曲线。随着  $T_c$  的增大,  $\beta$  增大, 二者间呈现较好的线性关系。 $T_c$  与  $\beta$  的变化趋势一致, 1994~1999 年时段, 全波段浑浊度指标  $T_c$  也有增大的趋势。

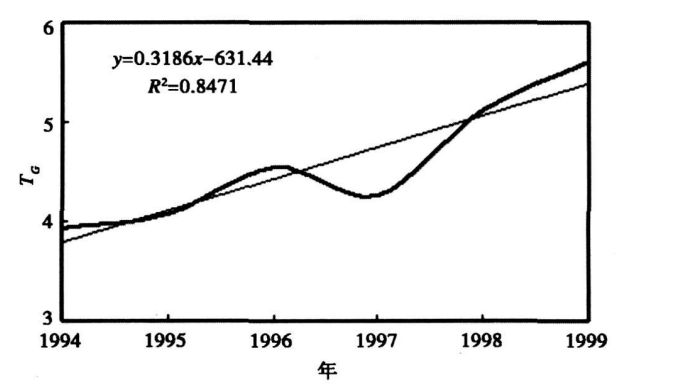
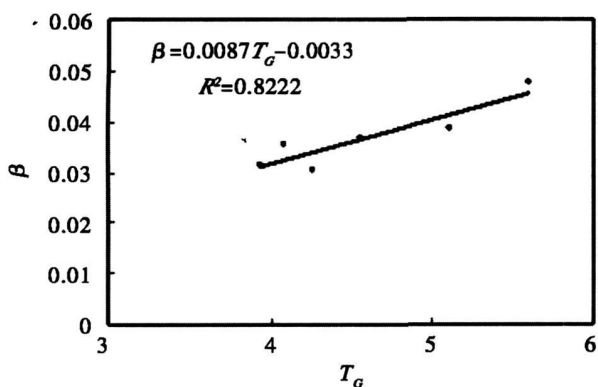
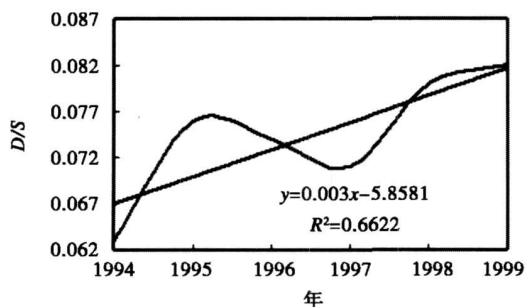


图 4 晴空全波段浑浊度  $T_c$  的年际变化

Fig. 4 The inter-annual variation of  $T_c$

图 5 年平均  $\beta$  随  $T_g$  的变化Fig. 5 The variation of annual mean  $\beta$  with the  $T_g$ 

$D/S$  代表了到达地表的散射辐射与直接辐射的比值, 其值的大小同样也代表了大气浑浊度。图 6 给出了五道梁地区  $D/S$  值的年际变化。五道梁地区的年平均  $D/S$  最小值为 0.063 最大值 0.082 平均值 0.074, 晴空下  $D/S$  比值小 0.1 说明晴空时散射辐射不到直接辐射的 10%, 浑浊度指标相对较小, 表明大气洁净。对照图 6 与图 2 发现,  $D/S$  与 Ångström 浑浊度系数变化趋势相似, 在此期间  $D/S$  以 0.003/a 的速度增大。同时, 我们也对  $D/S$  与  $\beta$  作了相关分析, 结果如图 7 所示。对比  $D/S$  与 Ångström 浑浊度系数  $\beta$  发现,  $\beta$  随着  $D/S$  的增大而增大, 二者间有较好的抛物线关系,  $R^2$  达 0.87。  $D/S$  与  $\beta$  之间有如此好的关系, 这为 Ångström 浑浊度系数的估算提供了一个途径。

图 6  $D/S$  的年际变化Fig. 6 The inter-annual variation of  $D/S$ 

大气透射比表明了大气的透明度状况。图 8 给出了五道梁地区晴空大气透射比的年际变化。五道梁地区晴空大气透射比年平均最大值为 0.743 最小值为 0.717, 6 a 平均值为 0.736 透射比相对较大, 表明该处大气透明度状况较好, 大气洁净。同

样, 我们发现, 大气透射比有减小的趋势, 这与上述浑浊度增大的结论是一致的。由于大气浑浊度系数的增大, 致使大气质量变差, 从而导致了晴空大气透射比的减小。图 9 给出了年平均晴空透射比与 Ångström 浑浊度系数  $\beta$  的相关关系。由图 9 知, 年平均晴空透射比  $T_{atm}$  与  $\beta$  呈现较好的反相关关系, 随着  $\beta$  的增大  $T_{atm}$  减小, 线性相关系数平方达 0.83。

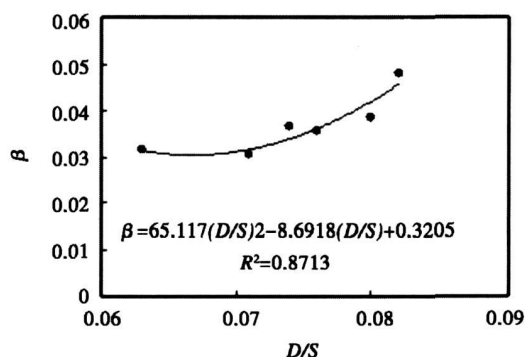
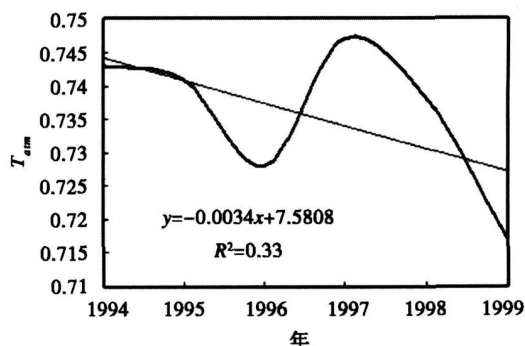
图 7  $D/S$  对  $\beta$  的影响Fig. 7 The effect of  $D/S$  on  $\beta$ 

图 8 晴空大气透射比的年际变化

Fig. 8 The inter-annual variation of atmospheric transmittance on clear sky

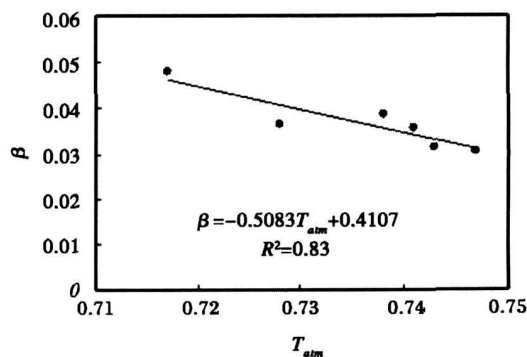
图 9  $\beta$  随晴空大气透射比的变化

Fig. 9 Variation with the atmospheric transmittance on clear sky

通过对以上不同的浑浊度指标分析研究表明, 五道梁的大气洁净, 大气质量状况好。但三种浑浊度指标均有增大的趋势, 晴空透射比有减小的趋势, 表明该地区大气受到的扰动逐渐增大, 这应引起重视。

### 1.3 紫外辐射的变化

地表接收到的太阳辐射能受大气质量状况的影响, 反之地表接收到的太阳辐射能同样反映出大气质量状况。在此我们分析了五道梁地区紫外总辐射的变化。作为太阳辐射能的一部分, 紫外辐射除受大气气溶胶的影响以外还与大气  $O_3$  量有关。图 10 给出了五道梁地区紫外总辐射年平均日总量的变化曲线。1994~1999 年时段, 紫外总辐射年平均日总量在  $0.61 \sim 0.72 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  范围内变动, 6 a 平均值为  $0.66 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。从紫外总辐射的年际变化看, 1994~1999 时段, 紫外总辐射有减小的趋势, 这与该地区大气浑浊度增大, 大气透射比减小的结论是一致的。图 11 分别给出了  $R_{T_c}$  及  $D/S$  等浑浊度指标对紫外总辐射的影响。由图 11 可以看出, 紫外总辐射随着  $R_{T_c}$  及  $D/S$  等浑浊度指标增大而减小, 地表紫外总辐射与  $R_{T_c}$  及  $D/S$  有较好的反相关关系, 表明大气浑浊度的增大, 削弱了到达地表的太阳辐射量。

为估算年平均浑浊度系数变化对地表紫外辐射总量影响, 我们设计了这样的试验, 即假定其他气象条件不变, 人为增大大气浑浊度, 然后利用浑浊度与紫外总辐射的相关关系, 计算大气浑浊度改变情况下的紫外总辐射, 实际情形下紫外总辐射与试验情况下紫外总辐射的差值即为紫外总辐射的衰减量。试验方案如下

$$\Delta UV = UV - (Tub + \Delta Tub) \quad (10)$$

式中  $\Delta UV$  为紫外辐射的衰减量,  $UV$  为实际观测到的紫外辐射,  $Tub$  代表大气浑浊度指标 ( $R_{T_c}$ 、 $D/S$ ),  $f(Tub)$  为紫外辐射与大气浑浊度的函数关系,  $\Delta Tub$  为大气浑浊度的增量。

通过计算可得, 年平均  $\text{\AA ngstr\AA m}$  浑浊度系数  $\beta$  增大 0.01, 地表紫外总辐射减小  $0.056 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 占年平均紫外总辐射的 8.5%; 全波段浑浊度指标  $T_c$  增大 1.0 紫外总辐射减小  $0.059 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 占年平均紫外总辐射的 8.9%;  $D/S$  增大 0.01, 紫外总辐射减小  $0.060 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 占年平均紫外总辐射的 9.1%。

除了受大气浑浊度的影响外, 紫外辐射还受到

大气  $O_3$  的影响, 已有研究表明, 高原上空  $O_3$  量减小<sup>[14]</sup>。五道梁地表紫外辐射观测表明, 该地区地表紫外总辐射年平均日总量有减小的趋势, 这似与高原上空  $O_3$  量减小这一事实相矛盾。 $O_3$  量减小, 观测到的紫外总辐射应增大, 但观测事实并非如此, 这可能与人类活动扰动有关。人类活动造成的大气污染可使地表附近  $O_3$  浓度增加<sup>[15]</sup>。五道梁站位于青藏公路附近, 随着公路运输的日益繁忙, 汽车尾气的排放逐渐增大, 其中的  $NO$  在太阳辐射的作用下与

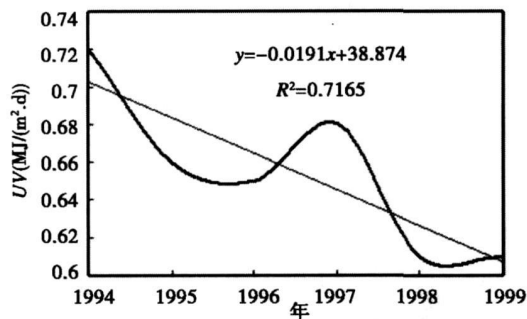


图 10 紫外辐射年平均日总量的年际变化

Fig. 10 The inter-annual variation of daily amount of annual mean UV

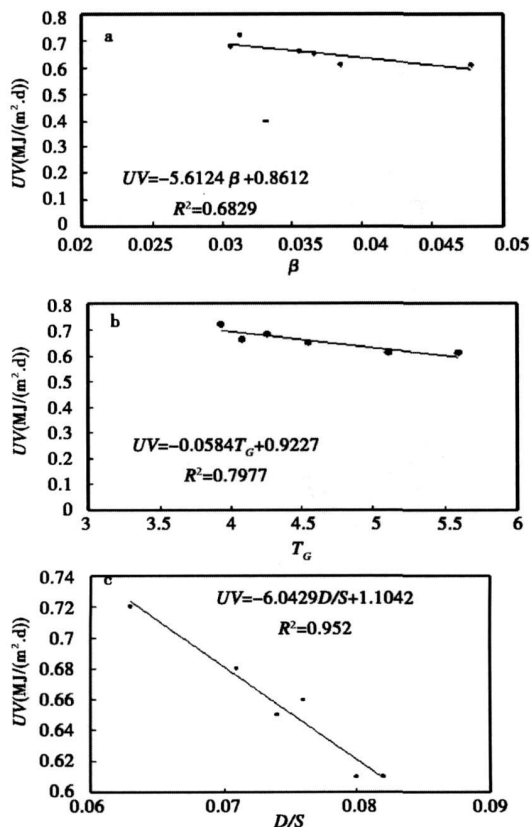


图 11 大气浑浊度对紫外总辐射的影响

Fig. 11 The effects of atmospheric turbidity on the ultraviolet radiation

$O_2$  发生复杂光化学反应最终生成  $O_3$ , 这一过程消耗一部分  $UV$  能量, 而这一光化学反应过程又使对流层下部  $O_3$  浓度增大, 而  $O_3$  可以吸收紫外辐射。因而, 尽管高空的  $O_3$  浓度减小, 但对流层下部的  $O_3$  浓度增大及光化学反应使紫外辐射在对流层中被削弱了, 紫外总辐射减小是可能的。乜虹等的研究证实了这一点(图 12), 1994~ 08~ 2001- 12 青藏高原洁净地区地面  $O_3$  呈缓慢的上升趋势<sup>[16]</sup>。而地表附近的  $O_3$  又是一种重要的污染气体, 高原地表  $O_3$  量增大, 表明人类活动造成的大气污染已波及到高原地区。

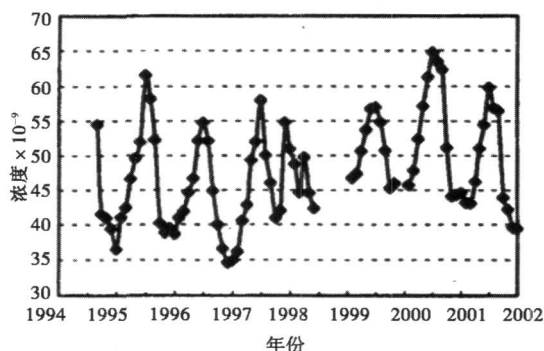


图 12 瓦里关地区地面臭氧浓度年际变化<sup>[16]</sup>

Fig 12 The inter-annual variation of the surface ozone over Wuliangui

以上分析表明, 1994~ 1999 年时段, 五道梁站紫外总辐射有减小的趋势, 大气浑浊度的增大是紫外辐射减小的另一个重要原因, 同时地表  $O_3$  量的增大的是紫外辐射减小的另一个原因。

## 2 结论

根据上述讨论分析, 可得如下结论:

1. 位于长江源头地区的五道梁大气洁净, 大气质量状况好。Ångström 浑浊度, 全波段浑浊度  $T_C$  及  $D/S$  浑浊度相对较小, 晴空大气透射比相对较大。其中 Ångström 浑浊度系数  $\beta$  6 a 平均值仅为 0.036 7, 此值略小于瓦里关山同期的大气浑浊度系数, 远低于视为清大气的  $\beta$  值 ( $\beta < 0.100$ )。

2. 1994~ 1999 年间长江源区五道梁不同的浑浊度指标均有增大的趋势, 晴空透射比有减小的趋势。其中 Ångström 浑浊度  $\beta$ ,  $D/S$ 、全波段浑浊度  $T_C$  分别以 0.002 4/a, 0.001 9/a, 0.318 6/a 的速度增大, 晴空大气透射比以 0.003 4/a 的速度减小。这表明该地区大气受到的扰动逐渐增大, 这应引起重

视。

3. 1994~ 1999 年间长江源区五道梁地表观测到的紫外辐射有减小的趋势。大气浑浊度的增大是地表紫外辐射减小的一个重要原因, 年平均 Ångström 浑浊度系数  $\beta$  增大 0.01, 地表紫外总辐射减小 0.056  $MJ/(m^2 \cdot d)$ , 占年平均紫外总辐射的 8.5%; 全波段浑浊度指标  $T_C$  增大 1.0, 紫外总辐射减小 0.059  $MJ/(m^2 \cdot d)$ , 占年平均紫外总辐射的 8.9%;  $D/S$  增大 0.01, 紫外总辐射减小 0.060  $MJ/(m^2 \cdot d)$ , 占年平均紫外总辐射的 9.1%。

4. 地表  $O_3$  量的增大是紫外辐射减小的另一原因。

## 参考文献 (References)

- [1] Wang M i x i n g Aerosol in Relation to Climate Change [ J ]. *Climate and Environmental Research*, 2000 5(1): 1~ 5 [王明星. 气溶胶与气候 [ J ]. 气候与环境研究, 2000 5(1): 1~ 5]
- [2] Ji Guoliang The characteristics of transparency of atmosphere on the main part of Qinghai-Xizang Plateau [ J ]. *Plateau Meteorology*, 1985 4( Suppl ): 122~ 129 [季国良. 青藏高原主体的大气透明度特征 [ J ]. 高原气象, 1985, 4(增刊): 122~ 129]
- [3] Sun Hongli, et al Formation and Evolution on the Tibetan Plateau [ M ]. Shanghai: Shanghai Science and Technological Press, 1997 319 [孙鸿烈, 等. 青藏高原的形成演化 [ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997 319]
- [4] Li Shude, Cheng Guodong et al Map of Frozen Ground in the Tibetan Plateau [ Z ]. Lanzhou: Culture Press in Gansu Province, 1997 [李树德, 程国栋, 等. 青藏高原冻土图 [ Z ]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1997]
- [5] Ji Guoliang, Yuan Fumao, Ma Xiaoyan, et al The characteristics of transparency of atmosphere on the Wudaoliang of river source [ J ]. *Advances in Earth Science*, 1998, 13( suppl ): 46~ 51 [季国良, 袁福茂, 马晓燕, 吕兰芝. 江河源区五道梁的大气透明度特征 [ J ]. 地球科学进展, 1998 13(增刊): 46~ 51]
- [6] Ji Guoliang, Yuan Fumao, Ma Xiaoyan. Observation and analysis of atmospheric turbidity over Wudaoliang area in Qinghai-Xizang Plateau [ J ]. *Plateau Meteorology*, 1998, 17( 2 ): 127~ 133 [袁福茂, 季国良, 马晓燕. 青藏高原五道梁地区大气浑浊度的观测和分析 [ J ]. 高原气象, 1998, 17(2): 127~ 133]
- [7] Wang Y a o q i Shen Zh i b a o Ji Guoliang et al Atmospheric turbidity in winter over Lanzhou Plateau Meteorology, 1982, 1( 4 ): 84~ 90 [王尧奇, 沈志宝, 季国良, 等. 兰州冬季的大气浑浊度 [ J ]. 高原气象, 1982 1(4): 84~ 90]
- [8] Giidhi yan anoto Masayuki K i n i n o A n a Hemispherical distribution of turbidity coefficient as estimated from direct solar radiation measurement [ J ]. *J. M. S. of Japan*, 1968 46(4): 287~ 299
- [9] Wen Jun, Ji Guoliang and Zhang Wancheng Characteristics of atmospheric turbidity over the Qinghai-Xizang Plateau [ J ]. *Geographical Research*, 1993 12(4): 15~ 21 [文军, 季国良, 张万程. 青

- 藏高原地区的大气浑浊度特征 [J]. 地理研究, 1993, 12 (4): 15 ~ 21]
- [10] Iqbal M., An introduction to Solar Radiation [M]. Academic Press, 1983: 390
- [11] China Weather Bureau. The Surface Meteorological Observation Criterion [M]. Beijing: Meteorological Press, 2003: 75~ 76 [中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 75~ 76]
- [12] Zhou Shuzhen, Shao Jiamin. The Effect of Shanghai city on Solar radiation. In: The City climate and Regional Climate [C]. Shanghai Normal college of east China Press, 1989: 130~ 140 [周淑贞, 邵建民. 上海城市对太阳辐射的影响 [A]. 城市气候与区域气候 [C]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989: 130~ 140]
- [13] Qi Donglin, Qiao Xiaochun, Nie Hong. Observation and analysis of atmospheric turbidity over Wuliang [J]. *Journal of Qinghai Environment*, 2001, 14(3): 93~ 95 [祁栋林, 乔晓春, 乜虹, 等. 瓦里关地区大气浑浊度的观测与分析 [J]. 青海环境, 2001, 14(3): 93~ 95]
- [14] Zhou Xujie, Luo Chao. The ozone amount in China and the abnormality low value center in Qinghai-Xizang Plateau [A]. In: The Variation of Atmospheric Ozone in China and its Effect on the Climate [C]. Beijing: Meteorological Press, 1996: 232~ 237 [周秀骥, 罗超. 中国地区臭氧总量与青藏高原异常低值中心 [A]. 见: 中国地区大气臭氧变化及其对气候的影响 (一) [C]. 北京: 气象出版社, 1996: 232~ 237]
- [15] Wang Mingxing. Atmospheric Chemistry [M]. Beijing: Meteorological Press, 1999: 341 [王明星. 大气化学 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 341]
- [16] Nie Hong, Niu Shengjie, Wang Zhibang, et al. Characteristic Analysis of Surface Ozone over Clean Area in Qinghai-Xizang Plateau. *Arctic Meteorology*, 2004, 22(1): 1~ 7 [乜虹, 牛生杰, 王治邦, 等. 青藏高原清洁地区近地面层臭氧的特征分析 [J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 1~ 7]

## The Condition of Atmospheric Quality over Wudaoliang

LI Ren<sup>1, 2, 3</sup>, ZHAO Lin<sup>1, 2, 3</sup>, DING Yongjian<sup>2, 3</sup>, YANG Wen<sup>3</sup>, JI Guoliang<sup>1, 3</sup>

(1. Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Lanzhou 730000, China;

3. Cold and Arid Regions Environmental And Engineering research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The study on the condition of atmospheric turbidity is an important aspect in understanding the attenuation extend of solar radiation transferring through the atmosphere. In this paper, by using the radiative data observed from Sep. 1993 to Dec. 1999 and narrow wave band data observed with sun-photometer MS-120 from Sep. 1993 to May 1995 at Wudaoliang radiative station, the atmospheric turbidities were calculated and the condition of atmospheric quality was analyzed too. The results show that the atmosphere over Wudaoliang is so clear while there is an increscent trend for the atmospheric turbidities of  $\text{\AA}$ ngström,  $D_{50}$  and  $T_c$ . And the transmittance on clear sky and the UV radiation are decrease.

**Key words** river source region; atmospheric turbidity; transmittance; ultraviolet radiation (UV)