

紫外辐射传输模式计算与 实际测量的比较*

王普才 吴北婴 章文星

(中国科学院大气物理研究所中层大气与全球环境探测开放实验室, 北京 100029)

摘要 利用改进的离散坐标法紫外辐射传输模式, 应用各种可测得的实际大气物理参数, 模拟了 1993 年 7 月 24 日德国加尔米希-帕特科琛 (Garmisch-Partenkirchen, 47.47°N, 11.07°E) 地面紫外辐射的全天分布, 并与 1993 年秋天第三次欧洲紫外辐射光谱仪比对活动期间通过了严格绝对标定的奥地利英斯布鲁克 (Innsbruck) 大学的紫外光谱仪的实际观测资料进行了比较, 进行了余弦响应订正后, 计算与测量的绝对值差别很小, 最大误差对地面 UVB 通量 (280~320 nm) 是 0.07 W/m^2 (正午的通量为 3.2 W/m^2)。对 UVA (320~400 nm) 最大误差是 2.6 W/m^2 (正午通量为 54 W/m^2)。计算与测量的平均偏差为 5%~13%, 这表明, 地面紫外辐射水平也可以利用其他大气观测资料通过模式计算间接得到。

关键词 紫外辐射 辐射传输模式 紫外测量

1 引言

多方面长时期的观测资料, 包括全球臭氧监测网和 TOMS 资料, 都找到充分可信的在全球大部分范围内臭氧含量在逐渐减少的证据^[1,2], 这引起了许多科学家的忧虑, 因为臭氧减少会导致紫外辐射非线性增加。假如大气臭氧从目前含量减少一半, 到达地面的紫外辐射红斑效应剂量将相应增加三倍左右, 这将给人类和地球表面许多生物带来极其不利的影响, 如皮肤癌发病率大量增加, 水生产力下降, 导致人类食物供应短缺。由此可见, 关心地面紫外辐射的变化趋势, 对于人类生存环境具有十分重要的意义。

直接进行紫外辐射的测量很重要。早期的紫外辐射测量是用罗伯逊-伯杰 (Robertson-Berger) 辐射计进行的, 这种仪器的优点是简单易行, 可进行全自动的全天候测量, 价格比较便宜, 缺点是不能进行光谱测量, 不能满足研究紫外辐射生物效应对各种紫外辐射剂量的需要, 而紫外光谱辐射计能够克服这些困难, 但价格相对昂贵, 并且不易进行全自动全天候测量。国外很多年以前就开展了紫外辐射光谱测量, 国内也开展了这方面的工作^[3~5]。值得一提的是, 欧盟委员会资助了一个三年期的专门科学计划, 称为“确立 UV-B 监测网标准”。这个计划旨在建立各国科学家在不同地点进行紫外辐射测量的共同标准, 并长期保持这个标准, 为在欧洲地区部署紫外辐射光谱测量

1997-10-08 收到, 1998-03-30 收到修改稿

* 中国科学院择优支持回国工作基金、国家人事部留学人员科技活动经费以及国家自然科学基金项目 49875001 联合资助

奠定基础。

紫外辐射的实际测量固然重要,但建立紫外辐射传输模式也有重要价值。紫外辐射模式可以用来模拟各种大气参数及其分布对到达地面紫外辐射的影响,包括大气臭氧及其分布、二氧化硫、气溶胶、火山气溶胶、还有云的影响,以及各种大气光学参数的相互作用,以加深影响地面紫外辐射的大气过程的理解,这将有助于分析紫外辐射光谱的观测资料^[6]。另外,到目前为止,紫外辐射光谱监测网点仍然为数极少,要研究全球的紫外辐射的变化,还需要模式的帮助。

2 模式

基于 Stamnes 等的离散坐标方法,我们建立了一个紫外辐射传输模式^[7,8]。应用平面平行大气假设,模式大气被分成若干水平均匀层。在这个模式中,考虑了在紫外波段的臭氧吸收、二氧化硫吸收、分子散射和气溶胶散射。对于紫外辐射,臭氧吸收占主要地位。臭氧总量与到达地面紫外辐射量关系很大,它的垂直分布的影响也不小,所以,为了进行模式计算与实际测量的比较,臭氧总量应选取严格相应的实际测量值,它的垂直分布也最好是实际探空廓线,实际探空所不及的较高层大气的臭氧分布可用卫星资料反演的时空较为接近的廓线,以尽可能减少误差。对于较为干净的大气,二氧化硫的吸收可以忽略不计。气溶胶对地面太阳紫外辐射的影响也比较重要,其光学厚度可选用实际测量值,垂直分布则可选用较有代表性的廓线,因为它的影响相对较小^[6]。在实际计算中,根据现场太阳光度计和绝对日射表在 0.45、0.65 和 0.85 μm 实测的光学厚度拟合的 Angstrom 指数外推到紫外波段,得到的光学厚度代入模式。

每一层的大气光学特性参数是由各分量的特性参数计算的,包括臭氧、气溶胶、分

子的贡献。臭氧贡献表现为单纯吸收。分子贡献可由瑞利 (Rayleigh) 散射理论描述,气溶胶贡献由米 (Mie) 散射理论描述,给定一个粒子尺度分布,可以通过米散射计算程序得到散射相函数。

3 资料

第三次欧洲紫外辐射光谱仪的比对活动于 1993 年 7 月在德国加尔米希-帕特科琛举行。十几个不同国家的科学小组参加了这次比对活动。观测地点是座落在山脚下的德国夫琅和费大气环境研究所,海拔高度 730 m,周围是森林和牧场。

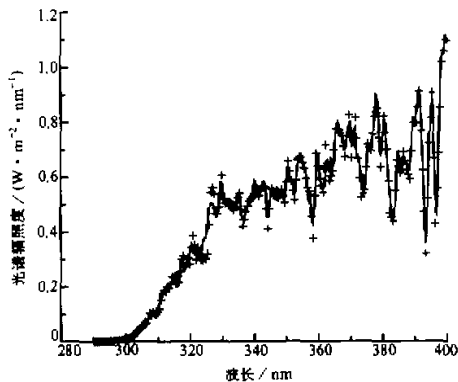


图1 模式计算与实际测量的紫外辐射光谱辐照度的比较

1993年7月24日12时(UT,世界时),德国加尔米希-帕特科琛(Garmisch-Partenkirchen, 47.47°N, 11.07°E)

++计算, ——测量

7 月 24 日, 天气晴朗, 所有的仪器都进行严格同步观测, 范围是 280~400 nm, 步长 0.5 nm。各家仪器测量结果的比较写进了活动的总结报告中^[9]。就仪器各种性能而言, 奥地利英斯布鲁克 (Innsbruck) 大学的紫外光谱仪被认为是最稳定的一个。这里选用这台仪器的测量资料进行与模式计算的对比。

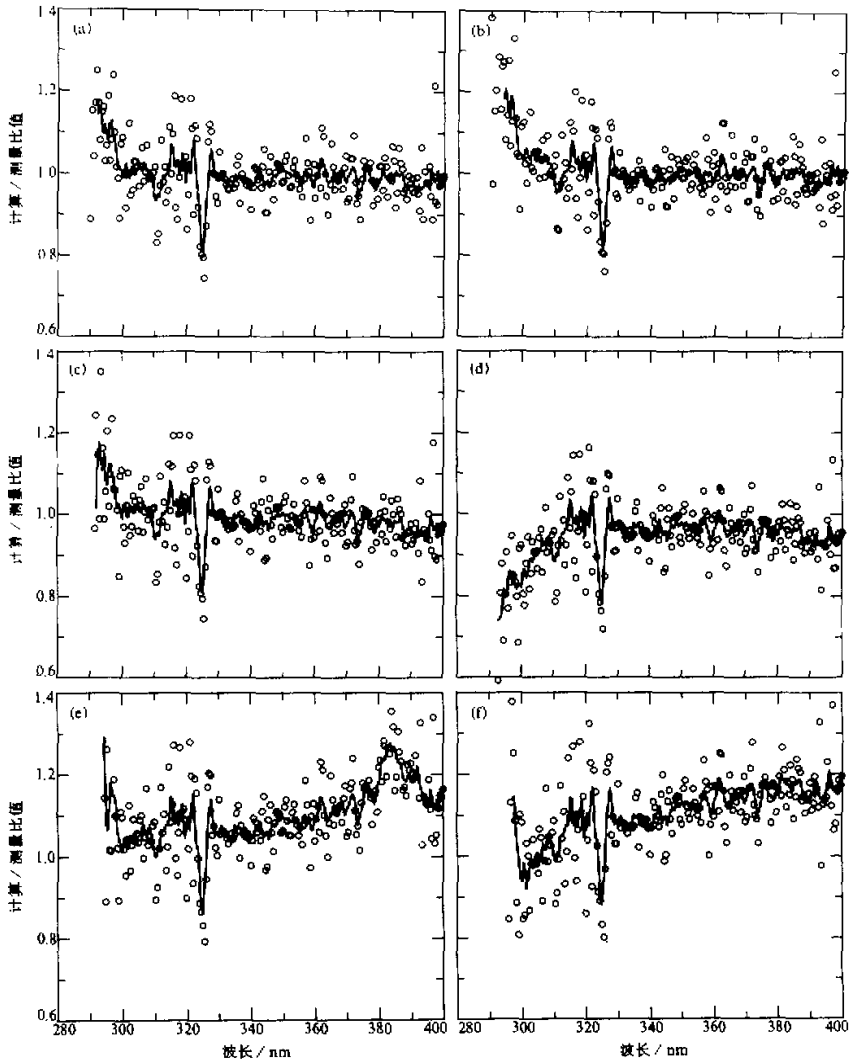


图 2 模式计算与 1993 年 7 月 24 日实际测量的紫外辐射光谱辐照度的比值
(a) 12 时 (UT); (b) 13 时 (UT); (c) 14 时 (UT); (d) 15 时 (UT);
(e) 16 时 (UT); (f) 17 时 (UT)
对应的太阳天顶角依次是 28.71°、34.04°、42.06°、51.57°、61.08°、71.90°
○为光清前, —为光清后

在紫外辐射光谱测量的同时,还进行了臭氧总量和气溶胶光学厚度的测量。这些测量结果被直接代入模式中。常规探空从附近(相距约 60 km)的一气象站获得。根据观测地点的周围环境,地表反射率取为 0.04。

4 计算结果

利用紫外辐射传输模式模拟了 7 月 24 日与实际测量相应的每隔一小时的地面紫外辐射。计算和测量的紫外辐射光谱辐照度的一个例子给在图 1 中。为了更加清楚地看出计算与测量符合的程度,下面将给出它们的比值。在这样做之前,首先要考虑测量仪器角度响应的不完善带来的偏差,并设法予以订正。McKenzie 等估算了他们的紫外光谱辐射计的这种偏差约为 5%^[10]。我们也对获取比较资料的英斯布鲁克大学的紫外光谱仪,应用其角度响应曲线,计算了这种偏差,约为 10%~14%,与太阳天顶角有关。做过角度响应订正之后的测量与计算结果比较的部分结果展示在图 2 中(只给出下午的结果,上午的结果因与下午的结果具有对称性而从略)。12~17 时(世界时)对应的太阳天顶角给在图的说明中。由于光谱(包括计算和测量)是一个快速变化的曲线,任何很小的波长偏差都会使它们的比值也是一个快变曲线,为消除这一波长偏差引起的误差,应在较小波长范围内对比值曲线进行光滑处理。我们在 2.5 nm 的波长范围内进行了滑动平均,在图中用实线表示。我们现在用滑动平均后的结果偏离 1 的程度称为相对统计偏差来表示计算与测量的符合程度。图 2a~c 的比值曲线几乎完全相同,表明我们

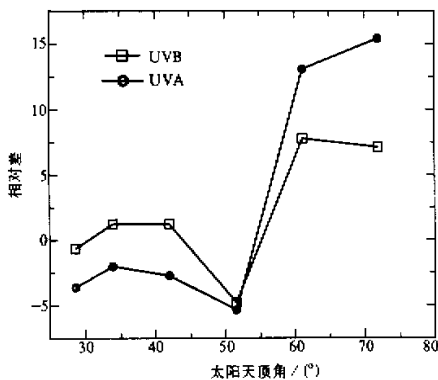


图 3 UVB 和 UVA 段模式模拟与测量的相对差别

所用的仪器是参加对比的十几台仪器中最好几台之一,非常稳定。可以看到,计算与测量的相对统计偏差为 5%~13%,与太阳高度密切相关,当太阳较高时,两者符合较好,但太阳较低时,如 16 和 17 时(世界时),计算比测量偏高 12%~13%。图 3 给出总 UVB 和 UVA 的相对差别,可看到,无论对 UVA 还是 UVB,模式计算与测量的差别在 5%之内,相对误差随太阳天顶角增加,最大分别为 8% (UVB) 和 15% (UVA)。

考虑到地面 UVB 随太阳天顶角增加而减少,我们比较了模式与测量的绝对值。从图 4 和图 5 可以看到,尽管太阳天

顶角时相对差别很大,但绝对差别很小,对地面 UVB 仅 0.07 W/m^2 ,对 UVA 为 2.6 W/m^2 。在太阳较高时模式值比测量值略小,而在太阳较低时,模式值略高于测量值。

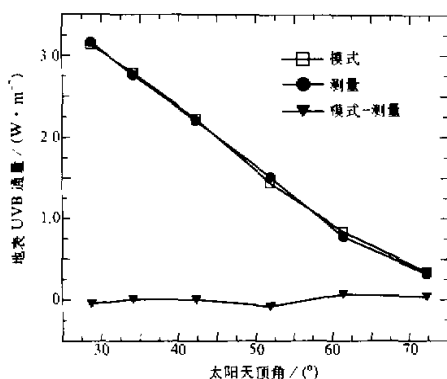


图4 模式模拟与测量的总 UVB 通量比较

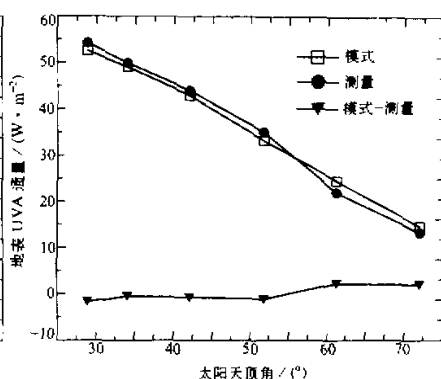


图5 模式模拟与测量的总 UVA 通量比较

5 结论

用实际大气条件作为输入条件, 本文介绍的模式模拟与高质量仪器测量符合得非常好。在这种模式与测量的比较中, 必须考虑仪器的余弦响应订正。对地面 UVB (280~320 nm) 模式与测量的差别仅 0.07 W/m^2 (正午值 3.2 W/m^2), 对 UVA 为 2.6 W/m^2 (正午值 54 W/m^2)。上述结果表明这个紫外辐射传输模式在已知关键大气参数的情况下可以较好地模拟大气辐射传输过程, 计算到达地面的紫外辐射通量, 这对于了解各种大气参数对紫外辐射传输过程的影响, 弥补紫外辐射测量资料的不足, 分析全球的紫外辐射的变化具有应用前景。

致谢: 这项工作是在法国里尔科技大学大气光学实验室完成的, 感谢该大学的 Lenoble 教授的帮助, 同时还感谢奥地利英斯布鲁克大学的 Blumthaler 提供对比用的实际测量资料。

参 考 文 献

- 1 Stolarski, R. S., P. Bloomfield, R. D. McPeter, J. R. Herman, 1991, Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1015~1018.
- 2 HMSO, United Kingdom Stratospheric Ozone Review Group, Fast Report 1991, 1~3.
- 3 McKenzie, R. L., P. V. Johnston, M. Kotkamp, A. Bitar and J. D. Hamlin, 1992, Solar ultraviolet spectrometry in New Zealand: instrumentation and sample results from 1990, *Appl. Opt.*, **31**, 6501~6509.
- 4 吕达仁、李卫、李福田、唐玉国、马海涛, 1996, 长春地区紫外光谱 (UV-A, UV-B) 辐射观测和初步分析, *大气科学*, **20**, 343~351.
- 5 郭松、周秀骥、张晓春, 1994, 青海高原大气 O_3 及紫外辐射 UV-B 观测结果的初步分析, *科学通报*, **39**(1), 50~53.
- 6 王普才、吴北婴、章文星, 1999, 影响地面紫外辐射的因素分析, *大气科学*, **23**(1), 1~9.
- 7 Stamnes, K., S. C. Tsay, W. J. Wiscombe and K. Jayaweera, 1988, Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Appl. Opt.*, **27**,

2502~2509.

- 8 Wang, P. C. and J. Lenoble, 1994, Comparison between measurements and modeling of UV-B irradiance for clear sky: a case study, *Appl. Opt.*, **33**, 3964~3971.
- 9 Gardiner, B. G. and P. J. Kirsch, 1994, Setting Standards for European Ultraviolet Spectroradiometers, Report to the Commission of the European Communities, STEP-076, 2~4.

Comparison of UV Simulation and Measurements of Surface Ultraviolet Radiation

Wang Pucai, Wu Beiyong and Zhang Wenxing

(Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The surface UV radiation in Garmisch-Partenkirchen (47.47°N, 11.07°E) measured every hour on July 24, 1993 has been simulated using a modified DISORT UV radiative transfer model with measured atmospheric parameters as inputs. The simulation has been compared to the measurement with the spectroradiometer of the University of Innsbruck, Austria, for which accurate absolute calibration has been conducted during the period of the third Intercomparison of European Ultraviolet Spectroradiometers in the Autumn of 1993. The average discrepancy between simulation and measurement was 5%~13%, the comparison shows that the absolute differences between model and measurement with cosine response correction are very small, the maximum errors are 0.07 W/m^2 for surface UVB (280~320 nm) flux compared to about 3.2 W/m^2 at noon and 2.6 W/m^2 for UVA (320~400 nm) flux compared to about 54 W/m^2 at noon. This means that the surface UV radiation can be well simulated by measuring some key atmospheric measurements.

Key words ultraviolet radiation radiative transfer model UV measurement