

MICROTOPS II 手持式太阳光度计 海上测量关键技术

高 飞, 李铜基, 陈清莲, 邬海强

(国家海洋技术中心, 天津 300111)

摘 要: 海上的大气参数是卫星遥感进行大气校正所需的重要参数, 而手持式太阳光度计的现场测量精度又是能否准确地获得大气参数的重要环节, 此环节将直接影响大气参数后期数据处理的准确性与可靠性。文章以 MICROTOPS II 仪器在 2002 年 6 月 HY-1 南海海上试验与 2004 年 3 月天津试验的测量数据为基础, 针对影响海上测量的一些重要因素与关键技术进行讨论和研究。

关键词: 手持式太阳光度计; 大气参数; 关键技术

中图分类号: P714.3, P716.42

文献标识码: B

文章编号: 1003-2029 (2003) 03-0005-05

1 引言

气溶胶光学厚度是大气测量的主要参数, 而使用太阳光度计进行现场测量又是获得气溶胶光学厚度的主要手段。不同于陆地上, 由于海上的大气参数是在晃动的平台上进行测量的, 因此那些需要固定在稳定平台上的太阳光度计就完全不适用了, 所以手持式太阳光度计在海上采集气溶胶光学厚度数据是最简单的、准确的方法。美国 Solar Light 公司生产的 MICROTOPS II 型太阳光度计是全世界众多研究者所使用的手持式光度计之一。MICROTOPS II 太阳光度计以其操作简单、易携带和价格低等优点而得到广泛应用。

MICROTOPS II 与其他类型的太阳光度计在大气参数测量原理上都是一样的, 大气气溶胶光学厚度是由太阳光度计各通道上测量的电压值并使用下面公式^[1,2]计算:

$$V(\lambda) = V_0(\lambda) [d_0/d]^2 e^{-(\tau_a m_a + \tau_m m_m + \tau_{O_3} m_{O_3} + \tau_i m_i)} \quad (1)$$

式中: λ 表示仪器各波段的波长; $V(\lambda)$ 是仪器测量的电压值; $V_0(\lambda)$ 是大气层顶太阳辐射电压值; $[d_0/d]^2$ 是日地距离修正因子(随着顺序天数的变化而变

化), m_a, m_m, m_{O_3} 与 m_i 分别是气溶胶、大气分子、臭氧和痕量气体的大气质量, $\tau_a, \tau_m, \tau_{O_3}$ 与 τ_i 分别是气溶胶、大气分子、臭氧和痕量气体的光学厚度。

对公式(1)等号两边取自然对数后再微分, 则气溶胶光学厚度的误差可由以下公式^[3]表示:

$$\Delta\tau_a = \frac{1}{m_m} \left[-\tau \Delta m_m + \frac{\Delta V'_0}{V'_0} - \frac{\Delta V}{V} - \tau_{O_3} \Delta m_{O_3} - m_{O_3} \Delta \tau_{O_3} \right] + \Delta\tau_m + \Delta\tau_i \quad (2)$$

式中: 等号右边的 $-\tau \Delta m_m / m_m$ 项表示分子大气质量的计算误差; $\Delta V'_0 / (m_m V'_0)$ 项是太阳光度计的定标误差; $\Delta V / (m_m V)$ 项是太阳光度计的测量误差; $\tau_{O_3} \Delta m_{O_3} / m_m$ 和 $m_{O_3} \Delta \tau_{O_3} / m_m$ 分别是臭氧大气质量与光学厚度的计算误差; $\Delta\tau_m$ 项是大气分子光学厚度的计算误差; $\Delta\tau_i$ 项是痕量气体光学厚度的计算误差。除了太阳光度计的测量误差, 其余 6 项均是在数据处理中各相关参数计算所引入的误差, 使用准确的计算公式可以减小这些参数计算的误差, 降低对气溶胶光学厚度精度的影响。而仪器测量误差则是获取气溶胶光学厚度主要误差之一, 只有完善的测量技术和方法才能够进行准确的测量, 减小测量误差。本文以下内容主要是对 MICROTOPS II 型太阳光度计的海上现场测量技术与方法进行研究。

2 测量技术与方法

手持式太阳光度计的测量误差主要是由太阳的

对准、仪器温度变化、仪器电路稳定性、滤光片衰减等因素引起的。想要使现场测量准确就必须采取有效的技术与方法来消除以上各因素的影响。本节通过2002年6月HY-1南海海上试验与2004年3月天津试验测量数据的分析,详细说明了消除这些因素对测量影响的技术与方法。

2.1 太阳的对准

手持式太阳光度计在海上的测量过程当中,仪器能否对准太阳是主要的误差源之一。如果太阳光度计没有很好的对准太阳,测量的电压值 $V(\lambda)$ 将减

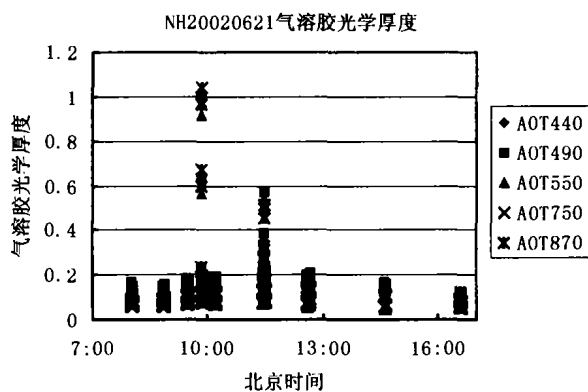


图1a 2002年6月21日南海试验各站位气溶胶光学厚度

小,那么计算出的气溶胶光学厚度就会增大。在南海试验2002年6月21日的9:51和11:28时测量站位上出现了明显的仪器没有对准太阳的情况,这两个站位上的气溶胶光学厚度均呈现彗星形状分布,如图1a所示,因此在气溶胶光学厚度数据处理之前必须对测量数据进行检查与剔除太阳对准异常点的工作。在剔除6月21日各站位上的测量异常点之后,余下的气溶胶光学厚度数据都是有效可用的数据,如图1b所示。

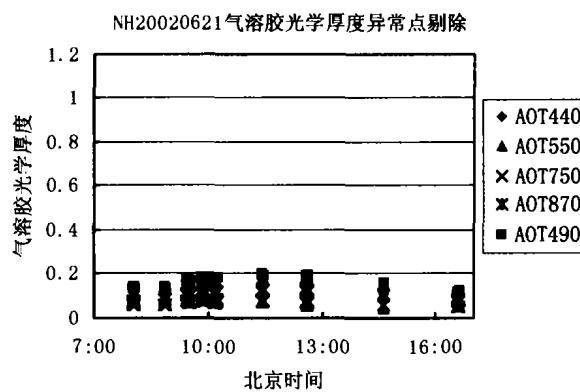


图1b 2002年6月21日南海试验各站位剔除异常后的气溶胶光学厚度

对于原有的MICROTUPS II太阳光度计测量规范来说,仪器测量参数的设置不够合理将导致在每组测量过程中容易出现没有对准的情况(每组的采样个数过多,测量时间过长)且没有保存测量中的最大值(原有规范中的“取最大值个数”参数设置为4,是指每组所有的测量数据取4个最大值后再求它们的平均值),同时原有规范也没有明确的规定在测量中太阳对准异常点的剔除方法。想要减小太阳对准因素对测量的影响,就必须严格遵守新的海上测量规范^[4]。新的规范包括以下两个技术步骤:a. 修改原有规范中仪器测量参数的设置,减少每组测量的采样个数(MICROTUPS II由原来的每组32个改为20个),每次的测量时间应该控制在5 min之内(测量25组左右),同时每组采样数据只取其中的最大值(“取最大值个数”参数设置为1),这样做不仅缩短了每次和每组的测量时间而且确保每组测量仅取最大值;b. 计算每次多组测量数据的归一化标准偏差(Normalized Standard Deviation),如果标准偏差大于0.05,那么就要剔除数据中最小的测

量电压值即气溶胶光学厚度最大值,重复以上步骤直至标准偏差小于0.05或没有足够用于计算标准偏差数据点为止。

2.2 仪器温度的变化

仪器自身温度的变化也是影响现场测量精度的重要因素。仪器温度的变化会导致仪器内部暗电流与增益的变化,最终会造成测量数值发生偏差^[5]。在2004年3月6日天津进行了温度对测量影响的试验,在整个试验过程中,天气晴朗,气溶胶光学厚度稳定且很小(在0.3以下),空气中水汽含量很少。此试验主要是以两台MICROTUPS II太阳光度计为主,两台仪器(编号分别为5360与5361)具有相同的光谱通道440 nm与870 nm。试验分为两个阶段:在第一个阶段的测量过程中,一台MICROTUPS II太阳光度计(编号5361)进行升温且不进行开关机操作;在第二个阶段的测量过程中,同样是这台MICROTUPS II仪器(编号5361)进行升温,但此时其每次测量都要进行开关机的操作(仪器的开关机操作将会消除温度对仪器测量的影

响)。图 2a 与 2b 是两台 MICROTOPS II 仪器分别在两个阶段内的温度变化。图 3 a 与 3 b 分别是两个阶段内 870 nm 通道上气溶胶光学厚度的相对偏差。第一个阶段内的相对偏差较大, 主要是由于仪

器较大的温度变化所造成的; 由于进行了开关机的操作, 使得仪器在开关机时自动消除了因温度的变化而产生的影响, 所以第二阶段内的相对偏差较小, 在 3% 以下。

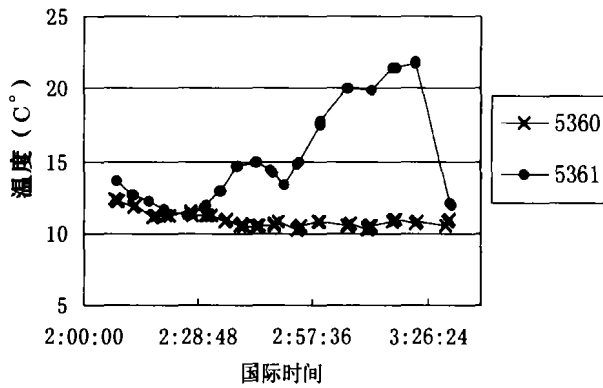


图 2a 第一阶段两台仪器温度变化

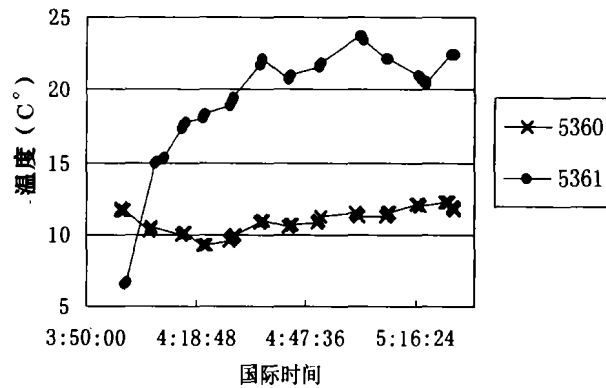


图 2b 第二阶段两台仪器温度变化

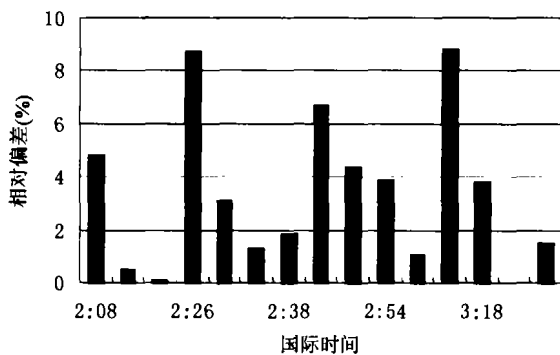


图 3a 第一阶段 870 nm 两台仪器气溶胶光学厚度相对偏差

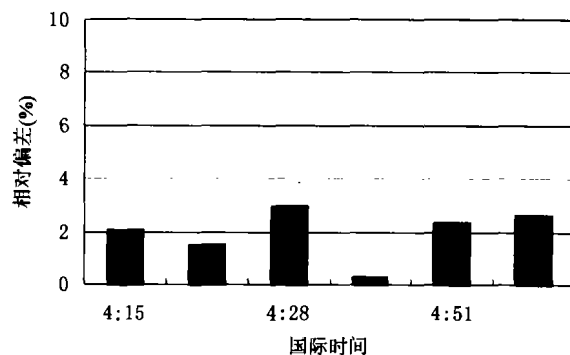


图 3b 第二阶段 870 nm 两台仪器气溶胶光学厚度相对偏差

Kirk 在实际测量中发现 (Kirk D. Knobelspiesse et al. 2002), 即使是太阳光度计温度恒定不变, 由于仪器内部的电路潜在的缺陷, 仪器电容漏电产生较低的电压会使得在较短波段上的测量出现偏差, 因此在测量中还须考虑仪器电路的稳定性问题。为了检测仪器电路的稳定性, 试验期间必须采用“暗”测量方法 (将仪器的探测窗口完全遮挡后测量仪器的暗电流)。在海上的试验期间, MICROTOPS II 仪器每次测量前必须进行多组 (3 组以上) “暗”测量^[4]并记录下仪器各通道上的“暗”电压值。仪器各通道上的“暗”电压值应该小于 MICROTOPS II 仪器所规定的最小电压值 $\pm 0.03 \text{ mV}$ 。在测量过程中, 仪器的某些通道偶尔会出

现大于 $\pm 0.03 \text{ mV}$ 的情况, 此时仪器仍可以工作, 如果“暗”电压值总是大的话 (此通道就出现了故障), 那么仪器就应该返厂修理。

2.3 其他干扰因素

除了以上两节所提到的太阳对准与仪器温度变化的影响因素, 还有仪器滤光片衰变、冷凝现象与仪器镜头洁净度等因素也会对测量结果产生影响。

(1) 仪器滤光片的衰变是值得注意的, 仪器短波通道的滤光片通常会发生衰变^[5]。当滤光片发生较大的衰变时, 仪器相应通道上的测量信号值将出现偏大或偏小的现象, 此时应与生产商进行联系并及时更换滤光片。

(2) 由于海上的水汽含量较大, 当仪器由高温

区域转移到低温环境下时,仪器可能会出现冷凝现象,按照测量规范的要求,在测量前应将仪器放置于仪器测量环境下且避免太阳的直射。

(3) 在海上测量期间,仪器镜头表面可能会粘上盐沫,测量人员应经常检查仪器镜头是否洁净,如果出现污渍,应使用专业镜头液和镜头纸进行清洁^[4]。

3 结论

在海上的大气参数测量中,使用 MICROTUPS II 型手持式太阳光度计应该充分考虑到每个对测量有影响的因素,仪器能否对准太阳、仪器温度的变化、仪器电路稳定性等都是重要的干扰因素,如果忽略这些因素会使得测量数据偏差很大,导致测量数据不可用。对于 MICROTUPS II 型手持式太阳光度计的测量来说,必须做到以下几点要求:

(1) 每次测量前必须检查仪器探测窗口的洁净度,如有污渍,应使用高级镜头液和镜头纸进行清洁。

(2) 测量前将仪器放置在环境温度下并避免太阳的直射,以防止仪器出现冷凝现象;

(3) 如果仪器出现了冷凝现象,那么仪器应放置于高温(高于环境温度)环境下迅速升温以消除仪器的冷凝现象。

(4) 在每组太阳直射辐射测量之前必须进行仪器开关机操作用以消除温度变化对仪器测量的影响。

(5) 在整个试验期间,仪器每次测量前必须进行“暗”测量并记录下仪器各通道上的“暗”电压值,用以检测电路的稳定性。

(6) 在进行气溶胶光学厚度数据处理之前,必须采用 2.1 节新规范所提到的归一化标准偏差的方法来剔除测量数据中的异常点。

尽管测量人员具有手持式太阳光度计现场测量的丰富经验,但只要是在海上晃动平台上(尤其是在较差的海况下)进行大气参数的测量,仪器的对准总是个难题,测量中难免会出现对不准的情况。因此 MICROTUPS II 手持式太阳光度计在进行海上的现场测量过程中,测量人员都应严格遵守以上所提到的测量技术与处理方法进行海上测量。

致谢:感谢 HY-1 卫星遥感辐射校正/真实性检验组成员在两次试验中给予现场测量的帮助以及技术上的指导。

参考文献:

- [1] Frouin R, B Holben, M Miller, C Pietras, J Porter, and KVoss. "Sun and sky radiance measurements and data analysis protocols," In Fargion, G, R Barnes, and C Mc Clain, In Situ Aerosol Optical Thickness Collected by the SIMBIOS Program (1997-2000); Protocols, and Data QC and Analysis. NASA Tech Memo 2001-209982, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 26-42.
- [2] Volz F E. Photometer mit Selenphotoelement zur spektralen Messung der Sonnenstrahlung und zur Bestimmung der Wellenlangenabhängigkeit der Dunsttrübung. Arch Meteor Geophys Bioklim 1959, B10, 100-131.
- [3] John N Porter, Mark Miller, Christophe Pietras, Craig Motell. Ship-Based Sun Photometer Measurements Using Microtops Sun Photometers. American Meteorological Society, 2001, 18, 765-774.
- [4] Robert Frouin, Brent Holben, Mark Miller, Christophe Pietras, Kirk D. Knobelspiesse, Giulietta S. Fargion, John Porter and Ken Voss. Sun and Sky Radiance Measurements and Data Analysis Protocols. 2002, Revision 3, NASA/TM-2000.
- [5] Kirk D Knobelspiesse, Christophe Pietras, Giulietta S Fargion. 2002; Microtops II Handheld Sun Photometer Sun Pointing Error Correction for Sea Deployment.

The Key Techniques of Using MICROTOPS II Hand-held Sun Photometer on the Sea

GAO Fei, LI Tong-ji, CHEN Qing-lian, WU Hai-qiang

(National Ocean Technology Center, Tianjin, 300111)

Abstract: The atmospheric parameter is necessary for atmospheric correction algorithm of satellite on the sea, and the accuracy of measuring data of hand-held sun photometer is main approach to derive the atmospheric parameter. The measurement in situ will affect accuracy and credibility of the atmospheric parameter processing. In the article, the factors that affect precision of measuring data and key Techniques are discussed and researched based on the MICROTOPS II experimental data of HY-1 satellite in South China Sea in July, 2002 and Tianjin in March, 2004.

Keywords: hand-held sun photometer; atmospheric parameter; key technique

(上接第 4 页)

参考文献:

- [1] G S Fargion and J L Mueller. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation. 2000, Revision 2, NASA/TM-2000-209966.
- [2] J L Mueller and G S Fargion. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation. 2002, Revision 3, NASA/TM-2002-210004.
- [3] J L Mueller, G S Fargion and C R McClain. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation. 2003, Revision 4, NASA/TM-2003-211621.
- [4] 陈清莲, 唐君武, 李铜基等. 星载遥感数据的真实性检验方案研究. 1999, 总装技术文件 (内部资料).
- [5] Morel A Y, and L Prieur. Analysis of variations in ocean color. *Limnol Oceanogr*, 1997, 22, 709B722.
- [6] Z P Lee, K L Carder and C D Mobley, etc. Hyperspectral remote sensing for shallow waters: A semianalytical model. *APPLIED OPTICS*, 1998, 37 (27): 6329-6338.
- [7] Z P Lee, K L Carder, and R A Arnone. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *APPLIED OPTICS*, 2002, 41 (27): 5755-5772.

A New Method of Profiling Remote-Sensing Reflectance of Coastal Water

LI Tong-ji, CHEN Qing-lian, WANG Xiao-yong, YANG An-an

(National Ocean Technology Center, Tianjin, 300111)

Abstract: The profiling method is the preferred way to measure remote-sensing reflectance. In this paper, according to the characters of china coastal waters, we develop a new method to compensate the environment's effects with downwelling irradiance's profile, and to estimate the underwater remote-sensing reflectance $r_{rs}(\lambda)$. The result indicates that the relative deviation of repetitious $r_{rs}(\lambda)$ in one station is around 10%.

Key words: profiling method; remote-sensing reflectance; method