

净辐射通量观测方法及观测精度的不确定性研究*

孙晓敏 朱治林 张仁华

王庚辰 刘广仁

(中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)(中国科学院大气物理研究所 北京 100029)

摘 要 净辐射通量观测方法和观测精度的不确定性已日益被人们所认识和了解,除了各种净辐射通量观测方法自身存在的一些问题外,还涉及太阳辐射表的标定方法(特别是长波辐射表的标定)、各种辐射表的技术指标及正确使用和维护等问题。通过在野外对国产全波段净辐射表(Net pyrradiometer 下称净辐射表)和“四路法”(4-way component system)2种常用的净辐射通量观测方法进行对比试验,结果表明,净辐射通量观测精度随时间和天气状况变化有不确定性,温度变化和辐射表防风罩透过光谱的不一致性是导致辐射表测量不确定性的主要原因。

关键词 净辐射通量 野外观测 不确定性

Study on the uncertainties of methods and precision of net radiation flux measurement. SUN Xiao-Min, ZHU Zhi-Lin, ZHANG Ren-Hua(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101), WANG Geng-Chen, LIU Guang-Ren(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029), *CJEA*, 2001, 9 (1): 52~54

Abstract More and more scientists are conscious of the uncertainties of net radiation flux measurements. It has relation not only to the measuring method, but also to the calibrating and maintaining methods of radiometers, especially long-wave radiometer. In this paper, two common measuring methods, which are net pyrradiometer measurement (NPM) and 4-way component system measurement (4CSM) were used to contrast in the fields. The results show that there are uncertainties in error between two measurements, and its precision changes with time and weather condition. Temperature change and inconsistency of windshield penetrant light spectrum of pyrradiometer are reasons on uncertainty of pyrradiometer.

Key words Net radiation flux, Measurement in field, Uncertainty

净辐射通量的测量对全球能量、水分循环、气候变化的研究非常重要,长期以来研究人员对净辐射通量的测量方法、测量仪器和测量精度及净辐射表的检定等问题十分关注,对净辐射表使用过程中存在的不确定性研究给予了极大的重视^[1~6]。如美国科学家 Eric Smith A. 等^[4]对 8 种不同型号的全波段净辐射表和“四路法”净辐射通量观测方法进行的对比试验,包括室内条件下人工光源和室外自然太阳辐射条件下的净辐射对比试验,各种净辐射表的灵敏度试验,各种热量交换对净辐射表产生的影响,如表体热传导耗热及对流耗热试验,紫外光对净辐射表防风罩的特性老化试验,净辐射表长期稳定性试验等研究,并分析了它们在各种试验中所表现的精度和不确定性以及造成这些误差的原因。净辐射通量的观测通常采用 2 种观测方法进行,一是用净辐射表进行净辐射通量的直接测定,二是分别对净短波辐射和净长波辐射进行分波段测定,然后再通过计算得到净辐射通量,后者也称“四路法”(4-way component system)^[4]。“四路法”构成的净辐射观测系统需要 4 块辐射表,其中 2 块短波表、2 块长波表。由于直接测定法较之“四路法”方便和经济,因而长期以来得到较广泛的应用。但将众多种类的净辐射表进行对比观测时可发现在相同辐射条件下得到的观测结果有较大偏差,且这些偏差是不确定的。

迄今为止太阳辐射的测量基础一直是沿用以太阳做辐射标准源,用电补偿式绝对辐射表测定方式进行太阳辐射仪器的定度、校准和标准传递^[1]。实际上各种太阳辐射仪器制造过程和使用过程中的每个环节都会对太阳辐射的测量产生影响,灵敏度不同的辐射表,温度改变所引起的辐射变化是不同的^[2]。加之不同大气状况对太阳辐射观测的影响,都是造成净辐射通量观测精度不确定性的复杂因素。为比较和推广使用国内生产的辐射仪器,特别是国内生产的长波辐射表,本研究 1998 年在内蒙古草原进行了 3 个月的试验,对净辐

* 国家自然科学基金(49790020)、“九五”中国科学院特别支持项目(KZ95T-04-01)和重大项目(KZ951-A1-301)共同资助

收稿日期:2000-08-03 改回日期:2000-08-21

射直接测定法和“四路法”的观测精度和不确定性作了比较分析。

1 野外对比试验方法

1998年5月20日~8月20日中国科学院地理研究所和中国科学院大气物理研究所研究小组在内蒙古自治区锡林格勒草原定位站的同一地点(E116°42', N43°37')进行了净辐射表和“四路法”的同时观测,使用仪器全部为中国锦州322研究所制造,包括1块净辐射表(TBB-1)和2块总辐射表(TBQ-2)及2块长波辐射表(TBL-1),用澳大利亚D.E.公司生产的DT100采集器记录数据,采样频率为每15s测1次,每5min给出1个平均值。

2 结果与分析

2.1 晴天条件下2种观测方法日变化

典型的净辐射通量日变化曲线在正午并不呈对称,午后净辐射通量一般较午前稍小,这是因为午后地面温度增高,净长波辐射大于午前,同时午后湍流活动增强,大气混浊度增加,致使入射太阳辐射比午前减少^[3]。用2种净辐射通量观测方法得到日变化曲线(见图1),净辐射最大偏差值发生在太阳辐射最强时段,二者之间最大差值为70W/m²左右,且该差值随太阳辐射强度的变化而变化,而2种净辐射通量观测方法得到的净辐射通量日变化过程较一致。白天净辐射表所测到净辐射通量大于“四路法”,而夜间净辐射表所测到的净辐射通量小于“四路法”;图中2种净辐射通量差值的日变化曲线是以“四路法”为参考标准(并不是真正的净辐射标准),用净辐射表观测的数据减去“四路法”观测的数据而得到的,2种净辐射通量之差值不是稳定值。图中还给出了“四路法”中2块长波表分别测到的向下和向上的长波辐射日变化曲线,曲线非常平滑,说明天空状况为典型晴天。一般认为夜间只有长波辐射在起作用,夜间二者间差异完全体现在长波的观测上,表明2种方法在长波灵敏度上存在差异,且这种差异也一定反映在白天观测上。

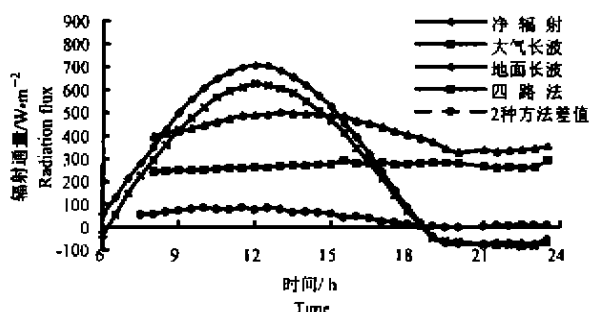


图1 晴天条件下2种净辐射通量的日变化曲线(1998-06-08)

Fig.1 The diurnal changes of two net radiation measurements in clear day (on June 8, 1998)

2.2 有云天气条件下2种观测方法日变化

除大气质量对净辐射通量的影响外,天空云量的变化对净辐射通量亦有影响,即使在云量相同条件下白天和夜间的净辐射通量值也不相同,因为随气温的降低,长波的能量光谱会移向较长的波段。在有云天气条件下(见图2)2种观测方法记录的净辐射通量的日变化曲线不对称;观测当天上午有时多云,下午则转晴,2种方法得到的净辐射通量值在17:00左右发生逆转,从而影响了2个净辐射通量

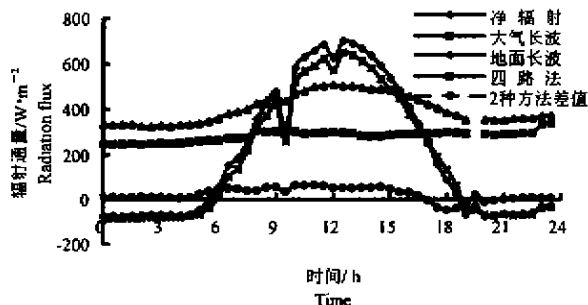


图2 有云天气条件下2种净辐射通量的日变化曲线(1998-06-21)

Fig.2 The diurnal changes of two net radiation measurements in cloudy day (on June 21, 1998)

的差值。可见,2个净辐射通量差值的变化或逆转与天气状况有关,天气状况是造成净辐射通量观测精度不确定性的原因之一。

2.3 净辐射观测精度及相对误差分析

对分别于5月31日、6月21日、7月3日和8月20日用2种净辐射通量观测方法取得的观测数据进行分析,研究2种净辐射通量观测方法之间的差异。图3同时记录了5月31日和6月21日2个由天空少云为主要影响净辐射通量相对误差的日变化过程,该2天下午用2种观测方法得到的净辐射通量值的大小都发生逆转。白

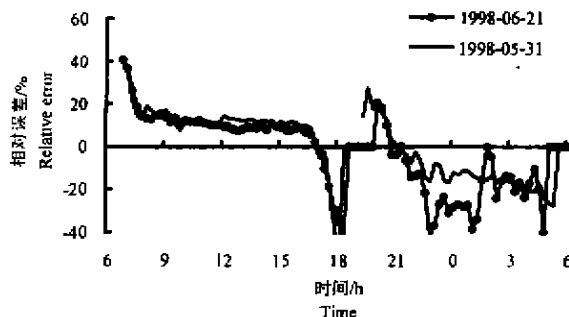


图3 少云天气条件下2个净辐射通量相对误差值的日变化曲线

Fig.3 The diurnal changes of relative errors of two net radiation measurements in less cloud day

天2种净辐射通量的相对误差在12%左右,夜间因天空中云的进一步变化,相对误差的变化呈现出明显非线性,其日变化曲线与周期性函数 $y=\text{ctg}x$ 十分相似。图4为多云条件下主要影响净辐射通量相对误差的日变化过程,其中8月20日12:00左右2种方法观测的差值发生第1次逆转,到下午16:00左右再次发生逆转,使相对误差在白天发生较大的变化。由于2种方法长波灵敏度不同,则观测值和观测误差随云的变化而变化。白天2种净辐射通量相对误差相差较大(受天空多云影响),在 $\pm 20\%$ 间摆动,夜间则二者间相对误差较为一致,约在 -20% 左

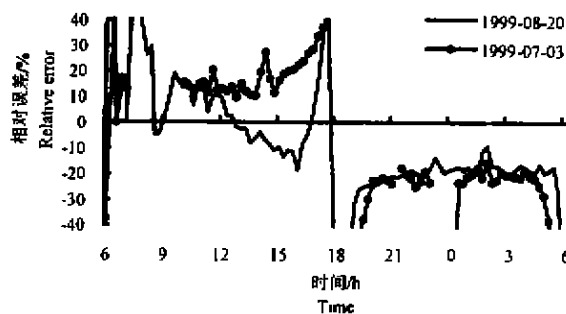


图4 多云天气条件下2个净辐射通量相对误差值的日变化曲线

Fig.4 The diurnal changes of relative errors of two net radiation measurements in cloudy day

表1 2种测定方法的相对误差

Tab.1 Relative error of two measurements

观测日期(年-月-日)	9:00~16:00 相对误差/%	21:00~24:00 相对误差/%
Measuring date	Relative error in daytime	Relative error in night
(year-month-day)		
1998-05-31	11.60	-4.66
1998-06-08	12.10	-14.07
1998-06-21	10.97	-16.12
1998-06-24	7.62	-7.62
1998-07-03	15.35	-23.04
1998-08-20	9.11	-18.64
平均值	11.10	-14.69
Average		

右,其日变化曲线与周期性函数 $y=\text{csc}x$ 十分相似。将5~8月各月抽取的观测数据制成表1,可对净辐射通量观测的不确定性有直观了解。

3 小结与讨论

净辐射表(TBB-1)与“四路法”(TBQ-2和TBL-1)2种观测结果的不对称及天空状况对2种方法观测精度不确定性的影响,说明二者间的长波(甚至包括短波)观测灵敏度随辐射波长的变化而有所变化。5~8月各月的观测数据表明,净辐射表的长波灵敏度较“四路法”为小。与Eric Smith A.等人^[4]对8种不同型号的全波

段净辐射表和“四路法”净辐射通量观测方法做的对比试验平均相对误差在 $-3.8\% \sim 16.4\%$ 相当,说明国产净辐射表能满足实际应用的需要。地球表面的长波辐射能有90%以上集中在 $3 \sim 80\mu\text{m}$ 谱段内,峰值一般在 $10\mu\text{m}$ 附近。而平流层下面的天空90%长波辐射集中在 $4 \sim 100\mu\text{m}$ 谱段内,峰值一般在 $15\mu\text{m}$ 附近。当净辐射表防风罩的透过光谱在上述峰值谱段内存在有透过光谱的不一致性时,则必然导致净辐射测量的失真。一般净辐射表的防风罩不如光学玻璃防风罩透过光谱特性稳定。各辐射观测仪的辐射灵敏度随辐射波长的变化会反映在2个观测系统之间,且反映在同一观测系统中的上、下2个面传感器上,这就是净辐射表与“四路法”2种观测结果的不对称和天空状况影响2种方法之间观测精度不确定性的关键所在。2种净辐射通量观测方法的观测精度会随各种环境要素的变化而呈现出不确定性,很难讨论某一单独影响因素的定量结果。因此,造成各种净辐射表观测精度不确定性的主要原因一是由于温度变化而引起辐射表的灵敏度变化,二是各种辐射表的防风罩透过光谱的不一致性,而导致了辐射表灵敏度随辐射波长的变化而有所变化。本试验所用国产净辐射表和“四路法”各表之间观测精度的不确定性主要反映在长波的测量上,经过重新标定和校准后观测精度会有较大的改善,试验表明国产净辐射表(TBB-1)能满足实际应用的需要。

参 考 文 献

- 1 王炳忠. 太阳辐射能的测量与标准. 北京: 科学出版社, 1993
- 2 国家气象局气候监测应用管理司. 气象仪器和观测方法指南. 北京: 气象出版社, 1992
- 3 潘守文等. 现代气候学原理. 北京: 气象出版社, 1994
- 4 白素莲, 张义. 关于辐射表的温度补偿问题. 中国农业小气候研究进展. 北京: 气象出版社, 1993, 351~354
- 5 Eric Smith A., Gary Hodges B., et al. BOREAS net radiometer engineering study, final report, MASA Grant, June 1997
- 6 Anderson M. C. The role of heat transfer in the design and performance of solarimeter J. Appl. Meteor., 1967, 6, 941~947
- 7 Duchon C. E., Wilk G. E. Field comparisons of direct and component measurements of net radiation under clear skies. J. Clim. Appl. Meteor., 1994, 33, 245~251
- 8 Field, R. T., Fritschen L. J., Kanemasu E. T., Smith E. A., Stewart J. B., et al. Calibration comparison, and correction of net radiation instruments used during FIFE, J. Geophys. Res., 1992, 97, 18681~18695
- 9 Ohmura A., Schroff K. Physical characteristics of the Davos-type pyrrometer for short-and long-wave radiation, Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol. (Ser. B), 1983, 33, 57~76