

叶冬,申彦波,王传辉,等,2021.台站遮挡对日照观测数据的一致性影响与订正方法研究[J].气象,47(5):609-618. Ye D, Shen Y B, Wang C H, et al, 2021. Research on influence of station occlusion on consistency of sunshine observation data and its correction method[J]. Meteor Mon, 47(5): 609-618(in Chinese).

台站遮挡对日照观测数据的一致性影响 与订正方法研究^{*}

叶 冬¹ 申彦波¹ 王传辉² 陈 鹏³

1 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

2 安徽省公共气象服务中心, 合肥 230031

3 巫山县气象局, 重庆巫山 401147

提 要: 利用台站观测场周围 360° 遮挡仰角和云量观测数据, 分析了台站遮挡对日照观测数据的一致性影响, 从太阳高度角和遮挡物仰角的相对关系、云对遮挡比例的修正两个方面, 建立了云天气象条件下台站遮挡日照时数的订正方法。以重庆巫山站为例, 对 2004—2013 年期间有严重遮挡情况下的日照时数进行了遮挡计算和订正, 通过遮挡期间及前、后两个未遮挡时段的纵向对比, 以及与地形和气候条件相近的湖北建始站的同期横向对比, 对订正效果进行了检验, 结果表明: 巫山站观测场周围遮挡物影响了日照时数观测, 使观测数据前后产生明显的不一致; 2004—2013 年期间平均被遮挡的日照时数为 218.0 h · a⁻¹, 遮挡比例达 13.1%, 受天气条件的对冲影响, 夏半年遮挡影响可能高于冬半年; 从纵向和横向两个方面的间接对比检验看, 本文所建立的订正方法既计算了遮挡物自身的影响, 又考虑了云天条件下对遮挡比例的修正, 订正结果基本合理, 可以相对准确地还原被遮挡的日照时数。

关键词: 台站遮挡, 日照时数, 一致性, 订正方法

中图分类号: P413

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.05.009

Research on Influence of Station Occlusion on Consistency of Sunshine Observation Data and Its Correction Method

YE Dong¹ SHEN Yanbo¹ WANG Chuanhui² CHEN Peng³

1 CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081

2 Public Meteorological Service Centre of Anhui Province, Hefei 230031

3 Wushan Meteorological Station, Chongqing, Wushan 401147

Abstract: Based on the observation data of 360° occlusion elevation angle and cloud amount around the observation site, the influence of occlusion on the consistency of sunshine observation data is analyzed. From the relative relationship between the solar elevation angle and the occlusion elevation angle, and the correction of the cloud to the occlusion rate, the correction method of the occlusion sunshine hours by station under cloudy weather conditions is established. Take Wushan Station in Chongqing as an example. The calculation and correction of the sunshine hours during the period of severe occlusion from 2004 to 2013 is performed. Through the vertical comparison between the occlusion period and the two unoccluded periods before and after the occlusion and the same-period horizontal comparison of Jianshi Station in Hubei

^{*} 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0804)资助

2020 年 3 月 13 日收稿; 2020 年 7 月 18 日收修定稿

第一作者: 叶冬, 主要从事太阳能资源评估和预报研究. E-mail: yedong@cma.gov.cn

通讯作者: 申彦波, 主要从事太阳能资源评估及气候变化研究. E-mail: shenyb@cma.gov.cn

Province, which is similar to the terrain and climate conditions, the correction effect is tested. The results show that the obstructions around the observation site of Wushan Station affect the observation of sunshine hours, which makes the observation data inconsistent before and after the occlusion. During the period of 2004—2013, the average number of occluded sunshine hours was $218.0 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$, and the occlusion ratio reached 13.1%. Due to the hedging effect of weather conditions, the influence of occlusion in summer half year may be higher than that in winter half year. From the indirect comparison between the vertical and horizontal aspects, the correction method established in this paper not only calculates the influence of the occluder itself, but also takes into account the correction of the occlusion ration under cloudy conditions. The correction results are basically reasonable, and can be relatively accurately restore the occluded sunshine hours.

Key words: station occlusion, sunshine hour, consistency, correction method

引 言

近年来,随着城市化进程等因素的影响,气象台站周围人造建筑对气象台站观测的风、气温、湿度、日照时数等产生不同程度的影响(司鹏等,2018;温康民等,2019;王楠等,2019),建筑物遮挡成为中国及世界各国气象观测和气候变化研究中遇到的普遍问题。日照时数作为国家级气象台站基本观测要素,其变化在农作物生长、太阳能资源评估、气候变化研究等方面都具有广泛的应用(梁玉莲等,2017;信志红等,2019)。

为消除城市化进程对气象观测带来的影响,中国多数国家级气象台站均进行过迁站,在过去的 60 年里,有近 80% 的气象台站迁过站(周建平等,2013;房一禾等,2016),同时迁站又会引起数据的非均一性(魏娜等,2012;崔妍等,2019;Squintu et al, 2020)。太阳辐射和日照时数随地形、气候等因素存在明显的区域差异(李传华和赵军,2012;闵敏和吴晓,2020;Lukose and Dutta, 2020),一旦受到建筑物遮挡很难利用周围站点进行准确插值。近年来我国学者对日照时数的变化及影响因素进行了大量研究(赵娜等,2012;杨春宇等,2017;符传博和丹利,2018),其中一些学者意识到很多台站的日照时数不同程度受到建筑物遮挡(杨志彪和陈永清,2010;叶冬等,2014;孙朋杰等,2017)。叶冬等(2014)利用吐鲁番气象站周边 6 座典型建筑物的方位角、高度及其与观测场的距离,建立了气象站周边建筑对日照时数影响的定量计算方法,认为冬季太阳高度角低,日照被遮挡最严重,秋季次之,春、夏季较轻。孙朋杰等(2017)在此基础上,利用武汉气象观测站迁站

前、后周边观测仰角记录,定量分析实际状况下周边环境对日照观测的影响,为建筑物遮挡订正提供了新的思路。

巫山站地处中国西南地区,位于重庆市的东北部,1961—2002 年气象站周边没有大型人为建设活动,探测环境基本没有受到影响。2003 年开始,随着国家三峡工程建设不断推进,巫山县城整体迁移,很多单位和大量移民随之搬迁,安置房大规模建设。2003—2004 年气象站周围先后建起了安置房,致使观测场四周均被严重遮挡。巫山站作为城市化发展和城市建设需要而产生日照观测被建筑物遮挡的典型,具有以下三方面特点:其一,在受建筑物遮挡前探测环境未受影响;其二,站点周围建筑物出现时间非常集中,为计算建筑物遮挡日照时数提供理想条件;其三,2015 年开始启用的新站与搬迁前的气候、地形等特点相似,且不受遮挡影响。有鉴于此,巫山站是日照观测被建筑物遮挡的典型站点,本文以巫山站为例,研究台站遮挡对日照观测数据的一致性影响,建立订正方法,对城市化进程中的建筑物对日照时数的影响进行订正,以期还原实际的日照时数。

1 资料与方法

1.1 数据资料

本文使用的资料包括重庆巫山站和湖北建始站 1993—2019 年逐日日照时数及巫山站逐日总云量数据,均来自于国家气象信息中心。巫山站迁站前的探测环境和台站遮蔽角数据来自该站 2007 年的《气象台站观测环境综合调查评估报告书》(刘建平,2007),巫山站迁站后探测环境和台站遮蔽角数

据来自该站 2013—2014 年编制的《站址勘测报告书》(吴晓梅等,2014);建始站的探测环境和台站遮蔽角数据来自该站 2013 年的《地面气象观测站探测环境调查评估报告书》(谢允等,2013)。

在 1993—2019 年,巫山站于 2003 年之前探测环境基本未受影响,2003—2004 年气象站四周先后建起了安置房,致使观测场四周均被严重遮挡(图 1a),最大仰角达到 34.5° (图 2a),2013 年探测环境评分仅为 54.8(表 1),2015 年 1 月 1 日开始启用新站址(距离原站址 1.36 km),观测场四周无人

为遮挡物(图 1b),仅受地形影响,最大仰角为 9.8° (图 2b),2015 年对新站的探测环境评分为 91.3(表 1)。在巫山站附近的国家级气象台站中,建始站与巫山站处于同一气候区,海拔高度相近,直线距离相差 54.6 km,在 1993—2019 年未进行过迁站,周围环境变化不大,探测环境良好,2013 年探测环境评分高达 92.2 分(表 1),从观测站周围具体遮挡情况(图略)可以看出,站点周围的仰角均较低,且遮挡主要来自山体,近年来未发生变化,是探测环境保护较好的气象观测站点,可作为巫山站日照时数变



图 1 巫山站迁站前(a)、迁站后(b)16 方位观测环境对比

Fig. 1 Comparison of observation environment in 16 directions before relocation (a) and after relocation (b) of Wushan Station

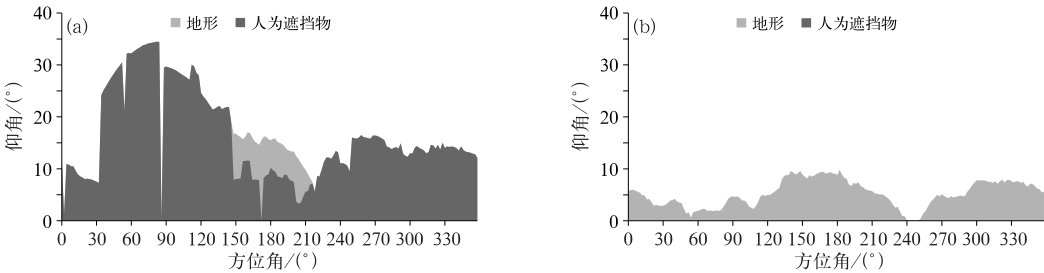


图 2 巫山站迁站前(a)、迁站后(b)仰角对比

Fig. 2 Elevation comparison before relocation (a) and after relocation (b) of Wushan Station

表 1 巫山站与建始站基本信息和探测环境评分

Table 1 Basic information of Wushan Station and Jianshi Station

台站	经度/°E	纬度/°N	海拔高度/m	2013 年评分	2015 年评分
巫山	109°51'31"	31°04'36"	606.8	54.8	91.3
建始	109°43'00"	30°36'00"	609.2	92.2	—

化横向对比的参证气象站。

$$h_{rc} = \frac{h_r}{(1 - r_t)} \quad (2)$$

1.2 日照时数订正方法

叶冬等(2014)给出了台站周边若干个典型建筑物遮挡日照时数的计算方法,在此基础上,进一步改进得到一般遮挡物定量计算方法,主要包括两个方面:一是由周边若干个典型建筑物扩展到环 360°方位角,计算所有遮挡物(包括人为建筑和地形等)的影响;二是定量考虑云对遮挡比例的影响。

按照国家级气象台站的管理规范(中国气象局,2003),各台站均会定期测量地平圈遮蔽和人为障碍物仰角情况,测量时以观测场中心距地 1.5 m 高度处为基准,获得环 360°方位角的间隔 2°的遮蔽物仰角 α_0 (结果见图 2)。利用站点所在位置经纬度及时间可计算出太阳高度角 α 和方位角 β ,比较该方位角处对应的遮挡物仰角 α_0 ,如果 $\alpha < \alpha_0$,则此刻太阳被遮挡,日照时数无观测。在计算时,时间步长取 1 min,计算逐分钟的遮挡情况。每日的日照遮挡比例系数 r_t 计算方法如下:

$$r_t = \frac{h_0 - h_{0a}}{h_0} \times 100\% = \frac{h_t}{h_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: h_0 为不考虑遮挡时的日天文可照时数,可根据天文方程计算得到; h_{0a} 为考虑遮挡后的日可照时数,可在 h_0 基础上结合各方位遮挡物仰角计算得到; h_t 为遮挡物的日理论遮挡时数。

为还原无遮挡时的逐日日照时数 h_{rc} ,可利用气象台站观测到的逐日日照时数 h_r ,采用式(1)逐日日照遮挡比例系数 r_t 进行反推得到,计算方法如下:

上述方法可得到理想情况下无遮挡时的日照时数,但该方法未考虑云的影响,在实际应用中得到的结果较真实情况偏大(叶冬等,2014)。究其原因,是因为日照不仅受地面遮挡物的影响,还会受到云的遮挡。晴天无云情况下,日照主要受地面遮挡物的影响,式(1)可以基本反映遮挡物的影响比例;而云天情况下,日照首先会受到云的遮挡,地面难以记录到有日照时数,此时地面遮挡物的影响将趋近于无,不应再被记入遮挡比例。而巫山站地处西南盆地,全年多云和阴雨日数较多,晴天比例较少(汪卫平等,2017),这种情况更为突出。为此,根据云量与日照时数的反相关关系,本研究引入总云量修正因子,调整计算方法如下

$$h_{rc} = \frac{h_r}{1 - r_t \times (100 - c_l)/100} \quad (3)$$

式中: c_l 为日平均总云量(单位:%), $c_l = 0$ 为无云情况,等同式(2), $c_l = 100$ 为 100% 云覆盖,地面遮挡物对日照时数无影响。

表 2 给出了巫山站 3 种典型天气条件下日照时数的试验订正结果,从表中可以看出,5 月中旬前后,仅考虑遮挡物影响的日照时数订正比例均在 28% 左右。晴天情况下,总云量为 0,对订正比例无影响;多云情况下,考虑总云量修正后,日照时数的订正比例由 28% 降低为 12%;阴天情况下,考虑总云量修正后,则认为地面遮挡物对日照时数没有影响。

表 2 2010 年 5 月巫山站典型天气状况下订正前后日照时数对比

Table 2 Comparison of sunshine hours before correction and after correction under typical weather conditions of Wushan Station

日期	天气状况	实测日照时数/h	订正后日照时数及订正比例/(h,%)	
			未考虑总云量	考虑总云量
24 日	晴天(无云)	10.1	12.9,28	12.9,28
25 日	多云(日平均总云量 53%)	7.8	10.0,28	8.7,12
17 日	阴天*(日平均总云量 100%)	0.6	0.77,28	0.6,0

注:* 为对比订正效果,这里挑选的阴天总云量为 100%,但日照时数不为 0。

Note:* To compare the correction effect, the cloudy day which selected means the total cloud amount is 100%, but the sunshine hours are not 0.

由此可见,上述方法既考虑了地面遮挡物对日照时数的理论影响,又对云天条件下的实际遮挡比例进行了修正,可在较大程度上还原台站未遮挡时的日照时数。本文采用该方法,对巫山站周围出现大量遮挡物时段(2004—2013年)的日照时数进行逐日订正,由于该站周边的建筑物是在2003年前后集中建设,建成后基本稳定,台站周边环境在迁站前基本未再发生变化,因此,在订正过程中对每年的 360° 仰角均按图2a取值,对总云量则按实际观测数据取值。

1.3 对比检验方法

对于遮挡时段的日照时数订正结果,现实中并无同一时间、同一地点的未遮挡日照时数“真值”可用于直接检验,也无法人为设定一段遮挡时间进行模拟检验,因此,本文拟从纵向对比和横向对比两个角度对订正结果进行间接检验。

纵向对比是从时间变化上对订正结果进行间接检验,即对同一台站不同时段内的日照时数及其变化进行前后对比。根据巫山站周围出现建筑物遮挡及迁站的时间节点,将研究时段分为3个阶段:第一阶段,巫山站周围出现大量遮挡物之前10a,即1993—2002年;第二阶段,周围出现大量遮挡物期间的10a,即2004—2013年;第三阶段,迁移到新站址后的5a,即2015—2019年。

期间,2003年为遮挡物逐渐出现的时段,2014

年为搬迁过渡时间,为简化问题,对这两年不进行分析 and 计算。通过将巫山站第二阶段的日照时数与第一、三两个阶段进行前后比较,间接检验第二阶段订正结果的合理性。

横向对比是从空间分布上对订正结果进行间接检验,即对目标台站和参证台站在同一时段内的日照时数及其变化进行对比。本文中,目标台站是巫山站,参证台站是建始站,通过对比两站同期的日照时数及其变化特征,间接检验巫山站第二阶段订正结果的合理性。

在对比过程中,对平均值差异的显著性检验使用 t 检验,对方差的显著差异检验采用 F 检验(魏凤英,2007)。

2 结果分析

2.1 日照时数年际变化

2.1.1 纵向对比

图3a给出了巫山站观测到的逐日日照时数年际变化,由图可见,巫山站日照时数存在明显不连续性,第一、三两个阶段处于相近的水平,第二阶段的日照时数明显偏低。同时,订正前第二阶段逐日日照时数的平均值与订正后及第一阶段的平均值均存在显著差异,差异性均通过了0.01显著性水平检验,表明订正前的数据与订正后及第一阶段数据存

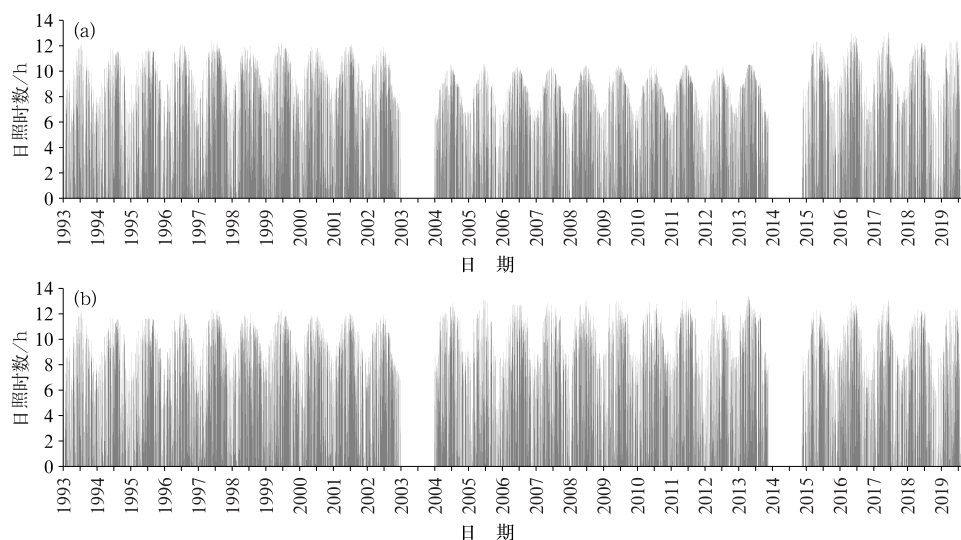


图3 1993—2019年订正前(a)、订正后(b)巫山站逐日日照时数变化

Fig. 3 Change of daily sunshine hours of Wushan Station before correction (a) and after correction (b) in 1993—2019

在显著差异。而订正后的逐日日照时数的平均值与第一阶段的平均值差异不显著(未通过 0.05 显著性水平检验)。第二阶段订正前的逐时日照时数的方差与订正后及第一阶段均呈显著差异(通过 0.05 显著性水平检验),而订正后的逐日日照时数的方差与第一阶段差异不显著(未通过 0.05 显著性水平检验)。可见,订正后,第二阶段的日照时数显著提高(图 3b),与第一阶段处于相同水平,时间序列、平均值及方差上的一致性得到明显改善。

从订正前后巫山站年日照时数变化看(表 3),第一阶段的 10 a 中,存在 8 a 日照时数超过1500 h,

年平均日照时数为 1685.3 h,第三阶段的 5 a 中超过 1500 h 的年份有 3 a,年平均日照时数为 1533.8 h。订正前,第二阶段的 10 a 仅有 3 a 在 1500 h 以上,年平均日照时数为 1444.0 h,订正后,超过 1500 h 的有 8 a,年平均日照时数为 1662.0 h,年平均遮挡小时数为 218.0 h,遮挡比例达 13.1%。无论是年平均日照时数,还是超过1500 h 的年数均与第一阶段相当,可见,经过订正后的巫山站日照时数与前后两个阶段无遮挡时段的年际变化趋势更为一致。

表 3 1993—2019 年巫山站和建始站逐年日照时数(单位:h)
Table 3 Annual sunshine hours of Wushan Station and Jianshi Station in 1993—2019 (unit: h)

年份	巫山	建始	年份	巫山		建始	年份	巫山	建始
				订正前	订正后				
1993	1279.0	1198.2	2004	1461.3	1693.9	1228.1	2015	1518.9	1210.2
1994	1415.4	1273.3	2005	1156.0	1336.0	1135.9	2016	1730.1	1203.0
1995	1662.8	1150.7	2006	1532.8	1760.4	1487.6	2017	1492.0	1166.0
1996	1588.0	1150.7	2007	1422.2	1631.6	1214.6	2018	1594.0	1279.0
1997	1865.6	1344.7	2008	1485.1	1701.2	1324.8	2019	1334.2	1184.0
1998	1899.2	1340.6	2009	1436.9	1657.8	1248.9			
1999	1876.3	1263.8	2010	1501.8	1730.7	1305.1			
2000	1734.3	1257.9	2011	1484.3	1713.3	1275.8			
2001	1802.4	1441.7	2012	1293.0	1449.9	1077.5			
2002	1730.2	1500.4	2013	1666.2	1944.7	1514.0			

2.1.2 横向对比

将巫山站的日照时数与选取为参证站的建始站做横向对比。图 4 给出了订正前后巫山站分别与建始站日照时数差值的年际变化,结合表 3 给出的巫山站和建始站逐年日照时数可以看出,订正前后,巫山站各年日照时数均较建始站偏多,偏多最多的年

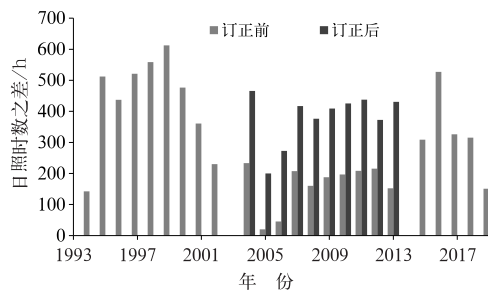


图 4 1993—2019 年订正前后巫山站与建始站日照时数差值年际变化
(巫山站减去建始站)

Fig. 4 Difference of interannual variation of sunshine hours between Wushan Station and Jianshi Station before correction and after correction in 1993—2019
(Wushan Station minus Jianshi Station)

份出现在 1999 年,为 612.5 h。第二阶段有遮挡物期间,订正前两站的差值异常偏小,最小值出现在 2005 年,仅为 20.1 h;订正后两站的差值明显增大,整体上介于第一、三阶段之间,趋于正常。

为便于比较,表 4 给出了订正前后巫山站与建始站各阶段日照时数平均偏差。在订正前,1993—2019 年两站平均差值为 287.5 h,订正后该差值为 374.7 h;而在第二阶段有遮挡物的 10 a 内,两站的差值在订正前降到 162.7 h,仅为前后两个阶段的一半,而订正后则提升至 380.7 h,与前后两个阶段较为一致。

2.2 日照时数年变化

2.2.1 纵向对比

图 5 是巫山站三个阶段多年平均日照时数的逐月变化曲线,表 5 给出了三个阶段年平均冬、夏半年日照时数及占全年百分比的统计值,由图表可见,订正前,第二阶段(2004—2013 年)有 10 个月的日照时数均明显低于第一阶段,7 月偏低最多,达 52.0 h,平均每天偏少近 2 h,体现出地面遮挡物的显著影

表 4 1993—2019 年各阶段巫山站与建始站日照时数平均偏差
(巫山站减去建始站,单位:h)

Table 4 Average deviation of annual sunshine hours between Wushan Station and Jianshi Station in 1993—2019
(Wushan Station minus Jianshi Station, unit: h)

平均时段	1993—2002 年	2004—2013 年	2015—2019 年	1993—2019 年 (去除 2003 年和 2014 年)
订正前	393.1	162.7	325.6	287.5
订正后	—	380.7	—	374.7

表 5 1993—2019 年巫山站三个阶段年平均冬、夏半年日照时数及
占全年百分比统计

Table 5 Statistics of annual average sunshine hours in winter and summer half year and
percentage in the whole year in three stages of Wushan Station in 1993—2019

时段	1993—2002 年/(h,%)	2004—2013 年		2015—2019 年/(h,%)
		订正前/(h,%)	订正后(h,%)	
夏半年(4—9 月)	1085.7,64.4	925.8,64.1	1058.2,63.7	1023.5,66.7
冬半年(10—3 月)	599.6,35.6	518.1,35.9	603.8,36.3	510.4,33.2

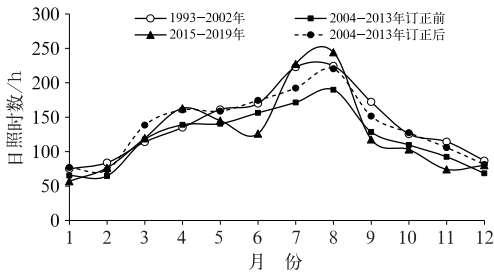


图 5 1993—2019 年巫山站
三个阶段日照时数逐月变化
Fig. 5 Monthly variation of sunshine hours in
three stages of Wushan Station in 1993—2019

响。从相对值来看,三个阶段夏半年日照时数占全年日照时数的比例分别为 64.4%、64.1%、66.7%,冬半年的比例分别为 35.6%、35.9%、33.2%,第二阶段有人为建筑物遮挡期间,夏半年的比例略低于前后两个阶段,而冬半年的比例则略高于前后两个阶段,说明夏半年的日照时数遮挡影响可能要略高于冬半年。究其原因,尽管从理论上而言冬半年的太阳高度角较夏半年低,建筑物遮挡的可能性更大,但由于巫山站地处四川盆地,冬半年多阴雨和大雾天气(代娟等,2015),日照稀少,日平均仅有 3 h 多,且大多出现在正午前后太阳高度角较高时段,地面遮挡物的影响反而较小,而夏半年的日平均日照时数有 6 h 左右,日出之后日落之前一段时间内的日照被遮挡的可能性较大,季节之间的天气差异对日照的影响抵消了一部分地面遮挡物的影响,因而造成了夏季遮挡反而略高于冬季。

订正后,如前所述,第二阶段的日照时数年总量恢复到了与前后两个阶段相当的水平,各月份的日照时数也均有不同程度的提高,订正后的年变化曲线与第一阶段十分接近,说明各月的订正效果总体较好。但夏半年的比例却进一步降低到 63.7%,冬半年的比例则进一步提升至 36.3%,说明本文目前所采用的订正方法在巫山站这样阴雨天气较多的地区应用时,尽管考虑了云的影响,但可能权重还不够,使得夏半年的订正效果略弱于冬半年,下一步还有必要针对不同的气候区域发展更有针对性的订正方法。

2.2.2 横向对比

图 6 对比了巫山站和建始站三个阶段多年平均的日照时数逐月变化,表 6 是两站三个阶段夏、冬半年日照时数差异的统计结果,从图表中可以看出,第一、三两个阶段,巫山站的日照时数在各月份均高于建始站,两站的差异比较明显,且各月的差异变化不大,近似是两条平行线,反映出两地气候特征上的基本异同点。

订正前,第二阶段两站的差异缩小很多,巫山站 8 月的日照时数甚至低于建始站。从夏、冬半年的统计值来看,两站夏半年的差值在第二阶段下降非常明显,由第一阶段的 214.2 h 下降到 49.0 h,冬半年虽然也有明显下降,从 178.9 h 到 113.7 h,但下降的幅度要低于夏半年,进一步说明地面遮挡物对巫山站夏季日照时数的影响要高于冬季。

订正后,第二阶段两站的差异,夏半年由 49.0 h 提升至 181.3 h,但仍低于第一阶段,冬半年由 113.7 h

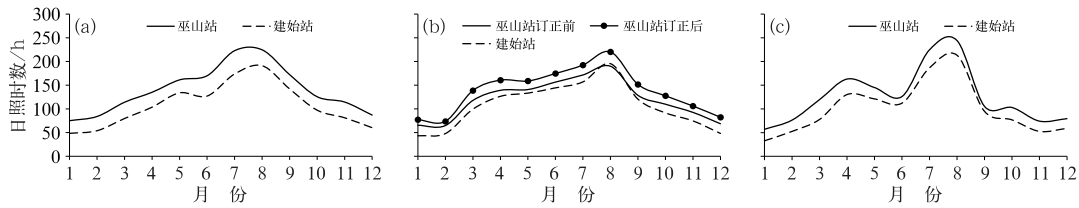


图 6 1993—2002 年(a),2004—2013 年(b),2015—2019 年(c)巫山站和建始站日照时数逐月变化曲线

Fig. 6 Monthly variation curves of sunshine hours at Wushan Station and Jianshi Station in 1993—2002 (a), 2004—2013 (b), 2015—2019 (c)

表 6 1993—2019 年三个阶段冬夏半年两站日照时数之差统计
(巫山站减去建始站,单位:h)

Table 6 Statistics of the difference of sunshine hours between Wushan Station and Jianshi Station in winter and summer in three stages during 1993—2019
(Wushan Station minus Jianshi Station, unit: h)

时段	1993—2002 年	2004—2013 年		2015—2019 年
		订正前	订正后	
夏半年(4—9 月)	214.2	49.0	181.3	151.0
冬半年(10—3 月)	178.9	113.7	200.4	158.9

提高到 200.4 h,高于第一阶段,同样说明本文的订正方法在巫山站应用时可能存在着夏半年订正稍微偏弱,而冬半年则略有偏强的不足之处。

3 结论与讨论

本文针对台站遮挡对日照影响进而引起的观测资料不一致问题,研究建立了日照时数订正方法,以重庆巫山站为例进行了订正试验,并采用纵向、横向两种方式对订正结果进行检验,主要结论如下:

(1)本文所建立的日照时数订正方法,一方面采用台站周围 360°仰角数据,充分考虑所有遮挡物的影响,另一方面引入云的影响修正因子,区分不同天气条件下遮挡物的实际影响程度,从而在较大程度有效还原台站未遮挡时的日照时数。

(2)就巫山站而言,2003 年前后在观测场周围密集建设的安置房严重影响了日照时数观测,使观测数据前后产生明显的不一致,2004—2013 年期间平均被遮挡的日照时数为 $218.0\text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$,遮挡比例达 13.1%。从季节变化看,由于巫山站冬半年日照时数远低于夏半年,季节之间的天气差异对日照的影响抵消了一部分地面遮挡物的影响,冬半年受影响程度可能反而略低于夏半年。

尽管获得以上定性和定量结论,但本文仍存在

以下几个问题需要讨论,并值得进一步深入研究:

(1)对于已经受遮挡的台站实测资料(不仅是日照)而言,在现实中并无同一时间、同一地点的“真值”存在,可用于一致性修正或订正效果直接检验。尽管本文采用了纵向、横向两种方式对订正结果进行间接检验,但在纵向对比时无法避免自然气候变化带来的影响,在横向对比时又不能完全排除两个台站在气候特征上的固有差异,导致结果分析中仍然存在较多不确定因素。(2)在文中日照时数年变化的分析中发现,本文所建立的订正方法,尽管对云的影响进行了修正,但在巫山站的应用中,可能仍存在着冬半年的订正效果强于夏半年,而总体订正结果略偏高的问题。究其原因,一方面可能是在式(3)中只考虑了总云量修正,而云状、云高、云厚等因素对日照时数的影响则未考虑;另一方面则可能在于巫山地区除了云对日照时数有重要影响外,雾、霾等特殊天气的比例也较高,对日照时数同样有影响,也需要进行修正。因此,下一步有必要在本文研究的基础上,对不同地区,进一步考虑其天气气候特征,建立更适用于本地的日照时数订正方程。(3)全国大部分台站从 2014 年开始取消人工云量观测,本方法可应用于 2014 年以前有同期人工云量观测情况下的日照时数订正,对于 2014 年之后无人工云量观测的情况,其订正方法还有待进一步研究。另外,随着卫

星资料的应用及部分观测站全天空成像仪的布设,也可以得到云量数据(邓松等,2017),但该数据与人工观测数据一致性如何还有待更多验证,为此,基于卫星反演及自动观测的云量数据,利用本文的方法对日照时数进行订正的合理性还有待进一步研究。

致谢:感谢湖北省气象局提供建始站2013年探测环境调查评估情况。

参考文献

- 崔妍,徐文慧,李庆祥,等,2019.东北地区月气温序列的均一性检验和订正[J].气象,45(2):240-250. Cui Y, Xu W H, Li Q X, et al, 2019. Homogeneity test and correction of monthly temperature in Northeast China[J]. Meteor Mon, 45(2):240-250 (in Chinese).
- 代娟,陈正洪,田树青,等,2015.长江山区航道雾的时空分布特征分析[J].长江流域资源与环境,24(2):333-338. Dai J, Chen Z H, Tian S Q, et al, 2015. Analysis of temporal and spatial distribution of fog over the Yangtze River mountainous waterway[J]. Resour Environ Yangtze Basin, 24(2):333-338 (in Chinese).
- 邓松,李刚,张华,2017.高光谱红外云检测方案阈值的客观判定方法[J].气象,43(2):213-220. Deng S, Li G, Zhang H, 2017. Objective determination scheme of threshold in high spectral resolution infrared cloud detection[J]. Meteor Mon, 43(2):213-220 (in Chinese).
- 房一禾,孙照渤,倪东鸿,等,2016.中国冬季暖夜频率变化特征及其与海温的关系[J].大气科学学报,39(2):166-176. Fang Y H, Sun Z B, Ni D H, et al, 2016. Variation in the frequency of warm winter nights in China and the relationship with sea surface temperature[J]. Trans Atmos Sci, 39(2):166-176 (in Chinese).
- 符传博,丹利,2018.大气污染加剧对中国区域散射辐射比例的影响[J].科学通报,63(25):2655-2665. Fu C B, Dan L, 2018. Influence of intensified air pollution on the sunny diffuse radiation fraction in China[J]. Chin Sci Bull, 63(25):2655-2665 (in Chinese).
- 李传华,赵军,2012.基于GIS的方向异性地形起伏度的地理日照时数计算[J].地理科学进展,31(10):1334-1340. Li C H, Zhao J, 2012. Calculation of geographic sunshine hours based on direction nonidentity relief degree by GIS[J]. Prog Geogr, 31(10):1334-1340 (in Chinese).
- 梁玉莲,申彦波,白龙,等,2017.华南地区太阳能资源评估与开发潜力[J].应用气象学报,28(4):481-492. Liang Y L, Shen Y B, Bai L, et al, 2017. Assessment of solar energy resource and its exploitation potential in South China[J]. J Appl Meteor Sci, 28(4):481-492 (in Chinese).
- 刘建平,张强,冯萍,等,2007.气象台站观测环境综合调查评估报告(巫山站)[R].北京:中国气象局. Liu J P, Zhang Q, Feng P, et al, 2007. Report on comprehensive investigation and assessment of observation environment of meteorological stations (Wushan Station)[R]. Beijing: China Meteorological Administration (in Chinese).
- 闵敏,吴晓,2020.从FY-4A卫星遥感数据和GFS资料估算全天空状况下的地表长波辐射通量[J].气象,46(3):336-345. Min M, Wu X, 2020. Estimating surface longwave radiation flux under all-sky condition from FY-4A and GFS data[J]. Meteor Mon, 46(3):336-345 (in Chinese).
- 司鹏,罗传军,姜罕盛,等,2018.天津地面相对湿度资料的非均一性检验及订正[J].气象,44(10):1332-1341. Si P, Luo C J, Jiang H S, et al, 2018. Inhomogeneity validation and correction of monthly surface relative humidity in Tianjin[J]. Meteor Mon, 44(10):1332-1341 (in Chinese).
- 孙朋杰,陈正洪,阳威,等,2017.武汉气象站周边环境对日照观测的影响[J].太阳能学报,38(2):509-515. Sun P J, Chen Z H, Yang W, et al, 2017. Influence of surrounding environment on sunshine observation in Wuhan Meteorological Observing Station[J]. Acta Energetica Sol Sin, 28(2):509-515 (in Chinese).
- 王楠,游庆龙,刘菊菊,2019.1979—2014年中国地面风速的长期变化趋势[J].自然资源学报,34(7):1531-1542. Wang N, You Q L, Liu J J, 2019. The long-term trend of surface wind speed in China from 1979 to 2014[J]. J Nat Resour, 34(7):1531-1542 (in Chinese).
- 汪卫平,杨修群,张祖强,等,2017.中国雨日数的气候特征及趋势变化[J].气象科学,37(3):317-328. Wang W P, Yang X Q, Zhang Z Q, et al, 2017. The climatic characteristics and trends of rainy days over China[J]. J Meteor Sci, 37(3):317-328 (in Chinese).
- 魏凤英,2007.现代气候统计诊断与预测技术:第2版[M].北京:气象出版社:27-30. Wei F Y, 2007. Modern Technology of Climate Statistical Diagnosis and Prediction[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press:27-30 (in Chinese).
- 魏娜,孙炯,姜创业,等,2012.台站迁移对陕西省气温资料均一性的影响及其偏差订正[J].气象,38(12):1532-1537. Wei N, Sun X, Jiang C Y, et al, 2012. Station relocation influence on homogeneity of temperature series over Shaanxi Province and deviation correction[J]. Meteor Mon, 38(12):1532-1537 (in Chinese).
- 温康民,任国玉,李娇,等,2019.国家基本/基准站地面气温资料城市化偏差订正[J].地理科学进展,38(4):600-611. Wen K M, Ren G Y, Li J, et al, 2019. Adjustment of urbanization bias in surface air temperature over the mainland of China[J]. Prog Geogr, 38(4):600-611 (in Chinese).
- 吴晓梅,张强,谭建国,等,2014.站址勘察报告书(巫山站)[R].重庆:重庆市气象局. Wu X M, Zhang Q, Tan J G, et al, 2014. Report of station survey (Wushan Station)[R]. Chongqing: Chongqing Meteorological Service (in Chinese).
- 谢允,吴郑国,陈明翔,等,2013.地面气象观测站探测环境调查评估报告书(建始站)[R].北京:中国气象局. Xie Y, Wu Z G, Chen M X, et al, 2013. Report on environmental survey and assessment of ground meteorological observation station (Jianshi Station)[R]. Beijing: China Meteorological Administration (in Chinese).
- 信志红,郭建平,谭凯炎,等,2019.气象因子对半冬性小麦灌浆速度的影响效应研究[J].气象,45(12):1736-1746. Xin Z H, Guo J

- P, Tan K Y, et al, 2019. Effect of meteorological factors on grain filling rate of semi-winter wheat[J]. Meteor Mon, 45(12):1736-1746(in Chinese).
- 杨春宇, 汪统岳, 陈霆, 等, 2017. 基于光气候区的日照时数特征及变化规律[J]. 同济大学学报(自然科学版), 45(8):1123-1130.
- Yang C Y, Wang T Y, Chen T, et al, 2017. Variation characteristics of the sunshine duration in all Chinese light climate zones[J]. J Tongji Univ (Nat Sci), 45(8):1123-1130(in Chinese).
- 杨志彪, 陈永清, 2010. 观测场四周障碍物对日照记录的影响分析[J]. 气象, 36(2):120-125. Yang Z B, Chen Y Q, 2010. Impact analysis of sunshine records owing to obstructions around the observational field[J]. Meteor Mon, 36(2):120-125(in Chinese).
- 叶冬, 申彦波, 杜江, 等, 2014. 吐鲁番气象站周边典型建筑对日照时数的影响分析[J]. 高原气象, 33(6):1712-1721. Ye D, Shen Y B, Du J, et al, 2014. Analysis of influence of typical buildings around turpan meteorological station on sunshine hours[J]. Plateau Meteor, 33(6):1712-1721(in Chinese).
- 赵娜, 刘树华, 杜辉, 等, 2012. 城市化对北京地区日照时数和云量变化趋势的影响[J]. 气候与环境研究, 17(2):233-243. Zhao N, Liu S H, Du H, et al, 2012. The effects of urbanization on sunshine duration and the trend of cloud cover amount variation in Beijing Area[J]. Climatic Environ Res, 17(2):233-243(in Chinese).
- 中国气象局, 2003. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社:133-134. China Meteorological Administration, 2003. The Criterion of Surface Meteorological Observation[M]. Beijing: China Meteorological Press:133-134(in Chinese).
- 周建平, 孙照渤, 倪东鸿, 等, 2013. 中国气象台站迁移对年平均气温均一性的影响[J]. 大气科学学报, 36(2):139-146. Zhou J P, Sun Z B, Ni D H, et al, 2013. Impact of meteorological station relocation on homogeneity of annual mean temperature in China[J]. Trans Atmos Sci, 36(2):139-146(in Chinese).
- Lukose L, Dutta D, 2020. Estimation of aerosol-corrected surface solar irradiance at local incidence angle over different physiographic subdivisions of India and adjoining areas using MODIS and SRTM data[J]. J Atmos Oceanic Technol, 37(2):161-175.
- Squintu A A, van der Schrier G, van den Besselaar E J M, et al, 2020. Building long homogeneous temperature series across Europe: a new approach for the blending of neighboring series[J]. J Appl Meteor Climatol, 59(1):175-189.