

环境及其效应

敦煌地区太阳紫外辐射占总辐射的百分比

黄循瑶, 唐其环, 许文清

(中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039)

摘要: 目的 估算敦煌地区太阳紫外辐射量, 为高分子材料及产品在该地区的老化试验与评估提供参考。方法 利用 2016 年敦煌试验站紫外辐射和总辐射的实测数据, 讨论紫外总百分比的计算方法、日出日落初期紫外总百分比的处理, 采用方差分析研究敦煌紫外总百分比随季节、时段的变化特征, 给出敦煌地区四季及全年的紫外总百分比平均值和标准差。结果 日出日落初期, 紫外总百分比很大, 计算方法、异常数据的判定与处理对紫外总百分比的计算结果会产生较大的误差。太阳高度角较小是导致敦煌不同时段太阳紫外总百分比明显不同的主要原因, 夏季降雨较多是敦煌不同季节太阳紫外总百分比明显不同的主要原因。结论 日出日落初期紫外总百分比应作为异常数据剔除, 冬季紫外总百分比最高、夏季最低, 春秋二季相近, 介于冬、夏季之间, 中下午时段的紫外总百分比高于上午和傍晚。敦煌地区紫外总百分比年平均值、标准差分别为 5.5%、1.3%。

关键词: 总辐照度; 紫外辐照度; 紫外辐射占比; 方差分析

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.08.019

中图分类号: P49

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)08-0100-06

Percentage of Solar Ultraviolet Radiation to Total Radiation in Dunhuang Area

HUANG Xun-yao, TANG Qi-huan, XU Wen-qing

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To estimate the solar ultraviolet radiation in Dunhuang area and provide reference for aging test and evaluation of polymer materials and products in this area. **Methods** Based on the measured data of ultraviolet radiation and total radiation at Dunhuang Experimental Station, the calculation method of the ultraviolet-total percentage at the beginning of sunrise and sunset were discussed. The variance analysis was used to study the ultraviolet-total percentage in Dunhuang with seasons and Beijing time. The average and standard deviation of the ultraviolet-total percentage in the four seasons and the whole year of Dunhuang were given. **Results** At the beginning of sunrise and sunset, the ultraviolet-total percentage was very large. The calculation method, the judgment and processing of abnormal data would cause great error to the calculation result of the ultraviolet-total percentage. The small solar height angle was the main reason for the obvious difference of the ultraviolet-total percentage in Dunhuang in different Beijing time; and the main reason for the obvious difference in the Ultraviolet-total percentage in different seasons of Dunhuang was much rainfall in summer. **Conclusion** The ultraviolet-total percentage should be excluded as abnormal data at the beginning of sunrise and sunset. The ratio in winter is the highest. The lowest in summer, and similar in spring and autumn, which lies between winter and summer, and the ratio in mid-afternoon period is higher than that in the morning and the evening. The annual average and the standard deviation of the ratio in Dunhuang area is 5.5% and 1.3% respectively.

KEY WORDS: total irradiance; ultraviolet irradiance; ultraviolet radiation ratio; ANOVA

高聚物分子结合的键能多数在 250~420 kJ/mol 之间, 波长在 300~400 nm 范围的紫外线具有的能量为 314~419 kJ/mol, 这个能量能够切断许多高聚物的分子键或者引发其发生光氧化反应, 进而导致高分子材料老化降解^[1-4]。全国开展太阳总辐射观测的气象台站虽然不少, 但其中开展紫外辐射观测的却很零散, 且持续时间较短^[5-6]。研究地基太阳紫外辐射与总辐射的百分比(以下简称紫总比)可以利用已有的太阳总辐射数据估算出当地的紫外辐射强度, 这对高分子材料老化的研究具有重要意义。

在地球大气层外位于地日平均距离处、与太阳辐射垂直平面上的太阳辐照度约为 1353 W/m², 其中 200~400 nm 的近紫外辐射约占太阳辐射总量的 8.7%^[7], 300~400 nm 的近紫外辐射则约占太阳辐射总量的 6%~7.1%^[8]。由于大气层对辐射的衰减和散射的影响, 地球表面的辐照度最大值为 1120 W/m²^[9], 且 300 nm 以下的紫外辐射到达地面时几乎为零^[10]。根据文献[9]和国际照明委员会第 85 号出版物^[11]给出的太阳辐射光谱分布推算, 300~400 nm 的紫外辐射分别约占太阳辐射总量的 6.0%和 6.4%, 比大气层的比值略低。文献[8]还认为在地表测得的太阳紫总比不能超过大气层顶的比值。

影响太阳紫外辐射的因素主要有: 臭氧总量、臭氧垂直分布、二氧化硫、气溶胶、云、地面反照率以及纬度、海拔高度、季节等, 其中云和气溶胶对紫外线指数的影响最大, 在气溶胶污染严重时, 紫外辐射强度可降低 40%^[12]。由于紫外辐射的影响因素众多, 虽然国内外对紫总比研究较多, 但至今仍未形成统一的观点。祝青林、于贵瑞等认为我国紫总比为 5.85%~8.51%^[13]。胡玉峰认为紫外辐射约占总辐射的 7%, 其中近紫外辐射约占 5.9%^[14]。胡波、王跃思等在文献[8]中认为北京紫总比为 2%~4%。毕家训认为紫总比不是常数, 它随季节有明显变化, 昆明 1 月平均为 7.75%, 5 月平均为 12.72%, 8 月则为 8.4%^[14]。胡波、王跃思等在文献[8]中还列出了国外观测的结果: 埃及开罗为 2.7%~4.9%, 沙特麦加为 2.8%~4.3%, 沙特 2.1%~4.6%, 其中文献[13], [15]的观测值明显高于大气层顶 300~400 nm 紫总比。上述文献在采样

频率与算法、异常数据、紫总比的计算方法等方面有所忽略, 即便列出的采样频率与算法明显与《地面气象观测规范》^[16]不一致, 这些差异对紫总百分比的计算结果会产生较大的误差。

文中利用敦煌大气腐蚀试验站 2016 年的太阳辐射观测数据对敦煌紫总百分比的变化特征进行分析, 并对其影响因素进行了简要分析。

1 观测数据

1.1 观测站点

敦煌大气腐蚀试验站位于敦煌市七里镇, 自动气象站安装于该试验站的户外试验场。敦煌市气候干燥、降雨量少、蒸发量大、昼夜温差大、日照时间长。年太阳辐射量为 6882.57 MJ/m²。

1.2 观测仪器

采用自动气象站采集数据, 采集器为美国 Campbell 公司生产的 CR1000 数据采集器, 总辐射表和紫外辐射表分别为荷兰 KIPP&ZONEN 公司的 CMP11 和 CUV5 辐射表。

1.3 辐射数据采集

按地面气象观测规范, 采用自动气象站同时观测太阳总辐照度和紫外辐照度, 每分钟采样 6 次, 去掉最大值和最小值, 计算其余 4 个采样数据的算术平均值, 作为该分钟的瞬时值, 并保存在专用数据库中。

2 太阳辐照度全天变化规律

在晴朗天气, 太阳总辐照度与紫外辐照度从早到晚均呈抛物线变化, 云层的有无与厚薄会影响到太阳辐照度抛物线的形状。若云层厚实, 抛物线就会残缺不全, 甚至看不出抛物线的形状, 日出、日落时间会影响抛物线在 x 轴上的起止点。2016 年 1 月 10 日至 23 日之间的几种典型天气条件下, 太阳总辐照度和紫外辐照度曲线如图 1 所示。

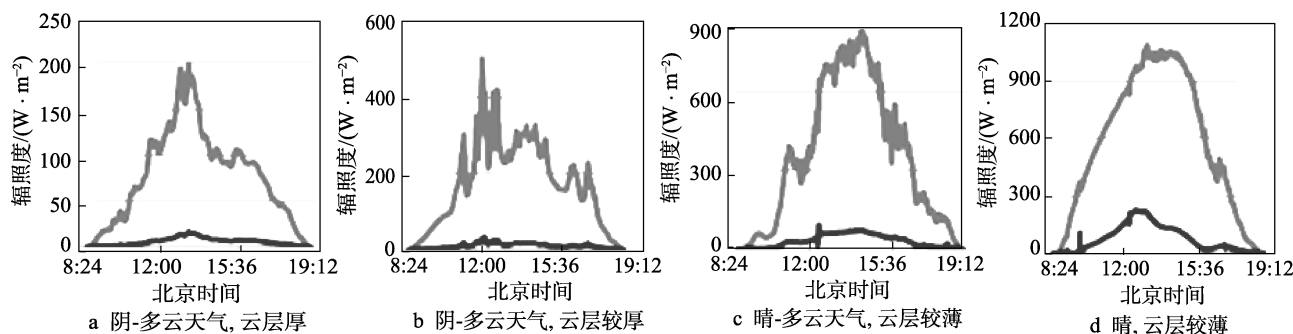


图 1 敦煌 1 月典型气象条件下太阳辐照度

3 太阳紫总比计算方法的选择

3.1 计算公式

根据分钟太阳总辐照度和紫外辐照度观测数据,比较分析了商均法与和商法两种方法统计太阳时、日紫总比。商均法是每分钟太阳紫总比的平均值,和商法是分钟总辐射与紫外辐射累积值或平均值之比。

1) 商均法

$$\gamma = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{IR_u}{IR_G} \quad (1)$$

式中: γ 为太阳紫总比; n 为样本量; IR_u 为分钟紫外辐照度; IR_G 为分钟总辐照度。

2) 和商法

$$\gamma = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n IR_u}{\sum_{i=1}^n IR_G} \quad (2)$$

3.2 商均法与和商法统计结果的比较

3.2.1 太阳月-日紫总比统计结果比较

采用商均法与和商法两种方法统计2016年每天日出日落期间的太阳辐射紫总比,2016年1月份的统计结果如图2所示。计算两种方法统计结果之差值,绘制日期与紫总比差值的柱状图,如图3所示。

图2清楚地揭示了商均法统计的紫总比大于和商法统计结果,从计算结果统计,全年366天的紫总比有307天是商均法统计结果大,52天是和商法统计结果大,只有7天二种方法的统计结果是相等的。

图3中柱线向上表示商均法统计的紫总比大于和商法统计结果,柱线向下则表示商均法统计的紫总比

比小于和商法统计结果,柱线的长短表明了差值的大小。从图3还可知,商均法统计的紫总比大于和商法统计结果主要集中在5月、6月份。

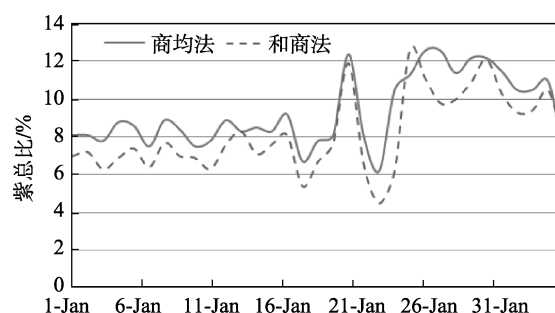


图2 2016年1月商均法与和商法统计紫总比变化图

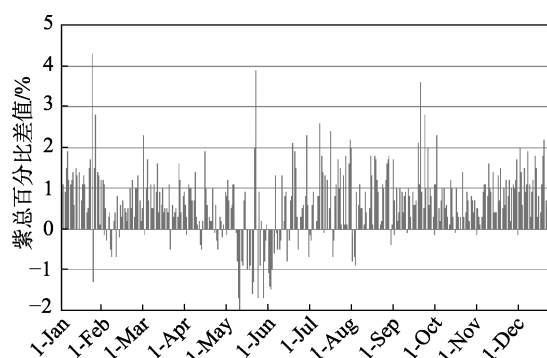


图3 商均法与和商法统计紫总比差值柱状图

3.2.2 太阳月-时紫总比统计结果比较

采用商均法与和商法两种方法统计2016年每月日出日落期间每个整点的太阳辐射紫总比,计算两种方法统计结果之差值,结果见表1。

表1 两种方法计算的月-时太阳紫总比差值

时间	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
6:00				17	10.5	7.8	11.3	12.1				
7:00			12.4	4.3	0.7	0.5	1	2.8	9.4	2.4		
8:00	1.6	6.2	1.8	-0.6	0	0.7	0.9	-0.5	0.6	3.1	7.2	3.7
9:00	3.3	0.8	0.3	0.1	0.1	0.4	0.9	0.3	0.3	0.2	1.1	3.4
10:00	-0.2	-0.1	0.2	0.1	-0.1	0.1	0.5	0.2	0.3	0	0.4	0.6
11:00	0.1	0	0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0.3	0.2
12:00	0	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0	0.1	0.3
13:00	0	-0.5	-0.2	-0.2	-0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0	0	0
14:00	0.3	-0.5	-0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0
15:00	0.3	-0.4	-0.2	-0.3	0	0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1
16:00	0.1	-0.3	-0.3	0	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
17:00	0.5	-0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.6	0.6	0.6	0.1	0	1.8
18:00	9	1.8	0.8	0.5	0.3	0.6	1	0.7	1.2	7.2	18.1	19
19:00		16.8	9.4	3.2	0.8	0.6	1	1.5	11	19.3		
20:00			13.3	16.7	10.7	5.7	7.7	14.4	24.2			
21:00						20.7	36.3					

表 1 中有 163 个有效差值, 其中有 123 个值大于 0, 25 个值小于 0, 15 个值等于 0, 即商均法所求月-时的紫总百分比大于和商法。从表 1 可知, 日出后和日落前 2 h 内两种方法统计的太阳紫总比相差较大, 其余时间相差很小。

比较分析发现, 不同的计算方法会影响紫总比的计算结果, 这说明相关文献在研究紫总比时不注意其计算方法是值得商榷的。文中在 3.2 节统计的紫总比未剔除日出日落初期的观测数据, 以下太阳紫总百分比的计算均采用商均法。

4 数据处理与分析

4.1 数据预处理

2016 年 1 月 1 日, 敦煌试验站日出、日落时间分别为 09:03、18:26, 全天总辐照度和紫外辐照度变化曲线如图 4 所示。

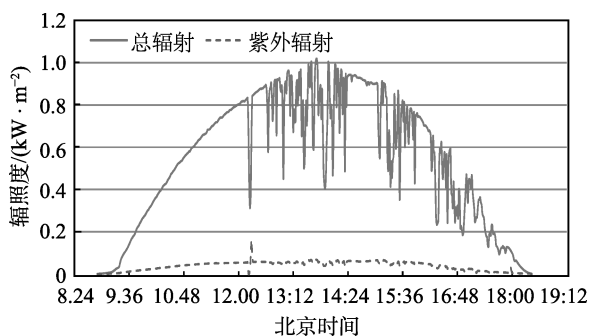


图 4 敦煌 2016 年 1 月 1 日全天总辐照度与紫外辐照度变化曲线

图 4 中抛物线有许多“垂须”, 这是受云层影响所致。从抛物线轮廓完整、“垂须”稀疏来看, 当天云层较稀薄。计算 2016 年 1 月 1 日每分钟的紫总百分比, 并绘制其全天的变化曲线, 如图 5 所示。

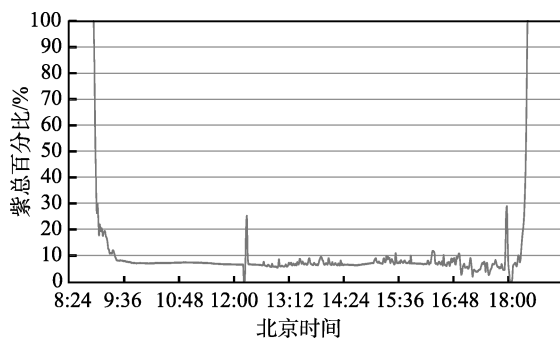


图 5 敦煌 2016 年 1 月 1 日全天紫总百分比变化曲线

从图 5 可知, 日出前后、日落前的紫总百分比很高。查阅当天观测数据, 日出前 8 min 即 8:56 时, 总辐照表和紫外辐射表就开始有读数了, 开始时数值很小,

总辐照度和紫外辐照度各分钟之和分别为 11.6 W/m^2 和 3.8 W/m^2 。日出后的 9:03—9:23, 总辐照度和紫外辐照度各分钟之和分别为 284 W/m^2 和 37.2 W/m^2 。在 8:56—9:23 这段时间, 和商法计算的紫总比虽然不是很高, 但采用商均法计算的紫总比却是从 100% 下降到 10% 以下。在日落前, 18:17 开始到 18:26 之间, 紫总百分比超过 10%, 并逐渐增至 100%。文献[7]在计算紫总百分比时, 直接剔除太阳高度角 $\geq 85^\circ$ 和 $\leq 15^\circ$ 的辐射观测数据, 其原因是辐射仪器的余弦效应在太阳高度角较低或太高时会带来很大的观测误差。

在图 5 中, 还有两处紫总比大于 25%, 查原始数据知, 12 时紫外辐照度正常值约为 55 W/m^2 , 而 12:13—12:18 紫外辐照度为 $0 \sim 162 \text{ W/m}^2$ 。同样 17:56—18:05 时间段内, 紫外辐照度数据异常。对于异常数据, 统计时直接剔除。显然, 判定异常数据的阈值设定会直接影响紫总百分比的统计结果。

4.2 月-时紫总百分比统计结果

采用商均法统计 2016 年每月日出日落期间每个整点的太阳辐射紫总百分比, 统计过程中, 以略高于大气层顶部太阳紫总百分比的 10% 作为阈值来剔除日出日落初期全天过大的异常值, 统计结果见表 2。

以表 2 中各月的数据计算全年的紫总百分比平均值和标准差, 分别为 5.5%、1.3%。从表 2 可知, 敦煌日照时间长, 冬季日照时间最短可超过 10 h, 夏季则可达到 15 h。

4.3 紫总比随季节、时段的变化规律

为了解紫总比随季节和时段的变化情况, 对表 2 中紫总百分比进行季节、时段的二因素方差分析。方差分析时, 对月份按气象学上四季划分的方法进行分组, 即将全年各月划分为春、夏、秋、冬四季: 春季为 3—5 月, 夏季为 6—8 月, 秋季为 9—11 月, 冬季为 1 月、2 月和 12 月。分组结果与表 2 中的各月紫总百分比平均值和标准差的相对大小也是相符的。对日照时段按北京时间分为上午、中下午、傍晚 3 组: 上午为 6:00—10:00, 中下午为 11:00—16:00, 傍晚为 17:00—21:00。方差分析结果见表 3。

方差分析表明: 全年不同季节、每天不同时间, 甚至不同季节的同一时间段, 太阳紫总比都有显著差别。以表 2 的数据统计不同季节、不同时段的紫总百分比, 结果见表 4。

根据表 4 的数据, 从季节来看, 冬季紫总百分比最高、夏季最低, 春秋两季相近, 介于冬夏之间。从时段上看, 中下午时段高于上午和傍晚。与文献[7]北京的紫总比数据比较, 紫总比在不同时段上的变化规律是一致的, 但在季节上的变化规律却相反, 在北京, 夏季紫总百分比最高、而冬季则最低。

表2 敦煌站 2016 年月-时紫总百分比

%

时间	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
06:00				7.0	5.8	5.9	5.6	6.0				
07:00			6.8	6.2	5.7	4.7	5.2	5.0	5.9	8.0		
08:00	6.9	6.7	5.5	4.8	4.3	5.1	4.8	4.6	4.7	3.6	4.8	8.1
09:00	7.4	6.2	3.8	4.5	3.9	3.3	4.3	3.8	4.7	2.7	4.2	6.6
10:00	7.0	6.6	3.9	3.8	5.8	4.3	3.7	4.4	4.2	3.7	5.5	6.9
11:00	7.1	6.9	4.3	5.1	7.7	4.9	4.4	5.0	4.9	5.4	6.5	7.9
12:00	7.0	7.3	5.5	6.5	7.5	5.0	5.3	4.9	5.2	6.0	6.7	8.0
13:00	6.9	7.0	5.5	6.8	7.8	5.1	5.6	4.4	5.7	6.3	6.7	7.9
14:00	7.0	6.3	5.2	7.3	7.7	5.6	5.3	3.8	5.9	6.3	6.6	7.9
15:00	7.2	6.4	5.3	6.8	5.7	5.8	5.3	4.4	5.5	5.8	6.2	7.7
16:00	7.0	6.9	4.8	4.5	3.1	4.4	5.2	4.1	4.9	5.4	6.0	7.5
17:00	6.3	5.5	3.4	3.2	2.9	3.1	4.2	3.3	3.9	4.0	4.5	6.5
18:00	7.0	5.1	3.4	3.6	3.1	4.8	4.7	4.2	4.7	4.6	4.7	5.7
19:00		6.3	5.1	4.8	4.5	4.4	5.1	5.0	5.3	4.7		
20:00				7.0	6.2	5.4	5.5	6.5	5.1			
21:00						5.9	3.3					
平均值	7.0	6.3	4.7	5.3	5.4	4.7	4.9	4.4	5.0	5.0	5.9	7.5
标准差	0.3	0.6	1.0	1.4	1.8	0.8	0.7	0.8	0.6	1.4	1.0	0.8

表3 太阳紫总百分比季节、时段二因素方差分析表

来源	平方和	自由度	平均值/%	F	$P_{\text{rob}} > F$
季节	89.733	3	29.111	36.54	0
时段	34.69	2	17.3449	21.19	0
交互作用	11.292	6	1.8819	2.3	0.0375
误差	122.779	150	0.8185		
总计	267.02	161			

表4 敦煌 2016 年四季及其时段的紫总百分比

%

时间段	春		夏		秋		冬	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
上午	5.1	1.1	4.7	0.8	4.7	1.4	6.9	0.5
中下午	6.3	1.1	5.0	0.5	6.0	0.6	7.2	0.5
傍晚	4.4	1.3	4.6	0.9	4.8	0.6	6.4	0.8
季节	5.3	1.4	4.7	0.8	5.3	1.1	6.9	0.7

4.4 紫总百分比影响因素

大气中影响辐射的因素很多,包括臭氧、水汽、气溶胶、太阳高度角等。这些因素的作用是相互制约的,诸多因素的种类和量级不断发生改变,从而影响着光谱的吸收与散射,进而影响了紫总比。

上午和傍晚,太阳高度角较小,由于大气光学路径较长,紫外辐射的波长较短,大气分子的瑞利散射更强,致使紫总百分比减小。另一方面,上午和傍晚的相对湿度比中下午要高,空气中的水汽更大,水汽会吸收波长较大的红外辐射,又致使紫总百分比增大。当然,还会有其他一些增大或减小紫总比的因素

存在,增大或减小效应的角力导致了紫总百分比的大小变化,对于相对湿度较小的我国北方,尤其是敦煌地区而言,上午和傍晚紫总百分比小于中下午是由于太阳高度角较小带来的影响更大所致。

冬季的太阳高度角小于夏季,更多紫外光被散射掉,这正是北京冬天的紫总比低于夏天的原因。敦煌地区干旱、大风,空气中的沙尘含量常年较高,其对紫外光具有很强的散射作用,晴空指数(地面观测到的实际总辐射与大气顶的辐射总量的比值)较低。夏季雨水较多,雨水会降低空气中的沙尘含量,提高晴空指数,从而又降低了夏季的紫总百分比,其效应大于太阳高度角对冬季紫总比的影响。北京空气中的

沙尘含量低于敦煌, 雨水清洁空气的效应较弱, 太阳高度角的影响占主导地位, 敦煌则是雨水的清洁效应占主导作用。因此, 敦煌冬、夏紫总百分比的大小正好与北京相反。

不同的物质对光谱是有选择性的吸收的, 如臭氧主要吸收紫外光谱, 云(水汽)则主要吸收红外光谱, 改变了光谱的分布形状, 从而改变了紫总百分比。若紫外部分吸收相对较多, 则紫总百分比就不会超过大气层顶的比值; 若红外部分吸收相对较多, 则紫总百分比可以超过大气层顶比值。文中给出的数据虽然都低于大气层顶的紫总百分比, 但原始的分钟紫总百分比有不少是在9%以上的。

5 结论

1) 敦煌地区紫总百分比年平均值、标准差分别为5.5%、1.3%。地基紫总百分比可以超过大气层顶的紫总百分比。

2) 季节、时段, 甚至不同季节的同一时段, 太阳紫总比都有显著差别。冬季紫总百分比最高、夏季最低, 春秋二季相近, 介于冬夏之间。中下午时段的紫总百分比高于上午和傍晚。太阳高度角较小是敦煌上午和傍晚紫总百分比小于中下午的原因, 夏季降雨清洁空气的作用是敦煌冬季紫总百分比高于夏季的主要因素。

3) 紫总比统计方法目前没有统一的标准, 统计时段的长短、统计方法的选择、日出日落初期测试数据剔除阈值确定等都会影响紫总百分比的值, 需建立相应的统计规范。

参考文献:

[1] 卢言利, 潘家亮, 张拴勤, 等. 高原环境因素对涂层自

然老化性能的影响[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 38-41.

- [2] 沈自才, 李衍存, 丁义刚. 航天材料紫外辐射效应地面模拟试验方法[J]. 航天器环境工程, 2015, 32(1): 43-48.
- [3] 李鹏, 吴光亚, 马斌 等. 青藏工程直流复合绝缘子用硅橡胶耐紫外老化研究[J]. 电力建设, 2014, 35(3): 69-73.
- [4] 周一鸣, 王茜, 杨硕. 高原环境下多路开关模块加速寿命试验方案研究[J]. 环境技术, 2017, 35(4): 52-56.
- [5] 吴兑. 到达地面的太阳紫外辐射强度的观测[J]. 气象, 2001, 27(3): 26-29.
- [6] 邓雪娇, 周秀骥, 吴兑 等. 广州地区光化辐射通量与辐照度的特征[J]. 中国环境科学, 2010, 30(7): 893-89.
- [7] ASTM E 490-00a, Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables[S].
- [8] 胡波, 王跃思, 刘广仁. 北京城市紫外辐射变化特征及经验估算方程[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 511-518.
- [9] GJB 150.7A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第7部分: 太阳辐射试验[S].
- [10] 蒋承霖, 吴兑, 谭浩波. 广州地区紫外辐射特征和模式对比分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(3): 391-396.
- [11] Commission Internationale de l'Eclairage. NO.85 Solar Spectral Irradiance[R]. Paris, France, CIE Publication, 1989.
- [12] 邓雪娇, 吴兑, 游积平. 广州市地面太阳紫外线辐射观测和初步分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 118-125.
- [13] 祝青林, 于贵瑞, 刘新安. 中国陆地生态信息空间化技术研究-太阳辐射要素[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 679-687.
- [14] 胡玉峰. 自动气象站原理与测量方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [15] 毕家顺. 低纬高原城市紫外辐射变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(5): 637-641.
- [16] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2016.