

(12)

72-77

日照百分率研究*

陈仲林

奚于成

(建筑城规学院)

PA 200. 62 /
TU 113. 3

摘要 根据中国不同地域的七个气象观测站连续五年日照时数的定时观测资料,研究了日照百分率的时空变化特征,建议了日照百分率大于70%地域的日照百分率计算式。由实测资料验证表明,本文建议的日照百分率计算式的计算精度较高。

关键词 日照百分率, 计算公式
中图法分类号 TU113.3

定时观测 | 时空分析

现有的日照百分率随太阳高度角变化的计算式^[1]是由日本学者建议的,并由下式表示

$$\sigma(h_0) = [\sigma_{h_{max}} \sigma_{rel}] / \{h_{max} - 0.1 \ln[\sin(h_{max})] - 0.31133\} \quad (1)$$

式中 σ ——某一期间内平均日照百分率

h_0 ——太阳高度角,以角度计

h_{max} ——某一期间内当地最高太阳高度角,以弧度计,如以整年为研究对象时,则有

$$h_{max} = [(113.45 - |\varphi|)\pi] / 180 \quad (|\varphi| > 23.45^\circ)$$

$$h_{max} = \frac{\pi}{2} \quad (|\varphi| \leq 23.45^\circ)$$

这里 φ ——纬度,以角度计

σ_{rel} ——某一期间内日照率和假设太阳高度角为90°时日照百分率比值^[2],称为相对日照百分率,且有

$$\sigma_{rel} = 1 - \frac{0.1}{\text{tg}(h_0)} \quad (h_0 \geq 10^\circ) \quad (2)$$

$$\sigma_{rel} = 2.5 \text{tg}(h_0) \quad (h_0 < 10^\circ) \quad (3)$$

(1)式是从德国13个气象观测站的日照百分率的小时平均值的计算式^[2]中推导出来的。西欧湿度大,云雾多,雨日多,日照相对较少;而对于湿度小,干燥度大,日照多的地区,(1)式的计算结果会产生很大误差。因而(1)式仅适用于日照百分率低于70%的地域^[1]。例如,中国西北地区气候干燥,日照丰富,青海省冷湖地区的1961~1970年平均日照百分率为81%^[3],利用(1)式计算表明:当太阳高度大于60.3°时,日照百分率计算值大于1,如表1所示。美国菲尼克斯年平均日照百分率为91.8%^[4],由(1)式算得,当太阳高度角大于33.3°时,日照百分率计算值大于1,如表1所示。这些结果与日照百分率的定义相矛盾,应对(1)

* 收稿日期:1994-12-20

陈仲林,男,1944年生,副教授,重庆建筑大学建筑城规学院(630045)

国家自然科学基金资助项目

式加以修正。

表 1 (1) 式的日照百分率计算值

h_0 (度)	10	20	30	40	50	60	70	80
冷 湖	0.459	0.769	0.877	0.934	0.972	0.999	1.022	
菲尼克斯	0.511	0.856	0.975	1.039	1.081	1.112	1.137	1.159

我们为了研究日照百分率随太阳高度角的变化规律,利用了不同地域的七个气象观测站点:冷湖、哈密、定日、巴彦毛道、玉门、老东庙、开鲁的连续 5 年(1986~1990)的一、四、七、十月的 5、10、15、20、25、30 日共六天的八时至十八时十一个观测时刻的日照时数定时观测资料,及各站点的经纬度。

1 时空特征分析

干燥地区日照丰富,全天多晴,因此其日照百分率的日变化曲线接近于可能的日照百分率日变化曲线;而阴雨湿润地区水汽充足,全天云量均较多,特别是清晨和傍晚更是如此,中午前后对流最盛,云层可能开裂,因此全天阳光的此时相对最多。我们根据 WMO 第八届仪器和观测方法委员会规定直接日射表测出的值大于 $120 \text{瓦}/\text{米}^2$ 时则计算日照时数的规定^[1],从气候特点不同的中国二连浩特和重庆地区连续二年的太阳直接辐射的定时观测中,统计出日照百分率随太阳高度角的变化曲线,如图 1 所示。

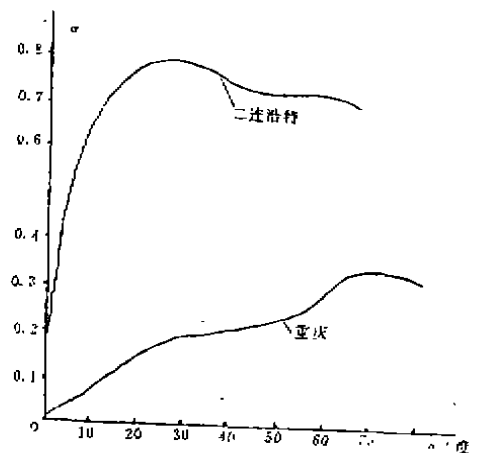


图 1

中国二连浩特 10 年(1960~1970)的年平均日照百分率为 73%^[2],而相应时间重庆年平均日照百分率为 28%^[3]。从图 1 可以看出,日照百分率大于 70% 的二连浩特,与清晨和傍晚多云、日照百分率较小的湿润的重庆相比,两者的日照百分率随太阳高度角的变化曲线的形状显然是不相同的;虽然它们均是随太阳高度角增大而增大,但是前者在低太阳高度角时变化剧烈,后者随太阳高度角的变化较为缓慢。

1.1 日照百分率随太阳高度的变化

对某一地区而言,其日照时数除了受云、雨、雾等天气条件影响外,还要受到天文条件的影响,只有实际日照时数和天文日照时数之比的日照百分率才能正确地反映出天气条件对日照时数的影响。为了研究日照百分率的变化规律,我们首先对七个气象观测站的日照时数定时观测资料进行年平均、月平均、日平均处理,七个气象观测站的年平均日照百分率随太阳高度角的变化如表 2 所示。这七个站的平均日照百分率实测值为 81%。

就平均值而言,表 2 呈现出日照百分率随太阳高度角的正相关特点:当太阳高度角逐渐增大时,其对应的日照百分率也相应变大;反之亦然。这种正相关特点不但对于日照百分率大于 70% 的地区是对的,而且对于日照百分率小于 70% 的地区也是正确的^[6]。从统计观点看,日照百分率随太阳高度角的正相关变化关系是因为当太阳高度角增大时,太阳辐射在地

球大气层中的路程变短,太阳辐射在大气中的衰减变小。因此到达地面的日辐射强度较大,日照百分率也随之变大,这种正相关变化态势在中低纬云量较多的地区更为明显,因为这时日辐射在大气中的衰减与太阳高度角的关系更为敏感。总之,影响日照百分率的天文条件主要是太阳高度角变化。

表 2 7 个站平均日照百分率随太阳高度角的变化

真太阳时(时)	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~16	16~17	17~18	18~19
计算 h_s 时	6:30	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30
h_s 平均值	16°	21°	27°	37°	45°	50°	50°	45°	37°	27°	21°	16°	8°
σ 平均值	0.60	0.74	0.83	0.88	0.89	0.89	0.89	0.88	0.85	0.81	0.72	0.55	0.35

注:①表中真太阳时是观测时刻,如 6~7 表示真太阳时 6 时至 7 时日照观测时段

②表中的 h_s 是太阳高度角,它表示相应时段内 7 个站对应的太阳高度角平均值。

1.2 日照百分率随云量变化

云量与日照百分率密切相关,即云量大,日照百分率小;反之亦然。为了研究它们之间的内在联系,选了几乎遍布中国的 32 个气象观测站 1951~1980 年 30 年来年平均日照百分率和总云量^[6],如表 3 所示,并用黑点表示在图 2 中。典型的季风气候带的日照百分率和总云量之间的关系,几乎可用一直线表示(参看图 2),该直线明确表示了日照百分率随总云量增大而变小的规律。

表 3 1951~1980 三十年平均日照百分率和三十年平均总云量

站名	北京	天津	石家庄	太原	呼和浩特	沈阳	长春	漠河	哈尔滨	上海	南京	杭州	合肥	福州	南昌	济南
日照百分率(%)	63	61	62	60	67	58	60	54	60	45	49	43	49	42	43	62
总云量(1/10)	4.8	4.7	4.9	4.7	4.2	4.6	4.8	5.7	4.8	6.7	6.3	6.7	6.4	7.2	6.8	5.0
站名	郑州	武汉	长沙	广州	南宁	成都	贵阳	昆明	拉萨	西安	兰州	西宁	银川	乌鲁木齐	吐鲁番	喀尔
日照百分率(%)	54	46	38	43	41	28	31	56	68	46	59	62	69	61	68	76
总云量(1/10)	5.9	6.6	7.1	7.1	7.5	8.4	8.1	5.8	5.1	6.1	5.5	5.5	4.8	5.0	4.4	4.2

众所周知,主要由冰晶构成的高云对日照百分率影响不大,但是由于中国气象观测站仅记录了总云量和低云量两类数据,所以我们只能利用总云量表征云量两类数据,所以我们只能利用总云量表征日照百分率变化趋势,这对于一般气候区是可以的,但对于特殊气候地区会产生较大误差。如中国高原干旱气候典型代表冷湖,年平均日照百分率为 80%,总云量为 4.7,低云量仅为 0.3;而一般气候地区太原的总云量也为 4.7,低云量却为 1.5,年平均日照百分率仅为 60%。这里由于冷湖地区的高云较多,虽然总云量较大,但影响日照百分率大小的中、低云量较少,日照百分率较大。此外,如用总云量描述日照百分率对于热带海洋性气候等特殊气候地区同样会产生较大误差。总之,采用中、低云量描述日照百分率的变化规律的适合范围更大、更确切。

1.3 日照百分率随空间变化

地理因子中对日照百分率影响较大的主要有海陆、地形坡向、海拔高度和距海洋远近。

在海洋上空由于气层稳定，故海洋（如海岛）上日照百分率比大陆高出 4%^[6] 左右。

迎风坡多云雨，日照百分率就小；背风坡多晴天，日照百分率就大。

山顶与山麓的日照百分率是不一样的，而且日照百分率一般是随着海拔高度增加而减少，由中国六大名山：泰山、华山、五台山、黄山、庐山和峨眉山六处气象观测资料表明，山顶的年平均日照百分率比山麓低

3.2%^[6]。

由于中国西北地区位于亚洲大陆中部，离海洋远，气候干燥，晴天多，日照百分率大。中国沿海的长江中下游、华南和川黔地区，离海洋较西北地区近，无高山完全阻挡，水气较西北地区充足，雨水充沛，云天多，日照百分率较西北地区小。

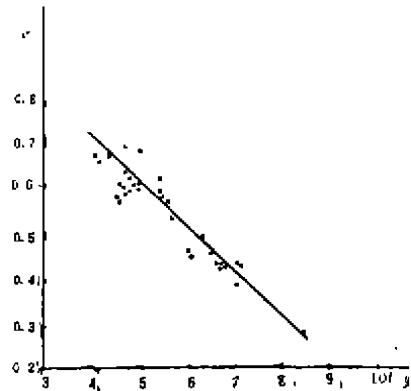


图 2 日照百分率随总云量变化

2 计算模型

由上面分析可知，影响日照百分率大小的主要是天文因子、气象因子和地理因子。其中天文因子和气象因子是最主要的影响因子。天文因子可用太阳高度角表示，气象因子可用云量—— $1-\sigma$ 表示。在相对日照百分率(2)和(3)式中，只有一个参数——太阳高度角 h_s ，这显然没有充分考虑气象因子对日照百分率的影响。从相对日照百分率定义^[2]和统计观点看，在某一地区某一期间内，可以把假设的太阳高度角为 90° 时的日照百分率认为是常数，这样相对日照百分率随太阳高度角等的变化规律就与日照百分率随太阳高度角等变化规律相同了。因此，可以认为相对日照百分率不但与太阳高度有关，而且还与云量有关，即与 $1-\sigma$ 有关。当日照百分率大于 70% 时，设相对日照百分率为

$$\sigma_{rel} = 1 - a(1 - \sigma)/\text{tg}(h_s) \quad (h_s \geq h_{rel}) \quad (4)$$

$$\sigma_{rel} = b\text{tg}(h_s) \quad (h_s < h_{rel}) \quad (5)$$

为了使相对日照百分率 σ_{rel} 在太阳高度角 h_{rel} 处连续，就应该使(4)式(5)相等，应有

$$b = 1/\text{tg}(h_{rel}) - a(1 - \sigma)/\text{tg}^2(h_{rel}) \quad (6)$$

当日照百分率等于 70% 时，(4)式应与(2)式相等，求得

$$a = 0.1/(1 - 0.70) \approx 0.33333 \quad (7)$$

从理论推算可知，日照百分率计算式为

$$\sigma(h_s, 1-\sigma) = \sigma h_{max} \sigma_{rel} / \{h_{max} - a(1 - \sigma)\ln[\sin(h_{max})] - K\} \quad (8)$$

式中

$$\begin{cases} a = 0.1(1-\sigma) & (\sigma \leq 70\%) \\ a = 0.33333 & (\sigma > 70\%) \end{cases}$$

$$\begin{cases} k = 0.31133 & (\sigma \leq 70\%) \\ k = h_{sd} - a(1 - \sigma) \ln[\sin(h_{sd})] + \ln[\cos(h_{sd})] / [4a(1 - \sigma)] & (100\% > \sigma > 70\%) \\ k = 0 & (\sigma = 100\%) \end{cases}$$

$$\begin{cases} h_{sd} = 10^\circ & (\sigma \leq 70\%) \\ h_{sd} = \arctg[2a(1 - \sigma)] & (\sigma > 70\%) \end{cases}$$

式中相对日照百分率 σ_{rel} 由(4)、(5)、(6)和(7)式确定,而 σ 是相应的平均日照百分率。

3 验 证

为了验算(8)式的合理性,采用了上述七个气象观测站的日照百分率实测资料。与表 2 不同的是,现以太阳高度角为准进行统计。(8)式和(1)式的计算结果均列于表 4,该表中日照百分率是以各站实测的日照百分率总平均值代入后算得的,相对误差是以实测值为准计算的。

表 4 7 个站平均日照百分率和计算值比较

h_s		10°	20°	30°	40°	50°	60°
σ 实测值		0.63	0.81	0.86	0.86	0.87	0.86
(8) 式	σ 计算值	0.63	0.81	0.87	0.91	0.90	0.92
	相对误差(%)	0	0	+1	+5	+3	+7
(1) 式	σ 计算值	0.46	0.77	0.88	0.94	0.97	1.00
	相对误差(%)	-27	-5	+2	+9	+12	+17

从表 4 中看出,当太阳高度角较小时,(8)式的计算结果与实测值吻合较好;当太阳高度角较大时,误差稍大,这是由于当太阳高度角大于 45° 时,本文所研究的地域处在

中低纬地区,所以仅是 4 月和 7 月的日照百分率值,而该地区属于典型的季风带气候,各月的日照百分率差别较大(如表 5 所示)。7 个站 1 月总平均值为 90%,7 月为 73%,两者相差 17%! 因为(8)式中的 σ 是相应的平均日照百分率,故当 h_s 小于 45° 时,取 σ 等于 81%;当 h_s 大于 45° 时,取 σ 等于 77%。(8)式计算值的相对误差在 0~+7% 范围内。由此可见,(8)式的计算精度较高。(1)式的计算结果与实测值误差较大,相对误差在 -27%~+17% 范围内;并且当太阳高度角大于 60.3° 时,日照百分率计算值大于 1。

表 5 7 个站平均日照百分率

月份	1	4	7	10
σ 实测值	0.90	0.81	0.73	0.83

表 6 冷湖和菲尼克斯日照百分率计算值

h_s (度)	10	20	30	40	50	60	70	80
σ 冷湖	0.627	0.808	0.871	0.904	0.926	0.942	0.955	
σ 菲尼克斯	0.849	0.929	0.957	0.972	0.982	0.988	0.994	0.999

如果用(8)式计算日照百分率较大的中国冷湖和美国菲尼克斯的日照百分率值,结果如表 6。表 6 中各太阳高度对应的日照百分率计算值均小于 1,与日照百分率的定义没有发生矛盾。

如果某地区在某一期间内的日照百分率为 100%,即该地区在这期间内白天全有日照,于是由数学中的无穷小量的运算定理求得

$$k = 0 \quad b = 0 \quad h_{\text{max}} = 0 \quad \sigma_{\text{max}} = 1$$

再由(8)式算得 $\sigma(h_s, 1-\sigma) = 100\%$

上述计算结果表明,它与该地区所处纬度无关,并符合白天全有日照的假设。

4 结 论

1) 首先对日照百分率的时空特征进行了分析,得出了在一般气候地区影响日照百分率主要是天文因子和气象因子的结论,并从相对日照百分率定义出发,获得了日照百分率计算式(8),它对于一般气候地区基本上是适用的。

2) 日照百分率与中、低云量之间的关系比与总云量更为密切相关。

3) 由于大气对流等影响,上午和下午同样大小的太阳高度角对应的日照百分率值会产生差别,这可以从表 2 中看出。这个差别可在(8)式中加以订正,分别用上、下午日照百分率平均值代入计算即可。

4) 对于一年之中不同季节(如旱季与雨季)的日照百分率差别较大的地区,宜分别用(8)式计算为宜。

参 考 文 献

- 1 Nakamura. The Mean Sky Composed Taking Account of the Relative Sunshine Duration, Under submission for the proceedings I of the Second International Daylighting Conference
- 2 S. Aydinli. Über den Tagesgang der sonnescheinwahrscheinlichkeit und der Globalstrahlung, LICHT-Forschung 4, Nr. 2, 1982
- 3 中央气象局. 1961~1970中国日照资料. 中国中央气象局出版, 1974
- 4 中村洋 他. 世界各地ちはる平均天空を構成するための系数について, 日本建筑学会大会学术讲演梗概集(关东), 昭和63年10月
- 5 易仕明. 日照时数的定义及其测量仪器. 气象, No. 8, 1984
- 6 张家诚等. 中国气候, 上海科学技术出版社, 1985

(编辑: 胡玲)

THE FORMULA OF SUNSHINE PERCENTAGE

Chen Zhonglin *Xi Yucheng*

(Faculty of Architecture and Urban Planning)

ABSTRACT This paper presents the formula of sunshine duration in those places where sunshine duration is more than seventy per cent. This formula is obtained from the sunshine observation running at seven observation stations of China for five years. And after analysing the changes of time and place, this formula is very precision.

KEY WORDS sunshine percentage, sunshine formula