

④

22-2

# 用日照百分率等因素表示四类天空出现概率

陈仲林 (重庆建筑工程学院)      吴其勋 (中国气象科学研究院)      刘耀宗 (重庆建筑工程学院)

TU113.51

A

**摘要** 根据日照百分率日变程曲线的变化规律,对于日照百分率大于70%的地区,建议了一种新的日照百分率计算式。根据气候特点不同的7个地区连续两年的太阳直接辐射、云量和日光状况等定时观测资料,考虑了各地区的云量、水汽压和海拔高度等差别后,提出了用日照百分率等因素表示四类天空的出现概率,经实测验证表明,该计算式具有一定精度。

**关键词** 日照百分率, 四类天空出现概率

中图法分类号 TU113.51

## 1 日照百分率日变程

日照百分率和云量都是天空状态的数量特征,它们之间有密切关系。但是通过目视观察天空云量所得的云量资料精度较差,不如从自动记录的日照资料中,求出日照百分率描述天空状态更为确切些。全世界有很多气象台站记录了多年日照时间的资料。日照时数仅反映了当地日照绝对值的大小,并不能完全说明当地因天气原因而使日照减少的情况。因为日照时数除了受云、雨和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指标才能清楚地反映出天气条件对日照时数的影响<sup>[1]</sup>。

为了利用日照百分率等因素表示四类天空的出现概率,就必须首先要研究日照百分率随太阳高度角变化的规律,即日变程规律,现一般用下式<sup>[2][3]</sup>表示:

$$\sigma(h_s) = \sigma h_{s_{max}} \sigma_{rel} / [h_{s_{max}} - 0.11n(\sin h_{s_{max}} - 0.31133)] \quad (1)$$

式中  $\sigma$ —— 某一期间内平均日照百分率;

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

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

$$h_{s_{max}} = \pi/2 \quad (|\phi| \leq 23.45^\circ)$$

$\phi$ —— 纬度,以角度计;

$\sigma_{rel}$ —— 某一期间内日照百分率和假设的太阳高度为90°时的日照百分率比值或

\* 收稿日期:1992-11-26

自然科学基金资助项目

陈仲林,男,1944年生,副教授,重庆建筑工程学院建筑系(630045)

称为相对日照百分率,且有

$$\sigma_{rel} = 1 - 0.1/\operatorname{tg}(hs) \quad (hs \geq 10^\circ) \quad (2)$$

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

式中:  $hs$ ——太阳高度角。

(1)式只适用于日照百分率低于70%的地区。我国西北地区气候干燥,日照丰富,青海冷湖年平均日照百分率为81%,利用(1)式计算表明:当太阳高度角约大于 $60.3^\circ$ 时,会使青海冷湖日照百分率计算值大于1。美国菲尼克斯年平均日照百分率为91.8%,由(1)式算得:当太阳高度角约大于 $33.3^\circ$ 时,菲尼克斯的日照百分率计算值大于1。这结果与日照百分率的定义相矛盾,应对(1)式加以修正。

干燥地区日照丰富,全天多晴,因此其日照时数的日变化曲线接近于可能的日照日变化曲线;而阴雨湿润地区水汽充足,全天云量都较多,所以全天日照较小,特别是清晨和傍晚均多云,中午前后对流最盛,云层可能开裂,因此全天阳光以此时相对最多<sup>[2]</sup>。我国各纬度的年可能日照时数基本相同,所以年日照百分率和日照时数成正比<sup>[2]</sup>。全天多晴,日照百分率大于70%的干燥地区,与清晨和傍晚多云,日照百分率较小的阴雨湿润地区相比,两者的日照百分率日变程曲线的变化趋势和形状显然是

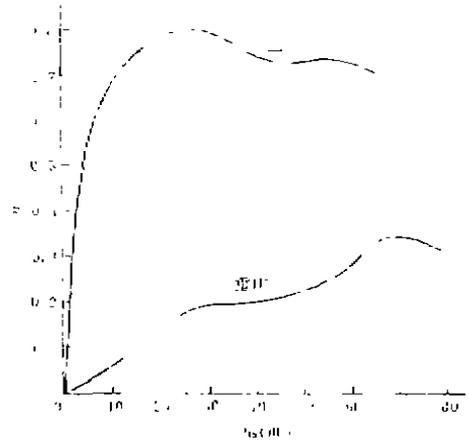


图 1

不相同的:前者在低太阳高度角时变化剧烈;后者的曲线高度低矮,日照百分率随太阳高度角的变化较为缓慢(如图1所示)。该图是根据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 $120 \text{瓦}/\text{米}^2$ 则计算日照时数的规定<sup>[3]</sup>,从气候特点不同的地区连续两年太阳直接辐射的定时观测资料中统计得到的。由于气候变化,以及天空有零散分布的云,使日照时有时无,致使上述统计结果偏离十年的平均值。但是,有这样的规律性:对于表示日照百分率年变化程度的标准差值比较小的西北地区、华北地区和东北地区<sup>[5]</sup>,由太阳直接辐射定时观测的资料中获得的日照百分率往往与十年平均值偏离较小,如以后者为准,则相对误差均在 $-1\% \sim +6\%$ 范围内;但对于日照百分率标准差值较大的长江中下游地区、华南地区、西南高原地区和川黔地区的相对误差往往比较大。所以对于这些地区宜采用定时间隔更短和年数更多的太阳直接辐射观测资料,或采用日照观测资料进行统计,这样才能获得较为满意的结果。从相对日照百分率定义和统计观点来看,在某一地区某一期间内,可以把假设的太阳高度角为 $90^\circ$ 时的日照百分率认为是常数,所以相对日照百分率的变化规律应与日照百分率变化规律相同。因此,可以认为相对日照百分率不但与太阳高度角有关,而且还与平均日照百分率有关。当日照百分率不小于70%时,设相对日照百分率为

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

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

$h_{sd}$ —— 设定的高度角。

当日照百分率等于 70% 时, (4) 式应等于 (2) 式, 算得

$$a = 0.1 / (1 - 0.70) \approx 0.33333 \quad (6)$$

为了使 (4) 和 (5) 两式在不同的太阳高度角  $h_{sd}$  处连续, 应有

$$b = \text{ctg}(h_{sd}) - a(1 - \sigma)\text{ctg}^2(h_{sd}) \quad (7)$$

而日照百分率日变程计算式为

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

式中

$$a = 0.1(1 - \sigma) \quad (\sigma \leq 70\%)$$

$$a = 0.33333 \quad (\sigma > 70\%)$$

$$k = 0.31133 \quad (\sigma \leq 70\%)$$

$$k = h_{sd} - a(1 - \sigma) \ln[\sin(h_{sd})] + \ln(\cos(h_{sd})) / [4a(1 - \sigma)] \quad (1 > \sigma > 70\%)$$

$$k = 0 \quad (\sigma = 100\%)$$

$$h_{sd} = 10^\circ \quad (\sigma \leq 70\%)$$

$$h_{sd} = \text{tg}^{-1}[2a(1 - \sigma)] \quad (\sigma > 70\%)$$

如设某地区某一期间内日照百分率为 100%, 即该地区在这期间白天全有日照, 这时由数学中的无穷小量的运算定理和 (6) 式算得

$$\sigma(h_s) = \sigma = 100\%$$

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。由此看出, 本文所建议的日照百分率日变程计算式在上述假设下也是合理的。

## 2 日照百分率年变程

各气候大区内日照百分率年变程规律相对一致。而气候大区间的差异则比较显著<sup>[2]</sup>。为了表示日照百分率的年变化规律, 可采用日照百分率标准差值, 它由月平均日照百分率  $\sigma_i$  和年平均日照百分率  $\sigma$  表示:

$$\Delta\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (\sigma_i - \sigma)^2 / (n - 1)} \quad (n = 12) \quad (9)$$

由日照资料计算出各气候大区内有代表性地区日照百分率的标准差值  $\Delta\sigma$  表明: 在多日照的北方地区, 如东北地区、华北地区和西北地区的日照百分率的标准差值往往小于 10%, 且在 5% 左右; 在少日照的南方非高原地区, 如长江中下游地区、华南地区和川黔地区日照百分率的标准差值一般都大于 10%, 且在 13% 左右; 西南高原地区日照百分率的变化规律与上述不同, 该地区日照较多, 但日照百分率的标准差值却大于 10%, 为 16%, 它的日照百分率年变程曲线呈现出冬高夏低的变化规律。

西南高原地区海拔高, 大气层较薄, 对太阳光的散射等衰减不多, 因此由暗蓝色的晴空在室内产生的散射光照度较小, 但是室外总照度却较大, 所以地物反射光对建筑物侧窗采光贡献显著。在冬季时, 太阳高度角较低, 这对室内采光不利, 但冬天日照多, 室外总照度比较大, 地物反射光也较大, 所以从天然采光角度看, 西南高原地区全年室内采光效

果差别不大。为了简化计算公式,日照多但日照百分率的标准差值比较大的西南高原地区,计算时应与日照多且日照百分率的标准差值比较小的北方地区一样,要采用年平均日照百分率。我国属于典型的季风带气候,大部分地区四季分明,为了简化计算公式,对于日照百分率的标准差值变化较大的长江中下游地区、华南地区和川黔地区,计算时可采用季平均日照百分率。值得注意的是,对于日照百分率的标准差值大于20%的地区,计算时应采用月平均日照百分率。

### 3 用日照百分率等因素表示四类天空出现概率

天空出现概率反映了该地区的云量、日光状况和天空状况变化规律,它可以从各地气象台站多年的常规观测的地面气候资料中经统计处理后获得。对于某一地区来说,除了一般需要照明的下雨、沙暴和雪暴等特殊天气现象外,可把日光状况为 $\odot^2$ 的无云天空称为晴天空;把日光状况为 $\Pi$ 的全部是云的天空称为阴天空;再按日光状况把剩下的天空分为二类:把日光状况为 $\Pi$ 的天空称为似阴天空,而把其余的天空统称为似晴天空。因此在白昼中任一时刻,晴天空、似晴天空、似阴天空和阴天空这四类天空的出现概率之和恒等于1。从气候特点不同的7个日射站连续两年的地面气候观测资料中,统计出四类天空的出现概率表明:在太阳高度角不是很大时,晴天空的出现概率随太阳高度角增加而加大,并在 $10^\circ \sim 40^\circ$ 范围内取得最大值,尔后随太阳高度角增加而减小;阴天空的出现概率随太阳高度角的变化规律较为复杂,部分多日照少阴天的地区,如北京和玉树地区,阴天空的出现概率在最低太阳高度角处取得最大值,且基本上是按太阳高度角增加而减小的规律变化,但大部分地区的阴天空出现概率一般是在低太阳高度角处按递增规律变化,并且在 $10^\circ \sim 40^\circ$ 范围内取得最大值,尔后随太阳高度角增加而减小。

日照是全球常规观测的项目之一,因而采用日照百分率表示天空出现概率更具有普遍意义。为了保证计算精度和便于实际应用,晴天空和似晴天空的出现概率宜采用日照百分率的二次方表示,而阴天空出现概率可采用日照百分率的一次方表示。经研究表明,这样获得的表达式的置信度为0.01。用日照百分率等表示的四类天空出现概率计算式如下所示:

晴天空:

$$P_{cl} = 1 / \{0.8581 - 0.6974\sigma(h_s) + 0.9876[\sigma(h_s)]^2\} - A_{cl} \quad (10)$$

阴天空:

$$P_{in} = 1 / \{0.6859 + 0.6096\sigma(h_s) - 0.4786[\sigma(h_s)]^2\} - A_{in} \quad (11)$$

似阴天空:

$$P_{is} = 14.5163 / [10.5280 + \sigma(h_s)] - A_{is} \quad (12)$$

(10)、(11)和(12)式中 $A_{cl}$ 、 $A_{in}$ 和 $A_{is}$ 分别为晴天、似阴天和阴天的天空出现概率修正系数:

似晴天空:

$$P_{cs} = 1 - (P_{cl} + P_{in} + P_{is})$$

影响四类天空出现概率大小的因素是很多的,而且是很复杂的。因为我国属于典型的季风

带气候,所以影响(10),(11)和(12)式中的某一类天空出现概率修正系数大小的主要因素是:云量、年平均水汽压、地面反射率、纬度和海拔高度这些气象因子、物理因子和地理因子。根据 RDAS 中的逐步回归分析方法,获得了由上述这些影响因素表示的四类天空出现概率修正系数的表达式:

$$A_{\alpha} = -0.16410 - 0.016816N + 0.012639e + 0.34771C_1 + 0.11090C_2 + 2.0805\rho \quad (13)$$

式中  $N$ —测站地理纬度(度);  
 $e$ —测站平均水汽压(mb);  
 $C_1$ —测站平均高、中云量(1/10);  
 $C_2$ —测站年平均低云量(1/10);  
 $\rho$ —地表反射率,要由参考文献[6]确定。

$$A_{\alpha\alpha} = 4.22701 - 0.046926N - 0.11154e + 0.091615C_1 - 0.99734\rho - 0.35884H \quad (14)$$

式中  $H$ —测站海拔高度(公里)。

$$A_{\alpha\alpha} = -5.79098 + 0.10588N + 0.22179e - 0.18276C_1 + 3.01487\rho + 0.62968H \quad (15)$$

## 4 验 证

为了对上述四类天空出现概率计算式进行验算,采用中国气象科学研究所和中国建筑科学研究院提供的照度、辐射、云量和日光状况等每日逐时的平行观测资料,这些资料是在气候特点不同的 7 个日射站(广州、重庆、玉树、北京、二连、长春、乌鲁木齐),利用经过鉴检定的同一型号仪器和统一的观测方法。于 1983 年 1 月 1 日至 1984 年 12 月 31 日测得的,用 RDAS 和数据库管理系统,按照四类天空的分类原则统计出四类天空的出现概率。首先根据式(13),(14)和(15)计算出晴天空、似阴天空和阴天空出现概率修正系数,再由(8)式和各类天空出现概率计算式(10),(11)和(12)分别求出晴天空、似阴天空和阴天空出现概率计算值。由计算结果表明:当年平均日照百分率较大时,日本学者建议的各类天空出现概率计算式误差较大,这主要原因是各类天空出现概率大小不但与日照百分率有关,而且还与当地气象因子、物理因子和地理因子有关。而且晴天空出现概率与日本学者提出的公式所反映出的变化规律不同;阴天空出现概率除玉树和北京地区外,其余地区也与日本学者提出的公式所反映出的变化规律不同。

由于各地气候特点差别较大,所以仅以日照百分率、纬度和太阳高度角计算各类天空的出现概率,虽然较为简单,但必然会产生较大误差。

但是,如果根据本文建议的确定四类天空出现概率的方法,考虑当地气候特点,确定适合于当地气候特点的有关系数,就能利用日照百分率等因素表示的四类天空出现概率表达式算出较为满意的结果。

## 参 考 文 献

- 1 张家诚,林之光.《中国气候》,上海科学技术出版社,上海瑞金二路450号,1985年,308,326,308,320,579~603
- 2 S. Aydinli. LICHT-Forschung. Über den Tagesgang der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit und der Globalstrahlung,1982,4,Nr. 2
- 3 Nakamura. The Mean Sky Composed Taking Account of the Relative Sunshine Duration. Under submission for the proceedings II of the Second International Daylighting Conference
- 4 易仁明.气象,日照时数的定义及其测量仪器,1984,第8期,34~36
- 5 陈咸吉,张爱玲,陆龙骅.气象学报,中国日照类型区划初探,1984年,第42卷,第4期,388~406
- 6 陈建绥.地理学报,中国地表反射率的分布及变化,1964年,第30卷,第2期,85~93

(编辑:徐维森)

## MEASURING PROBABILITY OF SKY BRIGHTNESS IN CLASSIFICATION BY THE AVERAGE INSOLATION

*Chen Zhonglin*

(Chongqing Institute of Architecture Engineering)

*Wu Qikuang*

(Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration)

*Liu Yaorong*

(Chongqing Institute of Architecture Engineering)

**ABSTRACT** According to the daily change law from curves for percentage insolation, this paper presents a new formula of the average insolation in the zones where the insolation is more than 70%. By means of the hourly observing data during two years for solar direct radiation, cloudage and sunshine condition in seven zones different lighting climate, considering the vapor pressure and the altitude present the function of percentage insolation and the probability of four sky brightness classification, this formula has a certain precision to be proved by observation.

**KEY WORDS** average insolation, probability of sky brightness in classification