

总辐射光当量及其在光气候计算中的应用*

吴 其 助**

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文根据 1983—1984 年全国 14 个不同气候特点的日射站每日逐时照度与日射同步观测资料计算了总辐射光当量值,提出用纬度、海拔高度、地面平均绝对湿度和日照时数建立计算总辐射光当量的多元回归方程。用 14 个测站全年和各月平均总辐射光当量值检验所建立多元回归方程计算的相应总辐射光当量值表明,计算值的相对误差均小于 10%。

我们用 14 个测站资料建立的计算总辐射光当量回归方程计算了全国 464 个测站的总辐射光当量值。总照度可由总辐射光当量与总辐射的乘积获得。根据各测站的总辐射光当量和总辐射值,便可计算出这些测站的光气候值,绘制我国光气候图。

一、引 言

光照与工农业生产和国民经济建设有密切关系,许多部门和科研单位,需要各地光气候数据。然而,目前我国尚无自然光正常规观测,缺乏较完整的光气候资料。某一地区的光气候,是指该地区的自然光照多年的平均状况。要获得我国的光气候资料,目前只有利用现有的辐射资料,通过辐射光当量的间接计算取得。

关于辐射光当量,国内外有不少研究^[1-3]。苏联在七十年代初,根据一些测站的自然光照与辐射平行观测资料,在获得辐射光当量的基础上,利用多年辐射资料,计算出各地的光气候值,编制了全苏光气候图。根据 O. Д. 巴尔捷涅娃等的研究,在苏联即使气候条件差异很显著的测站,其辐射光当量也很接近,因此,全苏各地的辐射光当量采用了同一数值^[2]。美国 S. Treado 等研究,也是没有考虑各地的气候条件,把照度与辐射强度的比值,作为一个常数^[3]。

1983—1984 年,我们在全国挑选了 14 个不同气候特点的日射站(北京、黑河、长春、二连、乌鲁木齐、上海、西安、重庆、西宁、玉树、长沙、昆明、广州、福州)用同一型号经过国家计量部门检定的上海学联 JD-1 A 光照度计,采用统一的观测方法,进行了与每日逐时日射观测同步的自然光照观测。根据这两年的观测资料,我们计算了全年和各月平均总辐射光当量值。计算的结果表明,由于我国各地区气候差异显著,同一个月份,各测站的总辐射光当量月平均值,并非是一个常量;同一地区各月之间气候变化也很大,各测站大多数月份的总辐射光当量相对差异达 25%—30%。因此,我国各地不能采用统一的总辐射光当量值。我们根据 14 个测站的观测资料,选择了与年或月平均总辐射光当量值有关因子参数,建立了求算全年和各月平均总辐射光当量值的多元回归方程,应用这些多元回

* 本文于 1986 年 3 月 3 日收到,1986 年 7 月 10 日收到修改稿。

** 祝昌汉、林若慈同志参加本文部分工作。

归方程对我国 464 个测站的总辐射光当量进行了计算,并用这些测站总辐射值算出各测站的总照度值,制作了我国光气候图。

二、全年和各月平均总辐射光当量

总辐射光当量 K_o ,通常用来表示总照度(lx)与同一时间太阳总辐射强度 (w/m^2)之比。

$$K_o = \frac{K_m \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} I_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} I_{\lambda} d\lambda} \quad (lx/w \cdot m^{-2})$$

式中 λ 为太阳光谱辐射分量; S_{λ} 为光谱光视效率; K_m 为最大光谱光视效能, $K_m = 683 \text{ lm/w}$ 。由于 $1m/m^2 = 1x$, $1m/w = 1x/w \cdot m^{-2}$ 。

年或月平均总辐射光当量值,是采用年或月平均总照度与相应的年或月平均总辐射值之比。

14 个测站年平均总辐射光当量值的分布,列于表 1 (各测站各月平均总辐射光当量值略)。

表 1 各测站年平均 K_o 值 ($lx/w \cdot m^{-2}$)

测 站	北京	黑河	长春	乌鲁木齐	二连	西宁	西安	玉树	上海	重庆	长沙	福州	昆明	广州
年平均 K_o 值	96.4	107.4	105.8	99.5	103.0	103.2	118.9	115.0	109.1	111.8	118.4	110.8	117.8	112.3

从表 1 可见,各测站年平均总辐射光当量值不一,一般来说,纬度低、绝对湿度较大的测站,年平均辐射光当量值较大。年平均最小(北京)与年平均最大(西安)的辐射光当量值相差达 $22.5 (lx/w \cdot m^{-2})$ 。各测站大多数逐月平均辐射光当量极值之差,比 $22.5 (lx/w \cdot m^{-2})$ 大,见表 2。

表 2 各测站逐月平均的 K_o 极值差 ($lx/w \cdot m^{-2}$)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
极 值 差	26.7	28.3	26.7	30.1	26.4	20.7	12.9	27.5	27.0	31.4	27.5	20.6

三、计算全年和各月平均 K_o 的多元回归方程

由于大气中光谱成分因地理和气象条件而变化,各测站的 K_o 值时空分布不一。我们曾经用多元线性回归方程对求算 14 个测站全年和各月平均 K_o 值的方法进行了探索。现将计算的多元回归方程建立步骤简述如下:

1. 用图解积分方法,计算 14 个测站全年和各月逐日总照度、总辐射量,分别计算出这些测站的全年和各月平均总照度、平均总辐射值。

2. 计算 14 个测站全年和各月平均 K_o 值。

3. 利用 14 个测站各站的资料,通过相关分析,选择与 K_0 值有关的地理和气象因子建立回归方程式。

按上述步骤计算了 14 个测站全年和各月平均 K_0 值之后,根据与全年和各月平均 K_0 值有关因子相关分析,我们选择了纬度、海拔高度、地面平均绝对湿度和日照时数四个因子为参数,与全年和各月 K_0 值之间,按下列四元一次线性回归方程模式作回归分析:

$$K_{0i} = B_i + C_i N + D_i H + E_i e + F_i S$$

式中 i 为全年或 1, 2, 3, …… 12(月); K_{0i} 为全年或 1—12 月各个月的平均 K_0 值 ($lx/w \cdot m^{-2}$); N 为地理纬度 ($^{\circ}$); H 为海拔高度 (m); e 为全年或各个月地面平均绝对湿度 (hPa); S 为年平均月的日照时数或各月日照时数 (h); B_i, C_i, D_i, E_i, F_i 为方程式的待定系数。

通过计算,得到 K_{0i} 依 N, H, e, S 变化的全年和 1—12 月多元回归方程式。各月的方程式回归系数列于表 3。

表 3 全年和各月 K_0 值方程回归系数

i	1	2	3	4	5	6	7
B_i	205.5471	152.6140	204.6445	198.8032	318.8958	149.2460	30.0591
C_i	-1.7685	-1.2209	-1.6917	-1.7017	-3.1121	0.2605	0.9744
D_i	-0.0044	-0.0028	-0.0053	-0.0042	-0.0180	0.0001	0.0107
E_i	-4.8330	-0.0384	-3.0371	-1.6187	-4.4467	-0.8415	1.6673
F_i	-0.1077	0.0188	-0.0590	-0.0388	-0.1100	-0.1600	0.0186
i	8	9	10	11	12	全 年	
B_i	102.8181	94.6386	150.4375	309.8648	13.2985	142.1748	
C_i	0.3733	0.8336	-0.4354	-3.6607	1.3349	-0.3757	
D_i	0.0090	0.0062	0.0038	-0.0108	0.0075	0.0008	
E_i	0.6862	0.3282	-0.8060	-5.8644	4.9952	-0.4147	
F_i	-0.0857	-0.1300	-0.1176	-0.1480	0.0670	-0.0853	

四、计算 K_0 的多元回归方程效果检验

计算全年和各月平均 K_0 值的多元回归方程效果,我们是从回归方程复相关、 F 统计量、相对误差分布三个方面进行检验。

全年和各月平均 K_0 值的回归方程复相关系数和 F 统计量的检验,列于表 4。

表 4 全年和各月平均 K_0 值回归方程复相关和 F 统计量

月 份	1	2	3	4	5	6	7
复相关系数(R)	0.82	0.89	0.83	0.87	0.89	0.84	0.85
F 统计量	$F=3.11$ $>F_{0.25}$	$F=6.43$ $>F_{0.05}$	$F=4.49$ $>F_{0.05}$	$F=6.52$ $>F_{0.05}$	$F=7.86$ $>F_{0.05}$	$F=3.49$ $>F_{0.10}$	$F=3.32$ $>F_{0.10}$
月 份	8	9	10	11	12	全 年	
复相关系数(R)	0.83	0.86	0.87	0.88	0.95	0.82	
F 统计量	$F=2.70$ $>F_{0.25}$	$F=5.59$ $>F_{0.05}$	$F=5.33$ $>F_{0.05}$	$F=4.26$ $>F_{0.10}$	$F=12.61$ $>F_{0.01}$	$F=4.53$ $>F_{0.05}$	

从表 4 可见，计算全年和各月平均 K_0 值回归方程的复相关系数在 0.82—0.95 之间， K_0 与 N, H, e, S 之间有较密切的相关关系。全年和各月平均 K_0 值回归方程的 F 统计量均 $> F_{0.25}$ ，而且大多数月份的回归方程的 $F > F_{0.05}$ 。

全年和各月平均 K_0 值回归方程拟合的 K_0 值相对误差分布，列于表 5。

表 5 拟合的全年和各月平均 K_0 值相对误差分布

占测站% \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
$ E \leq 1\%$	9	17	23	8	8	46	30	30	31	0	30	40	15
$ E \leq 5\%$	73	67	85	85	93	64	100	80	77	75	80	100	79
$ E < 10\%$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

从表 5 可见：回归方程拟合全年和各月平均 K_0 值相对误差均小于 10%；拟合全年和各月平均 K_0 值相对误差小于 5% 的站数占总数 64% 以上，而且大多数月份拟合的月平均 K_0 值相对误差小于 5% 的站数占总数的 80% 以上。

根据上述的检验，我们认为用建立的多元回归方程计算全年和各月平均 K_0 值的精度，符合实际工作中的要求，是令人满意的。

五、 K_0 值在全年和各月平均总照度计算中的应用

根据 14 个测站资料建立的求算 K_0 的多元回归方程，用任一测站的纬度、海拔高度和多年的月平均绝对湿度、多年的月平均日照时数，可以计算该测站的全年和各月平均 K_0 值。测站全年(和各月)平均总辐射值，由全年(和各月)总辐射量除以相应的全年(和各月)的天数获得。而全年和各月总辐射量，可根据[4]介绍的方法计算。

有了任一测站全年和各月平均 K_0 值、全年和各月平均总辐射值 Q ，按下式可计算出任一测站全年和各月平均总照度值 E_0 ：

$$E_0 = Q \times K_0$$

六、我国总照度分布特征

本文按上述方法，计算了我国 464 个气象站全年和各月平均总照度值，绘制了全年和各月平均总照度图。限于篇幅，我们仅给出全年和 1、7 月平均总照度图，见图 1—3 (其它各月平均总照度图略)。

从图 1—3 可以看出，我国全年和冬季、夏季总照度分布的特征：

1. 我国总照度与总辐射的分布特点，大致相同。全年和 1、7 月份平均总照度的分布，与海拔高度、云天、水汽含量、日照等综合因子的影响有关，并非随纬度的降低而递增。

2. 全年和 1 月份平均总照度的高值和低值中心处于 25—30°N 地带。高值中心位于绝对湿度小、云天少、太阳辐射强的青藏高原南部；低值中心位于绝对湿度大、云天多、日照少太阳辐射弱的四川盆地。7 月份平均总照度增大，其高值中心出现在青藏高原东北部；低值中心仍在四川盆地，但中心值不甚明显。

3. 冬季我国北方大部分时间处于隐定的大陆高压控制下，空气干燥多晴朗天气，东

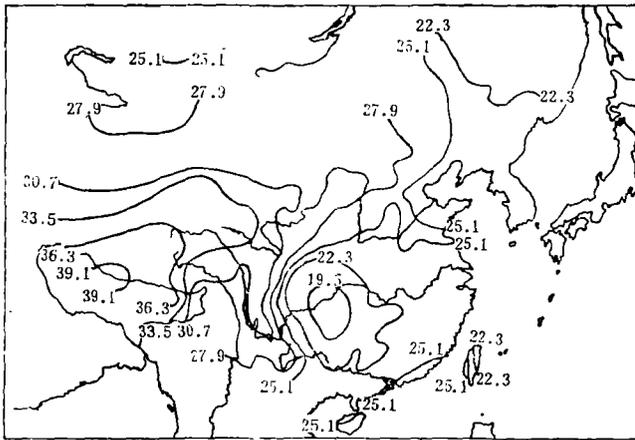


图 1 我国全年平均总照度分布图(10^8lx/d)

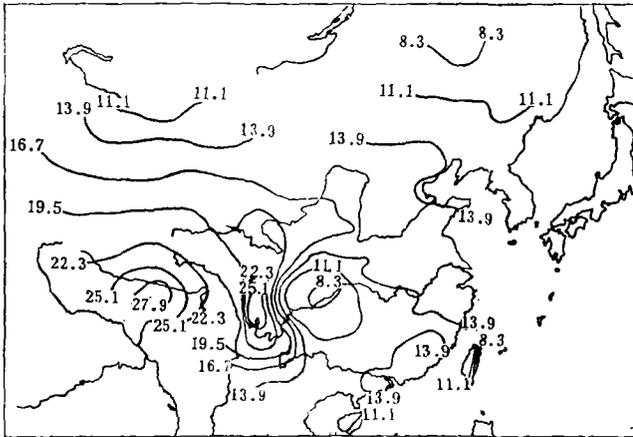


图 2 我国 1 月份平均总照度分布图(10^8lx/d)

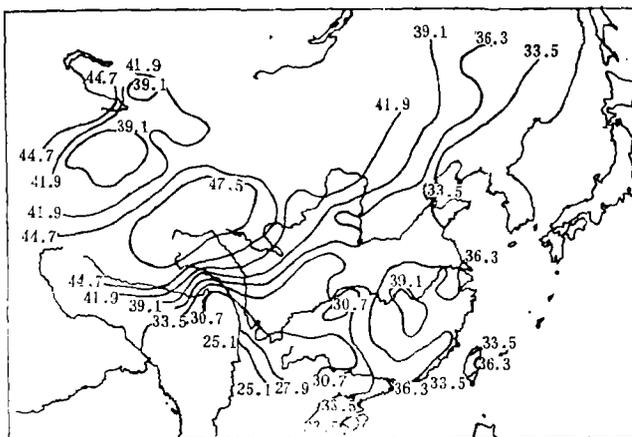


图 3 我国 7 月份平均总照度分布图(10^8lx/d)

部 40°N 以北地区, 一月份平均总照度的等值线从北往南呈纬向递增, 近似纬向分布。夏季由于受夏季风的影响, 东部 35°N 以北地区, 7 月份平均总照度值, 从东往西逐渐增大, 近似经向分布。这一地区全年平均的总照度值, 也是自东向西逐渐增大。

4. 新疆地区全年和 1 月份平均总照度值从北往南随纬度递增。7 月份平均总照度值, 在北疆和南疆的盆地, 分别出现闭合的低值中心。

七、结 语

选择气候特点不同的适量测站经过一定期间进行每日逐时照度与日射同步观测, 可获得这些测站全年和各月平均的 K_0 值。根据这些测站观测资料挑选与年或月平均 K_0 值有关的地理和气象因子为参数, 建立求算全年或各月平均 K_0 值的多元回归方程, 可用来计算其他任一测站全年和各月平均 K_0 值。在此基础上, 引用现有计算总辐射值的研究成果, 计算测站全年和各月平均总辐射值, 便可获得任一测站全年和各月平均总照度值。根据 14 测站用多元回归方程拟合全年和各月平均 K_0 值的效果检验表明, 测站拟合值的相对误差均小于 10%, 符合实际工作中要求的精度。在没有大量常规照度观测资料情况下, 我们认为采用本文介绍的方法计算我国的总照度时空分布数值和制作光气候图, 是切实可行的。

参 考 文 献

- [1] Wu Qikuang, et al., The light equivalent of solar radiation in China, Proceedings of the 1985 international conference on solar and energy applications, A 115—120, China Academic Publishers, 1985.
- [2] Баргенева, О. Д., Е. А. Полякова и Н. П. Русин, Режим естественной освещенности на территории СССР, 14—20, Гидрометеониздат, 1971 Л.
- [3] Treado, S., and G. Gillette, Measurements of sky luminance, sky illuminance, and horizontal solar radiation, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 12, 3, 130—135, 1983.
- [4] 王炳忠等, 太阳能学报, 1 卷 1 期, 1—9, 1980.

THE LIGHT EQUIVALENT OF TOTAL SOLAR RADIATION AND ITS APPLICATION IN THE CALCULATION OF ILLUMINATION CLIMATE

Wu Qikuang

(Academy of Meteorological Sciences, State Meteorological Administration)

Abstract

From 1983 to 1984, 14 solar radiation observation stations which are located in different parts of our country and with different climate features were chosen for the simultaneous observation of natural illumination with solar radiation hourly every day. In this paper, according to the data the light equivalent of total solar radiation has been given. A multivariate regression equation to calculate the annual and monthly mean values of the light equiva-

lent of total solar radiation at 14 observation stations is formed. The variables of the equation include latitude, elevation, mean absolute humidity on the surface and the hours of sunshine. The result of the equation shows that the relative error is less than 10 percent.

The light equivalents of total solar radiation for 464 observation stations were calculated by means of the multivariate regression equations which were obtained upon the data of 14 observation stations. The total illumination is given by the light equivalent of total radiation multiplying the total radiation. The climate values of total illumination for each station are also calculated according to its light equivalent of total radiation and total solar radiation value. Finally, the climate charts of total illumination for our country have been drawn.