

光 and 我国光气候研究简介

吴 其 助

(气象科学研究院气候中心)

一、光的基本概念

从普通物理学中人们知道,任何物体的温度只要高于绝对温度零度(摄氏温度 -273 度),就会发出不同波长的电磁波。人的器官或仪器就能感觉出它的存在,甚至能测量出其能量的大小。光是以电磁波形式传播的辐射能,电磁辐射的波长范围很广,只有波长在 $380-760\text{ nm}$ (纳米)的电磁波,人眼才能感觉到,称之为可见光。波长短于 380 nm 的是紫外线、 x 射线、 γ 射线、宇宙线;长于 760 nm 的是红外线、无线电波等等。它们与光的性质不同,人眼是看不见的。 $380-760\text{ nm}$ 范围内的不同波长可见光,在人眼中又产生不同的颜色感觉,分别为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。

上述各种颜色可见光的波长范围不是截然分开的,而是由一种颜色逐渐减少,另一种颜色逐渐增多而变为另一种颜色的。单一波长的光呈现为一种颜色,称为单色光,而一般的光源(如日光和灯光)都是由多种波长的电磁波混合而成的复合光,它们呈现白色或其他颜色。

从能量的角度来看,光通量(流明)带有单位时间内所发出的(光)能的含义,这就是说光通量(流明)与可见光的功率(瓦特)是相对应的。但是这两者并不能简单地直接换算,这主要是由于人眼对于各种不同频率的光波的感觉是不同的。有时光发出的能量虽然很强,但人眼看来并不明亮,而对于波长接近 555 nm 的黄绿色光波,虽然能量较少,但显得明亮。对于这种波长为 555 nm 的黄绿光而言,1流明相当于 $1/683$ 瓦,这就是产生1

流明的光通量所需要的最起码的功率;对于其他波长的光,产生1流明光通量所需的功率都比这个数值大^[1]。

在光亮的环境中(适应亮度 $>3\text{ cd/m}^2$),辐射功率相等的单色光看起来以波长 555 nm 的黄绿光最明亮,并且明亮程度向短波的紫光 and 长波的红光方向递减。国际照明委员会(CIE)根据大量的实验结果,将视亮度感觉相等的波长为 λ_m 和 λ 的两个辐通量之比,定义为波长 λ 的单色光的光谱光视效率,以 $V(\lambda)$ 表示。 λ_m 选在最大比值等于1处,即 $\lambda=555$ 时, $V(\lambda)=1$,其他波长 $V(\lambda)$ 均小于1(见图1)。在较暗环境中(适应亮度 $<0.03\text{ cd/m}^2$ 时),人的视亮度感受性发生变化,以 $\lambda=510\text{ nm}$ 的蓝绿光最为敏感。按这种特定光环境条件确定的 $V'(\lambda)$ 函数称为暗视觉光谱光视效率(见图1)^[2]。

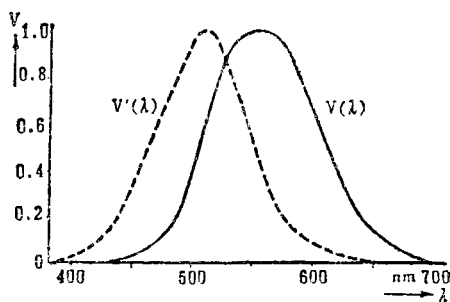


图1 光谱光视效率。实线—明视觉;虚线—暗视觉

二、光的度量

常用的光度量有光通量、发光强度、照度和亮度。参照[2]现简述如下。

1. 光通量

光通量是按照国际约定的人眼视觉特性

评价的辐射能通量(辐射功率)。光通量可由辐射通量及 $V(\lambda)$ 函数导出:

$$\Phi = K_m \int \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

式中: Φ —光通量(lm), $\Phi_{e,\lambda}$ —波长为 λ 的单色辐射通量(W), $V(\lambda)$ —CIE 标准光度观测者明视觉光谱光视效率, K_m —最大光谱光视效能(lm/W)。

光视效能 K 是描述光和辐射之间关系的量, 它是与单位辐射通量相当的光通量(即光源所发出的光通量(流明)与所需消耗的功率(瓦特)的比值)。但是, K 值是随光的波长而变化的, $K(\lambda)$ 的最大值 K_m 在 $\lambda = 555 \text{ nm}$ 处。1977 年国际计量委员会决定采用 $K_m = 683 \text{ lm/W}$ 。

光通量的单位是流明(lm)。1 流明是发光强度为 1 坎德拉的均匀点光源在 1 球面度立体角内发出的光通量。在照明工程中, 光通量是说明光源发光能力的基本量。

2. 照度

照度是受照平面上接受的光通量的面密度, 符号为 E 。若照射到表面一点面元上的光通量为 $d\Phi$, 该面元的面积为 dA , 则

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

照度的单位是勒克斯(lx)。1 勒克斯等于 1 流明的光通量均匀分布在 1 平方米表面上所产生的照度, 即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。

3. 发光强度

点光源在给定方向的发光强度, 是光源在这一方向上立体角元内发射的光通量 $d\Phi$ 与该立体角元 $d\Omega$ 之比, 符号为 I , 单位为 cd(坎德拉)

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

如果在有限立体角 Ω 内传播的光束 Φ 是均匀分布:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{\Phi}{\frac{A}{r^2}} = E \cdot r^2$$

发光强度常用于说明光源和照明灯具发出的光通量在空间各方向或在选定方向上的分布密度。

4. 亮度

亮度是光亮度的简称, 它是一单元表面在某一方向上的光强密度, 它等于该方向上的发光强度与此面元在这个方向上的投影面积($dA \cdot \cos\theta$)之比, 以符号 L 表示。

$$L = \frac{dI_\theta}{dA \cdot \cos\theta} \quad \text{cd/m}^2$$

亮度常常是各方向不同, 所以在谈到一点或一个有限表面的亮度时需要指明方向。

以上介绍的四个光度量各有不同的应用领域, 并且可以互相换算。光通量表征光源辐射能量的大小, 发光强度用来描述光通量在空间的分布密度。照度表示被照面接收的光通量密度, 说明受照物体的照明条件(受光面光通量密度), 它的计算和测量都比较简单, 在光环境设计等方面被广泛应用。亮度能表示光源或受照物体单位面积上发出的发光强度, 它表征一个物体的明亮程度。

三、我国光气候研究的简况

我国光气候研究工作, 大致可归纳为以下四个方面。为了便于与国外同类研究的情况对照, 在叙述我国光气候研究简况时还顺便简述所了解的有关国外情况。

1. 地面自然光照与太阳高度、地球物理因素关系的分析

任一地面自然光照, 取决于天文物理因素和地球物理因素, 诸如太阳位置、云量、云状、大气透明度、下垫面反射率等有关物理因素。苏联 O. Д. Бартенева 等曾研究过: 无云和有云(区分不同云状、云量、日光情况)时地面总照度与太阳高度关系; 无云和有云时积雪照度与植被覆盖照度比值和太阳高度关系; 无云时地面散射照度与太阳高度和大气透明度的关系^[3]。在我国, 文献[4]曾分析上海、玉树等一些测站地面的总照度、散射照度与日光情况和太阳高度的关

系；无云和有云时地面总照度、散射照度与太阳高度的关系；无云时散射照度与总照度的比值与太阳高度和大气透明度的关系；不同日光情况下大气可降水与地面总照度的关系；下垫面与总照度的关系。从这些分析结果可以看出，日光情况、太阳高度对地面照度的影响最明显。在较长的地面照度观测资料的分析基础上，利用地面照度与日光情况和太阳高度的关系图，可大致估算当地某一太阳高度的地面照度平均值。

2. 地面自然光照瞬时值和天然采光利用时数的计算

苏联 О. Д. Бартенева 等根据一些测站地面自然光照与日射同步观测资料获得了在不同云量和日光情况下，不同太阳高度 ($h_0=10, 20, 30, 40, 50, \dots$) 的瞬时辐射光当量值（指同一时间的光照度与辐射值之比，单位为 lx/Wm^{-2} ）。他们认为地理和气象条件不同的测站，其辐射光当量十分接近。全苏采用同一的按太阳高度区分的瞬时辐射光当量值。在全苏 145 个日射站，根据日射定时观测时间 (6:30、9:30、12:30、15:30、18:30) 多年平均的各种日光情况的辐射值，利用辐射光当量计算了日射定时观测时间的不同日光情况的照度值，然后用加权平均方法计算出其总照度、散射照度多年平均值，绘制了全苏日射定时观测时间的总照度、散射照度分布图^[3]。美国 G. Gillete 等根据太阳高度用下列经验公式计算瞬时照度值（单位 klx ）^[5]：

$$\text{直射照度 } E_{DN} = E_{sc} \left[1 + 0.33 \cdot \cos \left(\frac{360 J}{365} \right) \right] e^{-a} / \text{Sinh}$$

式中： E_{sc} —大气层顶太阳光照度， $E_{sc}=127.5 \text{ klx}$ ； J —儒略日期，由 $J=1$ 至 365， a —取值见表 1。

散射照度 (E_d)、总照度 (E_T) 值 (单位 klx) 计算的公式：

$$E_d = A + B(\text{Sinh})^c,$$

表 1 普通的照度模式方程参数

天空情况	a	A	B	C
碧空 (CL)	0.21	0.8	15.5	0.5
阴天 (OV)	0.80	0.3	45.0	1.0
少云 (PC)		0.3	21.0	1.0

$$\text{碧空: } E_{dCL} = 0.8 + 15.5(\text{Sinh})^{0.5};$$

$$E_T = E_{DN_{a=0.21}} \text{Sinh} + E_{dCL}$$

$$\text{阴天: } E_{dOV} = 0.3 + 45.0 \text{ Sinh}$$

$$E_{TOV} = E_{dOV}$$

$$\text{少云: } E_{dPC} = 0.30 + 21.0 \text{ Sinh};$$

$$E_{TPC} = E_{DN_{a=0.8}} \text{Sinh} + E_{dPC}$$

美国的 S. Tread 等还根据照度与日射平行观测资料，用最小二乘法拟合照度计算公式^[6]：

$$E_d = 119SR_d; \quad E_T = 110SR_T$$

$$= 119(CR)SR_T$$

式中： E_d —散射照度， SR_d —散射辐射， SR_T —总辐射， CR —散射辐射与总辐射比率， E_T —总照度。

天然采光利用时数，是一个国家或地区制定采光规范或进行采光设计工作的必要气候依据。苏联在利用云量和积雪覆盖的状况对照度影响的资料，并考虑室外照度在其临界照度值的界限内接直线 ($E_d = a \text{ Sinh}$ ， a —与云量特征有关系数)变化的情况，来确定不同纬度地方，在不同临界照度值时的天然采光利用时数^[7]。

在我国，由于制订我国建筑采光标准时必须对我国的光气候特点有所了解，文献 [8] 根据哈尔滨、北京等 6 个城市 1974 年夏季 (5 月 15 日至 8 月 5 日) 和冬季 (1973 年 11 月 26 日至 1974 年 1 月 4 日) 每次 14 天进行的照度和日射定时对比观测资料，分析了这 6 个测站太阳高度 $>15^\circ$ 和 $\leq 15^\circ$ 时的辐射光当量值，并根据这些测站的照度日变化曲线，计算了不同室外临界照度值的全年天然采光利用时数。根据 1983 至 1984 年国家气象科学研究所和建筑科学研究所不同气候

特点的14个日射站进行的每日逐时照度与日射平行观测资料,文献[9]提出了用太阳高度角拟合各种日光情况瞬时辐射光当量的经验公式:

$$\frac{1}{k} = a + \frac{b}{h} (b > 0)$$

式中: k —不同日光情况的总辐射光当量值($\text{lx}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$); h —测站的某一时刻的太阳高度; a 、 b —不同日光情况时的参数。有了上述辐射光当量值,利用测站多年的日射资料,便可计算出测站各种日光情况的瞬时光气候值,最后用加权平均的方法获得测站的总照度和散射照度值。由于各测站辐射光当量相差很明显,如何解决各测站辐射光当量值的计算问题,是光气候研究中的关键。在苏联,各测站是用同一的辐射光当量值;我国虽然各测站不采用同一的辐射光当量值,但是无法解决没有光照与辐射同步观测资料的测站辐射光当量的计算问题。文献[10]、[12]、[13]首次引入以地理和气象因子为自变量,拟合了气象台(站)的辐射光当量值。文献[10]应用多元回归方程分析方法,分别不同日光情况建立了以测站地理纬度和有关气象因子(绝对湿度、日照时数、总云量)为自变量,计算各个太阳高度的总辐射光当量、散射辐射光当量经验公式。利用测站多年平均日射资料计算出测站某一太阳高度的各种日光情况的照度值,然后用加权平均方法便可获得测站的瞬时总照度和瞬时散射照度光气候值。根据建筑部门采光设计的需要,文献[11]在散射照度瞬时值计算方法的基础上,计算了我国一些地区室外临界照度 $>2500\text{lx}$ 和 $>5000\text{lx}$ 的各月和全年的天然采光利用时数。

3. 地面自然光照度全年和各月平均日总量、季总量的时空分布

根据日射定时观测时间的日射值而获得的瞬时照度值,用求梯形面积公式便可计算出照度的日总量(单位 $10^6\text{lx}\cdot\text{min}$)。在苏联,以每月15日计算的照度日总量作为该月平均

的照度日总量,绘制了全苏各月平均的总照度日总量和散射照度日总量图^[3]。我国幅员辽阔,地形复杂,然而全国具有较完整的太阳辐射记录的甲级日射站只有70多个。我们如果只靠这些日射站日射定时观测资料计算的瞬时照度值而获得的照度日总量绘制全国的照度日总量图,是十分困难的。[12]以测站纬度、海拔高度、全年或各月平均绝对湿度、全年平均月的日照时数或各月日照时数为自变量, [13]以测站纬度、海拔高度、全年或各月平均绝对湿度、全年或各月平均总云量(成)为自变量,用多元回归方程分别拟合了全年和各月平均的总辐射光当量、散射辐射光当量。根据全年或各月平均的辐射光当量值,分别应用现已为普通采用的拟合各月平均总辐射日总量经验公式^[14]、散射辐射日总量经验公式^[15],计算测站全年和各月平均的总辐射日总量、散射辐射日总量,便可获得测站全年和各月平均的总照度日总量、散射照度日总量。根据全国约500个测站计算的全年和各月平均的总照度日总量、散射照度日总量,在[12]和[13]中分别给出了全年和1、7月平均的全国总照度、散射照度分布图。[16]还统计了全国将近500个测站的春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12—2月)和全年的总照度累积总量,给出了冬季、夏季和全年的全国总照度分布图。

4. 昼光资源区划

为了便于对我国昼光资源的开发和在建筑采光中利用,文献[17]以总照度全年累积总量为第一级区划指标、年平均总照度日总量和其中直射照度的比值为第二级区划指标、 $>5000\text{lx}$ 的全年天然采光时数为第三级区划指标,将我国划分为昼光丰富、中等、贫乏三个带和13个区和亚区,给出了我国昼光资源区划图和分区特征表,概述了昼光资源分布的状况。

四、结 语

我国的光气候研究工作,由于缺乏较完整的光气候观测资料,长期以来未能较系统地进行。根据国家气象局气象科学研究所和建筑科学研究院1983、1984年在全国不同气候区14个日射站进行的照度与日射每日逐时的同步观测资料,近几年已对我国光气候进行了比较系统的研究,获得了一些初步成果。然而,我国地域辽阔、地形复杂,已作的一些光气候研究工作所依据的光气候资料站点较少,观测年限不长,可能还存在缺点和不足之处。作者殷切期望随着光气候资料不断增多,今后我国光气候研究工作比现在作得更深入和细致,能为我国社会主义的建设作出更大的贡献。

参 考 文 献

- [1] 杨哲等编著,国际单位制[SI]使用知识,188—189,科学普及出版社,1983。
- [2] 詹庆旋,建筑光环境,1—5,清华大学出版社,1988。
- [3] Бартенева, О. Д., Е. А. Полякова и Н. П. Русин, Режим естественной освещенности на территории СССР, 8—12.21—28, Гидромет-

еоиздат, Л., 1971.

- [4] 吴其勋,地面自然光照及其平均值的估算,气象,20—23,1986年3期。
- [5] Gillete, C., et al., A general illuminance model for daylight availability, Journal of the Illuminating Engineering Society, 330—339, July, 1984.
- [6] Treado, S., et al., Measurements of sky luminance, sky illuminance, and horizontal solar radiation, Journal of the Illuminating Engineering Society, 130—135, 4, 1983.
- [7] 古雪夫 H. M., 建筑物天然采光, 张绍纲译, 23—32, 中国工业出版社, 1965。
- [8] (工业企业采光和照明标准)编制组, 我国光气候的初步研究, 油印本, 1975。
- [9] Wu Qikuang, et al., The light equivalent of solar radiation in China, Proceedings of the 1985 international conference on solar and wind energy applications, A115—126, China Academic Publishers, 1985.
- [10] 吴其勋, 瞬时光气候值的计算, 气象科学研究所院刊, 第4卷第1期, 98—102, 1989。
- [11] 吴其勋, 我国天然采光利用时数的计算及其地区分布, 北京气象, 总期第17期, 30—35, 1989。
- [12] 吴其勋, 总辐射光当量及其在光气候计算中的应用, 气象学报, 45, 3, 290—295, 1987。
- [13] 吴其勋, 我国散射照度的计算及其地区分布, 气象学报, 48, 3, 269—373, 1990。
- [14] 王炳忠, 太阳能学报, 1卷1期, 1—9, 1980。
- [15] 朱志辉, 太阳辐射时空分布的多因子计算, 地理学报, 37, 1, 27—33, 1982。
- [16] 吴其勋, 我国总照度时空分布, 太阳能学报, 8, 4, 347—351, 1987。
- [17] 吴其勋, 我国昼光资源区划, 油印本, 待发表。