

# 用 P-G-D 图表研究中国光气候状况

何 荣, 林 勇

(重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400045)

**摘 要:** 为了改善现有光气候区描述的不足, 并研究中国典型光气候区光气候特性, 利用太阳直射光、天空漫射光、地面总照度与大气层外照度的比率作为研究的参数。在 12 个典型光气候地区 1 a 光气候观测数据的基础上, 通过 P-G-D 图表研究各地区的光气候状况。该方法能较直观、准确地反映出研究地的光气候特性, 有利于比较各地区光气候参数之间的差异。通过对中国典型 12 个光气候区的光气候参量对比分析, 初步得到了中国光气候区的分布趋势。

**关键词:** 光气候; P-G-D 图表; 采光

**中图分类号:** TU113.3    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-4764(2010)01-0107-04

## Analysis of China's Daylighting Climate with P-G-D Diagram

HE Ying, LIN Yong

(College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** In order to improve the deficiency of existing daylighting climate zones and investigate the characteristics of the typical daylighting climate zones, the ratio between direct light, diffuse light, global illuminance and extraterrestrial horizontal illuminance were taken as parameters. On the basis of annual observation data of twelve typical light climates zone, daylighting climate of various regions was investigated by P-G-D diagram. This method could more intuitively and accurately reflect the characteristics of regions and be easier for comparing the difference between light parameters. Through analysis, the daylight distribution profile of twelve zones were obtained, with which it could be reference for daylighting design.

**Key words:** daylighting climate; P-G-D diagram; daylighting

在能源日趋紧张的今天, 充分利用天然光, 追求生态和可持续发展, 节约照明用电, 具有十分重要的意义。而要充分利用天然光, 就应了解当地的光气候状况, 所谓光气候, 就是由太阳直射光、天空漫射光和地面反射光形成的天然光平均状况<sup>[1]</sup>。

影响室外地面照度的因素主要有太阳高度、云状、云量、日照率(太阳出现时数和可能出现时数之比)等。中国地域辽阔, 同一时刻南北方的太阳高度、云状、云量及日照率相差很大, 因此各地光气候有很大区别, 为了反映光气候差别, 科研工作者通过各地区的辐射光当量值与当地多年日辐射观测值换

算出该地区的照度资料<sup>[2]</sup>, 利用这种方法从全国 135 个点的照度数据中绘制出年平均总照度分布图, 见图 1。由图可见西北广阔高原地区气候状况晴天室外年平均总照度值(从日出后 0.5 h 到日落前 0.5 h 全年日平均值)高达 31.46 klx; 而四川盆地及东北北部地区则只有 21.18 klx, 两者相差高达 50%。因此根据室外天然光年平均总照度值大小将全国划分为 I~V 类光气候区。再根据光气候特点, 按年平均总照度值确定分区系数进行修正。

除了利用年平均总照度值作为光气候的主要参考指标外, 相关研究工作者也对光气候进行了深入

收稿日期: 2009-09-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50908239)

作者简介: 何荣(1974-), 男, 博士, 主要从事建筑光学研究, (E-mail) he\_ying@cqu.edu.cn

的研究<sup>[3-5]</sup>。尤其是近年来,随着科技的进步,部分科研工作者也开始使用卫星图像<sup>[6]</sup>及 GIS<sup>[7]</sup>等先进技术手段研究天然光,同时对天然光的观测<sup>[8-9]</sup>与分析<sup>[10]</sup>进行深入研究,这都为天然光的模拟与预测提供了更为准确的手段。

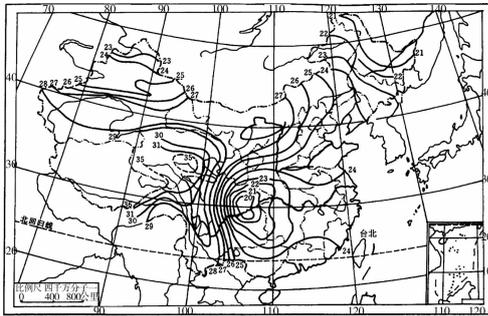


图 1 中国年平均总照度分布图

目前中国光气候描述的主要指标是年平均总照度,尽管年平均总照度分布图能直观的了解中国各地天然光年平均总照度的大致分布,但由于采光是不稳定的,仅由天然光平均总照度一项参数是无法反映出太阳直射光、天空漫射光和地面反射光之间的关系,也就是说平均总照度相近的地区其光气候状况可能是差别很大的,目前可以采用由 Kittler 等提出的 P-G-D 图表<sup>[11]</sup>研究太阳直射光、地面总照度及天空漫射光之间的关系,P-G-D 图表是一种直观简便而又能描述多参数的方法。该文将利用 P-G-D 图表研究中国的光气候状况。

## 1 P-G-D 图表介绍

目前常用 P-G-D 图表<sup>[11]</sup>来比较不同位置或在一个特定季节或时期的具有代表性自然条件的光气候。P-G-D 图表利用观测到的直射光照度  $P_v$ 、地面总照度  $G_v$ 、漫射光照度  $D_v$  及大气层外水平照度值  $E_v$  来分析光气候,其中直射光照度  $P_v$ 、地面总照度  $G_v$ 、漫射光照度  $D_v$  均与大气层外水平照度值  $E_v$  同时相关联,并且  $P_v$ 、 $G_v$  及  $D_v$  这些光气候组成因素均来源于  $E_v$ 。因此采用  $P_v/E_v$ 、 $G_v/E_v$  及  $D_v/E_v$  比较具有同样倾斜度的 2 个表面(其中 1 个在地面,另 1 个在大气层上表面)的方法是合理的,这种比较方法常用于采光标准化概念。在相应的采光理论中,水平照度比率参数(如采光系数)被接受并广泛采用。当然,如果  $\gamma_s = 0^\circ$  时,同样  $E_v = 0$ ,这是测试面平行于太阳光束时的例子,这在理论上是真实合理的。因此地面和大气层外照度的比率也是光气候研究的最佳参数选择之一<sup>[11]</sup>。

P-G-D 图表能直观的反映光气候状况,其坐标轴及对角线表示的气象参量分别为:垂直坐标轴  $D_v/E_v$  反映了天空漫射光强度的变化情况;水平坐

标轴  $P_v/E_v$  从左到右反映了直射太阳光的穿透情况;对角线  $G_v/E_v$  反映了光气候的整体能效;对角线  $D_v/G_v$  反映了漫射照度与地面照度之间的关系。

从以上描述可以看出,尽管 P-G-D 图表还存在不能反映太阳高度角带来的影响,不能显示  $D_v/E_v$  与相联系的天空模式等缺陷,但 P-G-D 图表的各项参数仍能较好的描述光气候状况。因此该研究方法仍然被广泛地采用。

## 2 用 P-G-D 图表研究中国光气候

### 2.1 数据的获取

由于天然光观测周期长,且现有标准气象观测站不观测天然光数据,因此,要想获得中国典型光气候区的光气候数据,就必须在各典型光气候区进行长期的天然光数据观察,这需要花费巨大的财力和物力,这在当今是很难实现的。

为了研究中国光气候状况,中国建筑科学研究院与国家气象局共同组织了全国 14 个典型光气候观测区连续 2 a(1983—1984)的大规模光气候观测;在此之后,中国再未进行过全国性光气候的观测研究;而一个地区的光气候是由当地气候特征所决定,且一个地区的气候特征在较长时间段内是相对稳定的,因此,该阶段的光气候观测数据仍然能反映出中国现阶段的光气候特征变化状况。

为了研究太阳直射光、天空漫射光及地面总照度之间的关系,利用上述数据中的 1984 年中国 12 个典型光气候区(上海、重庆、广州、长沙、二连、乌鲁木齐、西宁、西安、昆明、福州、黑河、长春)光气候观测站全年测试统计数据(该数据为间隔 30 min 的数据测试点)进行研究。这 12 个典型光气候区分别代表了中国东北、西北、华东、华南及西南地区的典型光气候区,测试的原始数据已经按照 CIE(国际照明委员会)关于采光测量的技术要求进行验证筛选,数据具有较高的可信度。

从上述数据库中提取直接测量得到的  $P_v$ 、 $G_v$  及  $D_v$  测试值<sup>[12]</sup>,  $G_v$  与  $P_v$  和  $D_v$  之间有如下关系:

$$G_v = P_v + D_v \text{ 或 } P_v/E_v = G_v/E_v - D_v/E_v \quad (1)$$

而与大气层外边界水平辐射相类似的大气层外水平照度值  $E_v$  通常通过计算得到:

$$E_v = \in E_{v0} \sin \gamma_s \quad (2)$$

式中太阳照度常数为  $E_{v0} = 133\ 800 \text{ lx}$ 。

太阳常数  $\in$  都需要通过一个简单的椭圆修正公式来进行日期修正:

$$\in = 1 + 0.034 \cos \left[ \frac{2\pi(J-2)}{365} \right] \quad (3)$$

式中  $J$  是一年中的天数,也就是  $J$  (1 月 1 号)到  $J = 365$  或  $366$  (12 月 31 号),  $\gamma_s$  是特定地点和时间的太

阳高度角,取决于地理纬度  $\varphi$ , 当地太阳时  $H$  及日偏角  $\delta$ 。通常其三角函数表示如下:

$$\sin \gamma_s = \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta \cos(15^\circ H) \quad (4)$$

式中日偏角  $\delta$  通过一年中的天数  $\tau$  来表示,通常使用如下公式:

$$\delta = 0.006\ 918 - 0.399\ 912 \cos \tau + 0.070\ 257 \sin \tau - 0.006\ 758 \cos(2\tau) + 0.000\ 907 \sin(2\tau) - 0.002\ 697 \cos(3\tau) + 0.001\ 48 \sin(3\tau) \quad (5)$$

其中  $\tau$  为时角,  $\tau = 2\pi(J - 1)/365$

因此利用上述计算公式对 1984 年 12 个城市全年中各个测试数据所对应时刻的大气层外水平照度值  $E_v$  进行计算,并以  $E_v$  为分母分别求出相应的  $P_v/E_v$ 、 $G_v/E_v$  及  $D_v/E_v$  值。

### 2.2 数据处理

对获取的 12 个城市的  $P_v$ 、 $G_v$  及  $D_v$  全年测试数据利用 orgin 软件,采用 P-G-D 图表法进行数据分析,并将数据分析结果绘制于图 2。

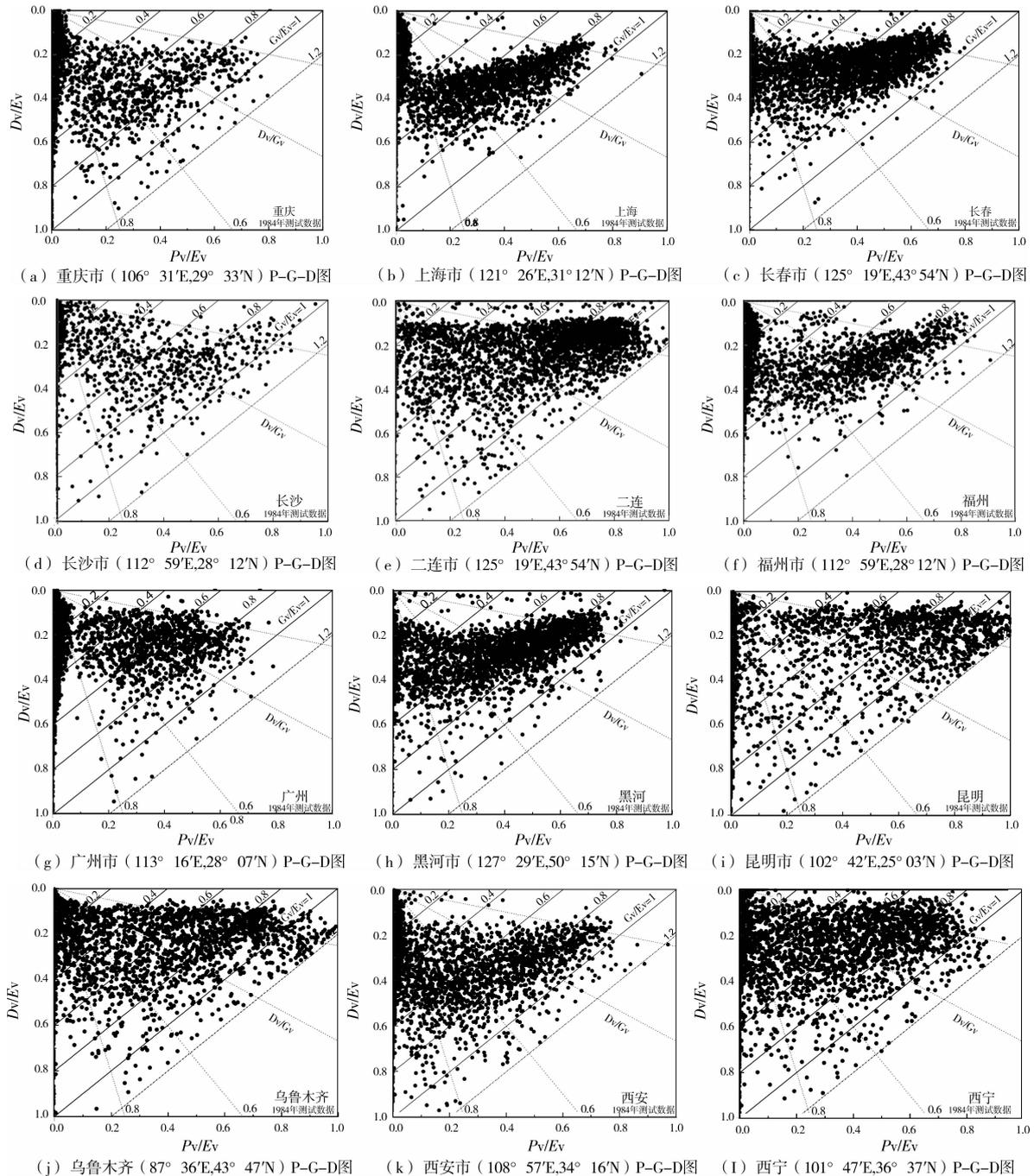


图 2 部分城市 P-G-D 图

### 2.3 数据分析

在 P-G-D 图表中,  $P_v/E_v$  反映了太阳光穿透情况,由图 2 中可见上海、长春、二连、黑河、乌鲁木齐、西宁、西安等城市的直射光强度较强,直射光出现概率在全年中所占的比例较多,这也表明这些地区一年中的晴天天气较多,由北、西北往东南方向逐渐减少。反之可明显的看出,重庆、长沙一年中出现晴天天气的概率就大大少于以上这些城市。这也说明了重庆、长沙一年中阴天相对较多,而以重庆为最多。因此,相应的年平均总照度值也不会太高,从图 1 中也可看出这些地区的室外年平均总照度值也印证了这点。

$D_v/E_v$  值反映了天空漫射光强度的变化情况,当  $P_v/E_v$  较小时,  $D_v/E_v$  值主要表达了云的影响,图 2 中可见重庆、上海、广州、长沙及福州的在全年中有较多的数据点分布在靠近纵坐标轴区域,且  $D_v/E_v$  值较小的位置处,这说明上述这些地区全年中全云天或多云天气占有较大的比例。大致可认为二连、黑河、西宁、西安、乌鲁木齐、昆明、长春云量较少,这与气象观测到云量,是自北向南逐渐增多,华北、东北少,长江中下游较多,华南最多,四川盆地特多的情况相符合。

对角线  $G_v/E_v$  值反映了光气候的整体能效,  $G_v/E_v$  越低的光气候能效也就越低,值得注意的是在有云天的气候状况下,  $G_v/E_v$  值能接近 100% 极限值,有时甚至会超出 100%。这说明在某些气候状况下,地面特定的水平位置上,太阳光和天空光组合在一起的相加值超过了大气层边界外的水平照度值。这些较少发生的情况是有利于反射和散射特性的云所形成,当在低太阳高度角时,漫射光所占的比例会升至超过 0.5<sup>[12]</sup>,而从其它临近位置反射到测量点的太阳光和由云层反射的天空光所形成的附加光都会大大增强地面总照度  $G_v$ ,甚至会超过大气层外水平照度值  $E_v$ 。因此 CIE 关于 IDMP(国际采光年计划)的推荐指南中<sup>[13]</sup>,采用了  $G_v/E_v = 1.2$  作为边界线标准,即认为  $G_v/E_v \leq 1.2$  的光气候数值符合要求。图 2 中可以看出各城市的光气候整体能效,而其中重庆、上海、广州及长沙地区光气候整体能效较低。而二连、乌鲁木齐、西宁等城市整体能效相对较高,部分时间的整体能效甚至超过 100%,这也说明这些时间中云以高云为主,反射能力较强,这也与北方及西北的气候状况相适应。

对角线  $D_v/G_v$  反映了漫射光在地面总照度中所占的比例,该参量表示了天空漫射光强度的变化情况,主要表达了太阳的遮挡状况及大气透明度的影响,测试数据所对应的  $D_v/G_v$  数值越大,表明漫射光在总照度中所占的比例越大,相应的直射光所占的比例也就越低。 $D_v/G_v$  越小说明直射阳光越强,从图 2 中可以看出,黑河、二连、乌鲁木齐、长春、西宁及昆明等地方的直射光强的天数在全年中占有较大的比例,这些地方以北方及西北为主,而重庆、长沙等城市直射光最弱,其它城市居中,这也与中国的光气候分区基本一致。

除了对全年的气候分析之外,还可以单独对测试光气候区每月的光气候数据进行分析,比较该光气候区每月的气候变化状况;也可针对不同光气候区相同的时段进行比较分析,比较不同光气候区气候变化状况。从而根据不同地区光气候差异,提供不同的采光技术手段,达到采光节能的目的。

### 3 结 论

通过利用 P-G-D 图表对中国典型气候区光气候研究分析,可以得到如下结论:

1) 中国太阳直射光所占地面总照度的比例由北、西北往东南方向逐渐减少,而以重庆一带为最低。天空漫射光所占地面总照度的比例由北向南逐渐增多,东北少,上海地区较多,广州地区最多,重庆地区特多。即南方以天空漫射光照度较大,北方和西北以太阳直射光为主。

2) P-G-D 图表为比较不同位置或在一个特定季节或时期的具有代表性自然条件的光气候提供了强有力的手段。P-G-D 图表可以直观地表示出光气候各组成因素的相关关系,为采光节能研究分析提供了依据与参考。

#### 参考文献:

- [1] 陈仲林,唐鸣放. 建筑物理:图解版[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 何荣. 用信息分析法研究天空亮度分布[D]. 重庆:重庆大学建筑城规学院,2008.
- [3] MARDALJEVIC J. Example of climate-based daylight modelling[C] // CIBSE National Conference 2006: Engineering the Future, Oval Cricket Ground, London, UK, 2006.

(下转第 115 页)

- CHEN ZHI, YU BING-FENG, HU WANG-YANG, et al. Grey assessment and prediction of the urban heat island effect in city [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(9): 985-988.
- [5] KIM Y H, BAIK J J. Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul [J]. Journal of Applied Meteorology, 2005, 44(5): 591-605.
- [6] HIDEKI T, MASAKAZU M. Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking [J]. Solar Energy, 2009, 83(8): 1211-1223.
- [7] HUANG L M, LI J L, ZHAO D H, et al. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China [J]. Building and Environment, 2008, 43(1): 7-17.
- [8] 刘加平, 林宪德, 刘艳峰, 等. 西安冬季城市热岛调查研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(8): 912-917.  
LIU JIA-PING, LIN XIAN-DE, LIU YAN-FENG, et al. Survey on winter urban heat island in Xi'an [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2007, 28(8): 912-917.
- [9] 陈志. 城市热环境实验研究及典型小区微热环境的数值模拟[D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院, 2007.
- [10] JUSUF S K, WONG N H, HAGER E, et al. The influence of land use on the urban heat island in Singapore [J]. Habitat International, 2007, 31(2): 232-242.
- [11] RAJASEKAR U, WENG Q H. Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis [J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(1): 86-96.
- [12] PROKOPH A, PATTERSON R T. Application of wavelet and regression analysis in assessing temporal and geographic climate variability: Eastern Ontario, Canada as a case study [J]. Atmosphere-Ocean, 2004, 42(3): 201-212.
- [13] 杨建国. 小波分析及其工程应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [14] 周淑贞, 束炯. 城市气候学[M]. 北京:气象出版社, 1994.
- [15] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社, 2003.
- (编辑 胡英奎)

(上接第 110 页)

- [4] MARDALJEVIC J. Climate-Based Daylight modeling for evaluation and education [C] // VELUX Daylight symposium, Bilbao, Spain. 6-7 May, 2007.
- [5] LIN RUO-CI, ZHU CHANG-HAN, XIAO HUI-QIAN, et al. A study and application of the light resources in Beijing [C] // Proceedings of the CIE 26<sup>th</sup> Session, Beijing: 97-100.
- [6] JANJAIA S, MASIRIA I, NUNEZB M, et al. Modeling sky luminance using satellite data to classify sky conditions [J]. Building and Environment, 2008, 43: 2059-2073.
- [7] WANG AI-YING, LI ZHUO, MA YE. Local Daylighting climate research with GIS: a proposal [C] // Proceedings of the CIE 26<sup>th</sup> Session, Beijing, 2007: 139-142.
- [8] 何荣, 林勇, 翁季. 用蚁群系统研究天空亮度分布模型 [J]. 重庆大学学报, 2009, 32(7): 747-751.  
HE YING, LIN YONG, WENG JI. Sky luminance distribution model by ant colony systems [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(7): 747-751.
- [9] NORIO IGAWA, YASUKO KOGA, TOMOKO MATSUZAWA, et al. Models of sky radiance distribution and sky luminance distribution [J]. Solar Energy, 2004, 77: 137-157.
- [10] EDWARD NG, VICKY CHENG, ANKUR GADI, et al. Defining standard skies for Hong Kong [J]. Building and Environment, 2007, 42: 866-876.
- [11] KITTLER R, RUCK N. A model correlating solar radiation and daylighting availability data for computer based design [C] // Proceedings of the CIE 22<sup>nd</sup> Session, Melbourne, 1995: 27.
- [12] KITTLER R, DARULA S. Parametrization problems of the very bright cloudy sky condition [J]. Solar Energy, 1998, 62(2): 93-100.
- [13] CIE 108-1994 Guide To Recommended Practice of Daylight Measurement [R].
- (编辑 胡英奎)