

天然采光设计中的参考天空分类

何 荣^{1a,2}, 胡英奎^{1b}, 翁 季^{1a}

(1. 重庆大学 a. 建筑城规学院; b. 土木工程学院, 重庆 400045;
2. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640)

摘 要:天然采光的基础是天空亮度分布,而参考天空分类是确定天空亮度分布的前提。结合 IDMP 重庆光气候观测站 1 min 光气候观测数据,通过对影响天空亮度分布的气象参量研究分析,确定容易被肉眼观测识别的云量、日面状况、水平区域到天顶亮度渐变状况等气象参量是影响参考天空分类的关键因素。以此为基础,将参考天空划分为 6 类天空类型。

关键词:天然采光;参考天空;日面状况;亮度渐变;云量

中图分类号: TU113.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2010)06-0105-05

Reference Sky Classification in Daylighting Design

HE Ying^{1a,2}, HU Ying-kui^{1b}, WENG Ji^{1a}

(1a. College of Architecture and Urban Planning; 1b. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

Abstract: Sky luminance distribution is the basis of daylighting, and the reference sky classification is a prerequisite for determining the distribution of the sky luminance. Combining with the daylighting observation data of 1 minute in IDMP daylighting observation stations in Chongqing, by analyzing meteorological parameters affecting the sky brightness distribution, the meteorological parameters, such as the cloud cover, surface conditions on the sun, and the horizon to the zenith luminance gradient, are identified as key factors exerting influence on reference sky classification. On this basis, the reference sky is divided into six types.

Key words: daylighting; reference sky; surface conditions on the sun; the luminance gradient; cloud cover

天空亮度分布是瞬息万变的,不仅与当地地理纬度、地形地貌等相关联,同时也受到气候条件、太阳高度角、大气透明度等因素的影响,如中国北方晴天多阴天少、南方特别是重庆、四川盆地及贵州等地则是阴天多晴天少,因此各地天空亮度分布也大不相同。采用真实的天空来描述天空亮度分布是很困难的,为了解决这问题,通常使用参考天空来表示众多变化的真实天空,并把参考天空作为采光设计和计算的基础^[1]。

参考天空是从亮度分布出发,对真实天空加以

统计平均描述。真实天空亮度是千变万化的,因此仅通过参考天空定义来描述参考天空代表的真实天空是不可能的。为了更加准确的描述天空亮度分布状况,科学研究工作者以 CIE 晴天空亮度分布模型为基础,使用定量的(可测性好)、易被观测的参量,用以定义和分类参考天空所代表的真实天空,其天空亮度可以近似描述对应真实天空统计平均亮度分布。具有代表性的分类方法有日本的 Norio Igawa 等^[2]采用无云指数(Cle)将天空分类为 5 类;重庆大学陈仲林将中间天空划分为似晴天空及似阴天

收稿日期:2010-03-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50908239,50908240);亚热带建筑科学国家重点实验室资助项目(2010KB14)

作者简介:何荣(1974-),男,博士,主要从事建筑技术科学研究,(E-mail):he_ying@cqu.edu.cn.

空^[3];CIE 一般天空亮度分布标准^[4]将参考天空类型分为 3 大类,分别为晴空、阴天空和中间天空,每类天空包含 5 小类细分的天空类型。在 CIE 一般天空亮度分布标准的基础上科研工作者分别结合当地气候条件对地中海及中欧^[5]、香港^[6-8]、曼谷^[9]、新加坡^[10]及英格兰中部^[11]的参考天空分类进行研究。

CIE 参考天空分类在描述天空特征时使用了较为模糊的语言,这对实际操作过程中辨别正确的天空模式是相当困难的,并且部分分类存在重叠的情况;Norio Igawa 分类方法相对较为复杂,并需要仪器辅助才能完成,不利于实际观测运用。陈仲林分类方法由于分类过于简单而造成较大的误差;这对正确选择相应的参考天空类别带来了较大的困难。

因此,在已有研究成果的基础上,建立分类明确、易于观测识别并具有较好连续性的参考天空分类方法,将为天空亮度的观测及研究奠定基础。

1 参考天空分类参量研究

参考天空相对亮度分布取决于 2 个特征量,一是相对亮度最大元在天空中的位置,二是从此开始相对亮度在各方向递减的相对亮度变化率^[1]。因此不同的气候状况将极大的影响参考天空亮度分布表

表 1 日面状况各参量含义

日面状况	☉ ²	☉	☉ ⁰	II
意义	太阳面上未见云	日光可透过云,地物影子明显	日光微弱地通过厚云层,地物影子模糊不清	通过厚云,看不见太阳的轮廓

表 2 天空状况(云量)各参量含义

云量	总云量	云量表示
云遮蔽天空的成数。将测点视野范围内的天空十等分,估计十等分中被云所遮蔽的分数	天空中被所有的云遮蔽的成数	例 10 表示总云量为 10,即全阴天,0 表示总云量为 0,即全晴天

1.1 云量

在划分天空类型时,如果把云量作为区划的唯一标准,则通常可以分为 3 类:全晴天空、中间天空和全阴天空。全晴天空对应云量为 0,日面状况为 ☉²,中间天空对应云量为 1~9,日面状况为 ☉、☉⁰、☉² 及 II,全阴天空对应的云量为 10,日面状况不仅有 II,而且还出现了由于云层较薄,太阳光透过云层,日面状况记为 ☉和 ☉⁰ 的天气现象,此时,天空亮度分布规律显然与阴天空亮度分布规律差别极大。根据气候特点不同的 6 个日射站(重庆、西安、长春、二连、玉树、乌鲁木齐、上海)连续两年定时观测资料统计分析表明这种天气现象在重庆地区出现的概率大于 3%(表 3)。

由此可以得到一个重要结论,即云量尽管对天

空亮度分布有重要的影响,但是由于云层厚薄、云层形态及位置的不同而使得日面状况在天空中呈现出不同的状态,会形成不同的天空亮度分布模式,因此太阳日面状况是影响天空亮度分布的另一个关键因素。

为了避免分类模糊所造成的不便于实际运用的情况,参考 CIE 一般天空分类标准及重庆大学陈仲林等人的天空分类研究成果^[3],采用一些便于观测的指标对参考天空进行分类。

在实际观测中,天空状况(云量等)、太阳日面状况、水平区域到天顶亮度渐变状况等气象参量是容易被观察与辨别的,且这些参量对天空亮度有较大的影响,因此这些气象参量被选择为天空亮度分类的基本参量对天空亮度进行分类。这些参量的选择不仅使得参考天空分类与地面测试观察与测试数据相联系,而且使得对真实天空的分类工作得以进行与完成。在对参考天空分类之前,首先明确各气象参量的含义,太阳日面状况见表 1,天空状况(云量等)见表 2,水平区域到天顶亮度渐变状况是指水平区域相对天空亮度的变化情况,从参考天空的变化状况来看,通常可采用变亮、不变及变暗来描述。在明确各参量的含义后,对所选择气象参量分别进行分析。

空亮度分布有重要的影响,但是由于云层厚薄、云层形态及位置的不同而使得日面状况在天空中呈现出不同的状态,会形成不同的天空亮度分布模式,因此太阳日面状况是影响天空亮度分布的另一个关键因素。

表 3 云量为 10,日面状况为 ☉,☉⁰ 的天气现象出现概率

地名	广州	重庆	玉树	二连	长春	乌鲁木齐
出现概率/%	0.6	3.5	2.1	1.4	2.2	1.5

1.2 日面状况

尽管当今气象观测不再把日面状况作为常规观察的一个项目^[12],但是由于日面状况对天空亮度分布具有及其重要的影响。因此,依然采用日面状况

作为研究天空亮度分布的一个重要指标进行研究。全晴天空就是日面状况为 \odot^2 的无云天空,全阴天空是指日面状况为 Π 的全部是云的天空。除了晴天空及阴天空外,一般可以认为云在天空中出现的方位是随机的,所以对于一般地区而言,尤其是当该地区附近的地理条件大致相似时,云在天空中各个方位上出现的可能性是相同的,因而从多年统计平均的观点看,云在平均天空各个方位上出现的概率是相等的。即,云在平均天空中是以均匀状态分布的,因此当太阳面被云遮挡时,可认为此种中间天空的亮度分布规律类似于标准阴天空的亮度分布规律^[13];当太阳面上无云时,可认为此种中间天空的亮度分布规律类似于标准晴天空的亮度分布规律^[13]。

实际天空中还存在一种过渡类型,即太阳虽被云遮挡,但是由于云层较薄,其轮廓可见、日面状况记为 \odot^0 的天空状况。在这种天空情况下,太阳附近处的天空亮度会明显高于其它天空部分,这一点与晴天空亮度分布相同,从云在平均天空中均匀分布这个统计平均观点来看,可认为此种天空的亮度分布类似于晴天空。

1.2.1 日面状况理论基础 自Bouguer在18世纪的研究并发展了任意方向表面的指数函数后,在理论物理和光学研究的主要关注集中于直射照度 P_V 构成的表达式的研究,目前使用的是其现代形式^[7]:

$$P_{Va} = E_{V0} \exp(-a_V m T_V) \cos i \quad (1)$$

其中 P_{Va} 分别为在任意倾斜面和朝向的平面上的平行光束辐射或照度, E_{V0} 为大气层外水平照度值, m 为大气光学质量;

$$m = \frac{1}{\sin \gamma_s + 0.50572(\gamma_s + 6.07995^\circ)^{-1.6364}} \quad (2)$$

a_V 为可见光谱亮度消光系数;

$$a_V = \frac{1}{10.1 + 0.045m} \quad (3)$$

T_V 分别为在整个太阳光谱和可见光部分的混浊度因素; i 为太阳光束与被辐射面或被照度面的法线所夹的入射角。通常对水平面而言, $\cos i = \sin \gamma_s$,因此

$$P_V = E_{V0} \exp(-a_V m T_V) \sin \gamma_s \quad (4)$$

当平面垂直于太阳光束时, $\cos i = 1$,此时

$$P_{Vn} = E_{V0} \exp(-a_V m T_V) \quad (5)$$

当 P_{Vn} 被测量后,这些等式通常用来计算混浊度因素,也就是

$$T_V = \frac{-\ln(P_{Vn}/E_{V0})}{a_V m} = \frac{\ln(E_V/P_V)}{a_V m} \quad (6)$$

当仅仅测试了总照度 G_V 与总漫射照度 D_V ,那么可以相当方便的利用等式计算出直射照度 P_V ,进而可计算出 T_V 。

研究表明,大多数情况下的 D_V/E_V 比值依靠太阳高度角 γ_s 和 T_V 值,当 $T_V < 8$ 时,Dumortier推荐了一个晴天空经验公式^[15]:

$$D_V/E_V = 0.043 T_V (\sin \gamma_s)^{0.1147 T_V - 0.82} \quad (7)$$

由公式可知,当 T_V 值过高后, D_V/E_V 比值就与太阳高度角无关了,在低 T_V 时,随太阳高度角的变化, D_V/E_V 值相应的变化,在高 T_V 时,随太阳高度角的变化, D_V/E_V 值与太阳高度角无关了。由于 E_V 值通常仅跟太阳高度角和椭圆修正有关,因此大气混浊度 T_V 对光气候的影响可以被漫射光照度 D_V 值所体现。这也表示了天空状况随大气浑浊度的变化而由太阳由清晰可见到模糊不可见的变化过程,这也解释了在全阴天太阳不可见时整个天空亮度不受太阳高度角的影响,而在晴天及中间天空情况下却随太阳高度角的变化而发生较大变化。

1.2.2 日面状况对天空分类的影响 参数 L_V/D_V 已经作为光气候研究中最重要参数之一,当天顶亮度和漫射光照度同时测定后, L_V/D_V 值就能对应相应的天空亮度分布状况,利用 L_V/D_V 值来研究日面状况对天空分类的影响。通过分析重庆1991年7月(图1a)和1993年1月(图1b)IDMP观测的 L_V/D_V 数据,发现7月出现的CIE天空类型较多,几乎分布了各种天空类型,并以晴天居多,而1993年1月以阴天空为主,且 L_V/D_V 值主要分布在0.25~0.5之间,以阴天及多云天空为主,大气浑浊度较大,这也与实际气候状况统计情况相一致。

为了验证日面状况对天空亮度分类的影响,认为大气浑浊度 $T_V < 5$ 时为晴天空, $5 < T_V < 20$ 时为中间天空, $T_V > 20$ 时为雾天及阴天空,当大气浑浊度不同时, L_V/D_V 的取值范围不同^[15]。通常认为在太阳高度角不超过30度时, L_V/D_V 能较好的表示天空类型,当 L_V/D_V 在0.3以上时,通常对应阴天空, L_V/D_V 小于0.16通常对应晴天空,中间的部分值对应中间天空。

在冬季低太阳高度角时,无阳光条件下 L_V/D_V 值主要分布在0.25以上,相应的 G_V/E_V 值主要分布在0.25以下。而了解 G_V/E_V 与 L_V/D_V 之间的关系对了解一个区域或时期内的各种天空类型的分布比例是有帮助的。图2为重庆1991年7月1分钟

数据的 G_v/E_v 与 L_z/D_v 图,从图中可以看出晴天空区域、阴天空区域和中间天空区域所占的比例。并可直观了解,1 月重庆的气候状况以阴天空为主,仅

有较少的多云天空,晴天空出现的几率极少,而在 7 月的重庆,阴天空也占有一定的比率,但这一时期是以中间天空为主,晴天空出现的比例依然较低。

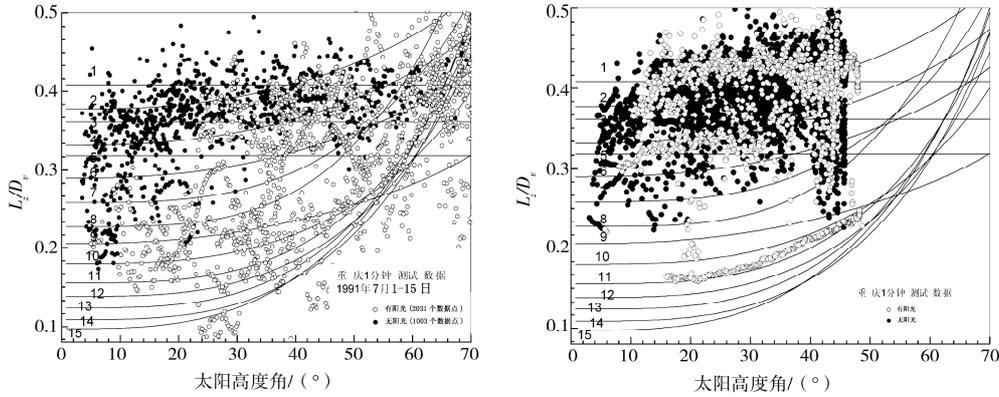


图 1 重庆 1991 年 7 月及 1993 年 1 月光气候数据在 CIE 在标准 L_z/D_v 曲线中的分布图

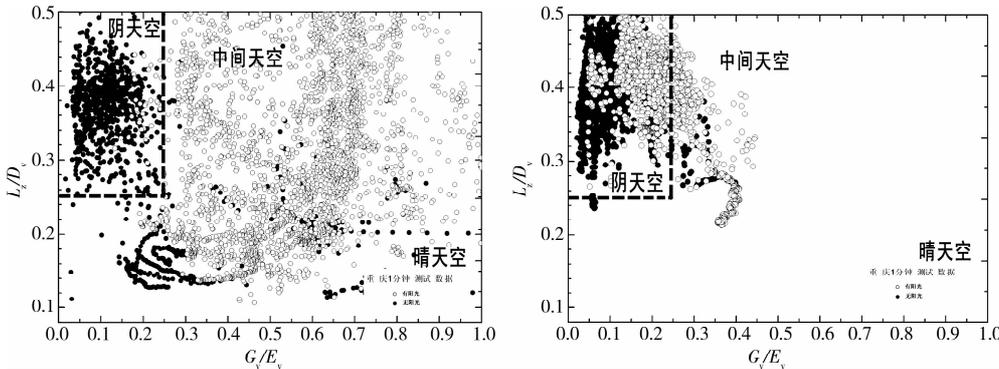


图 2 重庆 1991 年 7 月及 1993 年 1 月光气候数据 $G_v/E_v - L_z/D_v$ 分布图

从以上分析可以看出 L_z/D_v 与 G_v/E_v 值有关,而 G_v/E_v 是反映了太阳透过大气的状况,也就间接反映了日面状况, G_v/E_v 值越小,意味着日面状况被遮挡越严重,因此可以认为日面状况是划分天空类型的重要气象参量。

1.3 地平到天顶亮度渐变状况

假如不考虑太阳对天空亮度的影响,那么无云的天空具有亮的地平和暗的天顶,而全阴天空正好相反,天顶是亮的,地平是暗的。而参考天空认为从全晴天空到全阴天空可以认为是均匀分布在参考天空中的衰减物质逐渐增厚,一直到太阳完全不可见的全阴天。因此在实际天空中,除全阴天及全晴天外,可以推论在一个忽晴忽阴的天空中,应该具有一个亮度接近均匀的平均天空这也有一定的数学依据^[1],因此对中间天空可以通过观察其地平相对天顶亮度的变化状况,并且可以根据观察情况按照变亮、变暗及不变进行区分,这不仅容易区分,而且有利于观察。

2 参考天空分类

而在前面通过对天空亮度分布影响较大的气候参量进行分析,知道太阳日面状况是影响相对亮度最大元在天空中位置的关键气象参量,而云量及地平到天顶亮度渐变状况是影响相对亮度在各方向递减的重要气象参量。而且这 3 类气象参量容易通过人眼观察辨别得到,这就为正确辨别天空亮度类型奠定了基础。

因此,除了一般需要人工照明的下雨、沙暴和雪暴等特殊天气现象外,参考天空可根据关键气候参量日面状况的变化来描述由全阴天到全晴天的变化情况,并结合天空状况(云量)及地平到天顶亮度渐变状况,将参考天空划分为 6 类,如表 4。

3 结论

通过分析各种气象参量对天空亮度分布的影响,提出采用以日面状况为主要参量,结合云量、地

表4 参考天空分类

类别	天空状况(云量)	日面状况	亮度渐变状况
1	无云(0)	☉ ²	天边到天顶逐渐变亮
2	部分有云(1~9)	☉ ²	天边到天顶逐渐变亮或 天边到天顶无渐变
3	部分有云或全云(1~10)	☉	天边到天顶逐渐变亮或 天边到天顶无渐变
4	部分有云或全云(1~10)	☉ ⁰	天边到天顶逐渐变亮或 天边到天顶无渐变
5	部分有云(1~9)	II	天边到天顶逐渐变暗 天边到天顶无渐变
6	全云(10)	II	天边到天顶逐渐变暗

平到天顶亮度渐变状况 2 个辅助参量的分类方法;根据参考天空从全晴天空到全阴天空可以认为是均匀分布在参考天空中的衰减物质逐渐增厚,一直到太阳完全不可见的全阴天的变化过程的假设,将参考天空划分为 6 类,分别代表太阳日面状况由 ☉² 到 ☉ 到 ☉⁰ 到 II 的变化过程。

该参考天空分类方法具有物理意义明确,天空类型划分明确,易于人眼观测识别,并具有较好连续性,覆盖了各种天空类型,为天空亮度分布研究及天然光的运用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] NORIO LGAWA, YASUKO KOGA, TOMOKO MATSUZAWA, et al. Models of sky radiance distribution and sky luminance distribution [J]. Solar Energy,2004,77: 137-157.
- [3] 陈仲林. 中间天空是由似阴天空和似晴天空组成[J]. 重庆建筑工程学院学报,1991,13(1):22-30.
CHEN ZHONG-LIN. The intermediate sky is composed of the preudo-clear sky and the preudo-overcast sky[J]. Journal of Chongqing Institute of Architecture and Engineering,1991,13(1):22-30.
- [4] Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). S011/E-2003 Spatial distribution of daylight - CIE standard

general sky[S].

- [5] BARTZOKAS A, KAMBEZIDIS H D, DARULA S, et al. Comparison between winter and summer sky-luminance distribution in Central Europe and in the Eastern Mediterranean[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,2005,67:709-718.
- [6] DANNY H W LI, H L TANG, ERIC W M LEE, et al. Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks[J]. International Journal of Climatology, 2009,30(2):305 - 315.
- [7] EDWARD NG, VICKY CHENG, ANKUR GADI, et al. Defining standard skies for Hong Kong[J]. Building and Environment,2007,42:866-876.
- [8] DANNY H W LI, CHRIS C S LAU, JOSEPH C LAM. Overcast sky condition and luminance distribution in Hong Kong[J]. Build Environ,2004,39: 101-108.
- [9] SURAPONG CHIRARATTANANON, PIPAT CHAIWIWATWORAKUL. Distributions of sky luminance and radiance of North Bangkok under standard distributions[J]. Renewable Energy,2007,32: 1328-1345.
- [10] SK WITTKOPF, LK SOON. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in singapore [J]. Lighting Res. Technol,2007,39(1):31-51.
- [11] MARKOU M T, KAMBEZIDIS H D, BARTZOKAS A, et al. Sky type classification in Central England during winter[J]. Energy,2005,30 :1667-1674.
- [12] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [13] 康德拉捷夫. 太阳辐射能[M]. 北京:科学出版社,1962.
- [14] STANISLAV DARULA, RICHARD KITTLER, HARRY DIMITRIOS KAMBEZIDIS. Guidelines for more realistic daylight exterior conditions in energy conscious designs[S]. SK - GR 013/1998.
- [15] KITTLER R, DARULA S. Prevailing sky conditions: Identifying simple parameters for definition[J]. Light. Res. and Technol. , 1997,29(2):63-68.

(编辑 王秀玲)