

⑥

39-45

用模糊数学研究天空类型*

陈仲林 郑莫一 张青文

(建筑系) (机电系) (建筑系)

TU 113.1

摘 要 本文利用图像数字化处理系统对天空亮度分布进行了定量实测,提出了除下雨等天空特别阴暗的、一般需要人工照明的特殊天气现象外,根据天空亮度分布规律,将天空划分为CIE晴天空、似晴天空、似阴天空和CIE全阴天空,并由模糊数学证明这种天空分类是合理的。

关键词 天空类型, 天空亮度分布, 模糊数学, 建筑物, 彩

国际照明委员会已推荐了CIE晴天空和CIE全阴天空,在这两类标准天空条件下,各地水平面上的照度与太阳高度角之间的关系无明显差别^[1]。对于一般地区而言,这两种标准天空的出现概率不太大,它们均是实际天空的两种特例。实际上,有云的天空却是经常出现的。据研究表明,各种云对太阳光的遮挡情况是不同的,并可以分为四种状况:太阳面上无云,日面状况可记为 \odot^2 ;太阳面上有薄云,但能透过阳光,日面状况可记为 \odot ;太阳面上有较厚的云,但天空亮度最大值仍在太阳附近,日面状况可记为 \odot^0 ;太阳位置附近有很厚的云,天空亮度最大值不在太阳位置附近,日面状况记为 Π 。

为了充分利用太阳光和合理地进行建筑物的采光设计,就必须对天空进行合理地分类。

1 天空类型

在我国昆明和重庆,我们对整个天空亮度分布进行了五百多次瞬时测量,用带有180°鱼眼镜头的相机对整个天空拍照,将天空亮度信息记录下来,利用图像数字化系统对天空亮度分布进行定量分析。对于记录到的晴天空和阴天空的天空亮度分布实测资料分析表明,我们测得的天空亮度分布规律与CIE推荐的晴天空和全阴天空的亮度分布规律基本一致(如附录中图1—图4所示),由此看来,利用摄影-图像处理方法测量天空亮度分布是一种同时性好、且能定量研究天空亮度的有力工具,它能比较好地重显天空亮度分布规律的真实信息。

据研究表明,太阳面是否被云遮挡以及云层厚薄对于天空亮度分布的变化起着决定性作

本文1992年8月31日收到。

* 本文是国家自然科学基金资助项目。

用。在实际天空中,可以观测到云层的厚度是连续变化的,天空亮度也是渐变的。当天空无云且晴朗时,天空亮度最大值在太阳处,最小值是在与太阳成 90° 的对称位置上;当天空布满一层薄云时,透过云层日月轮廓清晰,地面上的物体阴影明显,天空亮度最大值在太阳处,天空亮度分布规律类似于CIE晴空,故把它称作似晴空(如附录中图5,图6所示),这种天空的亮度分布规律与美国学者建议的部分有云天空^[2]和日本学者建议的中间天空^[3]亮度分布规律相似;当云层较厚时,天空亮度分布规律由似晴空亮度分布规律向CIE全阴天天空亮度分布规律变化,这是一种过渡的天空类型,天空亮度最大值不在天顶处,也不在太阳附近,而在它们之间,天空亮度最小值像CIE全阴天天空一样在地平线处,故把此种天空称为似阴天,如附录中图7和图8就是这种天空的代表;当云层很厚时,天空阴暗,天空亮度最大值移向天顶处,这类天空的特例是CIE全阴天天空。总之,除了特殊天气现象外,根据天空亮度分布规律,可把天空分成四大类:CIE晴空、似晴空、似阴天和CIE全阴天天空。

从统计观点看,云层厚薄对天空亮度分布的影响可由日面状况和云量表现出来。高云(C_i, C_s, C_c)多由冰晶组成,云薄而透光,地物阴影明显,日面状况基本上记为 \odot 。蔽光性中、低云(A_{op}, A_{cp}, S_{cp})的云层一般较厚,通常布满全天,天空呈灰色或暗灰色,隔着云层看不见日月轮廓,日面状况大多数为 Π 。由上可知,一定的天空亮度分布基本上与一定的日面状况、天空状况、云状和云量相对应。从统计观点看,天空状况和云状的变化对天空亮度分布产生的影响,可由日面状况和云量体现出来,因此可以认为天空划分为四类的直观标准是日面状况和云量。

2 模式识别

由于实际天空中的云块大小和云厚变化是连续的,所以影响天空亮度分布规律的特征因素日面状况和云量的变化也是一种渐变过程。显然,上述的CIE晴空、似晴空、似阴天和CIE全阴天之间的界线是不分明的、模糊的。因此CIE晴空、似晴空、似阴天和CIE全阴天这些天空类型的概念均是模糊概念。

除了特殊天气现象外,把全体实际天空作为研究的论域,并用 U 表示。设论域 U 上有四个模糊子集 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3$ 和 \tilde{A}_4 ,它们分别表示CIE晴空、似晴空、似阴天和CIE全阴天这些模糊子集。每种天空类型的特征量是日面状况 s 和云量 c 。为了研究方便,日面状况 $\odot^2, \odot, \odot^0, \Pi$ 分别用 $0, 1, 2, 3$ 表示。

从多年时期内大气光学的统计平均观点看,云在平均天空中是以均匀状态分布的^[4],并可用平均天空中均匀分布着一层衰减物质层来表示。该衰减物质层厚薄不同时,透过太阳直射光的情况亦不相同。当衰减物质层很厚时,太阳直射光就完全不能透过它,天空阴暗,对应的日面状况为 Π ;如果此时云量为10,那末就可以认为此种天空为CIE全阴天,并设CIE全阴天这个模糊子集 \tilde{A}_4 的隶属函数为

$$\mu_{\tilde{A}_4} = 1 \quad (s=3, c=10) \quad (1)$$

当衰减物质层仍然很厚,日面状况乃为 Π ,但云量小于10时,随着云量减小,此种天空与CIE全阴天相似程度变小,可把它称为似阴天,设似阴天这个模糊子集 \tilde{A}_3 的隶属函数为

$$\mu_{A_3} = 0.75 + 0.25 \sin[(0.1c - 0.5)\pi] \quad (s=3, 0 < c < 10) \quad (2)$$

在实际天空中，还可以出现较薄的云层均匀地布满全天，但从天空亮度分布来看仍属于似阴天的天空状态。如果假设保持CIE全阴天空中的云的厚度，则必须使此种天空状态的云量小于10才行，因此这里所说的云量是指具有一定厚度的云块遮蔽天空的数量标志。

当衰减物质层十分薄，天空无云且晴朗时，此种天空与CIE全阴天空完全不相似，这种天空就是CIE晴天空，设CIE晴天空这个模糊子集 \tilde{A}_1 的隶属函数为

$$\mu_{\tilde{A}_1} = 0 \quad (s=0, c=0) \quad (3)$$

当衰减物质层较薄，太阳直射光能够透过它，日面状况不为 Π 时，此种天空与CIE晴天空相似程度大，故称为似晴天空，设似晴天空这个模糊子集 \tilde{A}_2 的隶属函数为

$$\mu_{\tilde{A}_2} = 0.25 + 0.25 \sin[(s/3 - 0.5)\pi] + 4^{s-4} \{1 + \sin[(0.1c - 0.5)\pi]\} \quad (s \neq 3, s \neq 0 \cup c \neq 0) \quad (4)$$

因为日面状况和云量都是渐变的，而且由测量获得的日面状况和云量也不可能那么准确，所以用这二个特征量表示的某一实际天空也是模糊的，因此可以把它看成是 U 上的一个模糊子集，并记作为 \tilde{B} 。该实际天空这个模糊子集 \tilde{B} 的隶属函数为

$$\mu_{\tilde{B}} = 0.25 + 0.25 \sin[(s/3 - 0.5)\pi] + 4^{s-4} \{1 + \sin[(0.1c - 0.5)\pi]\} \quad (5)$$

为了研究被识别对象 \tilde{B} 归属于上述四个模型 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \tilde{A}_4$ 中的哪一个的问题，现采用择近原则^[5]这个模式识别的方法。

如设该实际天空的云量为1，日面状况为 \odot^0 ，那么由(5)式算得这个模糊子集 \tilde{B} 的隶属函数值为

$$\mu_{\tilde{B}} = 0.38$$

由海明距离获得的贴进度^[6]为

$$\sigma(\tilde{A}_i, \tilde{B}) \triangleq 1 - e[d(\tilde{A}_i, \tilde{B})]^\alpha$$

选参数 $e=1$ 和 $\alpha=1$ ，而 $d(\tilde{A}_i, \tilde{B}) = |\mu_{\tilde{A}_i} - \mu_{\tilde{B}}|$

$$\therefore \sigma(\tilde{A}_i, \tilde{B}) \triangleq 1 - |\mu_{\tilde{A}_i} - \mu_{\tilde{B}}| \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

由(6)式得出该实际天空这个模糊子集 \tilde{B} 与似晴天空这个模糊子集 \tilde{A}_2 最为贴近，且贴进度等于1，而与其他模糊子集的贴进度均小于1，于是由择近原则判断出 \tilde{B} 归属于 \tilde{A}_2 。

又如某一实际天空的云量为1，日面状况为 Π 时，由(5)式算得某一实际天空这个模糊子集 \tilde{B}_1 的隶属函数值

$$\mu_{\tilde{B}_1} = 0.51$$

由(6)式得出 \tilde{B}_1 与 \tilde{A}_3 的贴进度最大，就把该实际天空这个模糊子集归属于似阴天空模糊子集。

又设另一实际天空云量为10，日面状况为 \odot 时，由(5)式算得该实际天空这个模糊子集的隶属函数值

$$\mu_{\tilde{B}_2} = 0.16$$

由(6)式得出 \tilde{B}_2 与 \tilde{A}_2 的贴程度最大,就选择 \tilde{A}_2 ,认为 \tilde{B}_2 归属于 \tilde{A}_2 .

由上可知,如果把日面状况和云量作为区划天空类型的标准,那末就能够比较合理地划分天空类型。

除了特殊天气现象、CIE晴天空和CIE全阴天空外,即在中间天空⁽³⁾时:当被研究的实际天空的日面状况不为 Π 时,那么由(5)式算得该实际天空这个模糊子集 \tilde{B}_3 的隶属函数数值必处于

$$0 < \mu_{B_3} \leq 0.5$$

之间,再由(6)式得出 \tilde{B}_3 与 \tilde{A}_2 的贴程度最大,于是根据择近原则可判断出该实际天空这个模糊子集 \tilde{B}_3 归属于似晴天空这个模糊子集 \tilde{A}_2 ;当被研究的实际天空的日面状况为 Π ,云量为 $0 < c < 10$ 时,那么由(5)式算得该实际天空这个模糊子集 \tilde{B}_4 的隶属函数数值必处于

$$0.5 < \mu_{B_4} < 1$$

之间,再由(6)式得出 \tilde{B}_4 与 \tilde{A}_3 的贴程度最大,于是根据择近原则可判断出该实际天空这个模糊子集 \tilde{B}_4 归属于似阴天空这个模糊子集 \tilde{A}_3 。因此由模糊数学中的择近原则这个模式识别方法得出,宜把中间天空区分成似晴天和似阴天这两类天空亮度分布规律不同的天空。

此外,我们利用了我国气象科学研究所和我国建筑科学研究所提供的照度、辐射、云量和日面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个我国日射站(广州、重庆、玉树、北京、二连、长春、乌鲁木齐)、利用经过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。我们借助于RDAS统计软件包和数据库管理系统,根据四类天空的分类原则,统计出四类天空的出现概率和天空散射光照度随太阳高度角的变化规律,结果表明:似晴天空和似阴天空的出现概率在这四类天空的出现概率中一般不是最小的;似晴天空和似阴天空在地平面上产生的天空散射光照度值大小和变化规律差别较大。

总之,不能把似晴天空和似阴天空看作为同一种天空亮度分布规律的中间天空。

3 结论

从多年统计平均观点看,除了特殊天气现象外,可把天空分为CIE晴天空、似晴天空、似阴天空和CIE全阴天空。由实测资料统计表明,中间天空是由天空亮度分布等方面不同的似晴天空和似阴天空组成的。模糊数学是一门渗透性很强的科学,它也是研究照明工程方面问题的有力工具。

致 谢

本文研究成果是在杨光璇教授领导下的我国国家教委博士点基金和作者们承担的我国国家自然科学基金资助下获得的。范晋华讲师对图像数字化处理系统调试和天空拍照等方面作出很大贡献,高光华讲师对完善图像数字化处理系统作了大量工作,刘培实验员参加了实测工作,苏鸿老师也参与了数据处理工作。在此,我们表示衷心感谢。

附 录

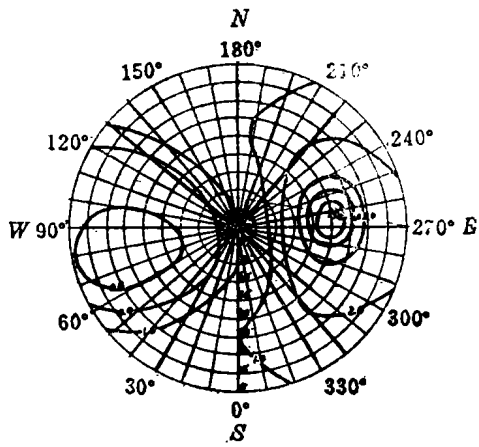


图 1 晴天空亮度分布图

$hs: 39^\circ$ 日面状况: \odot^2
云量: % 云状:

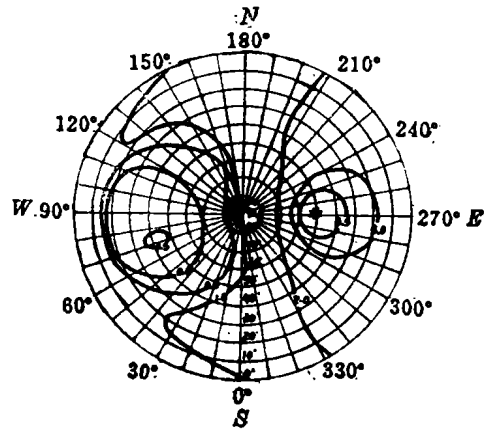


图 2 晴天空亮度分布图

$hs: 51^\circ$ 日面状况: \odot^2
云量: % 云状:

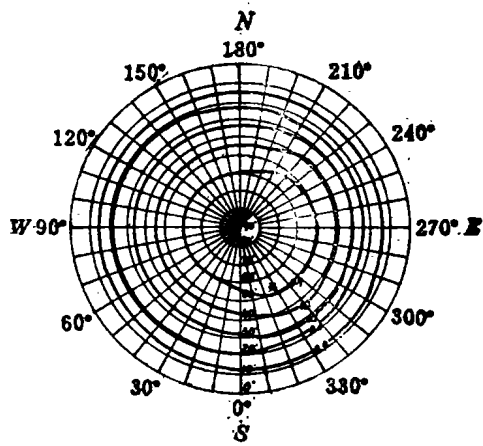


图 3 阴天空亮度分布图

$hs: 54^\circ$ 日面状况: Π
云量: 10/10 云状: $s. op$

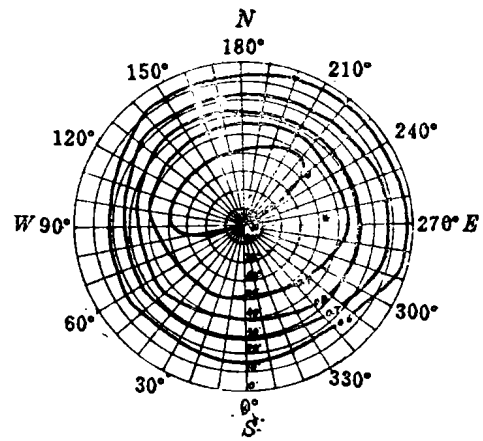


图 4 阴天空亮度分布图

$hs: 45^\circ$ 日面状况: Π
云量: 10/10 云状: $S. F.$

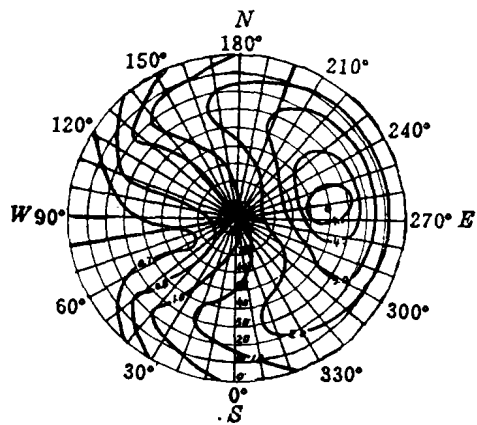


图5 似晴天空亮度分布图
 $hs: 41^\circ$ 日面状况: \odot^0
 云量: 8/0 云状: A_c, C_c

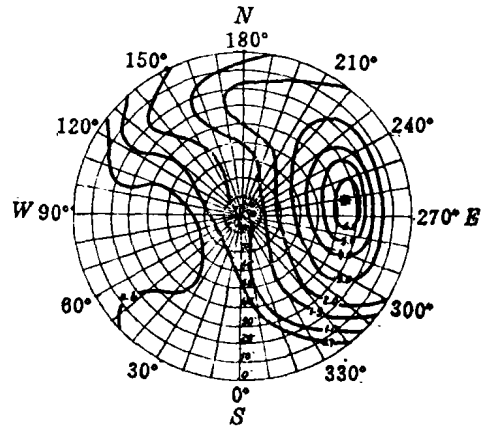


图6 似晴天空亮度分布图
 $hs: 35^\circ$ 日面状况: \odot
 云量: 6/0 云状: A_c

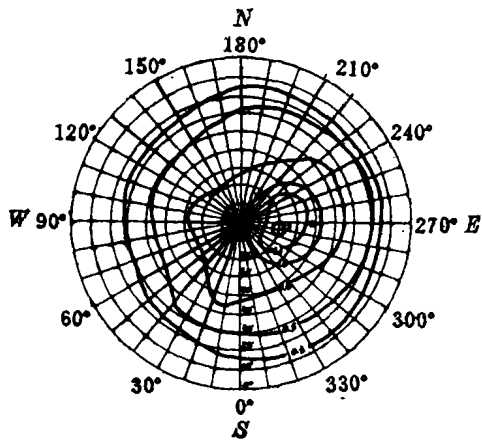


图7 似阴天空亮度分布图
 $hs: 54^\circ$ 日面状况: Π
 云量: 10/10 云状: S_c, F_c

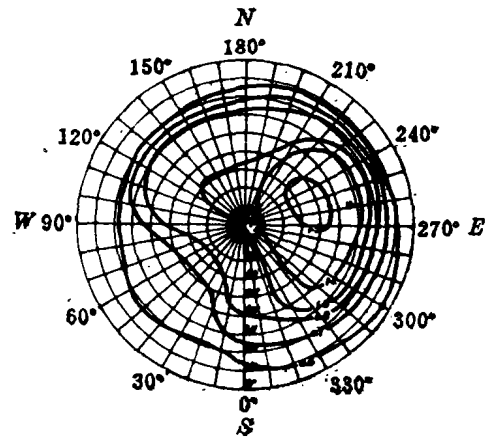


图8 似阴天空亮度分布图
 $hs: 33^\circ$ 日面状况: Π
 云量: 10/10 云状: S_c, F_n

参 考 文 献

- 1 Gary Gillette, William Pierpoint and Stephen Treado. A general illuminance model for daylight availability. Journal of IES, July, pp. 330-340, 1984
- 2 IES (North America) Calculation Procedures Committee. Recommended practice for the calculation of daylight availability. Journal of IES, July, pp. 381-392, 1984
- 3 Hiroshi Nakamura, Masato Oki, Yutaka Hayashi and Tomoko Iwata. The Mean Sky composed taking account of the relative sunshine duration. Under submission for the proceedings II of the Second International Daylighting Conference

4 Chen Zhonglin. Average sky luminance model, PROCEEDINGS of CHINA—NORTH AMERICA DAYLIGHTING CONFERENCE, 1988

5 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海科学技术出版社, 1983, 91—93

(编辑: 徐维森)

TO STUDY SKY TYPES WITH FUZZY MATHEMATICS

Chen Zhonglin

(Dept. of Architecture)

Zheng Dianyi

(Dept. of Mechanical and Electrical Engineering)

Zhang Qingwen

(Dept. of Architecture)

ABSTRACT This paper presents the quantitative measurement to the sky luminance distribution with the help of the figure and numerical system of disposal, and suggests that the actual sky, with exception of a few particular weather conditions, such as rain in which artificial lighting is needed, may be divided into CIE clear sky, pseudo-clear sky, pseudo-overcast sky and CIE overcast sky according to the sky luminance distribution, and verify the sky classification is reasonable with fuzzy mathematics.

KEY WORDS sky type, sky luminance distribution, fuzzy mathematics