

文章编号:1000-582X(2002)08-0073-04

空调系统能耗分析用散射分离模型

苏华, 田胜元, 苏芬仙

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:进行建筑物空调系统全年或季节能耗分析,需要太阳总辐射和散射辐射数据。我国大多数地方只有总辐射观测,没有直接辐射或散射辐射观测,因此需要一种估计散射的方法。文章根据北京和成都两地的实测数据,分析了日散射与日总射的关系,分别建立了两地散射系数 K_d 与总辐射系数 K_t 的多项式拟合模型。该模型以日总辐射为唯一输入进行日散射估计。经检验,模型有很好的拟合性能,拟合数据与建模数据具有一致的月均值和自相关结构。在比较两模型后认为北京模型可以作为通用模型。

关键词:散射系数;总辐射系数;多项式拟合

中图分类号:TU833

文献标识码:A

进行建筑物空调系统全年或季节能耗分析,有2类方法:简化法(如度日数法、BIN方法)和动态负荷计算方法。在计算机技术大大发展的情况下,动态负荷计算方法,以其科学准确性受到越来越多的重视。动态方法需要全年的逐日逐时气象数据,其中最重要的参数之一就是太阳辐射。

气象站只提供水平面上辐射观测值。计算非水平建筑外表面得热,只知道水平面上太阳总辐射是不够的,还必须知道散射(或直射)。我国除少数一级站提供散射外,多数站只提供总辐射。这种情况下需要从其它参数来估计散射。通常用于估计的参数有:总辐射^[1,2]、云量数据^[3,4]、日照时间^[5,6]等。鉴于总辐射比云量数据准确,也容易获得,故笔者的工作确定为建立日散射与日总辐射的关系式,以便从总辐射中分离出散射辐射,供能耗分析使用。最早分析散射与总射的关系,并建立拟合式的是 Liu&Jordan^[1]。很多学者或直接引用其结果^[7],或以同样的模式分析了各地的数据^[2,8]。

1 数据来源

文章的数据是中央气象局提供的北京市1958-1998年的总辐射和散射逐日观测值,成都1961-1998年的总辐射和散射逐日观测值。在建模前,通过定义总辐射系数 $K_t \equiv Q/Q_0$ 和 $K_d \equiv D/Q$ 散射系数,对原始辐射数据进行了变换。其中, Q 为水平面上日总辐射

($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$),它等于散射与直射之和; D 为水平面上日散射($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); Q_0 为大气层外水平面上日总辐射($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$),可按(1)式计算:

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_0 \left(1 + 0.033 \cos \frac{2\pi n}{365} \right) \cdot (\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \varphi \sin \delta) \quad (1)$$

其中: I_0 为太阳常数, $I_0 = 1367 \text{ W}/\text{m}^2$; n 为日期序数; φ 为地理纬度; δ 为太阳赤纬; ω_s 为日落时角。太阳赤纬和日落时角分别用下式计算:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3)$$

2 分析与建模

K_t 大小反映了阴晴状况,是大气层中各种因素(比如灰尘、云、水蒸气等)综合作用的结果; K_d 是不同天气状况下散射所占的份额。从图1和图2可以看出,两个城市的太阳辐射质量有显著的差异,并且 K_d 对 K_t 有明显的统计依赖关系。北京市的总辐射系数(透明度)明显优于成都。北京市的最大 K_t 可以达到0.88左右;而成都的最大 K_t 在0.76左右,符合四川盆地多雾的特点。综合两个城市的数据,基本上可以认为 $K_t < 0.2$ 时为全阴天,这时辐射几乎全为散射,即 K_d 几乎为1。统计结果表明,这种天气,北京占8%,成都占34%。而 $K_t \geq 0.8$ 时

• 收稿日期:2002-04-09

作者简介:苏华(1969-),男,重庆合川人,重庆大学博士研究生。主要从事建筑分析及建筑气象研究。

(北京), K_d 约为 0.18, 表明该天完全为晴天, 直射占主导地位。 K_t 在 0.2 和 0.8 之间, 其相应的 K_d 随机分布于一定范围之内。

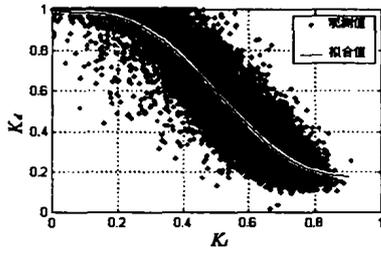


图 1 K_d 与 K_t 的关系(北京)

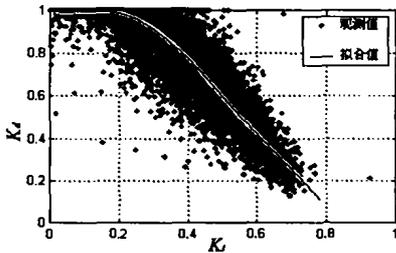


图 2 K_d 与 K_t 的关系(成都)

为了描述 K_d 与 K_t 的关系, 以前有人采用分段拟合的方法^[2], 即对 3 种天气状况各给一个拟合式, 但是各研究者给出的 3 种天气状态下 K_t 的阈值差异很大。笔者用一个式子来描述 3 种天气状况下 K_d 与 K_t 的关系。首先用 5 次多项式分别对各地全部数据进行拟合, 然后把两个城市的数据放在一起进行拟合得到 3 个模型, 最后比较得出通用模型。拟合模型见(4)式和表 1:

$$K_d(K_t) = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i K_t^i \quad (4)$$

表 1 拟合系数

模型系数	北京模型	成都模型	综合模型
a_0	1.0	1.0	0.998 1
a_1	- 0.364 3	- 0.385 4	- 0.222 0
a_2	3.934 9	6.095 6	3.965 2
a_3	- 19.796 7	- 30.452 0	- 21.775 1
a_4	25.204 3	43.481 0	28.955 1
a_5	- 9.793 5	- 20.583 3	- 11.787 6
相关系数	0.925	0.931	0.947
K_t 范围	≤ 0.885	≤ 0.767	≤ 0.885

3 模型检验与讨论

模型的回归相关系数都大于 0.9(表 1), 故回归效

果是显著的。从图 3 看, 北京模型与综合模型几乎重合, 可以认为它们等效。下面检验比较北京模型和成都模型。

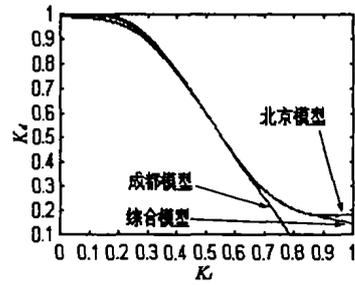


图 3 3 个拟合式之比较

由于散射与总射之间不是绝对的确定性关系, 因此不可能针对某天来检验预测的准确性。模型的准确性在长期平均统计特征上有意义。对于年或季节能耗分析, 能够保证气象参数长期统计特征相同就足够了。所以我们给出 1 ~ 12 月的日均散射值以及年均总散射值作比较(北京为 1941 年的平均值, 成都为 1938 年的平均值)。对成都, 还给出了北京模型的预测结果(表 2)。北京模型与北京观测值最大误差小于 9%(只有 3 个月的误差大于 5%), 成都模型与成都观测值的最大误差小于 4%。所以, 北京模型和成都模型对各自的数据都有良好的拟合性能。同时, 北京模型用于成都也能得到满意的结果, 北京模型与成都观测值的最大误差小于 5%。另外, 两地散射的实测值和拟合值的分布也比较接近(见图 4 和图 5)。注意到北京和成都不管是在地理纬度还是气候特征上都差别极大, 北京模型对成都数据的良好拟合性能表明: 有理由相信北京模型可以作为通用模型。在缺少散射数据而总辐射可得的地方, 可以直接用北京模型来估计散射。北京模型的通用性暗示, 通过定义散射系数 K_d 和总辐射系数 K_t , 可以在一定程度上消除季节影响和地理纬度的影响。

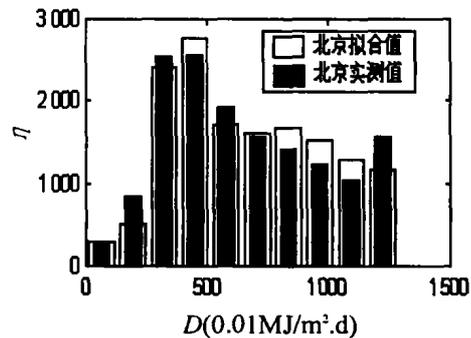


图 4 北京散射实测值与拟合值的分布比较

表 2 散射拟合值与观测值的比较

0.01MJ/m²·d

月均值	北京日散射				成都日散射			
	观测值	北京模型		观测值	成都模型		北京模型	
		预测值	误差 %		预测值	误差 %	预测值	误差 %
1 月	372.9	387.8	3.8	416.3	423.6	1.8	417.6	0.3
2 月	498.3	499.0	0	506.4	507.2	0.2	499.9	- 1.3
3 月	694.6	673.4	- 3.0	688.4	686.7	- 0.2	678.4	- 1.5
4 月	875.9	845.6	- 3.5	867.1	873.5	0.7	683.5	- 4.2
5 月	957.5	967.7	1.1	955.7	962.4	0.7	952.2	- 0.4
6 月	940.7	1023.1	8.8	966.8	966.6	0	958.2	- 0.9
7 月	941.8	973.1	3.3	946.2	960.8	1.5	953.4	0.8
8 月	812.3	830.7	2.3	878.0	897.6	2.2	892.7	1.7
9 月	635.4	647.6	1.9	717.6	690.8	- 3.7	683.7	- 4.7
10 月	484.9	456.5	- 5.9	559.0	540.2	- 3.4	533.9	- 4.5
11 月	380.2	350.9	- 7.7	439.3	431.6	- 1.8	426.8	- 2.8
12 月	331.6	329.1	- 0.8	370.4	374.0	1.9	368.7	- 0.5
年总值	241 570	243 390	0.8	253 320	253 440	0	250 830	- 1.0

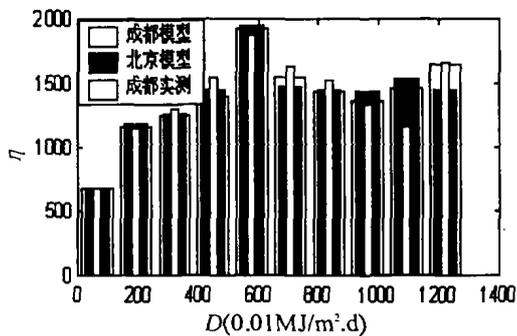


图 5 成都散射实测值与拟合值的分布比较
(注：图 5 中空心柱代表实测值)

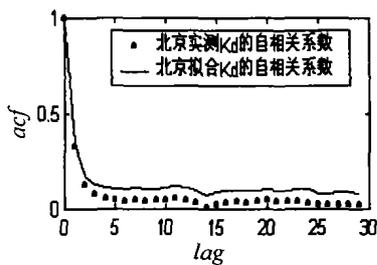


图 6 K_d 实测值与计算值的自相关(北京)

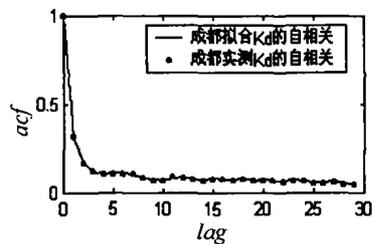


图 7 K_d 实测值与自相关(成都)

文章建模时并未考虑散射的自相关结构(这通常是时间序列分析考虑的问题), 但一个有趣的现象是, 本文的模型能抓住散射系数 K_d 的自相关结构。图 6、7 比较了 0-30 步迟后(Lag)的自相关系数(acf), 表明, 模型拟合值的自相关系数与实测值的自相关系数变化趋势一致。笔者认为, 这是因为散射的自相关结构受总辐射控制。而模型以总辐射为输入参数, 当然能保证结果的自相关特性。

文章只对数据本身进行了检验, 用模型值和实测值进行能耗计算比较还有待进行。另外, 下一步需要作的工作还有: 用其它地区的数据进一步检验模型的通用性; 按月或季节建立拟合模型, 有可能进一步提高模型的准确性; 对逐时辐射作类似的分析。

4 结 论

在北京和成都实测数据的基础上, 考察了散射与总射的关系。用 5 次多项式建立了两地的日散射分离模型。检验表明各自的模型都有良好的拟合性能。通过比较认为北京模型可作为通用模型。该模型能反映全阴天气, 多云天气以及晴天时散射与总辐射的统计关系。

参考文献:

[1] JORDAN LIU. The interrelationship and characteristic distribution of direct diffuse and total solar radiation[J]. Solar Energy, 1960, 14 (3): 1-19.
[2] NEWLAND F J. A study of solar radiation models for the coastal region of south China[J]. Solar Energy, 1989, 43(4): 227 -

- 235.
- [3] DAVIES J A. Estimating solar radiation from incomplete cloud data[J]. *Solar Energy*, 1989, 43(4): 15-18.
- [4] GUL M S. Models for obtaining solar radiation from other meteorological data[J]. *Solar Energy*, 1989, 43(1-3): 99-108.
- [5] GOPINATHAN K K. Solar sky radiation estimation techniques [J]. *Solar Energy*, 1993, 46(1): 9-11.
- [6] JAIN P C. A model for diffuse and global horizontal surfaces[J]. *Solar Energy*, 1990, 44(5): 301-308.
- [7] 江亿. 空调负荷计算用随机气象模型[J]. *制冷学报*, 1981, 7(3): 45-55.
- [8] NAGARAJA C R. The diffuse component of the daily global solar irradiation at Corvallis Oregon (U. S. A) [J]. *Solar Energy*, 1984, 38(5): 637-641.

Models to Separate Daily Diffuse Radiation from Daily Total Radiation for Energy Consumption Analysis of Air-Conditioning System

SU Hua, TIAN Sheng-yuan, SU Fen-xian

(College of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, China)

Abstract: Both total irradiation and diffuse irradiation are necessary to building energy consumption analysis. At the most cases in China, only total irradiation is available. So some method is needed to estimate diffuse irradiation. Relationship between daily diffuse irradiation and daily total irradiation is analyzed, based on data from Beijing and Chengdu. Polynomial models for Beijing and Chengdu are established to estimate K_d from K_t . Validation tests show good performance of the models. Monthly means of predicted daily diffuse irradiation is not significantly different from that of the original daily diffuse irradiation. Also, the auto-correlation function of the predicted diffuse fraction, K_d is coincident with that of the original K_d . Beijing model can accurately predict the data of Chengdu, which is significantly different from Beijing as to the climate, so it is recommended as the general model.

Key words: diffuse fraction; clearness index; polynomial fit

(责任编辑 姚 飞)

(上接第 72 页)

Design of Cooling/Heating Floor AC Systems in Residential Buildings

LU Jun¹, GAO Dian-ce¹, CHEN Jing²

(1. College of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: This paper puts forward a new way in air-conditioning, which combines the fresh-air supply unit and such floor radiation system for the dehumidification and cooling in summer or heating in winter. By analyzing its advantages and limitations, it is found that this so called Cooling/Heating Floor AC System can improve the IAQ of residential building while keep high efficiency quality. It is also recommended that an methodology for the HVAC system designing, which will ensure the reduction of energy cost of users.

Key words: cooling/heating floor; floor heating; energy saving residential buildings; air conditioning

(责任编辑 陈移峰)