

建筑能耗分析用逐时降雨模型(1): 降雨判断^{*}

华南理工大学 亚热带建筑教育部重点实验室 孟庆林[☆]

东莞市建筑技术咨询有限公司 王志刚

华南理工大学 亚热带建筑教育部重点实验室 赵立华

摘要 通过分析降雨日与非降雨日气象参数的差异,应用判断分析方法,由实测气象数据建立日降雨判断方程和逐时降雨判断方程,用得到的方程对模拟气象数据按月先进行日降雨判断再对降雨日进行降雨时刻判断,为降水量的分配确定了时间对象。

关键词 降雨模型 气象参数 日降雨 逐时降雨 判断分析

Hourly rainfall model for building energy simulation(1): rainfall identification

By Meng Qinglin[★], Wang Zhigang and Zhao Lihua

Abstract Through an analysis of the difference of weather data between rainy day and rainless day, builds identification equations for the rainy day and rainy hour based on measured weather data by using the judgment analysis method. For simulation weather data, uses those equations to identify rainy day first by month and then identifies the rainy hour, thus to distribute rainfall in time scale.

Keywords rainfall model, weather data, daily rainfall, hourly rainfall, judgment analysis

★ South China University of Technology, Guangzhou, China

①

1 研究背景

亚热带地区受季风气候的影响,降水丰富,有非常明显的季节性,且高温期和多雨期重合。采用被动蒸发冷却技术,结合该地区的气候特点,利用多孔蓄水材料或其他建筑构造蓄存天然降水,在室外其他气象要素作用下可以实现建筑和区域环境的被动式蒸发冷却,降低建筑的能耗。但目前世界各国用于建筑全年逐时能耗模拟计算的各种程序或软件,诸如美国的 BLAST, DOE-2, EnergyPlus, 英国的 ESP-r, APACHE-HVAC, 丹麦的 BSim2000, 瑞典的 DEROB-LTH, 加拿大的 EE4 等全球 40 多个著名软件的气象模型中,均未包括

逐时降雨模型,因此目前国际上还无法实现对于有降雨影响时建筑能耗的精确描述,这是导致目前以无雨天气气象模型为基础作出的全年建筑能耗模拟结果大于实际值的关键原因之一。中国气候类型较发达国家复杂,在年降雨日数大于 100 d 的气候区域,人口多达 7 亿,建筑物保有量巨大^[1-3],建立典型气象年的降雨模型,对于实现这类地区建筑能耗的精细模拟及相关的建筑节能技术研究意义重大。

①[☆] 孟庆林,男,1963 年 10 月生,博士,教授,博士生导师
510641 广州五山路华南理工大学建筑节能与 DeST 研究中心
(020) 88370080
E-mail: mengqinglin@163.net
收稿日期:2006-04-29
修回日期:2006-11-09

^{*} 国家自然科学基金重点项目(编号:50538040),粤港关键领域重点突破项目(编号:2004A30310001)

本文工作是在现有的 MEDPHA(meteorological data producer for HVAC analysis)程序生成的典型气象年数据基础上,通过对数据间关系的分析,确定降雨时刻,并采用随机模拟的方法确定月降水量,再确定日降水量,最后确定逐时降水量。

2 数据来源

2.1 气象数据

为完成本课题,从广州气象局购买如下气象数据:

- 1) 2003 年全年逐时气象数据(太阳辐射数据只有 5~12 月份);
- 2) 2004 年全年逐时气象数据;
- 3) 1971—2000 年旬降水资料;
- 4) 1993—2002 年逐日降水资料。

2.2 气象模拟软件

模拟的气象参数采用全年逐时气象数据自动生成程序 MEDPHA 生成的数据。MEDPHA 由清华大学自主开发,采用全 Visual 界面,如图 1 所示。所有的气象数据是基于中国国家气象局对 193 个城市 20 年的实测数据通过一套随机算法模拟计算生成的。输出的结果包括:干球温度、湿球温度、露点温度、比焓、相对湿度、含湿量、水蒸气分压力、水平面直射辐射照度、水平面散射辐射照度、水平面总辐射照度、法向辐射照度。

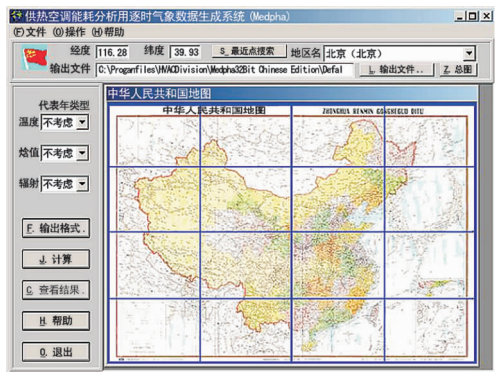


图 1 MEDPHA 程序界面

3 判别分析

MEDPHA 程序中所用的气象模型采用了分段模拟的思想,即:模拟过程分为两部分进行,先将日综合量的逐日变化看作随机过程,根据多维随机过程原理,采用时间序列的方法模拟,然后再根据这些模拟出的逐日参数随机模拟出最终要求的逐时参数。因此,对 MEDPHA 的气象数据进行降雨

判断时也应先判断日降雨,再对有降雨的天数进行逐时判断^[4-5]。

实测日气象参数有日平均干球温度 t_i 、湿球温度 t_s 、相对湿度 φ 、水蒸气分压力 p_q ,日太阳总辐射总量、直射辐射总量、散射辐射总量。将实测的日数据作为一个训练样本, MEDPHA 模拟数据为待检验样本,计算训练样本的“距离”,得到一个线性判别式。用得到的判别式去判断模拟的数据样本是否呈现降雨特征。

由于判别准则的不同,有各种判断分析方法,如距离判别法、Bayes 判别法、逐步判别法。本文采用距离判别法^[6]。

4 判断日降雨

4.1 数据预处理

对 2003 年和 2004 年观测的逐时气象数据,以及模拟的逐时气象数据的干球温度、湿球温度、相对湿度、水蒸气分压力求日平均值,对总辐射照度、直射辐射照度、散射辐射照度求其日总量。

4.2 降雨日与非降雨日气象参数差别的分析

每月中不同季节降雨发生以及伴随的气象参数的变化各不一样。将 2003 年和 2004 年每月的降雨日和非降雨日分开形成两个不同的样本:有降雨样本和无降雨样本,分别求每月两个样本各参量的平均值,并比较两者的差异,结果如图 2 所示。

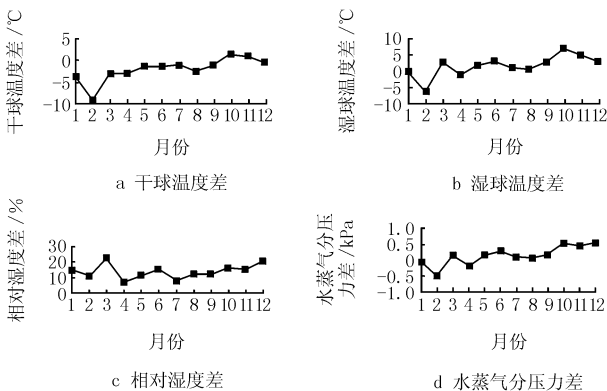


图 2 降雨日与非降雨日月平均值比较

降雨日的太阳日总辐射总量、直射辐射总量、散射辐射总量明显偏小,其中 1~3 月份和 11, 12 月份这 5 个月降雨日的太阳日总辐射总量只有非降雨日的 25%~30%; 4~10 月份由于降雨时间缩短,降雨日的太阳日总辐射总量是非降雨日的 50%~80%。

每个月份降雨日和非降雨日的干球温度、湿球

温度、相对湿度、水蒸气分压力的差是不一样的,体现了各个季节降雨的差异性。由图 2 可知,除 10 月份和 11 月份外,其他月份降雨日的平均温度低于非降雨日的平均温度。1~3 月份降雨日的平均干球温度明显低于非降雨日,要低 2~9℃。大多数月份降雨日的湿球温度比非降雨日的湿球温度高 0~7℃。相对湿度的差异明显,降雨日比非降雨日增大 6.5%~23%,除 4 月份和 7 月份外其他月份增大得比较显著。两种不同样本水蒸气分压力变化规律性不强,有的月份降雨日比非降雨日小,有的月份降雨日比非降雨日大。

4.3 判断用参数的确定

降雨日和非降雨日的太阳辐射量、温度和湿度存在明显差异,所以应选用能体现三个因素的参数

作为判断用变量。由于湿球温度和干球温度能够综合体现空气的湿度,湿度在相对湿度和水蒸气分压力中得到体现,故不选用湿球温度作为判断用变量。

为使结果简单同时便于使用,统一采用干球温度、相对湿度、日总辐射总量、日直射辐射总量作为判断用变量,得到的判断方程如下:

W1 = C + C1t + C2φ + C3Qt + C4Qd (1)

W2 = C + C1t + C2φ + C3Qt + C4Qd (2)

式(1),(2)中 W1,W2 为日降雨判断距离,W1 表示有降雨,W2 表示无降雨,W1>W2 时表示该天降雨,否则相反;t 为干球温度,℃;φ 为相对湿度,%;Qt 为日太阳总辐射总量,0.01 MJ/m²;Qd 为日直射辐射总量,0.01 MJ/m²;C 为常数,C1,C2,C3,C4 为系数,见表 1。

表 1 判断方程中的常数和系数

月份	判断距离	C	C1/℃ ⁻¹	C2/% ⁻¹	C3/(m²/(0.01 MJ))	C4/(m²/(0.01 MJ))
1	W1	-36.933 8	-1.054 94	1.051 02	0.026 38	-0.004 75
	W2	-44.888 4	-1.471 69	1.259 63	0.018 46	0.001 92
2	W1	-83.241 9	1.668 59	1.508 06	0.029 54	-0.001 77
	W2	-63.565 4	1.053 15	1.438 15	0.016 41	0.002 62
3	W1	-52.902 9	1.757 23	0.783 32	0.022 78	0.000 034 4
	W2	-53.258 3	1.225 95	0.937 15	0.017 97	0.005 87
4	W1	-171.898	1.520 58	3.416 41	0.054 7	-0.026 67
	W2	-171.389	1.065 97	3.556 24	0.053 21	-0.023 94
5	W1	-207.205	0.920 98	4.988 73	0.025 35	0.007 85
	W2	-246.085	0.242 66	5.717 8	0.026 95	0.008 68
6	W1	-426.001	19.642 29	4.069 32	0.006 96	0.003 43
	W2	-453.574	19.499 87	4.494 68	0.007 21	0.004 74
7	W1	-2 358	91.108 61	27.922 74	0.023 25	0.052 99
	W2	-2 417	92.146 74	28.375 73	0.019 75	0.055 5
8	W1	-2 073	95.715 15	19.267 39	-0.068 27	0.060 65
	W2	-2 089	95.507 24	19.579 54	-0.069 35	0.061 16
9	W1	-449.567	15.917 73	5.964 66	0.048 69	-0.030 23
	W2	-498.581	15.845 14	6.606 1	0.053 58	-0.034 03
10	W1	-118.579	2.927 52	0.041 69	-0.009 37	2.239 55
	W2	-132.128	2.769 74	0.048 68	-0.019 36	2.560 12
11	W1	-114.054	-0.277 19	0.029 46	0.015 09	2.828 41
	W2	-125.928	-0.260 52	0.028 5	0.015 27	2.991 61
12	W1	-45.147 2	0.621 15	0.011 86	0.016 32	0.860 58
	W2	-52.956 4	1.464 43	0.001 2	0.017 55	0.862 51

4.4 日降雨判断结果及其修正

由于自 5 月份开始,广州地区进入雨季,降雨日和非降雨日阴天差别不是非常明显,导致在判断时将阴天的天气状况判断为降雨。另外模拟数据体现的是历年气候的统计结果,模拟数据也削弱了不同天气状况的差别,所以有必要对这样的结果进行修正。修正方法为参考历年月平均降雨天数观测值,按降雨判断方程计算得到的距离大小进行修正,使其降雨天数与历年观测值接近。判断结果和修正结果见表 2。

表 2 日降雨判断结果和修正结果

月份	判断结果/d	修正结果/d
1	4	4
2	8	8
3	18	15
4	17	14
5	24	17
6	23	15
7	28	12
8	22	12
9	13	13
10	8	8
11	13	6
12	1	3

修正后的结果为全年的总降雨日数为 127 d, 分布规律与历年气候统计值接近。

5 逐时降雨判断

用判断分析方法根据降雨日的数据判断该日中的降雨时刻。由于气候的季节性变化,发生在不同季节的降雨对气象参数的影响不同,故对每月的数据分别进行判断。同样由于发生在白天的降雨和夜间的降雨伴随的参数变化各不相同,故对白天和夜间分别进行判断。降雨发生时伴随有温度、相对湿度、水蒸气分压力、太阳辐射的变化。以实测降雨日逐时气象数据为训练样本,通过分析这些参数的大小和变化幅度得出降雨和非降雨判断方程,运用得到的方程对判断出的降雨日进行逐时判断,确定模拟数据中逐时降雨时刻。

5.1 数据预处理

5.1.1 求干球温度、相对湿度、水蒸气分压力的逐时差值,得到干球温度差 Δt ,相对湿度差 $\Delta \varphi$,水蒸气分压力差 Δp_q 。

5.1.2 求每月每天各对应时刻的最大总辐射照度 $E_t(i)$,最大直射辐射照度 $E_d(i)$,最大散射辐射照度 $E_s(i)$, i 表示时刻。将每月的逐时太阳辐射照度与相应时刻的最大值相除得到总辐射率 L_t ,直射辐射率 L_d ,散射辐射率 L_s 。

5.1.3 对数据进行分类,以太阳总辐射照度为标准,将总辐射率大于 0 的时刻归为白天时刻,总辐射率等于 0 的时刻归为夜间,以便分别对白天时刻和夜间时刻进行判断。

5.2 分析降雨日与非降雨日气象数据的差别

将实测的逐时数据每月中的降雨日按太阳辐射的有无分成白天、夜间两部分,再将白天和夜间时刻的降雨时刻和非降雨时刻分开形成 4 个不同的样本:白天有降雨样本、白天无降雨样本、夜间有降雨样本、夜间无降雨样本。从分析的结果得到,降雨时刻的温度比非降雨时刻平均低 3℃,相对湿度平均大 11%。白天非降雨时刻的 L_t 平均为 0.5, L_d 平均为 0.26, L_s 平均为 0.6;白天降雨时刻的 L_t 小于 0.3, L_d 值接近于 0, L_s 平均为 0.3 左右。可见降雨和非降雨时刻的太阳辐射变化非常明显,所以逐时的降雨判断应对白天和夜间分别进行,且白天应根据温度的变化 Δt ,相对湿度 φ 及其变化 $\Delta \varphi$,水蒸气分压力变化 Δp_q ,太阳辐射的总辐射率 L_t 、直射辐射率 L_d 、散射辐射率 L_s 等参数

共同进行判断;夜间根据温度的变化 Δt ,相对湿度 φ 及其变化 $\Delta \varphi$,水蒸气分压力变化 Δp_q 等参数共同判断。由于不同季节参数变化的幅度有差别,应逐月判断。

5.3 判断结果

用对应的实际月份数据作为训练样本,对于实测数据中降雨天数只有一两天的 11 月份和 12 月份,其训练样本取 2003 年的 11 月和 12 月两个月份的数据。判断方程如下:

$$W'_1 = C' + C'_1 \Delta t + C'_2 \Delta \varphi + C'_3 \varphi + C'_4 \Delta p_q + C'_5 L_t + C'_6 L_d + C'_7 L_s \tag{3}$$

$$W'_2 = C' + C'_1 \Delta t + C'_2 \Delta \varphi + C'_3 \varphi + C'_4 \Delta p_q + C'_5 L_t + C'_6 L_d + C'_7 L_s \tag{4}$$

式(3),(4)中 W'_1, W'_2 为逐时降雨判断距离, W'_1 表示有降雨, W'_2 表示无降雨, $W'_1 > W'_2$ 时表示此时有降雨,否则相反; C' 为常数, $C'_1 \sim C'_7$ 为系数。1 月份判断方程中的常数和系数见表 3,其他月份略。

表 3 1 月份判断方程中的常数和系数

	白天		夜间	
	W'_1	W'_2	W'_1	W'_2
C'	-23.978 68	-33.704 57	-18.213 7	-27.708 99
$C'_1/^\circ\text{C}^{-1}$	-0.656 07	0.824 41	-17.394 5	-17.745 69
$C'_2/\%^{-1}$	0.571 93	0.990 59	-3.153 35	-3.219 6
$C'_3/\%^{-1}$	0.575 64	-0.052 13	0.492 43	0.586 46
C'_4/Pa^{-1}	-0.023 86	0.711 57	0.198 2	0.198 84
C'_5	5.941 15	4.498 54	0	0
C'_6	14.124 59	16.223 32	0	0
C'_7	16.990 8	13.121 43	0	0

表 4 给出了月逐时降雨判断误差。

表 4 月逐时降雨判断误差

月份	白天降雨错判率/%	夜间降雨错判率/%
1	8.19	10.78
2	3.74	11.81
3	11.05	15.09
4	7.01	12.38
5	9.49	12.66
6	9.67	15.30
7	10.09	8.90
8	9.05	18.77
9	8.55	35.78
10	16.22	11.86
11	20.59	20.21
12	20.59	20.21
平均	11.19	16.15

6 结论

6.1 在采用距离判别法判断模拟数据是否降雨的

以直观地反映出地下洞室多孔墙体湿传递过程中墙体内部凝结的情况。

3.3 在室内参数变化条件下,对深埋地下洞室墙体的热湿传递进行了数值模拟,得到了墙体温度、湿度、热流率、湿流率的变化规律。结果表明,墙体传热过程趋于稳定的时间远小于传湿过程。

参考文献

- [1] Wong S P W, Wang S K. Fundamentals of simultaneous heat and moisture transfer between the building envelope and the conditioned space air[G]//ASHRAE Trans, 1990, 96(2):73-83
- [2] Luikov A V. System of differential equation of heat and mass transfer in capillary porous bodies[J]. Int J Heat Mass Transfer, 1975,18(10):1-14
- [3] Philip J R, de Vries D A. Moisture movement in porous materials under temperature gradients[G]//Transactions of the American Geophysical Union, 1957, 38(2):222-232
- [4] Whitaker S. Simulation heat mass and momentum transfer in porous media: a dry theory of dry[J]. Advances in Heat Transfer, 1977,13:119-203
- [5] Arfvidsson J. Isothermal moisture flow in building materials: modeling measurements and calculations based on Kirchhoff's potential [J]. Building and Environment, 2000,35(6): 519-536
- [6] 杨世铭. 传热学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社, 1987
- [7] 曾丹苓,敖越,张新铭,等. 工程热力学[M]. 北京:高

(上接第 21 页)

过程中,对降雨引起其他参数变化较大的月份,如 1~3 月和 10~12 月,错判率小,判断效果很好;对 4~9 月份的错判率高,效果略微不足。这是由于模拟数据是历年数据的统计结果,与实际某一年的数据存在差别,通过对这部分结果的修正可以得到满意的结果,且 4~9 月份降雨频率大,错判对于分析能耗的影响不大。

6.2 全年的总降雨日数为 127 d,分布规律与历年气候统计值接近。

6.3 全年 12 个月逐时降雨判断结果显示,白天的判断误差要明显小于夜间,白天的判断误差平均为 11.19%,夜间判断误差平均为 16.15%。这是由于白天的降雨和非降雨时刻气象参数间的差别明显,夜间降雨和非降雨的气象参数差别没有白天明显。逐时降雨的结果除个别误判,其他均比较理

想。对个别太阳辐射照度较大却判为降雨的时刻进行修正能得到理想的结果。

- 等教育出版社,2002
- [8] 林瑞泰. 多孔介质传热传质引论[M]. 北京:科学出版社,1995
- [9] 陈启高. 建筑热物理基础[M]. 西安:西安交通大学出版社,1991
- [10] Marit S V. Moisture transfer in organic coatings on porous materials [D]. Norway: Building and Construction Engineering Norwegian University of Science and Technology, NTNUN-7034 Trondheim, 1998
- [11] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社,2001
- [12] 谭浩强,田淑清. FORTRAN 77 结构化程序设计[M]. 北京:高等教育出版社,1985
- [13] 地下建筑暖通空调设计手册编写组. 地下建筑暖通空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1983
- [14] 裴清清,陈在康. 几种常用建材的等温吸放湿线试验研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版,1999,26(4):96-99
- [15] 马庆芳,方荣生,项立成,等. 实用热物理性质手册[M]. 北京:中国农业机械出版社,1986
- [16] 沈韞元,白玉珍,陈玉梅,等. 建筑材料热物理性能[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1981
- [17] 陶智,康宁. 建筑结构中的湿迁移[J]. 力学进展, 1994,24(4):441-455
- [18] 杨述任,周文铎,王裕湘,等. 地下水电站厂房设计[M]. 北京:水利电力出版社,1993

想。对个别太阳辐射照度较大却判为降雨的时刻进行修正能得到理想的结果。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. GB 50178—93 建筑气候区划标准[S]. 北京:中国计划出版社,1993:132-134
- [2] 中国建筑科学研究院,重庆大学. JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001:18-19
- [3] 中国建筑科学研究院,广东省建筑科学研究院. JGJ 75—2003 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003:26-30
- [4] 江亿. 空调负荷计算用随机气象模型[J]. 制冷学报, 1981(3):45-55
- [5] 江亿. 建筑环境系统模拟分析方法——DeST[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006:120-122
- [6] 范金城,梅长林. 数据分析[M]. 北京:科学出版社, 2002:280-282