

广州居住建筑空调能耗实测研究

广州市建筑科学研究院 任 俊[☆]

西安建筑科技大学 刘加平

摘要 对一栋 9 层住宅楼顶层和 8 层的两住宅单元作了空调能耗和室内温度的实测,介绍了住户的空调使用情况。将实测数据与采用 DOE-2 程序所作理论计算结果加以比较,分析了影响空调能耗的屋顶构造、窗墙比、室内设定温度等关键因素。

关键词 居住建筑 空调 能耗

Research on energy consumption of residential air conditioning in Guangzhou

By Ren Jun[★] and Liu Jiaping

Abstract Tests the energy consumption of air conditioning and indoor temperature of two residences respectively located in the top and 8th storey of a nine-storey residential building. Presents the service condition of air conditioning. Compares the test date with the theoretical calculation results gained by DOE-2 software. Analyses the key factors influencing the energy consumption, including roof construction, ratio of window to wall, indoor set temperature, etc.

Keywords residence, air conditioning, energy consumption

★ Guangzhou Institute of Building Science, Guangzhou, China

①

居住建筑空调能耗的理论计算是建立在特定条件下、固定的生活模式时的结果,这些结果是进行建筑能耗分析和比较的基础。而空调的实际使用情况与住户的生活习惯等众多因素有关,空调能耗值与理论值基准相差甚远。在居住建筑节能研究中,已经对空调能耗进行了宏观的调查与分析^[1],为了具体了解居住建筑的实际能耗,我们选取某典型住宅在 2001 年 8 月进行了实测,在此基础上进行研究分析。

1 试验建筑和试验方案

1.1 试验建筑概况

试验建筑选取一栋坐落在广州市新城区的 9 层住宅楼,该建筑窗墙面积比为 0.13,建筑的体型系数为 0.47。测试房间分别为 804, 904 两套居室,其中 904 房在 804 房之上,位于顶层,每套建筑面积 96 m²。904 住 3 人,平时家中有 1 人,804 住 4 人,平时家中有 2 人。厅、主卧室、小卧室、书房均装有空调。

1.2 试验方案

1.2.1 在 904, 804 房布置自动温湿度记录仪,每隔 0.5 h 自动测试记录温度情况,布点情况见表 1。

表 1 自动温湿度记录仪布点情况

序号	地 点	空调使用情况
1	904 小卧室	比较频繁
2	904 书房	使用时开
3	904 客房	不开
4	904 厅	使用时开
5	904 主卧室	睡觉开
6	904 主卧室屋面内表面	
7	804 厅	比较频繁
8	804 主卧室	比较频繁
9	804 北小卧室	比较频繁
10	804 南小卧室	比较频繁
11	室外	

①☆ 任俊,男,1959 年 11 月生,西安建筑科技大学在读博士研究生,教授级高级工程师
510030 广州市广卫路 4 号
(020)26095210

E-mail: renjun@gids.com.cn

收稿日期:2002-12-10

修回日期:2003-06-25

1.2.2 按时记录 904,804 房的用电量,扣除照明、电视等基础用电后,得到空调耗电量及一天中各时刻的用电量。

1.2.3 8 月 3~5 日,904 除厨房、卫生间、客房外其余房间开空调,室温控制在 28℃,分析额定能耗。

1.2.4 对 904 空调的开关情况作记录,了解使用习惯。

1.2.5 测 904 主卧室屋面内表面温度及上部架空层内空气温度,分析隔热效果及表面辐射温度对室内的影响。

2 DOE-2 理论计算

2.1 计算原理

采用 DOE-2 程序分析建筑能耗及影响其大小的因素。DOE-2 程序根据输入的建筑情况(包括建筑结构、围护结构材料、供暖空调方式与系统分布、室内人员活动规律、照明情况等)和室内设定温度值的要求,动态计算出建筑物的全年能耗情况,并以各种表格形式输出。

2.2 计算模型

考虑到 DOE-2 程序的限制,计算时将 9 层建筑简化为 6 层,其结果不影响该建筑的综合能耗指标及顶层与其下一层房间的各种对比关系。图 1 为建筑模型图。

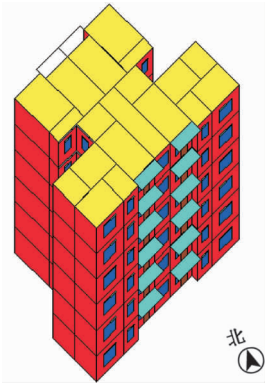


图 1 试验建筑模型图

试验建筑每层 4 户,其中起居室和卧室为空调房间,厨房、卫生间为非空调房间。24 户人家分为 24 个独立的空调系统,每天照明 5 h,照明负荷取 2.8 W/m²,空调房间的换气次数为 1 h⁻¹,空调能效比取 2.5,厨房、卫生间的显热与潜热之比取 1 : 0.391,空调设定温度为 26℃,外墙和屋面的外表面太阳辐射吸收率取 0.7,试验建筑的围护结构构造见表 2。

2.3 热负荷计算

测试房间 8 月及全年热负荷见表 3,4。
由表 3,4 可以得到:a) 通风负荷占热负荷的比例较大,非顶层房间约为 50%,顶层房间约 40%;b) 顶层房间受屋面传热的影响较大,同等条件下较下层房间空调负荷增加 30%~40%;c) 8 月是全年空调负荷最大的月份之一,一般占到全年

表 2 围护结构构造

构 造	
外 墙	20 mm 水泥砂浆+180 mm 砖+20 mm 石灰水泥砂浆
分户墙	20 mm 石灰水泥砂浆+180 mm 砖+20 mm 石灰水泥砂浆
分室墙	20 mm 石灰水泥砂浆+120 mm 砖+20 mm 石灰水泥砂浆
楼 板	20 mm 水泥砂浆+100 mm 钢筋混凝土+10 mm 石灰水泥砂浆
屋 面	35 mm 砖+120 mm 空气层+100 mm 钢筋混凝土+10 mm 石灰水泥砂浆
外 窗	铝合金单层玻璃窗,遮阳系数 0.9

表 3 试验建筑 8 月份热负荷

	804				904			
	厅	卧室	合计	比例	厅	卧室	合计	比例
	/(kWh)	/(kWh)	/(kWh)	/%	/(kWh)	/(kWh)	/(kWh)	/%
外墙传热	234	603	837	32	244	603	847	24
屋面传热					468	387	855	25
通风换气	784	648	1 432	55	784	648	1 432	41
窗传热	40	59	99	4	47	58	105	3
窗辐射得热	88	132	220	8	84	137	221	6
照 明	14	11	25	1	14	11	25	1
合 计	1 160	1 453	2 613	100	1 641	1 844	3 485	100

表 4 试验建筑全年热负荷

	804				904			
	厅	卧室	合计	比例	厅	卧室	合计	比例
	/(kWh)	/(kWh)	/(kWh)	/%	/(kWh)	/(kWh)	/(kWh)	/%
外墙传热	1 335	3 161	4 496	30	1 339	3 175	4 514	24
屋面传热					2 367	1 946	4 313	23
通风换气	4 246	3 536	7 782	52	4 167	3 487	7 654	40
窗传热	172	231	403	3	176	234	410	2
窗辐射得热	791	1 208	1 999	13	740	1 187	1 927	10
照明	106	92	198	2	104	90	194	1
合计	6 650	8 228	14 878	100	8 893	10 119	19 012	100

空调负荷的 18%左右。

2.4 空调耗电量

空调设定温度不同时,804 房和 904 房的空调耗电量比较见表 5。

表 5 不同空调温度设置时的空调耗电量

温度设定 /℃	804 耗电量 /(kWh)		904 空调耗电量 /(kWh)		年耗电量指标 /(kWh/m ²)
	8 月	全年	8 月	全年	
26	743	5 071	1 068	7 691	32.17
27	630	4 386	909	7 040	23.85
28	513	3 736	752	6 189	16.42
29	395	3 137	605	5 438	10.46
30	285	2 651	465	4 791	6.13

2.5 封闭房间不开空调时的室内空气温度

不开空调时封闭,顶层房间比下层房间温度高

1.3~1.6℃,见表6。

表 6 封闭房间室内空气温度 ℃

	804				904			
	厅	卧室	客房	厨卫	厅	卧室	客房	厨卫
最高温度	34.9	36.1	35.3	34.6	36.4	37.4	36.9	36.2
最低温度	28.1	27.7	28.1	27.9	27.0	26.7	27.1	26.9

3 室内温度和空调能耗实测结果

3.1 房间温度测试

904 房温度控制:8月3~5日除厨房、卫生间、客房外,所有厅房均开空调,温度设定为28℃。8月6~30日按生活习惯开关空调,温度仍预设28℃。804 房温度控制:按生活习惯开关空调,预设温度为26℃。

3.1.1 主卧室的温度比较(见图2)

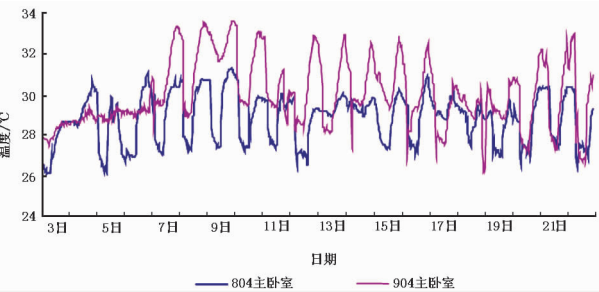


图 2 主卧室温度比较

8月6~22日,904主卧室平均温度30.3℃,而804主卧室平均温度29.0℃,比904低1.3℃。每晚22:00~8:00主卧室一般使用空调,904主卧室平均温度29.0℃,而804主卧室平均温度28.0℃,比904低1.0℃。由于904在顶层,主卧室最高温度明显高于804。

3.1.2 小卧室的温度比较(见图3)

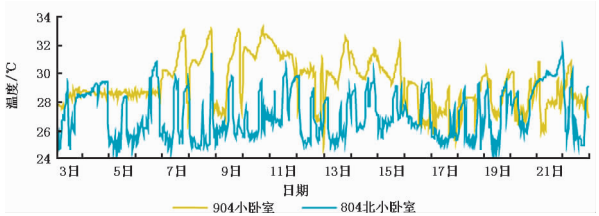


图 3 小卧室温度比较

8月6~22日,904小卧室平均温度29.4℃,而804小卧室平均温度27.0℃,比904低2.4℃。每晚22:00~8:00的空调使用期间,904小卧室平均温度29.0℃,而804小卧室平均温度26.3℃,比904低2.7℃。

3.1.3 厅的温度比较(见图4)

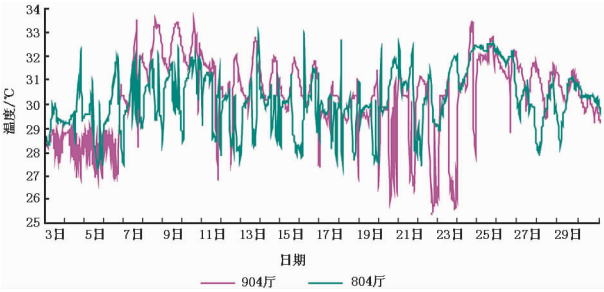


图 4 厅温度比较

8月3~6日,804厅的温度高于904厅;8月7~19日,804厅的温度低于904厅;8月20~24日,804厅温度高于904厅;之后两室厅的温度接近,说明两室在温度控制上按生活需要,随机性大。测温期间,804厅平均温度30.2℃,904厅平均温度30.3℃。

3.1.4 间歇空调与不开空调房间的平均温度比较

904 客房不开空调,对比封闭情况下室内温度的变化,与904小卧室的空气温度比较见图5。

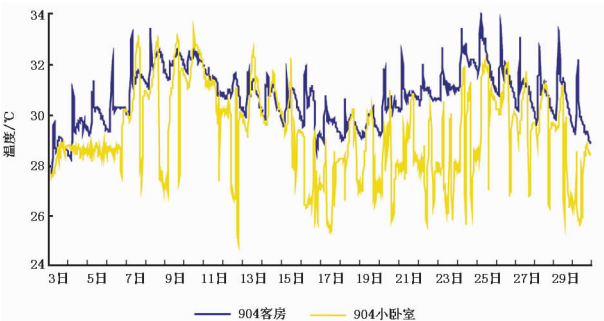


图 5 904 客房与小卧室温度对比

客房受东向窗太阳辐射的影响,最高温度出现在上午8:00~10:00;客房的平均温度为30.7℃,小卧室间歇使用空调平均温度为29.2℃,客房温度高1.5℃;在小卧室使用空调的22:00~8:00期间,平均温度为27.6℃,而同期客房的平均温度为30.6℃,客房高3℃。

3.1.5 间歇空调与不开空调房间一天中温度变化比较

在904房,选间歇空调的主卧室和不开空调的书房进行比较,两室均处于南向,8月28日天气晴朗,室外最高气温33.0℃,主卧室夜间休息时开空调,两室的温度比较见图6。

在6:30以前,主卧室开空调降温,温度低于书房温度;7:00以后,主卧室空调关闭,室温上升,主卧室由于窗的面积大,吸收太阳辐射热多于书房,

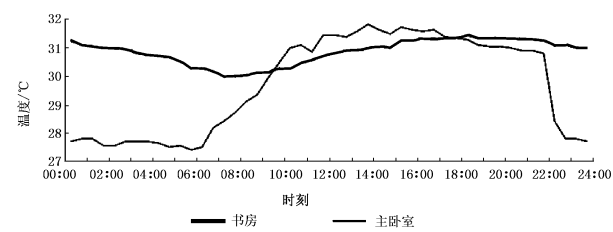


图 6 间歇空调和不开空调房间温度比较(8月28日)

在下午 14:00~18:00 期间,温度高于书房,最高值达到 31.8℃;晚间 22:00 开空调,温度开始下降。

表 7 住户用电量统计														kWh	
日期		3 日	4 日	5 日	6 日	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日
904	用电量	11	19	22	18	12	9	13	11	16	14	7	5	6	13
	空调能耗	7	15	18	14	8	5	9	7	12	10	3	1	2	9
804	用电量	9	7	42	28	33	41	38	32	24	31	19	27	31	24
	空调能耗	5	3	36	22	27	35	32	26	18	25	13	21	25	18
日期		17 日	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日	26 日	27 日	28 日	29 日	30 日
904	用电量	9	9	10	23	22	31	36	20	8	13	8	8	8	7
	空调能耗	5	5	6	19	18	27	32	16	4	9	4	4	4	3
804	用电量	17	23	26	13	25	41	34	18	3	22	36	31	18	13
	空调能耗	11	17	20	7	19	35	28	12	0	16	30	25	12	7

注:8月4日、25日,804房家中无人,8月14日904房家中无人。

由表 7 可知,室内有无及生活习惯对空调用电量的影响较大,室内空调预设温度是关键因素;8月22~23日,室外气温高,两户用电量均较高。

在测试期间,804房总用电 726 kWh,其中空调用电 569 kWh,占总用电量的 78.4%,平均每天

由于夜间通风的原因,书房温度在 8:30 前一直下降,之后,随室外温度的升高而上升,下午 18:00 时达到最高值 31.3℃。

3.2 用电量统计

904,804 房的电能统计采用逐时电表记录的方式,在对两户的家用电器、电炊具的功率和使用频率调查后,取 904 房的基础能耗为 4 kWh,804 房的基础能耗,除 8 月 3,4,25 日因很少有人活动取 4 kWh 外,其余平均取 6 kWh,统计结果见表 7。

总用电 25.9 kWh;904 房总用电 388 kWh,其中空调用电 276 kWh,占总用电量的 71.1%,平均每天总用电 9.2 kWh。

3.3 904 房空调的使用习惯

904 房测试期间空调开关时间统计见表 8。

表 8 904 房空调开关时间统计表																h	
日期	3 日	4 日	5 日	6 日	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日		
主卧室	24	24	24	21	11	7.5	2.5	10	13.5	9.5	7.5		2	3	4		
小卧室	24	24	24	20	3	5.5	9	3	1	7			6	12.5	18		
厅	24	24	24	20	1			1	3.5	2.5				2	0.5		
书房					5	2			2								
日期	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日	26 日	27 日	28 日	29 日	30 日	合计	平均		
主卧室	11.5	1.5	10	9.5	7	8	6.5	4.5	16	9	9			256	8.4		
小卧室	1.5	13	16	13	18	20.5	14.5	10	3	4.5	1.5	9	12.5	294	9.7		
厅	1.5	1.5	6	7.5	10.5	3.5	4							137	4.6		
书房							6							15	3.8		

8 月 14 日,904 房无人,没有开空调。除恒温控制阶段外,卧室空调使用最频繁,以满足住户下班后及夜间睡眠室内温度舒适的需要。统计 804,904 两户各空调房间空调使用时间,厅在周末空调使用时间明显高于平时,书房空调使用带有随机性,见表 9。

3.4 904 房主卧室空气温度和屋面温度的比较(见图 7)

表 9 各房间空调使用时间

h							
904				804			
厅	小卧	书房	主卧	厅	小卧	书房	主卧
周末	8.2	13.2	2.0	13.4	7.8	20.3	0.8
平时	4.4	12.1	2.6	8.0	5.1	19.7	9.1

8 月 3~6 日 18:00,904 房全空调控温,主卧室的平均温度为 28.3℃,屋面的内表面温度波动大,平均 29.5℃。

8 月 6~25 日,904 主卧室的平均温度为 30.5

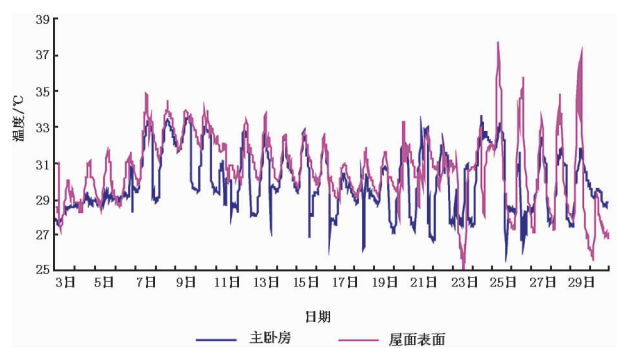


图 7 904 房主卧室空气温度和屋面温度

℃,屋面内表面温度平均为 31.2℃。8月7日18:00最高温度达到 33.7℃,高于当天室外最高气温。

屋面内表面的最高温度出现在 19:00~20:00,最低温度出现在 6:30~7:00。

8月25~30日,屋面架空层的平均温度为 29.9℃,同期主卧室空气平均温度为 30.9℃,但架空层内温度波动大,12:00 高达 38.0℃,5:00~6:30 最低,只有 25.6℃,低于屋面内表面温度,说明夜间架空层散热,一定程度减少了空调能耗。

4 试验结果分析

4.1 空调能耗与室外温度的关系

将测试期间 28 天的室外温度按增序排列,其对应的空调能耗初看没有什么规律,但认真分析数据,剔除一些使用上的异常因素,可以得到空调能耗与室外空气温度的关系,见图 8。

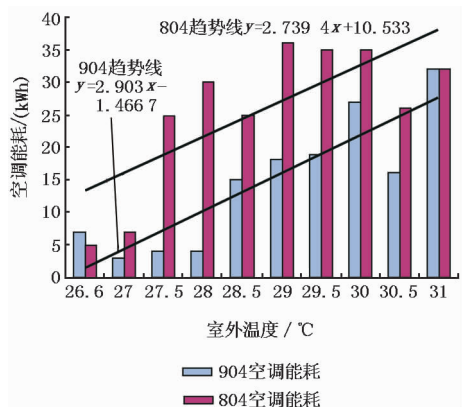


图 8 空调能耗与室外温度的关系

从图中可以看出,随着室外温度的升高,空调能耗呈线性增加,由于室内空调预设温度不同,804 房的空调能耗明显高于 904 房。

4.2 周末与工作日空调能耗比较

周末由于住户在家的时间相对较长,开空调时

间较平时为多,排除某些能耗使用明显异常的天数,实测数据分析表明,周末能耗高于工作日,详见表 10。

表 10 空调能耗

	工作日/(kWh)	周末/(kWh)	周末比平时增加能耗/%
804	19.5	22.0	13
904	9.2	9.9	7

4.3 间歇空调与全空调能耗关系(见表 11)

表 11 间歇空调与全空调能耗比较

日期	性质	室外温度 /℃	空调能耗 /(kWh)
3 日	全空调	26.6	7
30 日	间歇空调	27.0	3
28 日	间歇空调	27.5	4
4 日	全空调	28.5	15
15 日	间歇空调	28.5	2
18 日	间歇空调	28.5	5
19 日	间歇空调	28.5	6
5 日	全空调	29.0	18
13 日	间歇空调	29.0	3
17 日	间歇空调	29.0	5
8 日	间歇空调	29.5	5

由表 11 中数据可以计算出,间歇空调的平均能耗比全空调减少 50%~76%,且随室外温度的升高,节能率有所提高。

4.4 室温控制与空调能耗关系

904 房处于顶层,由于屋面的影响,其能耗理应比 804 房高,但是结果相反,804 房的空调能耗反而明显高于 904 室,根据分析,这是因为两户的热舒适要求和生活习惯不同,804 房的空调设定温度比 904 房低 2℃,说明室内控制温度是空调能耗的决定性因素。DOE-2 的计算结果也表明,空调耗电量随设定温度的升高而减小(见表 5)。

5 结论

5.1 对试验建筑,DOE-2 程序理论计算全年空调耗电量为 32.17 kWh/m²。按实测数据推算,804 房全年空调耗电量为 35.56 kWh/m²,904 房全年空调耗电量为 17.25 kWh/m²。

5.2 试验建筑建造于 20 世纪 90 年代初,窗墙面积比较小,按 90 年代后来的建造风格,窗墙面积比增大,空调能耗要大于试验建筑。

5.3 空调负荷中,通风负荷占 40%~50%,在相