



夏热冬冷地区居住建筑空调能耗预测

重庆大学 付祥钊[☆] 杨李宁
深圳建筑科学研究院 马晓雯 顾 群

摘要 对夏热冬冷地区与居住建筑空调能耗相关的社会发展情景,包括人口总量、城市化率、家庭结构模式等进行了预测。根据预测的情况,建立了不同家庭结构模式的户数分布矩阵和空调电耗矩阵。通过矩阵计算,预测了在未来的几十年里,不采取节能措施条件下夏热冬冷地区城市居住建筑的空调电耗。

关键词 居住建筑 空调 能耗 家庭结构模式 预测 矩阵

Energy consumption forecast for air conditioning systems in residential buildings in hot summer and cold winter areas

By Fu Xiangzhao[★], Yang Lining, Ma Xiaowen and Gu Qun

Abstract Forecasts the society developing scenery relating to the energy consumption of the air conditioning systems, including population number, urbanization rate, family structure modes etc. According to the forecast, constructs the number distribution matrix for different family structure modes and the power consumption matrix of the air conditioning systems. Through calculation, forecasts the power consumption of the air conditioning systems without energy saving measures in urban residential buildings in hot summer and cold winter areas in future few decades.

Keywords residential building, air conditioning, energy consumption, family structure mode, forecast, matrix

★ Chongqing University, ChongQing, China

①

0 引言

一个区域或国家的建筑能耗是建筑节能的关键性基础数据之一。国家和各级政府都急切地希望把握确切的建筑能耗数据,以进行科学的决策。建筑能耗受气候、建筑和设备性能的影响,更受人们生活状态的影响。由于我国处于快速发展阶段,各影响因素与建筑能耗之间的相互关系十分复杂,加之历史数据极度匮乏,很难用趋势分析法作出可信的预测。本文采用情景分析法试分析预测夏热冬冷地区居住建筑的空调能耗。

1 夏热冬冷地区与居住建筑空调能耗相关的社会发展情景预测

1.1 人口总量稳定、城市化率提高、中等收入家庭比例上升

夏热冬冷地区涉及以长江流域为主的 16 个省市。该地区社会经济文化发展快,各项社会保障措施日趋完善,计划生育政策有效实施。在未来的几十年里,夏热冬冷地区总人口数将基本保持不变,约 5.5 亿。随着我国城市化进程的快速发展,夏热

①☆ 付祥钊,男,1948 年 12 月生,研究生,教授,博士生导师
400045 重庆大学 B 区城市建设与环境工程学院
(023) 65127539 (O) 13983016315
E-mail: xiangzhaof@yahoo.com.cn
收稿日期:2007-01-08
修回日期:2007-09-28

冬冷地区城市化率必将逐渐提高。随着经济的发展,与之相对应的是中等收入家庭比例增大,低收入家庭比例减小。另外,随着社会人口老龄化,退休人员比例增大。表 1 是根据各方面资料综合预测的夏热冬冷地区城市化率和高、中、低收入家庭的比例变化情景。所有这些必然导致更多的人对室内居住热环境有更高的要求,必然造成很强的居住建筑能耗增长趋势^[1-3]。

表 1 夏热冬冷地区城市化率与各种收入家庭比例的变化情景预测

年份	城市化率/%	各种收入家庭比例(高:中:低)
2005	37	1:2:7
2010	43	1:3:6
2020	50	1:4:5
2050	65	1:7:2

1.2 城市家庭主要结构模式及其比例变化情景

1.2.1 城市家庭主要结构模式^[4-5]

从居住建筑能耗预测的角度,家庭结构可分为以下 4 种主要模式。

1) 从业 2 人家庭:每户人数为 2 人。

2) 退休 2 人家庭:每户人数为 2 人。

3) 基本家庭:人员包括夫妻和正在抚养中的子女,每户人数根据时间而略有变化。现阶段平均每户人数为 3 人;到 2010 年,平均每户人数为 3.5 人;到 2020 年及以后,平均每户人数为 4 人;因为有效地实施计划生育政策,并且随着老龄化趋势,到 2050 年,平均每户人数将不会再增加,保持 4 人。

4) 复合家庭:人员包括夫妻、子女、老人、保姆等,每户人数为 4 人及以上。

1.2.2 各种家庭的比例分布矩阵与户数分布矩阵

按如下规则构建各种家庭的比例分布矩阵 A , 矩阵的每一行为一种家庭结构的比例,第一行为从业 2 人家庭,第二行为退休 2 人家庭,第三行为基本家庭,第四行为复合家庭;每一列为一种收入的家庭的比例,第 1 列为高收入家庭,第 2 列为中等收入家庭,第 3 列为低收入家庭。即

$$A = [a_{ij}]_{4 \times 3}$$

同样以一行表示一种家庭结构,一列表示一种收入家庭,可构建各种家庭的户数(亿户)分布矩阵 B :

$$B = [b_{ij}]_{4 \times 3}$$

1.2.3 A, B 矩阵各元素值随时间的变化情景

根据城市化率与各种收入家庭比例的变化情景预测,由总人口数、城市化率、各种收入家庭比例等数据^[4-11],可获得各年 A, B 矩阵各元素的变化情况。

2005 年

$$A_{05} = \begin{bmatrix} 1.2 & 2.00 & 7.00 \\ 0 & 2.08 & 7.30 \\ 5.5 & 10.30 & 36.20 \\ 3.3 & 5.62 & 19.66 \end{bmatrix}$$

$$B_{05} = \begin{bmatrix} 0.012 & 0.020 & 0.071 \\ 0 & 0.021 & 0.074 \\ 0.037 & 0.070 & 0.245 \\ 0.017 & 0.029 & 0.100 \end{bmatrix}$$

2010 年

$$A_{10} = \begin{bmatrix} 2.96 & 7.27 & 14.10 \\ 0 & 3.96 & 7.92 \\ 5.11 & 8.57 & 17.20 \\ 1.94 & 10.20 & 20.40 \end{bmatrix}$$

$$B_{10} = \begin{bmatrix} 0.035 & 0.086 & 0.172 \\ 0 & 0.047 & 0.094 \\ 0.035 & 0.058 & 0.116 \\ 0.011 & 0.060 & 0.121 \end{bmatrix}$$

2020 年

$$A_{20} = \begin{bmatrix} 3.50 & 8.80 & 11.00 \\ 0 & 7.20 & 9.00 \\ 4.65 & 15.38 & 19.23 \\ 1.80 & 8.22 & 10.28 \end{bmatrix}$$

$$B_{20} = \begin{bmatrix} 0.050 & 0.103 & 0.129 \\ 0 & 0.103 & 0.157 \\ 0.027 & 0.093 & 0.110 \\ 0.090 & 0.045 & 0.147 \end{bmatrix}$$

2050 年

$$A_{50} = \begin{bmatrix} 3.80 & 8.40 & 2.40 \\ 0 & 19.2 & 5.49 \\ 5.20 & 31.5 & 9.01 \\ 0.96 & 10.9 & 3.11 \end{bmatrix}$$

$$B_{50} = \begin{bmatrix} 0.078 & 0.173 & 0.050 \\ 0 & 0.396 & 0.113 \\ 0.054 & 0.325 & 0.093 \\ 0.010 & 0.112 & 0.032 \end{bmatrix}$$

2 夏热冬冷地区各类家庭相关生活状态与空调使

用情景

根据以上 4 种家庭结构和 3 种家庭经济收入水平,共有 12 种相关生活状态与空调使用情景,可构成矩阵 C , $C=[c_{ij}]_{4 \times 3}$, 矩阵 C 的各元素 c_{ij} 的具体情景如下。

2.1 c_{11} (高收入的从业 2 人家庭)

平均住房面积 300 m², 所有房间都是空调房间。供暖空调季节, 白天家中无人, 空调设备不运行。由于经济条件好, 而且受其从事的工作、环境、接触的人等因素的影响, 大多晚上有社交活动, 回家较晚。一天在家的时间通常为 22:00~次日 7:00。在此时间段内, 房间空调设备会一直运行, 整个住宅处于热舒适状态。

2.2 c_{12} (中等收入的从业 2 人家庭)

平均住房面积 100 m², 所有房间都是空调房间。供暖空调季节, 此类家庭成员一般均为工薪阶层, 白天上班, 家中无人, 空调设备不运行。受工作时间、性质的限制, 生活比较有规律, 夜晚社交活动不多, 一般不会很晚回家, 在家的时间通常为 19:00~次日 7:00。在此期间, 有人的房间空调设备会一直运行, 以获得热舒适的居住条件。

2.3 c_{13} (低收入的从业 2 人家庭)

平均住房面积 50 m², 仅一个房间为空调房间。供暖空调季节, 由于经济条件限制和生活习惯等原因, 在户外活动、消费的时间极少, 在家的时间通常为 19:00~次日 7:00。由于经济拮据, 仅在晚饭后, 室内热环境恶劣时, 即 19:00~22:00 左右开启空调设备, 睡觉前关闭, 夜间睡觉极少使用空调设备。

2.4 c_{21} (高收入的退休 2 人家庭)

此类家庭很少, 尚不了解其生活状态及空调使用情景。

2.5 c_{22} (中等收入的退休 2 人家庭)

平均住房面积 100 m², 所有房间都是空调房间。在家时间与室外气象条件有关, 当室外气象条件舒适时, 一般不在家中。但受年龄、身体状况、生活习惯等的限制, 供暖空调季节, 室外气象条件差, 基本在室内活动。在此期间, 有人的房间空调设备会一直运行。

2.6 c_{23} (低收入的退休 2 人家庭)

平均住房面积 50 m², 一般在必须配置空调

设备的房间安装空调设备, 比如卧室或客厅等。不受上班时限限制, 但因身体状况、年龄、经济来源少等原因, 一般当室外气象条件舒适时在户外活动。供暖空调季节, 室外条件差, 多在室内, 并尽量不开空调设备, 仅当室温太高或太低时, 例如, 在 12:00~16:00 和 19:00~21:00 时, 才开启空调设备。

2.7 c_{31} (高收入的基本家庭)

平均住房面积一般为 300 m² 左右, 所有房间均配有空调设备。由于经济条件好, 供暖空调期一般也是寒、暑假期间, 所以家中始终有人, 所有房间空调设备会一直运行。

2.8 c_{32} (中等收入的基本家庭)

平均住房面积一般为 100 m² 左右, 所有房间均配有空调设备。供暖空调期家中始终有人, 有人的房间空调设备会一直运行。

2.9 c_{33} (低收入的基本家庭)

平均住房面积一般为 70 m² 左右, 一般在必须配置空调设备的房间安装空调设备, 比如卧室等。由于经济拮据, 除室温过低或过高影响居住时会开启空调设备以外, 其余时间不开启。

2.10 c_{41} (高收入的复合家庭)

平均住房面积一般为 300 m², 所有房间都是空调房间。由于婴幼儿、老人、保姆的存在, 基本上全天家里都会有人。供暖空调期所有房间空调设备会一直运行。

2.11 c_{42} (中等收入的复合家庭)

平均住房面积一般为 100~150 m², 所有房间均配有空调设备。全天家里都有人, 同样考虑到婴幼儿、老人的生活习惯和身体状况需要, 供暖空调期有人的房间空调设备将会一直运行。

2.12 c_{43} (低收入的复合家庭)

平均住房面积为 90 m² 左右, 一般在必须配置空调设备的房间, 比如孩子或老人的卧室等安装空调设备。为保持可居住性, 供暖空调季节, 有空调的房间空调会一直运行。

3 夏热冬冷地区城市各类家庭的空调能耗模拟分析

根据上述各类家庭的生活状态和空调使用情景, 确定各类家庭的模拟分析计算条件, 如表 2 所示。各户的建筑热工性能按文献[12]规定。采用 DOE-2 模拟计算获得在不采取建筑节能措

施的条件下,各类家庭的年平均空调电耗,如表 3 所示。

表 2 夏热冬冷地区主要城市
各类家庭的空调使用趋势分析

家庭类型	相关生活模式	高收入	中等收入	低收入
从业 2 人家庭	住房面积/m ²	300	100	50
	空调配置	所有房间	所有房间	1 个房间
	供暖空调期在家时间	22:00~7:00	19:00~7:00	19:00~7:00
	空调使用时间/(h/d)	9	12	3
	空调设定温度	所有房间 夏 24℃ 冬 20℃	有人房间 夏 26℃ 冬 18℃	1 个房间 夏 28℃ 冬 16℃
退休 2 人家庭	住房面积/m ²		100 左右	50 左右
	空调配置		所有房间	1 个房间
	供暖空调期在家时间		全天	全天
	空调使用时间/(h/d)		24	6
	空调设定温度		有人房间 夏 26℃ 冬 18℃	1 个房间 夏 28℃ 冬 16℃
基本家庭	住房面积/m ²	300	100	70
	空调配置	所有房间	所有房间	1 个房间
	供暖空调期在家时间	全天	全天	全天
	空调使用时间/(h/d)	24	24	3
	空调设定温度	所有房间 夏 24℃ 冬 18℃	有人房间 夏 26℃ 冬 18℃	1 个房间 夏 28℃ 冬 16℃
复合家庭	住房面积/m ²	300	100~150	90
	空调配置	所有房间	所有房间	1~2 个房间
	供暖空调期在家时间	全天	全天	全天
	空调使用时间/(h/d)	24	24	3
	空调设定温度	所有房间 夏 24℃ 冬 20℃	有人房间 夏 26℃ 冬 18℃	2 个房间 夏 28℃ 冬 16℃

表 4 不采取建筑节能措施条件下夏热冬冷地区城市居住建筑的空调电耗预测

	高收入/(TWh/a)	中等收入/(TWh/a)	低收入/(TWh/a)	合计/(TWh/a)	相当于三峡电站 年发电量的倍数
2005 年	141.9	106.5	31.4	279.8	3.31
2010 年	144.3	178.8	32.6	355.7	4.21
2020 年	133.6	248.8	39.7	422.1	4.98
2050 年	226.9	779.7	16.8	1 023.4	12.08

注:三峡电站的设计年发电量为 84.7 TWh/a。

由表 4 可以看出,在不采取建筑节能措施条件下,夏热冬冷地区城市居住建筑的空调电耗急剧增长,不同收入家庭的空调电耗非常悬殊。

2005 年,占家庭总数 10% 左右的高收入家庭消耗 51% 的电能,占家庭总数 20% 的中等收入家庭消耗 38% 的电能,而占家庭总数 70% 左右的低收入家庭只消耗了约 11% 的电能;到 2010 年,占家庭总数 10% 左右的高收入家庭消耗 40% 的电能,占家庭总数 30% 的中等收入家庭消耗 50% 的

表 3 不采取建筑节能措施条件下夏热冬冷地区城市各类家庭的平均空调电耗测算

MWh/(a·户)

家庭类型	高收入	中等收入	低收入
从业 2 人家庭	10.125	4.500	0.300
退休 2 人家庭		9.000	0.600
基本家庭	22.500	7.500	0.400
复合家庭	27.000	9.000	1.500

根据表 3 可构建不同经济收入水平的空调电耗矩阵 E_i , 其中 E_1 为不同类型高收入家庭的空调电耗, E_2 为不同类型中等收入家庭的空调电耗, E_3 为不同类型低收入家庭的空调电耗, 即

$$E_1 = \begin{bmatrix} 10.125 \\ 0 \\ 22.500 \\ 27.000 \end{bmatrix}, E_2 = \begin{bmatrix} 4.500 \\ 9.000 \\ 7.500 \\ 9.000 \end{bmatrix}, E_3 = \begin{bmatrix} 0.300 \\ 0.600 \\ 0.400 \\ 1.500 \end{bmatrix}$$

4 在不采取建筑节能措施条件下,不同年份夏热冬冷地区城市居住建筑的空调能耗预测

4.1 所有高收入家庭的空调电耗

$$\sum E_1 = [b_{i1}]^T E_1$$

4.2 所有中等收入家庭的空调电耗

$$\sum E_2 = [b_{i2}]^T E_2$$

4.3 所有低收入家庭的空调电耗

$$\sum E_3 = [b_{i3}]^T E_3$$

由以上矩阵的计算数据可得,不采取建筑节能措施条件下,夏热冬冷地区城市居住建筑的空调电耗预测,见表 4。

电能,而占家庭总数 60% 左右的低收入家庭只消耗了约 10% 的电能;到 2020 年,占家庭总数 10% 左右的高收入家庭消耗 32% 左右的电能,占家庭总数 40% 的中等收入家庭消耗 59% 的电能,而占家庭总数 50% 左右的低收入家庭只消耗不足 9% 的电能;到 2050 年,占家庭总数 10% 左右的高收入家庭消耗 22% 的电能,占家庭总数 70% 的中等收入家庭消耗 76% 的电能,而占家庭总数 20% 左右的低收入家庭只消耗 2% 的电能。

5 开展建筑节能的效果分析

5.1 按 2010 年夏热冬冷地区 30% 的居住建筑达到节能 50% 的要求,耗电量将为 302.35 TWh/a,能耗将比 2005 年增加 8.1%,但比不采取节能措施的 2010 年电耗减少 53.35 TWh/a。

5.2 按 2020 年所有居住建筑实现节能 50% 的条件,耗电量将为 211.05 TWh/a,在城市人口明显增长、生活水平明显改善的情况下,电耗将比 2005 年降低 24.6%,而且比不采取节能措施的 2020 年电耗减少 211.05 TWh/a。

5.3 按 2050 年所有居住建筑实现节能 75% 的条件,耗电量将为 255.85 TWh/a,生活水平达到中等发达国家水平,城市人口增加 1.99 亿,达到 4.18 亿,而能耗将比现阶段降低 8.60%,而且比不采取节能措施的 2050 年电耗减少 767.55 TWh/a。

参考文献:

- [1] 张维庆. 中国计划生育概论[M]. 北京:中国人口出版社,1998
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 2005 年全国 1% 人口抽样调查主要数据公报[R], 2006
- [3] 范菁菁. 中国人口年龄性别结构-人口结构图[M].

(上接第 13 页)

南向采用百叶外遮阳设施,必须对百叶的角度进行调整,至少在冬、夏两季实施运行控制角度的季节性调节,以达到最好的节能效果。

3.3 优化模型与现用模型除了百叶片的角度不同外,还存在百叶数量的区别,两者对节能的影响权重需要作进一步分析。

3.4 在同样的节能效果前提下(东、西向),优化模型采用的百叶数量明显少于现用模型,因此可节约初投资;而南向夏季,不仅优化模型节能效果明显,而且使用的百叶数量少,因此可以同时实现初投资和运行费用降低的双重功效。本文提出的总辐射净得益量概念,在夏热冬冷地区,可以综合评判遮阳的全年节能率,对遮阳设施的设计与安装具有较好的指导作用。

参考文献:

- [1] 夏麟,李峥嵘. 遮阳技术的应用与研究[J]. 上海节能,2005,8(1):42-49
- [2] Xia Lin, Li Zhengrong. Analysis of the effect of balcony overhang dimensions on building energy

北京:中国人口出版社,1995

- [4] 王跃生. 当代中国家庭结构变动分析,当代中国城乡家庭结构变动比较[J]. 社会,2006,26(3)
- [5] 周福临. 我国家庭结构的统计研究[J]. 经济经纬,2006(2)
- [6] 包宗华. 全方位透视住房分类供应和经济适用住房[EB/OL]. [2002-01-24]. <http://news.soufun.com/2002-01-24/72047.html>
- [7] 周干峙. 2020 年我国的城镇化率将达到 50% 至 55% [EB/OL]. [2005-09-25]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2005-09/25/content_3540548.htm
- [8] 宋健. 人口预测和人口控制[M]. 北京:人民出版社,1982
- [9] 赵克斌,李培林,朱庆芳,等. 中国小康社会[M]. 北京:社会科学文献出版社,2003
- [10] 中华人民共和国国家统计局. 2000 年第五次全国人口普查主要数据公报[M]. 北京:中国统计出版社,2001
- [11] 王海燕. 新世纪中国人口问题概论[M]. 济南:济南出版社,2000
- [12] 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

saving in Shanghai[C]//IWWEERB2004,2004:70-74

- [3] Pfrommer P, Lomas K J, Kupke C. Solar radiation transport through slat-type blinds: a new model and its application for thermal simulation of buildings[J]. Solar Energy, 1996, 57(2):77-91
- [4] 马京涛. 广州地区窗口外遮阳构造透光率分析[D]. 广州:华南理工大学,2003
- [5] 吴继臣,徐刚. 全国主要城市冬季太阳辐射强度的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2003,35(10):136-139
- [6] Al-Shareef F M, Oldham D J, Carter D J. A computer model for predicting the daylight performance of complex parallel shading systems[J]. Building and Environment, 2001,36(5):605-618
- [7] 曹叔维,陈沛霖. 空调负荷计算理论与方法[M]. 上海:同济大学出版社,1987
- [8] 柳孝图. 建筑物理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000
- [9] 曹叔维. 房间热过程和空调负荷[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1991