

高温高湿地区环保节能住宅的设计与模拟计算*

Design and Analogue Computation on the Environment-friendly and Energy-saving House in the Hot and Humid Climate

何江 王明真 郭兵
He Jang Wang Mingzhen Guo Bing

(广西科学院应用物理研究所 南宁市大岭路 2号 530003)

(Institute of Applied Physics, Guangxi Academy of Sciences, 2 Dalinglu, Nanning, 530003)

摘要 为了开发研究适合湿热地区的环保节能住宅新技术,以建在广西南宁市的示范房为实例,介绍了如何根据当地气候条件和建筑材料资源,设计综合利用太阳能等自然能源的环保节能住宅,并用当地的气象数据预测了本示范房的节能效果和太阳能发电量。

关键词 太阳房 屋面采热 取凉去湿 地板储热蓄凉 通气砖墙 地下凉气

Abstract As an environment-friendly and energy-saving house in the hot and humid climate, the model house built in Nanning, Guangxi is described. The paper describes the passive techniques and technology of use of natural energy based on the local climate and conditions of building materials. The thermal performance and the energy-saving potential in the house are evaluated by computer simulation.

Key words solar house, roof heat-collecting, cooling/dehumidifying under roof, heating and cooling energy storage under floor, ventilating brick wall, cool tube

中图法分类号 TU241.91

近年,由于国家经济的发展和个人的努力,国内的生活水平越来越高,有经济能力改善住宅条件的家庭不断增加。因此,使用空调的家庭有增无减,导致住宅的耗能量正在逐渐增大。如何从节约能源和保护环境的观点发展住宅建设,指出正确的居住环境改善方法,已成为当务之急。特别是在南方地区,高温高湿,而目前环保节能住宅建设几乎是一个空白的领域。因此,为建设适合国情的环保节能住宅提供有效的设计技术和有益的尝试结果,是十分必要的。作为一栋实验性示范房,根据南宁的气候等条件设计了“南宁日本友好太阳房”。此设计方案引进了在日本已取得显著成绩的太阳能利用技术。并开发研制了新型空心砖以提高住宅自身的隔热功能。为了从数字上理解本示范房的节能等效果,与当地普通住房进行了对比计算。

1 整体设计思想

1.1 气候条件

为了有效地利用当地的太阳能等自然能源,准确地理解和掌握建房所在地的气候条件是设计的第一步。因此,在设计本示范房前,为了了解南宁的气候条件,用最近 10 年的气象数据做成了图 1 所示的气象数据图。首先从月平均气温的曲线可以看出,一年中月平均气温低于 14°C (暖气使用标准温度)的月份只有 1 月和 2 月。这两个月的日平均最低气温约为 8°C ,但是日平均最高温度超过了 20°C 。这说明了一个现象,尽管在冬季 1—2 月份,如果阴雨天突然转晴出太阳,气温会大幅度升高。在这期间,由于砖混房屋的热容量大,内墙面的温度上升比室外气温缓慢,结果是,当温度较高而且湿度高的外界空气进入室内,并与温度低的室内表面接触时,室内表面则会发生结露。这是在设计中应当考虑到的问题。

冬季能采集到多少太阳能也是设计前应该知道的一个重要参数。观察图中的月平均日照时数和月平

1997-05-07 收稿

* 广西科学院应用物理研究所与日本 OM 太阳协会合作研究项目,获得广西科学技术委员会(桂科计字[1994]16号文)、广西科学院(桂科回 9456013)、广西建设厅(桂建科字 1996 第 30 号文)科研经费的资助。

均日辐射总量不难发现, 1月~ 3月的月平均日照时数约为 60 h, 相当少, 只有夏季某个月的一半。而且, 月平均日辐射总量在 30 MJ左右。换句简单的话说, 这 3个月的天气是阴多晴少。从月平均相对湿度在 80%左右也能得出这 3个月阴雨天多的推论。因此, 为了弥补冬季太阳能采暖量的不足, 并防止阴雨天突然转晴而引起的室内结露发生, 适当提高房屋的保暖性能和气密性能很有必要。

另一方面, 月平均气温高于 24°C的夏季月份为 5月~ 9月, 共 5个月, 最高平均气温达 28°C, 日最高平均气温为 32°C~ 34°C。其中 5月~ 8月是雨季, 月平均降雨量高达 200 mm。显然, 由于多雨, 这 4个月的月平均相对湿度达到了 80%。另外, 考虑设计通风排热措施时, 风速和风向是关键。以月为单位, 算出了每小时的平均风速。由计算可知, 中午的风速比其他时间大, 尽管如此, 平均风速也只有 2 m/s左右; 傍晚以后, 风速变小, 在 1 m/s左右; 因此, 依靠自然风通风排热比较困难。

综合以上分析结果得知南宁的气候特点是, 冬短阴湿寡照, 夏长湿热少风。

1.2 设计方案

1.2.1 建筑规划

参考上述分析的气候特点, 并考虑尽可能利用当地建筑材料, 而设计了本太阳房, 如图 2 图 3所示。本方案为两户毗邻式组成一栋, 东半侧为二层复式结构的住宅, 居住面积达到目前国内标准房的指标。西侧为一层会议室, 内含一间日式茶室。示范房的使用面积为: 一层 135.80 m², 二层 29.07 m²。其中, 住宅的使用面积为 88.22 m²。建筑结构为现浇钢筋混凝土墙、坡屋面。

1.2.2 冬季采暖和地板储热

太阳能采暖方式采取了“引进屋外空气采集屋面的太阳能采暖系统”: 利用朝南坡屋面的涂黑铁板吸收太阳能, 并加热从屋外引进的空气。其基本原理是, 由设置在屋脊的小型风扇带动屋面铁板下面通气层的空气向上流动, 空气一边流动一边被吸收太阳能变热的铁板加热。当通过屋顶最高处装有玻璃板集热面的时候, 集热空气温度大幅度被升高。从屋面通气层

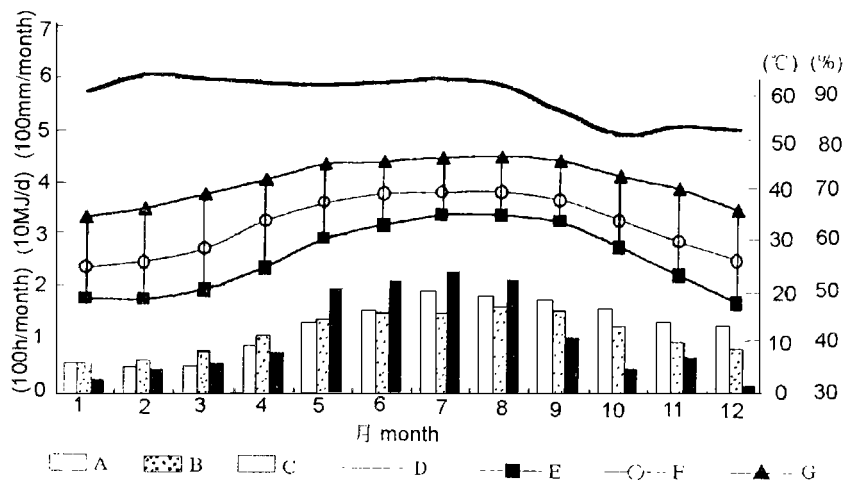


图 1 南宁气象数据年变化图 (1985年至 1994年平均值)

Fig. 1 Annual meteorological data in Nanning (average values of 1985 to 1994)

A 月平均日照时数 Monthly sunshine duration (100 h/month); B 日平均辐射量 Daily global radiation (MJ/m²·d); C 月平均降雨量 Monthly precipitation (mm/month); D 月平均相对湿度 Monthly mean relative humidity (%); E 月平均日最低气温 Daily minimum air temperature (°C); F 月平均气温 Monthly mean air temperature (°C); G 月平均日最高气温 Daily maximum air temperature (°C).

吸进来的集热空气聚集在屋脊集热通道, 然后通过风箱, 沿着向下直立管道被送到一层地板下面 (图 4)

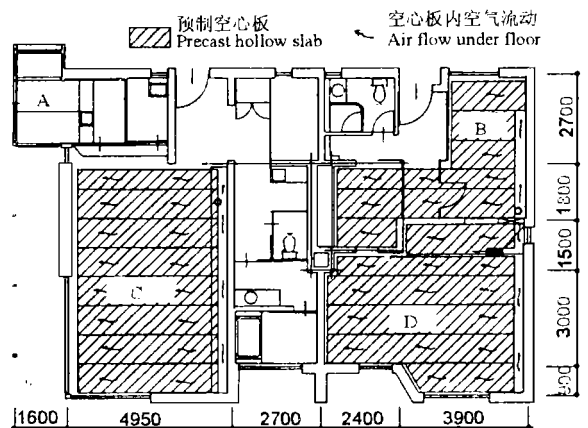


图 2 一层平面

Fig. 2 The first floor

A: 茶室 Kitchen; B: 居室 Bed room; C: 会议室 Meeting room; D: 客厅 Living room.

地板下面用预制混凝土空心板铺成, 预制板的孔自然成为集热空气的流动通道。集热空气在地板下面流动过程中, 一部分热量被预制空心板吸收, 储存在地板下面。最后, 这些热空气从靠墙的地板风口流出来。太阳下山以后, 风扇会自动停止转动, 同时屋脊集热通道与风箱之间的挡风门也会自动关闭, 以防屋顶的冷空气流入屋内。夜间, 贮藏在地面下方的热量慢慢地向室内释放, 使室温下降减慢。

1.2.3 夏季遮阳和排热

与冬季相反, 关闭通向直立管道的风门, 打开通

往排气塔的风门。通过风箱的热空气顺着设置在屋顶

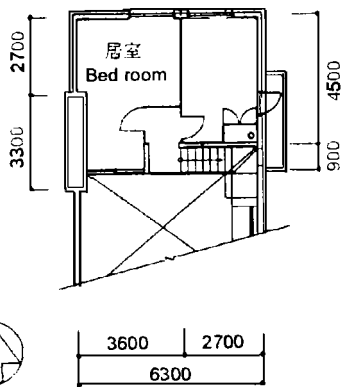


图 3 住房二层平面

Fig. 3 The second floor

低和最高两排砖层中, 开有风口, 分别作为入气口和出气口。当太阳照射在墙壁上的时候, 空心砖内的空气受热变轻, 沿着通气层自然上升, 最后从上部的出气口流出来。因而, 穿过外墙面的相当一部分热量被带出了墙外。而且, 加上墙体隔热材料的隔热作用, 从外墙传进屋内的热量就会变得甚少。

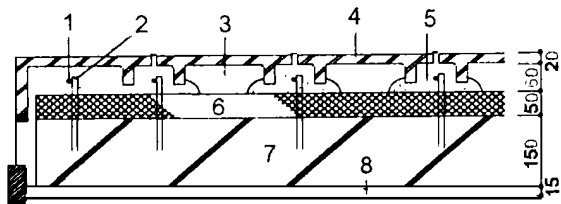


图 5 外墙结构

Fig. 5 Wall structure

1. 竖向钢筋 Vertical bar; 2. 横向钢筋 Horizontal bar; 3. 通气层 Air passage; 4. 空心砖 Core brick; 5. 砂浆 Mortar; 6. 隔热材料 Insulating material; 7. 混凝土 Concrete; 8. 灰泥 Lime plaster.

1. 2. 4 去湿取凉

夏天夜间, 天空晴朗时高空中的温度为 $-40^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$ 。因此, 屋顶面不断向天空辐射热量, 结果屋面温度降低, 一般情况下, 比外界气温低 $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ 。这时, 采取与冬季采热时相同的方式引进屋外空气, 屋顶通气层内的空气则被温度降低的铁板降温, 沿着直立管道被送到地板下面, 然后流入房屋内。如前一节所述, 南宁夏天的空气非常潮湿。湿度高的空气与温度低的表面接触时, 必然发生结露, 傍晚常看见屋外草坪上的露水就是此缘故形成的。由于在屋顶通气层内发生结露, 空气中的一部分水蒸气变成了水珠, 结果送进室内的空气就会比外界空气干燥。用此方式获得的干燥空气给人体带来的凉爽感觉比低温空气要明显, 因为皮肤接触干燥空气时汗的蒸发速度加快, 结果是皮肤表面散热量增大。为了提高去湿效果, 屋面通气层内和屋脊通道表面铺上了一层吸湿材料。这层吸湿材料除了吸收空气的水分, 还能吸收从铁板背面滴下来的水珠。防止屋顶内部的金属部分受腐蚀。因为, 结露时, 大气中的灰尘等物质会凝结在露水里, 致使露水变成带有酸性液体。第二天白天, 屋顶通气层内吸收太阳能变热, 使吸湿材料中的水分蒸发, 开动风箱吸气排热时, 水蒸气随着集热空气被排到屋外。

另外, 还考虑了利用地下凉气取凉。地下凉气管道的空气入口设在茶室北边的小屋里, 管道埋在示范房的地下, 出口设在直立管出风口附近的地板下面。不用地下凉气时, 可以盖上出风口处的盖子。此外, 内墙的抹面采用了传统的抹灰泥方式, 从而可以利用灰泥的吸湿透气功能抑制表面结露发生, 并调节室内

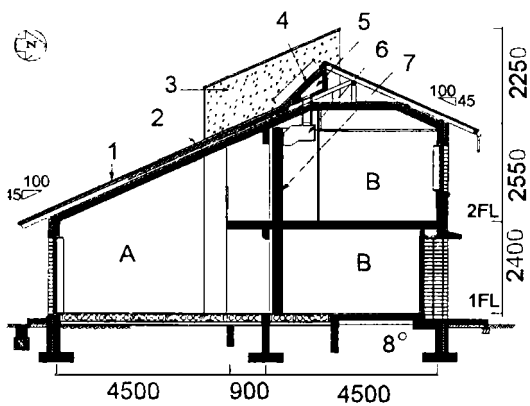


图 4 剖面

Fig. 4 Eastern section of the model house

1. 涂漆铁板 Blacken steel sheet; 2. 太阳能电池板 Solar cell; 3. 排气塔 Eductor stack; 4. 玻璃板 Single sheet of glass; 5. 集热空气屋脊通道 Roof air channel; 6. 风箱 Air handling box; 7. 直立管道 Vertical air duct; 8. 地下凉气管 Cool tube; A 堂屋 Living room; B 居室 Bed room.

中间的排气塔被排到屋外, 从而达到减少从屋顶传入室内热量的作用。为了尽可能防止屋顶热量传入屋内, 在屋面采热通气层的下面还设有一层通气层, 北面的屋面下方也设有通气层。这两通气层南北贯通, 并与排气塔相联接。而且设在每个房间的换气风口都跟排气塔相接。从风箱、厨房、屋顶通气层排出来的热气都经过排气塔被排到屋外, 以致排气塔的上部变热而产生向上引力。由于此引力, 各房屋的空气通过换气风口被吸引上来, 结果是房屋内得到了通风换气。即使在无风的地区, 用这种方法能使屋内有通风换气的功能。

外墙隔热采取的措施是, 在现浇混凝土墙外侧附上 50 mm 厚的聚苯乙烯板作为隔热层, 然后用空心砖砌成外墙。采用的空心砖为面砖, 不作为墙体的承重部分。如图 5 所示, 此砖的外形象板凳, 砌成墙时砖的凹部与隔热材料之间形成一个通气层。在砖墙最

空气湿度变化。

1.2.5 用热空气制作热水

冬季以外的季节,通过排去屋面通气层内的热空气,以减少屋面吸收热量。这时,只要使安装在风箱里的环形水管与保温水箱接通,并开动保温箱里的水泵,流过风箱的热空气加热环形水管,水管里的热水则可以储存在保温水箱里。如果是出太阳的日子,下午2时左右就能获得300L(一般保温箱的容积)40℃~50℃的热水,足够一个普通家庭的使用。在南宁,夏天好象一般家庭很少有使用热水的习惯。其实,夏天用热水洗澡既能消除疲劳又能去暑。而且,用热水洗碗或洗衣服不仅洗得干净,还能节省洗涤剂。排放含有少量洗涤剂的污水对保护环境也是一个贡献。

1.2.6 屋面太阳能发电

朝南坡屋面的中间部分采用了既能吸收太阳能热能又能吸收太阳光发电的非晶硅太阳能电池板。这种太阳能电池板的颜色与一般涂黑铁板只有稍微不同,站在地面往屋顶上看并不能知道它就是太阳能电池。本示范房计划使用33块长2.6m宽0.45m的太阳能电池板,总发电功率约为1.8kW(在太阳辐射量为1kW/m²、环境温度为25℃的条件下)。本太阳能发电系统的输出为220V直流电压,经过直交变换器变成220V交流电,供应示范房内的各种电器设备用电。不准备使用蓄电池储存白天示范房用不完的太阳能发电,但为今后国内实行自由买卖电力制度的时候提供参考数据,准备进行用电量和发电量的对比测试。

1.2.7 雨水的利用

北面的坡屋面,在檐口处设计了天沟,将雨水集中排到一个架高的蓄水桶中。可利用蓄水桶中的水供卫生间冲厕,或用于绿化浇水。南面则设计了室外明沟排水,将天面和室外的雨水集中排到旁边的水池塘中,即可补充池塘的水源,调节外界环境。

2 模拟计算

本节将介绍用热负荷计算程序(HASP)对本示范房进行热性能预测的结果。作为比较,设定有一平顶屋结构和砖墙体结构的南宁普通住宅,并计算在此条件下的热性能参数。

2.1 计算条件

2.1.1 建筑条件

示范房(只包括住房部分)的建筑面积指标如表1所示。

2.1.2 计算输入参数

冷气(暖气)指定温度、相对湿度:30℃、70%

(20℃、40%);门窗、窗帘等开闭状态:24小时全部关闭;室内换气次数:1次/h;室内发热量:0(无发热源);使用气象数据:1985年至1994年在南宁测量的每小时气象数据。

表1 住房各部分面积(m²)

Table 1 Areas of various building elements (m²)

天花板 Ceiling	外墙壁 External wall			玻璃窗 Glazing window					内墙壁 Partition wall	地板 Floor
	东 E	南 S	西 W	东 E	南 S	西 W	北 N			
								北 N		
162.4	43.3	22.2	20.6	43.6	0.5	11.2	9.0	11.2	23.8	172.1

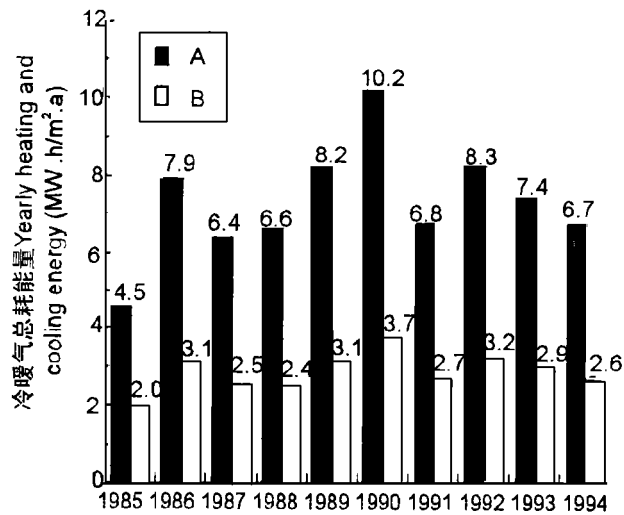


图6 冷暖气年耗能量(1985年至1994年)

Fig. 6 Comparison of annual heating and cooling energy
A 普通房 Conventional house; B 示范房 Model house.

2.2 热性能的计算结果

图6为1985年至1994年间每年冷暖气总耗能量的计算结果,示范房的计算中没有考虑冬季太阳能采暖以及夏季夜晚去湿取凉的效果。看图可知,总耗能量随年度而变,但是不管是那一年,示范房的耗能量总是比普通住房小一半以上。众所周知,在考虑使用冷暖气的条件下,只靠提高住房的隔热保温性能就能得到相当大的节能效果。

下面稍详细考虑一下室内温度变化和房屋各方位的表面热传导状态。在此,把1993年作为代表年,从夏季和冬季中各抽出三天,其计算结果如图7~图10所示。首先看夏季的计算结果(图7),从太阳辐射量可推测:第一为少云晴天;第二天太阳辐射量有点不稳定;第三天是薄云晴天。同普通房相比,示范房的室温变化较小,而且白天的温度低4℃左右。不言而喻,只要提高屋面和外墙的隔热性能就能减少白天进入室内的热量,从而缓和室内温度受到外界的影响。如果这三天使用冷气,从图8可知,示范房白天

的最大瞬时冷气耗能量比普通房要少 4 倍 另一方面,看冬季计算结果 (图 9 图 10) 发现,示范房的冬季室温比普通房高出 $2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$,而且使用暖气时,示范房可节省一半以上的耗能量。

我们选择了夏季和冬季某一晴天 (8月 27日、2月 3日) 计算了房屋各方位表面热传导能量 从普通

房的计算结果看出,夏天屋面的热传导能量最大,接着是东墙和西墙 因为屋面和墙壁储热,即使到了夜间,仍然有相当大的热量放出 与此相反,示范房各方位的热传导能量变化较小,而且屋面的热传导能量为最小 由此可知,本示范房的屋面通气排热和隔热以及外墙隔热能力的提高可带来相当大的节能效果

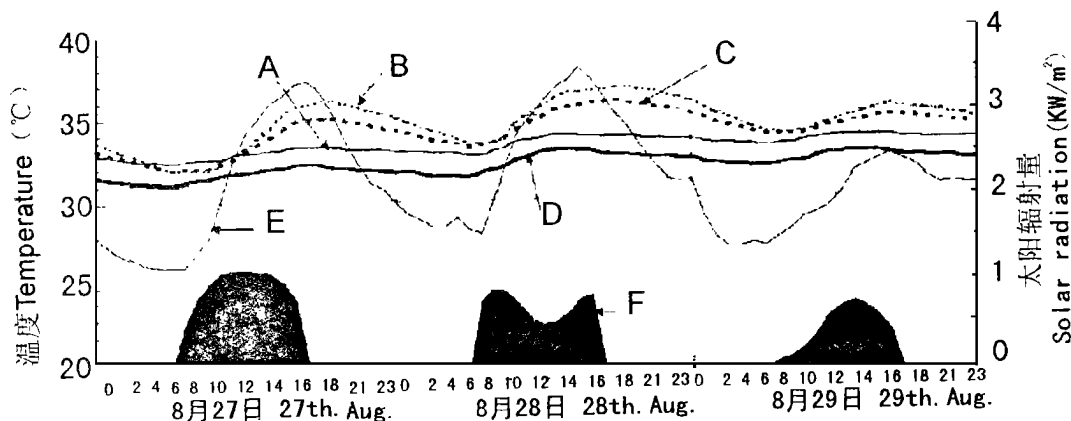


图 7 夏日的室温变化计算结果和气象条件 (1993年 8月 27日至 29日)

Fig. 7 Calculated values of room temperature on August 27 to 29, 1993

A 示范房二层室温 2F room-temperature (model house); B 普通房二层室温 2F room-temperature (conventional house); C 普通房一层室温 1F room-temperature (conventional house); D 示范房一层室温 1F room-temperature (model house); E 气温 Air temperature; F 水平面太阳辐射量 Solar radiation

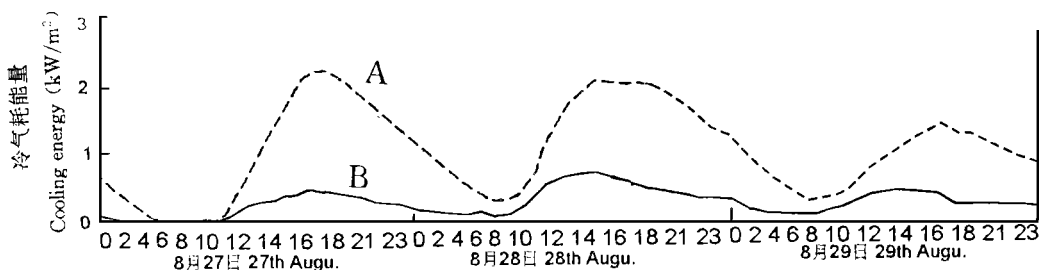


图 8 使用冷气时的瞬时耗能量 (1993年 8月 27日至 29日)

Fig. 8 Calculated values of cooling energy on August 27 to 29, 1993

A: 普通房二层 2F (conventional house); B 示范房二层 2F (model house).

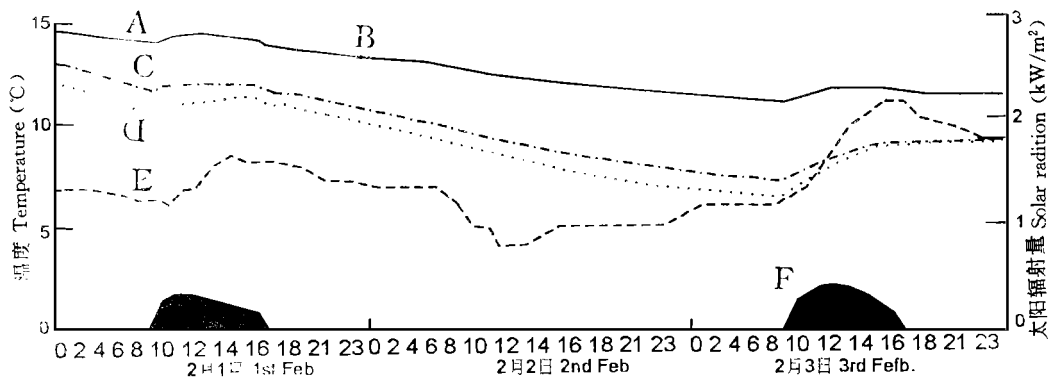


图 9 冬日的室温变化计算结果和气象条件 (1993年 2月 1日至 3日)

Fig. 9 Calculated values of room temperature on February 1 to 3, 1993

A 示范房一层室温 1F room-temperature (model house); B 示范房二层室温 2F room-temperature (model house); C 普通房一层室温 1F room-temperature (conventional house); D 普通房二层室温 2F room-temperature (conventional house); E 水平面太阳辐射量 Solar radiation; F 气温 Air temperature.

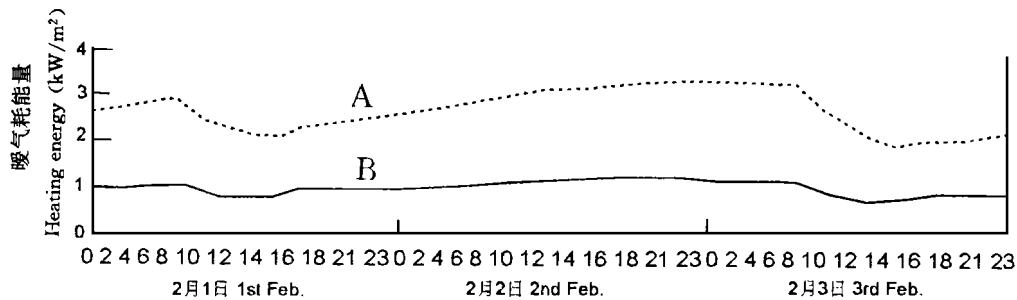


图 10 使用暖气时的瞬时耗能量 (1993年 2月 1日至 3日)

Fig. 10 Calculated values of heating energy on February 1 to 3

A: 普通房二层 2F (conventional house); B: 示范房二层 2F (model house).

表 2 各年度南屋面太阳辐射总量和发电量的预测结果

Table 2 PV generation power on the south facing roof for 1986 to 1994

年份 Year	南屋面太阳辐射 总量 Solar radiation on the south roof (kW° h/m²° a)	年发电量 PV generation power (kW° h° a ⁻¹)
1986	1227.2	2525.8
1987	1215.6	2502.0
1988	1394.0	2869.2
1989	1553.0	3196.4
1990	1321.3	2719.4
1991	1161.7	2391.0
1992	1224.3	2520.0
1993	1213.1	2496.8
1994	1128.5	2322.7

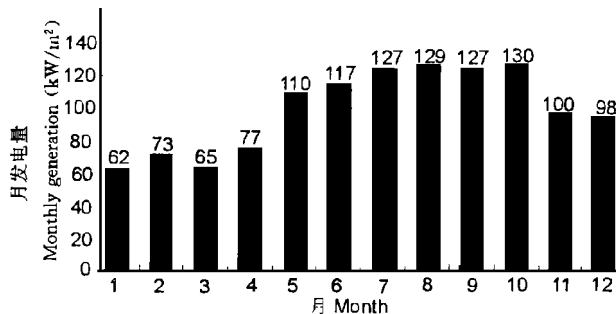


图 11 1993年月发电量的预测结果

Fig. 11 Monthly PV generation power for 1993

2.3 太阳能发电量预测结果

设置在本示范房南屋面太阳能电池板的发电量可按下式计算:

太阳能发电量 = 变换效率 × 直交变换器效率 × 照射在电池板面上的辐射量 × 太阳能电池有效面积
 其中, 太阳能电池光电变换效率 = 7%; 直交流变换器效率 = 0.9; 太阳能电池有效面积 = (33 × 2.397) m × 0.413 m = 32.67 m²

表 2 为照射在南屋面的年太阳辐射总量和年发电量的计算结果。这里给出的发电量为住房和会议室南面太阳能电池板发电量的总和, 两屋面的发电量大约各占一半。其实, 北屋面也可以安装同南面一样面积的太阳能电池板, 因此表 2 的结果可以大概说明一家住房的可能发电程度。表中看出, 平均年发电量超过了 2500 kW° h, 这么多的发电量完全可以自给当前一户普通家庭的用电。

作为例子, 1993 年的月发电量如图 11 所示。不难发现, 夏季月发电量是冬季的 2 倍左右, 其月发电量超过了 200 kW° h

3 结束语

根据南宁的湿热特点而设计的示范房, 在不考虑采暖和去湿取凉系统的效果条件下, 与普通住房相比

的模拟计算结果表明了具有相当高的节能效率。之后的成果报告文章将介绍本示范房建成后的有关测试结果, 并验证去湿取凉等措施的实际效果。通过设计本示范房, 更加明确地认识到, 只有充分掌握建房所在地的气候特点等条件, 才能有效地综合利用当地的自然能源和其他资源, 并提出相应的住宅节能技术。因此, 今后要在其他地区普及推广环保节能住宅, 应当首先收集完整的当地气象等数据, 然后根据数据分析处理结果提出可行性措施, 最后对提出的各种措施进行最优化模拟计算。

致谢

在收集和整理南宁气象数据过程中, 得到广西科学院应用物理研究所胡东南等同志的大力协助, 在此表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 Akio Okumura, The Present and Future OM Solar System, Proceedings of the 14th international conference on passive and low energy architecture, Kushiro, Japan, (1): 69~ 74.
- 2 Kazuhiko Suzuki and Ken-ichi Sakakura, Nanning-Japan Friendship Solar House, Proceedings of the 14th international conference on passive and low energy architecture, Kushiro, Japan, (2): 429~ 434.

(责任编辑: 莫鼎新 邓大玉)