

①

59-63

南宁日本友好太阳房设计和夏季热性能分析*

Design and Thermal Performances Analysis During Summer for Nanning Japan Friendship Solar House

TU832.17
TU24.91

郭 兵 杜 晖[✓] 王明真 胡东南
Guo Bing Du Hui Wang Mingzhen Hu Dongnan

(广西科学院应用物理研究所 南宁 530003)
(Institute of Applied Physics, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, 530003)

摘要 根据南宁气候条件和建材资源进行实验性太阳房的坡屋面设计, 分析其太阳能运转系统, 并对 1998 年夏季运行的实测数据进行分析。结果表明, 设计所采用的坡屋面、墙体结构、排热系统、利用夜间辐射致冷技术和地下取凉措施达到了设计要求。

关键词 太阳房 坡屋面 运转系统 夏季运行 热性能

中图分类号 TU 241.91

太阳能

设计 南宁市

Abstract The design of solar house according to local climate and building materials is described. It is analysed for the solar energy operation and its working data during summer in 1998. The result indicates that the slope roof, wall construction, heat exhaust system, cooling measures including radiation at night and cool air underground etc. all meet the design requirements.

Key words solar house, slope roof, operation system, summer operation, thermal performances

南宁属亚热带季风气候, 高湿热季节长达半年以上, 住宅面临的采暖问题不明显, 关键是如何改善漫长夏季室内的热环境条件。本研究吸收引进日本 OM 太阳房专利技术, 根据南宁的气候特点和建筑资源条件, 并考虑对周围的自然环境进行综合利用, 在南宁建成了一栋旨在利用太阳能开展去湿降温技术研究的“南宁日本友好太阳房”。太阳能去湿降温, 体现在本实验房中主要是利用太阳能的热量来蒸发晚间积蓄在屋顶吸湿材料中的潮气, 晚间利用辐射致冷技术取凉并将冷气储存起来, 墙体采用了高性能的隔热材料, 此外坡屋面安装了既能采热又能发电的太阳能电池板, 可制作热水并提供供室内各种电器设备用电, 还在房屋的整体结构上考虑了对自然能源和环境的综合利用等等, 在房间完全无辅助冷源的情况下开展试验研究。

1998-11-02 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, 获广西科技厅、广西科学院(桂科回 94560131)、广西建设厅(项目编号 19961011)科研经费资助。

1 太阳房的建筑结构

1.1 屋面构造的设计

本实验太阳房是一栋使用面积为 164.87 m^2 的低层建筑^[1]。被动式太阳房的设计原则是：夏季尽可能减少建筑物吸收的太阳辐射热量传向室内；冬季则尽可能利用建筑物吸收的太阳辐射热量。根据这一原则和南宁的气候特点以及屋顶热空气流动的情况，考虑到屋面构造系统是解决屋面保温隔热和建筑节能、改善室内热环境的关键并综合了其它因素，屋面坡度设计确定为 45% 。利用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，由设在屋脊的小型风扇带动屋面铁板下通气层的空气向上流动，空气一边流动，一边被吸收太阳能后被热的铁板加热，从屋面通气层吸进来的热空气聚集在设置于屋脊处的集热通道并通过运转系统。夏天，系统将屋面的热空气排出室外，冬天则将屋面采集的热空气经管道送入室内，见图1。

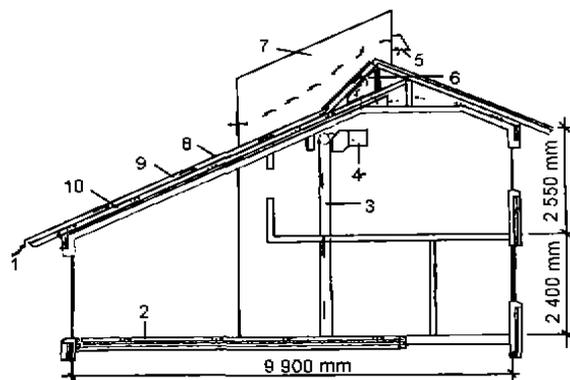


图1 剖面图

1. 室外空气；2. 空心预制板；3. 直立管；4. OM控制箱；5. 热空气排出口；6. 集热空气通道；7. 排气塔；8. 屋顶采热面，9. 通气层；10. 空气层

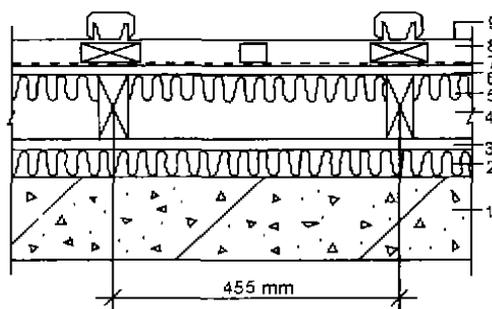


图2 屋面构造图

1. 混凝土屋面；2. 岩棉隔热层；3. 垫木；4. 架空空气层；5. 岩棉隔热层；6. 胶合板屋面；7. 防水层（加吸湿材料）；8. 架空空气层；9. 涂黑漆铁板屋面（部分为太阳能电池）。

1.2 坡屋面构成

坡屋面由采热层、通气层、空气层、隔热层、集气通道等组成，其断面见图2。

采热面层：由涂黑铁板和太阳能电池板组成，主要用于吸收太阳能，白天可采暖，夜间则向天空辐射热量以致冷。考虑到铁板屋面的自身刚度及传热的效果，其厚度在 $0.4\text{ mm}\sim 0.6\text{ mm}$ 为宜。由于板材薄，减轻了屋顶的自重，可节省建筑投资。同时，排水效果很好，屋面防水处理简单、施工简单、工期短。

通气层：在屋顶的南面，由铁板与胶合板架空，沿房屋的纵向分割成许多横向小空间而构成，架空的材料选用导热性差的材料（木材），在屋檐处设有进气口。白天，室外空气进入通气层，被吸收太阳能后变热的铁板传导的热量逐渐加热，形成热空气。为了防止热空气通过胶合板或接缝处散失，在屋面中部至集气通道范围的胶合板底部铺贴岩棉断热层，胶合板面铺设防水层（加去湿材料）。因夜间室外湿热空气进入温度降低的铁板下通气层时，会产生凝结露，通气层内的空气变得凉爽而干燥，通过运转系统将这些空气送入室内，可达到去湿降温的效果。

空气层：由在建筑物的混凝土屋面上采用木枋架空而成，南北屋面的空气层相通，并与排气塔相联，目的是为了尽可能防止屋顶热量传入室内。室外热空气进入屋顶后，由排气塔排出。同时，在混凝土屋面上，铺贴了岩棉隔热层，以阻止屋顶热空气通过混凝土屋面传入室内。

集气通道：为设置在屋脊处的通长小空间，内壁四周铺设岩棉隔热，它分别与屋面的每一个通气层及运转系统管道相连。

2 太阳能运转系统

太阳能运转系统是本实验太阳房的心脏，如图3所示。白天，在涂黑铁板和太阳能电池板构成的屋面板下架空的集热通气层中，被太阳辐射加热的空气聚集在集热空气通道内。冬天需要供暖时，运转系统自动关闭通向排气塔的风门，打开通向室内的风门，通过送风管，将热空气输送到设计需要采暖的房间和地板下面的贮热层，晚上系统自动关闭；夏天，系统自动关闭通向室内送风管的风门，打开通向排气塔的送风管风门，将热空气送入排气塔上部，通过排气塔排出室外。在排热及送热过程中，通过运转系统内的环形热水管，这些热空气被用来加工热水，然后被系统排出室外。晚上系统则将辐射制冷采集到的低于室外气温的冷空气送入室内和储存在地板下面。运转系统主要由3部分组成：(1) 离合板；(2) 风箱；(3) 变向板。

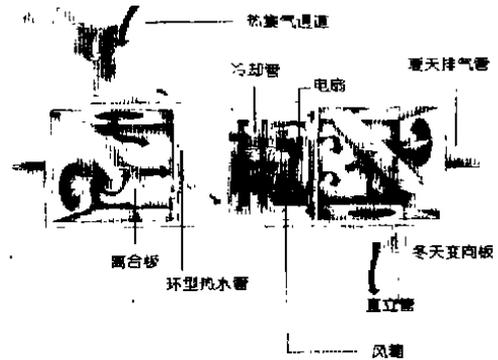


图3 太阳能运转系统

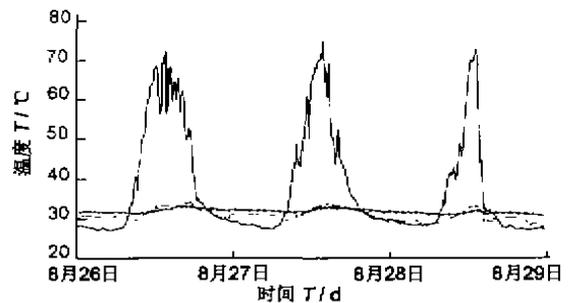


图4 1998年8月26日~28日屋面温度测试图

——铁板下；---天花板；- - -室外。

3 夏季热性能分析

3.1 屋面系统夏季降温效果

1998年夏天，我们对太阳房屋面系统进行的夏季保温隔热效果测试结果如图4。从图4可看出，一天中室外温度最热时为 35°C ，而同一时刻通气层的温度高达 76°C ，室内天面内表面温度为 33°C ，低于南宁的建筑热工指标(36.7°C)。从图4中还可以看出，天面内表面温度曲线变化平缓，说明其受屋顶太阳热辐射及室外温度的影响很小，基本上是建筑物内空间的自生温度。通气层内的曲线变化很大，即铁板面层吸热及散热很快。在凌晨0:00时至7:00时，还低于室外空气温度，可向室内送入凉空气，是一个很好的冷源。

3.2 夜间利用屋面铁板辐射致冷

在本实验房中我们在屋面采用涂黑铁板对夜空不断辐射热量来降低屋面温度（也可理解为铁板接收了夜空的冷辐射），屋顶通气层内的空气被温度降低的铁板降温，沿着管道送到地板下面，再流入室内，并储存在地板下面，达到取凉效果。

夏天的夜晚，室外气温一般在 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，而晴朗的高空温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim -60^{\circ}\text{C}$ 。宇宙空间的巨大容量，使之可以看成是一个热量的“黑洞”，我们把地面上不需要的热量以电磁波的形式向宇宙空间排放，就可以达到致冷的目的。本实验房利用坡屋面涂黑铁板的辐射制冷效果可以获得低于室外气温的空气。南宁夏季的空气非常潮湿，当高温高湿的空气与低于气温

的铁板接触时在通气层内产生结露，空气中的一部分水蒸气变成了水珠，送入室内的空气比外界空气干燥和凉爽，就能得到比直接与室外换气更好的取凉效果如图5所示，由于太阳能运转系统的作用，夜间室外空气依次经a、b、c、d、e进入室内，从6、7、8、9月的测试结果中我们取9月10日22:00至11日8:00的数据绘成曲线如图6所示，由图中可看出从23:00至6:00西进气管(HB)的温度低于外气温，温差最大的凌晨2:00低 0.7°C 。也就是说一个晚上有7h左右可以用辐射致冷方式获得比直接换气通风更好的取凉效果。这些冷气一部分直接送入室内，一部分储存在地板下。由于地板在夜间蓄冷，白天室内地板的温度可保持比室外气温或室温低，结果，在西室内时地板的冷辐射效应会使人有清凉的感觉。但东进气管(HB)出口处d同一时刻的效果却不太理想，分析其原因是铁板下的通气层、集气槽白天是通热空气的(空气经a、b、c排出室外)，通道内积蓄了相当的热量，到晚上才逐渐释放，夜间辐射致冷取凉的效果有一部分被通气层白天积聚的热量所消耗，而且东面屋顶比西面屋顶的集热面积大，再加上东集气槽上多了玻璃集热保温层，因此东面白天所蓄的热量比西面要多，从而影响了晚上的取凉效果。西屋顶由于没有采用像东屋顶那样的玻璃保温层，取凉的效果相对较好，早上6:00~7:00西进气口的温度可低于气温 1°C 左右。

3.3 利用地温取凉

夏日白天，地下一定深度的地温低于外气温。本实验房通过在1.5m深的地下铺设塑料管道(直径20cm，总长50m)的办法，并用换气扇将通过管内的地下凉气以 $1\text{m}^3/\text{min}$ 的流量送入室内，达到取凉的目的。如图7所示，取9月8日至12日的测试数据，东室不取地下凉气，西室采用地下凉气，比较曲线可以看出，在下午，西进气口的温度低于东进气管出口约 0.4°C ，同时低于西室地板下空心板约 0.7°C 。而东进气管出口和地板下空心板的温度则相差不明显。说明西室通过地板取凉方式取得了比空心板温度低的凉空气，而东面则效果较差。

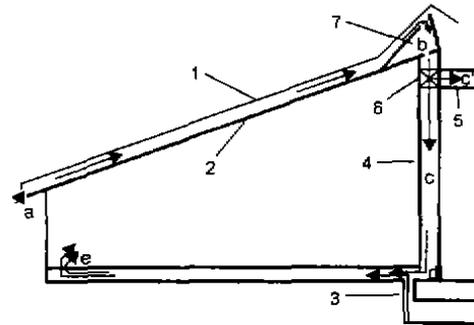


图5 空气流动方向示意图

1. 铁板；2. 隔热材料；3. 地下凉气；4. 进气管；5. 排气管；6. OM风箱；7. 集气槽。

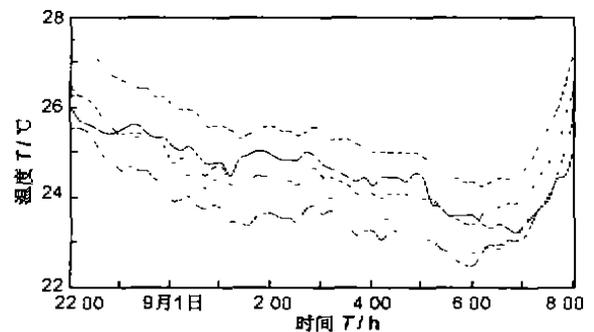


图6 冷辐射效果曲线图

- 外气温；·····东HB进温；- - -西HB进温；- - -东HB出温；- · - -西HB出温。

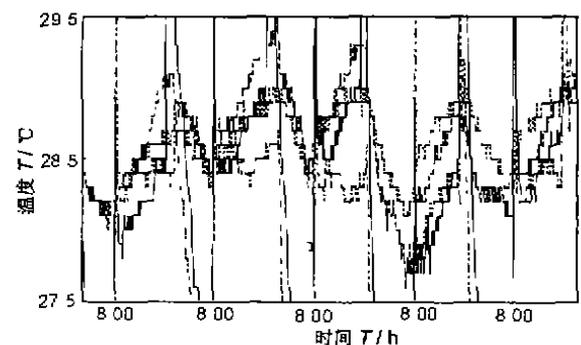


图7 地下取凉效果曲线图

- 西空心板；·····东空心板；- - -东HB出温；- · - -西HB出温。

3.4 太阳能发电

本实验房采用日本 CANON 公司生产的非晶硅太阳能电池系统, 在坡屋面上安装了 33 块 $2.6\text{ m} \times 0.45\text{ m}$ 的电池板, 有效发电面积为 32 m^2 , 设计发电量为 $2\ 112\text{ W}$ (在太阳辐射量为 $1\text{ kW}/\text{m}^2$, 环境温度 25 C 的条件下)。测得 6 月~10 月瞬间发电量最大值为 $1.9\text{ kW} \cdot \text{h}$, 全天发电量最大值为 $12\text{ kW} \cdot \text{h}$, 7~10 月 123 d 中的 111 d 累计发电量为 $1\ 050\text{ kW} \cdot \text{h}$ (其中有 12 d 因停电未测到数据, 见图 8), 日平均发电量为 $9.5\text{ kW} \cdot \text{h}$, 每月平均每平米太阳能电池发电量为 $8.2\text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

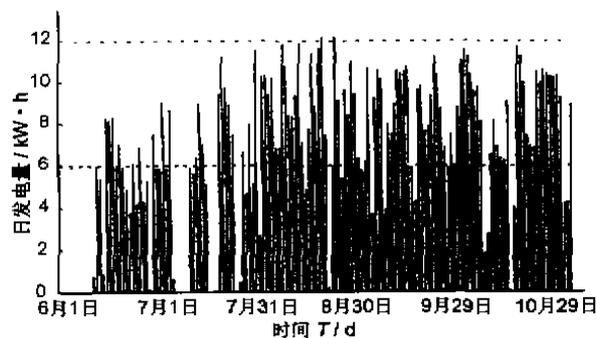


图 8 太阳能电池发电量

4 结语

该太阳房建成以来第一个夏季的运行测试结果表明, 其设计采用的屋面、墙体结构、排热系统, 利用夜间辐射致冷技术和地下取凉措施以及太阳能运转系统的使用, 对研究太阳房去湿降温技术、尤其在亚热带地区开展太阳能综合利用住宅新技术研究, 具有创新意义, 而且基本上按照设计意图发挥了应有的功能。它的设计选材, 既考虑到材料的隔热、保温性, 而且考虑了如何节约能源, 保护环境, 是一个真正的节能环保建筑。由于实验太阳房运行的时间较短, 待经过四季运行和对有关测试计算分析及研究工作的深化, 开展对比试验, 才能验证该实验房的实际效果。以后我们再作进一步讨论。

致谢

本文得到项目负责人何江博士的指导, 在此表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 何江, 王明真, 郭兵. 高温高湿地区环保节能住宅的设计与模拟计算. 广西科学, 1997, 4 (3): 224~229.
- 2 李戩洪. 一种被动式降温的新方法: 辐射致冷. 制冷, 1997, 59 (2): 21~26.
- 3 王垣一, 王兴久. 中国太阳房技术研究探讨. 沈阳建筑工程学报, 1993, 9 (4): 402~407.
- 4 齐国思, 郭晓光. 潍坊市太阳房 1 号的设计与使用概况. 太阳能学报, 1985, 6 (2): 204~207.

(责任编辑: 黎贞崇)