

# 冀东沿海农村太阳能采暖研究

孙素丽, 毛佩柱, 高英杰, 姚秀菊

河北省秦皇岛市气象局, 河北 秦皇岛 066000

**摘要:** 用乐亭、秦皇岛5年温度、湿度、天气现象、风向、风速、能见度等资料,日照、太阳能资料的分析研究,在秦皇岛市海港区西岗镇大乐安寨村2021.12-2024.4月3个冬季的太阳房试验,得出冀东地区农村一层建筑改造成绿色节能的零碳建筑,需要采取的措施。结果显示:在冀东地区实现农村单层100平米住宅需要:第一对原有住宅进行太阳房改造,即对原有住宅加装保温材料,南向加装阳光房或特朗勃墙;第二屋顶安装200支真空管集热器,10吨热水的保温箱;第三屋顶安装10千瓦太阳能光伏发电站。这样花费在6-8万元,可实现冬季采暖,夏季空调降温和日常用电等。

**关键词:** 太阳房;采暖;特朗勃墙;真空管集热器;光伏发电站

## Research on Solar Heating in Rural Areas along the Eastern Coast of Hebei Province

Sun Suli, Mao Peizhu, Gao Yingjie, Yao Xiujie

Hebei Qinhuangdao Meteorological Bureau, Qinhuangdao, Hebei 066000

**Abstract:** Based on the analysis and research of temperature, humidity, weather phenomena, wind direction, wind speed, visibility and other data from Leping and Qinhuangdao over the past five years, as well as sunshine and solar energy data, a solar house experiment was conducted in Dale Anzhai Village, Xigang Town, Haigang District, Qinhuangdao City from December 2021 to April 2024. The measures needed to transform one story rural buildings in eastern Hebei Province into green and energy-saving zero carbon buildings were determined. The results show that in order to achieve single story 100 square meter residential buildings in rural areas of eastern Hebei, the first step is to renovate the original residential buildings with sunrooms, which involves installing insulation materials and installing sunrooms or Trongbo walls facing south; Install 200 vacuum tube collectors and a 10 ton hot water insulation box on the second roof; Install a 10 kW solar photovoltaic power station on the third roof. This cost ranges from 60000 to 80000 yuan and can achieve winter heating, summer air conditioning cooling, and daily electricity consumption.

**Keywords:** solar room; heating; Trongbo wall; vacuum tube collector; photovoltaic power station

## 引言

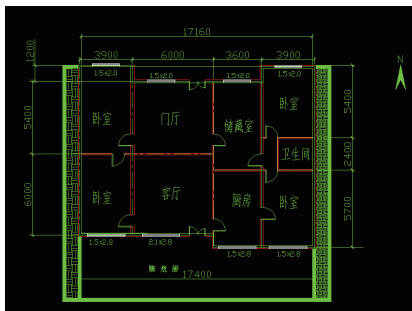
在碳中和碳达峰大背景下,河北农村还有很多住宅比较简陋,没有保温措施,用电用气采暖价格昂贵。2017年河北省农村给每户住宅安装真空管太阳能采暖加电系统,但是太阳能真空管数量少,夜间全部用电采暖,耗电大,电网无法承受,经常断电,采暖效果不太好。从2019年本人开始给秦皇岛市政府写调研报告,研究太阳能采暖。本人在多年的实践中取得了许多北方农村采暖的经验。为农民温暖过冬,夏季降温,零碳建筑方面取得了一定成果。在增加房屋内外保温,增加门窗保温的情况下,南向安装阳光房。屋顶安装真空管热水器,一部分安装光伏发电站。以达到冬季采暖夏季降温作用,实现零碳建筑。多余的电可以卖给国家电网,农民还可以赚钱,增加收入。

## 一、太阳房试验

一般农村住宅保温性能差,只有24厘米的砖墙,加1-2厘米的抹灰,导热系数达 $1.7W/(m^2.K)$ ,占建筑耗能的20%;屋顶一般为10厘米的现浇混凝土,导热系数 $1.26W/(m^2.K)$ ,占20%;门窗更是高达 $6.4W/(m^2.K)$ ,占建筑耗能的50%多,地面占10%。将

原有农村一层住宅改造成太阳房,经计算改造前建筑综合耗热量为 $19332.63kw$ ,折算单位面积用能指标为 $84.05w/m^2$ 。主要方法是住宅南向加阳光间或特朗勃墙、屋顶加采光板保温(内放太阳能晒水袋)。背光面墙面采用保温板或保温棉帘,主要卧室做内保温。采用太阳能热水+电的采暖模式(或者燃气采暖),再加住宅的太阳房改造,可以使农村冬季采暖节能70%以上<sup>[1]</sup>。

作者简介:孙素丽(1966.04-)女,汉族,河北省秦皇岛市,高级工程师,本科,研究方向:新能源开发。

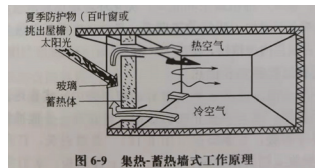


> 图1平面图

选择秦皇岛市海港西区西港镇大乐安寨村，南向高度半米以上没有遮挡，建筑物南立面平直。建筑面积在220平米，3-4人居住，（如图1、2所示）。该建筑主要人员居住在南向朝阳房间，有东西两个卧室，一个厨房，一个客厅。北侧为储藏室、卫生间等辅助功能区。卧室需求的温度较高16-18℃，客厅、和卫生间较低12-13℃。具体改造如下：

**(一) 第一期工程 (2021.12-2022.3期间)**

(1) 南侧建阳光间：在南墙外加3米宽的阳光间，白天有阳光时，阳光透过率高的玻璃（或PC板）照射到阳光间里，阳光间空气加热可比室外温度高出10℃。在南墙外再盖一层玻璃做成特朗勃墙，可以增加室温<sup>[2]</sup>。玻璃与墙体之间形成空气夹层，经过阳光照射，空气夹层的温度迅速升高，与室内的空气进行换热。开窗大小可以人工调节，足够通风换气用。夜间将窗户关闭，室内空气与特朗勃墙夹层内空气不进行热交换（如图2）。这样东侧南集墙热墙面积占75%，直接受益窗占35%。由于是老的塑钢窗，密闭性较差，门窗热量散失严重。以最冷月进行计算，室外温度平均温度-5.4℃，因为采用阳光房，将室外温度提高了10℃。



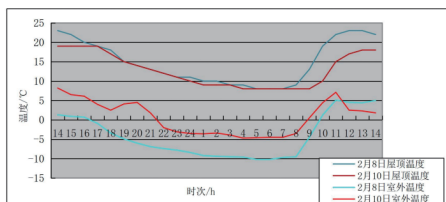
> 图2 特朗勃墙



> 图3 西侧立面图

(2) 屋顶改造：屋顶用采光瓦做尖顶1.5-2.0米高（如图3），或1.0米高拱形屋顶。屋顶不做保温，上面涂成黑色，以便吸收阳光。一般现浇的混凝土传热系数比较大，吊顶用铝合金栅格。这样白天尖顶内温度升高可以向室内辐射热量<sup>[3]</sup>。在尖顶内放黑色晒水袋，袋内充满水，晒水袋外做好保温，以免晒水袋内冻冰。尖顶内冬季白天温度最高气温也可以达到20-35℃，阳光将水袋内水温度晒高，夜间用来散热平衡温度，全天24小时平均温度提高了11℃（见图4）。

(3) 北门做保温门帘；东西两面各有一个胡同，进行封闭保温。



> 图4 2022年2月8日、10日屋顶温度与室外温度对比

**(二) 第二期工程 (2022.11-2023.4)**

2022.11-2023.2对大乐安寨农宅进行重新改造。重新安装南侧阳光房，西侧特朗勃墙，还有西侧采光瓦屋顶，并且在客厅隔出一个3.5\*4米的试验房<sup>[4]</sup>。

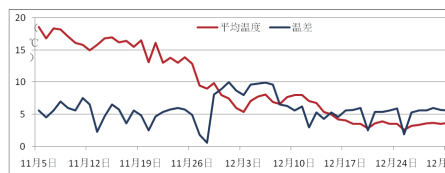
(1) 主要对客厅内的试验阳光房进行观测，东侧北侧用冷库板隔墙，西侧只是24厘米砖墙未做保温，南侧窗户过大而且气密性不好。所以影响了室内夜间保温效果。但是2022年11月5-27日的23天和2023年3月3日到4月5日一共57天有53天平均室内温度超过13℃。达到太阳房室内温度标准（>=13℃占35%以上）。

(2) 对西屋南侧加装特朗勃墙，屋顶加装透明尖顶，内放黑色热水袋做成蓄热屋顶；东屋南侧加特朗勃墙，屋顶做保温吊顶。对东西两屋3月5日到4月5日监测。试验结果表明：从3月8日开始西屋平均温度高于13℃。西屋比东屋室内平均温度高5℃左右。说明屋顶做采光屋顶室内温度比一般保温屋顶室内温度高得多。

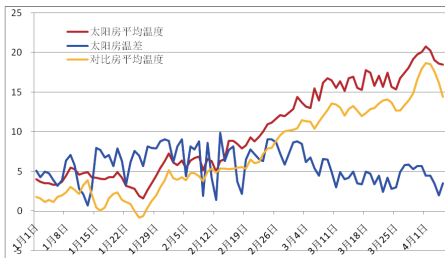
(3) 客厅隔出的房间做了屋顶和东、北三面保温，室内温度比不做保温高出5-6℃，说明保温在冬季农宅采暖中的作用是最大的<sup>[5]</sup>。而且保温是全方位的，不是一个方向的。由于热空气向上运动，所以屋顶保温是最重要的。但是门窗散热量最大，门经常有人出入。玻璃导热系数大于混凝土屋顶，所以门窗保温最重要。

通过计算，通过增加阳光房和屋顶的改造，建筑综合耗热量降低30.5%，热指标由原来84.05w/m<sup>2</sup>降低到48.41w/m<sup>2</sup>。

从2022年11月27日到2023年2月28日试验房内平均气温不到13℃。有41%的时间达不到太阳房采暖标准；59%可达到<sup>[6]</sup>。



> 图5 2022.11-12月太阳房平均温度、最高最低温差



> 图6 2023.1.1日-4.5日太阳房平均温度、温差、对比房平均温度

**二、太阳能真空管采暖系统**

在屋顶安装200支真空太阳能管、室内安装10吨保温水箱，可以储存3000千瓦时的能量。实现低温储热，提高集热器效率提高15%左右。动控制柜，水泵两台，大约需要2万元，东屋安装4吨保温水箱在东北角；西屋和客厅南封闭阳台内安装6吨保温水箱。实现全自动上水下水，生活热水。使集热器在低温情况使用一般在40-50℃<sup>[7]</sup>。

按照秦皇岛地区太阳房每平米耗热30瓦计算，40平米200支太阳能产生的热水可以保证连续两天没有日照采暖使用。

近年来,政府安装的太阳能真空管采暖系统不成功就是因为真空管数量不够,每户只有20多支管子,储水箱只有1-2吨。因为冬季真空管内水温一般只有40-55℃,只有到达一定的数量采暖得到足够采暖用的热量<sup>[8]</sup>。也只有储存的热水达到足够的重量和温度才能达到采暖要求。按照40瓦每平米的采暖指标,100平米需要4000瓦功率,24小时是96度电的热量。10吨水升高20度需要233度电,可以用两天。

### 三、光伏发电站试验

面积100平米的农宅屋顶安装50平米10千瓦的发电站,通过对5个农宅屋顶加装光伏发电站调查,10千瓦发电站从11月到第二年3月五个月的发电量在6000度左右,完全可以满足100平米住宅的太阳房采暖期辅助热源用电量。其他7个月可发电10000度,卖电3千元-4千元。

每平米光伏日发电量,光伏发电效率:

$$X_m = (T_m - 25) * (-0.37\%) + X_{25} \quad (2)$$

对于每个光伏发电站  $X_{25}$  就是在组件25℃时的发电效率,是个常数。这样如果预报出某一时段的温度、风速,就可以算出该时段的发电量。

每平米光伏日发电量(W) = 太阳辐射量Q\*发电效率( $X_m$ ) (3)

装机容量是一定的,根据上面公式发电量与某地接收的太阳辐射总量、发电效率成正比。发电效率与设备表面温度有关。一年中固定日期晴天太阳总辐射量也是固定的,所以太阳总辐射能量只与天气现象和大气透明度有关,即与阴雨雪、雾霾等天气有关。研究发现昼长不是匀速增加或减少的<sup>[9]</sup>。11月初到12月21日(或22日)冬至前平均每天白昼长度减少1分多钟;冬至以后到1月底每天增加1分多钟;2月、3月每天增加2分多钟。所以晴天太阳总辐射量也不是匀速变化的。11月昼长时间从10小时30分减到9小时35分,相差55分钟;12月1日到冬至从9小时20分减少到9小时20分,冬至到12月31日增加到9小时34分,只有相差只有14分钟;1月份从9小时24分增加到10小时08分,相差44分钟;2月份从10小时10分增加到11小时15分,相差65分钟;3月份从11小时17分增加到12小时36分,相差79分钟。冬季昼长最大时差3小时16分钟,196分钟。这就决定了晴天发电量以冬至为中心向两边增加的趋势<sup>[10]</sup>。

晴天的太阳能:每天的  $Q_q$  应该为一个常数

$$W_q = Q_q X_m$$

$$W_y = W_q * (10 - \text{云量}) / 10; W_m = W_q * \text{能见度} / 10000$$

经过入户调查20千瓦、50千瓦发电站发电量,从2022、2023两年的发电总量看每平米发电量没有太大区别,正常情况应该11月发电量大于12月,但是2022年却相反,说明发电量与白昼时长不一定成正比,还受雨雪、雾霾等天气的影响。2023年2月份发电量小于1月份。发电量最多可能出现在6月也可能是5月。两年中发电量最少的是2023年12月50千瓦发电站发电4040度。50千瓦折合成10千瓦光伏发电站的发电量11月:1140度;12月:808度;1月:1200度,2月:1160度,3月:1560度。

1月份平均气温最低,发电量却不低,10千瓦电站平均每天发电38.7度。一般来说12月份发电量最低,每天平均26度左右,11月份38度,2月份42度,3月份50度,基本与每月太阳能成正比<sup>[11]</sup>。而且最冷的12月、1月与其他月份发电量差别并不是很大,这说明温度越低发电量效果越好。这一特点为实现冬季采暖提供有利条件。

### 四、结论

(1) 在选址新建农宅时要朝向南,左右偏差不超过15°,距离前面建筑物超过其高度两倍距离。

(2) 在农宅冬季采暖中保温是最重要的,并且要做全方位的保温。对房屋外墙要安装10厘米以上的保温材料,卧室要做5厘米的内保温,窗户、门帘、屋顶、地面都要做保温。

(3) 屋顶的集热和保温比南向阳光房效果好,2-3月可以提升室温5℃以上。在做墙保温和屋顶采光集热、阳光房的情况下,秦皇岛11月、3月、4月在不用辅助热源室内平均温度有30天可以达到16℃-18℃,其他月份也可以节约60%的辅助能源。11月中上旬、3月、4月基本不用采暖。采暖期可缩短至120天。

(4) 安装200支太阳能真空管、10吨储热水箱的采暖系统,基本可以满足整个冬季的采暖热量需求。除非连续三天以上的大雾或者雨雪天气,没有日照的情况需要辅助加热。

(5) 安装50平米光伏板,大约10千瓦的发电站,用于冬季采暖辅助热源和家庭日常用电。

(6) 这样先把100平米农宅改造成太阳房;屋顶安装200支太阳能真空管、10吨储热水系统;再安装50平米发电站,采暖期用电做辅助热源和家庭用电,4-10月份还可以卖电3-4千元。

### 参考资料

- [1] 孙素丽 吴正琪 徐静 京津冀地区农村实现太阳能采暖的可行性. 第26届中国气象学会年会气候资源应用研究分会论文集 中国气象学会会议论文集.
- [2] 孙素丽 康熙言 河北及京津地区如何在建筑中应用太阳能 2008年中国气象学会年会气候资源应用研究分会论文集 中国气象学会会议论文集.
- [3] 罗运俊 何梓年 王长贵 《太阳能利用技术》 化学工业出版社.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部 《被动式太阳能建筑技术规范》中国建筑工业出版社出版.
- [5] 程博, 姜曙光, 胡智毅, 等. 基于被动式技术严寒地区节能农宅的设计方案 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版), 2015, 33(04): 511-517.
- [6] 黑赏盟, 姜曙光, 杨骏, 等. 特朗伯墙体冬季集热性能的 CFD 模拟分析 [J]. 四川建筑科学研究, 2018, 44(3): 116-121.
- [7] 邹广宇 东北村镇住宅附加阳光间式被动太阳房优化策略研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2016.
- [8] 陈明东, 史宇亮, 刘学兵 附加阳光间型被动式太阳房供暖实验研究 [J]. 太阳能学报, 2012, 33(6): 944-947.
- [9] 余九如, 任康. 集热蓄热墙被动式太阳房设计与研究 [J]. 甘肃工业大学学报, 1994, (04): 78-82.
- [10] 任志坤. 冀东地区乡村住宅被动式节能技术应用研究 [D]. 河北建筑工程学院, 2018.
- [11] 马坤茹, 李雅欣, 颜丽娟. 被动式太阳房阳光间通风口优化设计 [J]. 河北工业科技, 2019, 36(02): 107-114.