

# 地域气候条件下天水地区农村住宅节能设计研究

毕晓莉, 张明晓, 陈 婷

(兰州理工大学设计艺术学院, 甘肃兰州 730050)

**摘要:**通过对天水地区农村住宅现状的实地调研,针对当地农村住宅围护结构节能措施简陋、用能形式单一、居民节能意识相对薄弱等问题,从绿色、节能的理念出发,基于对天水地区气候条件的分析,研究空间优化、围护结构节能设计与可再生能源利用等方面的问题,提出适宜天水地区的农村住宅建筑节能设计措施,建立优化方案。通过 Ecotect 软件对农村传统住宅与优化方案的热环境进行模拟与分析,论证新方案节能性能提升的效果。

**关键词:**地域气候条件;天水地区;农村住宅;节能设计

[中图分类号] TU201.5

[文献标识码] A

DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2021.22.21

## Study on Energy-Saving Design of Rural Housing in Tianshui Area under Regional Climate

Bi Xiaoli, Zhang Mingxiao, Chen Ting

(College of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China)

**Abstract:** Through field investigation on the status quo of rural houses in Tianshui area, in view of the simple energy-saving measures of the local rural house enclosure structure, the single energy use form, and the relatively weak energy-saving awareness of the residents, starting from the concept of green and energy-saving, based on the climate conditions in Tianshui area, the paper studies the problems of space optimization, energy-saving design of envelope structure and renewable energy utilization, proposes suitable energy-saving design measures for rural residential buildings in Tianshui area, and establishes optimization schemes. The paper uses Ecotect software to simulate and analyze the thermal environment of traditional rural houses and optimized schemes, and demonstrates the effect of improving energy-saving performance of the new scheme.

**Key words:** regional climate conditions; Tianshui area; rural housing; energy-saving design

目前,我国农村住宅面积为230亿 $m^2$ ,占全国总建筑面积的40%左右,北方农村住宅建筑总面积为88亿 $m^2$ 。农村建设量巨大,资源浪费严重,节能问题亟待解决。现有农村居住建筑多为自建房,其建筑围护结构保温隔热性能较差,采暖能耗较高且无法满足居住需求,村民又缺乏对节能设计的考虑,尤其是在我国寒冷地区,冬季漫长且干燥,这种特定的气候条件使其对能源的依赖与需求程度很高,也使得对农村住宅节能设计的探讨更有意义。近年来,相关学者针对农村地区的住宅现状、被动式节能技术开展了相关研究,如金虹针对严寒地区农村住宅<sup>[1]</sup>、张群针对宁夏地区乡村民居<sup>[2]</sup>、李延俊针对西北旱区乡村住宅<sup>[3]</sup>等提出了实用性的措施。在此基础上,本文围绕天水地区农村住宅的节能问题,基于对该地农村住宅的实地调研,分析其在建设和使用中存在的问题,同时结合乡村地域气候环境和自然资源,提出节能设计策略,以达到降低农村住宅建筑能耗的目的。

### 1 天水地区地域气候条件分析

#### 1.1 天水地区地理气候条件

天水地区位于甘肃东南部,区域范围为东经 $104^{\circ}35' \sim 106^{\circ}44'$ 、北纬 $34^{\circ}05' \sim 35^{\circ}10'$ ,地处陕、甘、川三省交界。全年平均气温在 $11^{\circ}C$ 左右,年降水量为 $491.7\text{ mm}$ ,年日照时数为 $2200\text{ h}$ 左右,无霜期约为185天。最热月是7月,其平均气温为 $22.8^{\circ}C$ ;最冷月为1月,平均气温为 $-2.0^{\circ}C$ 。极端气温最高 $38.2^{\circ}C$ ,最低气温 $-17.4^{\circ}C$ 。

根据《民用建筑设计统一标准》(GB 50352—2019)中相关的建筑热工分区,天水地区属于寒冷地区,节能设计应主要考虑冬季保温,兼顾夏季隔热。

#### 1.2 气候条件分析

与建筑密切相关的气候因素有太阳辐射、空气温度、湿度、自然光、风、降水等。通过 Ecotect 自带的 Weather Tool 软件读取天水地区气象数据(见图1、图2)。结果显示,天水地区平均风向频率以东风或东北风为主,其次是南风或东南风,在平面设计时应将主要使用房间设置在南侧和东侧,形成温度阻尼区。北偏东 $160^{\circ}$ 为最佳朝向,北偏东 $70^{\circ}$ 为最差朝向。建筑位于最佳朝向时,建筑的采光和日照达到最佳效果,冬季可以较多地利用太阳能,而夏季可以避免过多的太阳辐射进入室内。对比分析各个朝向立面上的全年辐射情况(见图3),根据全年过热期和过冷期的太阳辐射的热量得出,1月、2月、12月为全年最冷时间,6月、7月、8月为全年最热时间,年平均太阳辐射量为 $500 \sim 1500\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ,太阳辐射强烈。因此,在利用南向的良好朝向进行合理布局的基础上,应充分利用太阳能。

### 2 天水地区农村居住建筑现状调研

#### 2.1 天水地区农村居住建筑现状

为真实了解天水地区农村住宅能耗现状,分析建筑能耗产生的基本原因,提出适宜天水地区地域气候环境与经济条件的节能设计策略,本文选取天水市域内的清水县小

**作者简介:**毕晓莉(1971-),女,本科,教授。研究方向:绿色建筑设计及理论。

**通讯作者:**张明晓(1992-),女,硕士研究生。研究方向:绿色建筑。邮箱:1533406983@qq.com。

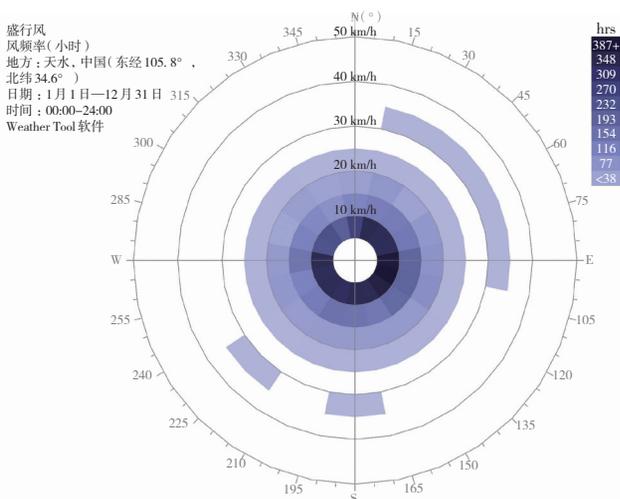


图1 风分析(图片来源:作者自绘)

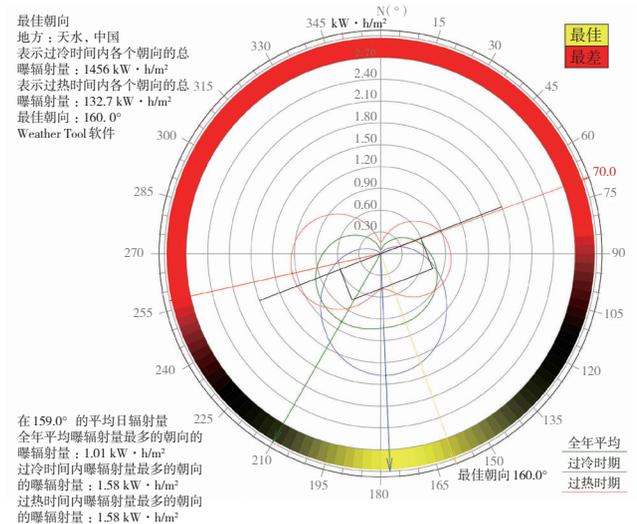


图2 最佳朝向分析(图片来源:作者自绘)

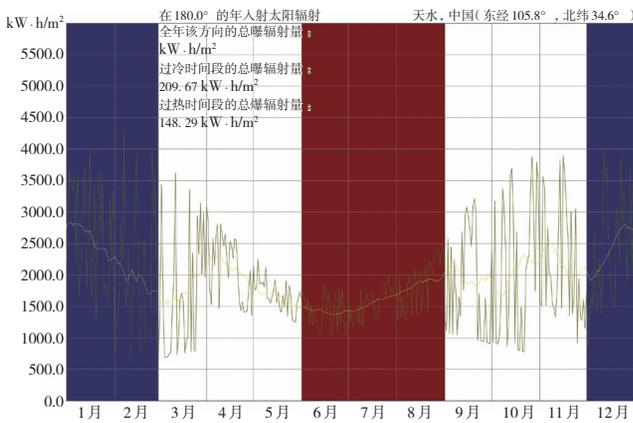


图3 太阳辐射分析(图片来源:作者自绘)



图4 传统农村住宅现状(图片来源:作者自摄)



图5 新建农村住宅现状(图片来源:作者自摄)

河村、赵尧村、麦积区新阳镇胡家大庄村、甘谷县六峰村、蔡家寺村,主要从村民对居住热环境的主观感受、建筑用能方式、建筑围护结构等情况入手,对每村20户新建住宅与传统住宅进行了实地调研。

### 2.1.1 传统住宅

天水农村地区的传统住宅以村民自建为主,单层独院式,平面多为L形或U形布局(见图4),主体建筑呈东西轴向布置,屋顶多为单坡青瓦屋面,屋前有走廊,设有台基。主立面正中开设,两侧开格子木窗,窗户较小,南向窗墙面积比为0.16~0.20。院门位于东南角,院内种植枣树、石榴、核桃、矮竹等,在一定程度上起到了遮阴、阻风和疏风的作用。外墙做法多为400mm厚土坯垒砌,内外草泥抹面,传热系数K值为1.746 W/(m<sup>2</sup>·K)。勒脚部位砌3皮实心黏土砖,台基为300mm中粗砂上砌5皮黏土砖,上铺150mm厚石板。屋顶为单坡硬山顶,采用在木板层檩条上铺设椽条,椽条上铺设荆条,再铺麦草泥,小青瓦铺在麦草泥上的做法,内设吊顶,传热系数K值为2.319 W/(m<sup>2</sup>·K)。外门多为双侧内开木门,冬季外挂棉门帘增加保温效果,窗户多为单层格栅式木框、宣纸或单层普通玻璃,传热系数K值为4.700 W/(m<sup>2</sup>·K)。冬季室内糊透明塑料布增加保暖,夏季

揭去,无其他的保温隔热构造,南向窗洞面积较小,为抵御寒冷,北向山墙面基本不开窗。

### 2.1.2 新建住宅

新建住宅由于受到农户自身经济条件的制约,建筑质量良莠不齐。一部分以20世纪80年代到21世纪初农户自建的砖混结构为主(见图5)。这部分建筑较传统住宅结构形式相对较好,但缺少保温隔热等节能措施。外墙多采用240mm厚实心黏土砖墙,一顺一丁式砌筑,内外20mm厚水泥砂浆,外墙表面瓷砖贴面或水泥砂浆抹面处理,其传热系数K值为2.044 W/(m<sup>2</sup>·K)。240mm砖墙虽然满足了热工设计的最低热阻,但其保温性能较差,内表面易产生结露现象<sup>[5]</sup>。屋顶采用120mm厚钢筋混凝土结构层,上铺20mm厚水泥砂浆屋面保护层,冬季屋顶容易形成水滴。外窗采用6mm厚木框双层普通玻璃(玻璃层厚度为12mm),传热系数K值为2.700 W/(m<sup>2</sup>·K)。另一部分为近年来以政府为主导建设的新农村住宅(见图5)。这部分建筑虽遵循了各项标准与规范,但在使用过程中也存在许多的问题。

### 2.2 问题分析

综合调研分析,造成天水地区农村住宅冬季室内热环境差、能耗较大的原因有以下几点。

### 2.2.1 缺乏规范与技术性指导

天水地区农村住宅大多为自建房,其空间组织、技术构造上缺少理论基础,仅凭个人喜好及传统经验建造,节能意识较为薄弱,这些导致建筑在建设使用的过程中出现能源浪费、运行和维护费用增加等问题。此外,农村地区住宅建筑层数较低、体型较大且布局分散,缺乏规划与节能设计的引导,各项设计参数难以控制,导致冬季采暖能耗明显高于城市建筑。新农村住宅虽考虑了以上问题,但其普遍存在院落尺度较小、院落周围无树木遮挡、大面积硬化场地等问题。

### 2.2.2 建筑围护结构热工性能差

天水地区农村传统住宅建筑墙体多采用土坯垒砌,虽通过加厚墙体来提高建筑围护结构保温热工性能,但总体而言,其保温性能依然不能满足建筑节能的要求。窗户多采用单层木窗,气密性和保温隔热性能较差。为了能够使优化方案的设计更为合理,研究针对居民对住宅主要使用房间(堂屋、南卧、西卧、厨房)的热舒适性的主观感受进行了访问,发现大多数居民认为夏季室内较为凉爽,而冬季较冷且为了减少采暖用煤,全家挤在一间房子里生活。新建农村住宅建筑结构也较为简单,围护结构部分缺少保温隔热措施,冬季室内多有结露现象。

### 2.2.3 采暖形式单一

天水农村地区采暖形式主要有煤炉采暖、火炕采暖,少部分经济条件较好的家庭采用自制锅炉采暖。煤炉采暖形式简单、热效率低下,靠近煤炉部分温度高而墙体四周温度较低,导致室内温度分布不均匀,而且燃煤不充分还容易造成室内环境污染,影响人体健康。自制锅炉采暖采用各房间集中供暖的形式,采暖形式较好但耗煤量较大。据调研统计,平均每户家庭在一个采暖季的耗煤量为3t,冬季室内平均温度为15℃,锅炉采暖用煤量为6t,节能压力巨大。

## 3 适应气候的农村住宅节能优化设计

适应气候的农村住宅节能优化设计可以直观地理解为在建筑设计的过程中综合考虑当地气候条件、要素、特征等因素,实现节能型和舒适型相统一的建筑形式。通过上文对天水农村地区住宅实地调研分析与Ecotect软件对该地区气候环境参数的分析,发现该地区农村住宅的节能设计,一方面可以通过加强围护结构的热工性能来减少冬季室内的热损失,减少能源消耗,在满足人体基本热舒适需求的前提下,优化通风设计,提高室内的空气质量。另一方面可以注重可再生能源的利用,使建筑在整体上达到节能的效果。

针对以上问题,选取当地一户农宅,立足于农村现代生活的新需求,综合考虑当地的地域气候环境、自然资源状

况、生产生活方式及经济发展水平等因素,从营造微气候环境、优化建筑空间布局、围护结构节能设计、再生能源利用等几个方面提出改善室内热环境的建筑节能优化方案。

### 3.1 营造微气候环境

院落是乡村聚落空间的灵魂,其组织起了有机的乡村空间。天水地区农村住宅为合院式建筑,封闭庭院作为乡村聚落的基本单元,既是交通联系空间,也是有效调节乡村微气候环境的重要构成部分<sup>[4]</sup>。从建筑的角度讲,合理的建筑空间布局、景观绿化布置是影响区域微气候环境的主要因素。首先,其规划布局需要防止冬季冷风和冷气流渗透增加供暖能耗,应选择避风的地段;其次,合理增大前后建筑间的间距,同时考虑该地区居民的生产、生活习惯,采用前庭后院的形式,前庭后院的形式可以起到引导穿堂风的作用。从绿化的角度看,植物的遮阴作用能在一定程度上降低太阳辐射对硬质场地的增温作用,植物的蒸腾作用也有一定的降温作用,植物树冠可以延缓雨水径流,产生较大的环境效益。因此,设计方案时院内应尽可能地减少硬质铺装,种植低矮果木和果蔬。在建筑南侧院外种植高大的落叶乔木,夏季可以遮挡阳光,避免室内受阳光直射而温度过高,冬季可以偏转北面的寒风,对于院内微气候的调节起到积极的作用。

### 3.2 优化建筑空间布局

通过调整建筑布局,可以有效地降低建筑能耗,体形系数与建筑能耗有着紧密的联系,以0.3为基准,每增加0.01,能耗增加2.4%~2.8%<sup>[6]</sup>。因此,综合考虑调研发现的问题,新方案在农村原有传统住宅空间布局的基础上采用联排式布置,功能布局上整合了厨房、卫生间及储藏间的位置,采用L形布局形式,平面力求紧凑,尽量避免形体的凹凸变化带来能耗的增加,利用南向墙面、屋顶作为太阳能集热面。建筑内部设置暖廊,暖廊与外界接触的界面由玻璃等透光材料构成,地面可做成蓄热体,既可在白天供给主体房间热量,又可在夜间作为缓冲区,减少热损失<sup>[7]</sup>。总入口集中为一个,避开冬季的主导风向,避免在传统建筑中因频繁地开关各功能用房门导致热量的散失。

### 3.3 围护结构节能设计

建筑围护结构是室内外热交换的主要介质,提高建筑围护结构的热工性能是提高室内热环境的关键技术措施,既可以保证室内的舒适度,又可以最大限度地降低不利气候条件带来的负面影响,减少建筑能耗,使建筑达到节能的目的。优化方案保持了院落的传统特色,采用一层坡屋顶合院形式,但体形系数为0.72,超出《农村居住建筑节能设计标准》(GB/T 50824—2013)规定范围,因此需相应地减小围护结构传热系数。通过计算和调整,建筑围护结构的构造做法如下(见表1)。

表1 建筑外围护结构构造做法及热工参数

构造部位	传统农村住宅	优化方案	传热系数限值[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
外墙	400 mm厚土坯垒砌, K=1.746 W/(m <sup>2</sup> ·K)	370 mm厚多孔砖墙+60 mm厚可发性聚苯乙烯板, K=0.53 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.65
屋面	瓦片+压实黏土+木板层檩条, K=2.319 W/(m <sup>2</sup> ·K)	100 mm厚钢筋混凝土板+90 mm厚绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)保温层, K=0.47 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.50
外窗	6 mm厚普通单层玻璃, K=4.700 W/(m <sup>2</sup> ·K)	中空断桥铝合金窗, K=2.60 W/(m <sup>2</sup> ·K)	南向2.8, 其他向2.5

### 3.3.1 墙体

天水地区为抗震设防烈度8度地区,可采用外墙外保温和内保温两种做法。外墙外保温的做法可以有效地防止热桥的影响,减少热损失,有利于避免保温层内侧的冷凝现象,提高墙体的保温性,保持室温的稳定。因此,新方案选取外保温方式,其构造包括基本界面层、黏结层、保温层、抹面层和饰面层。主体结构为370mm厚黏土多孔砖,黏土多孔砖比实心砖节地、节能。保温层选用60mm的厚可发性聚苯乙烯板、10mm水泥砂浆抹面处理。经过计算,外墙平均传热系数K值为0.53 W/(m<sup>2</sup>·K)。

### 3.3.2 屋顶

屋顶采用100mm厚钢筋混凝土屋面板,上铺90mm厚绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)保温层,再抹20mm厚水泥砂浆找平,铺防水卷材一道,钉顺水条及挂瓦条,在挂瓦条上挂平瓦。屋内设置吊顶,利用屋顶间层起到保温隔热的作用,传热系数K值为0.47 W/(m<sup>2</sup>·K)。

### 3.3.3 门窗

门窗采用中空断桥铝合金窗,加强密封处理,传热系数K值为2.60 W/(m<sup>2</sup>·K),双层窗在室内一侧加强密封,在室外一侧适当留有小孔或缝隙,避免外窗玻璃的内表面出现结露或冰霜。建筑窗墙比东面为0.18,南面为0.26,北面为0.06,满足《农村地区居住建筑节能设计标准》(GB/T 50824—2013)的要求。

### 3.3.4 地面

素土夯实,150mm厚炉渣保温层,隔绝热桥,上铺60mm厚混凝土结构层,再铺20mm厚水泥砂浆找平。

### 3.4 改善通风设计

传统农村住宅的设计通常选取“重防寒、轻通风”的布局策略<sup>[8]</sup>,往往忽略了通风对室内舒适度的影响。合理改善室内自然通风,减小室内空气龄,是室内通风组织的一个重要评价指标。为加强新方案中建筑在夏季的自然通风效果,山墙与坡屋面相接的部分设置了可启闭的通风换气口,起到夏季通风、冬季保温的作用。同时,在北侧开高窗,与南向窗户形成对流,从而完成室内外空气的流通和置换。

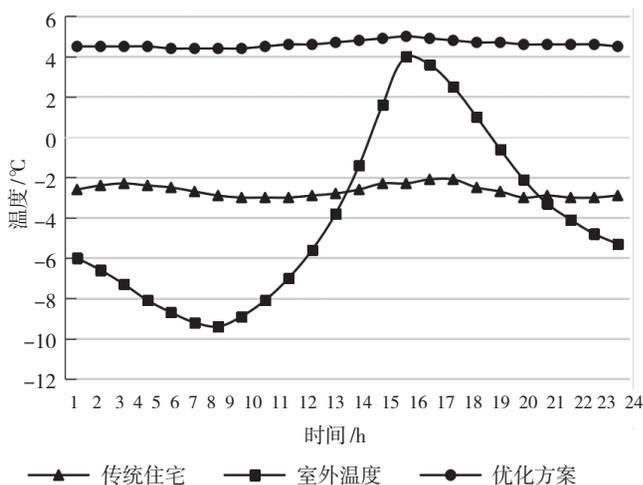


图7 堂屋冬季最冷日逐时温度(图片来源:作者自绘)

### 3.5 中水净化利用系统

根据上文对于新农村的建设现状的调研可以看出,市政管网基础设施还不尽完善。因此,中水利用措施建议首先以家庭为单位。天水地区年平均降雨量为491.7mm,降雨量较为丰富,通过在坡屋面与地面设计雨水收集系统,将雨水收集在集水井内,形成最终的回收利用,水井内的水经简单过滤、沉淀处理后存储起来,可以用于生活用水、消防用水与景观用水,做到一水多用<sup>[9]</sup>。

### 3.6 太阳能热水利用系统

太阳能热水器是比较经济的直接利用太阳能的最基本装置。最常用的形式是在建筑屋顶放置太阳能热水器,后来发展为太阳能建筑一体化形式。优化方案采用结合屋面设置太阳能热水器,南向坡面镶嵌“平板式太阳能集热器”代替屋面结构的形式<sup>[10]</sup>(见图6)。利用太阳辐射能加热水,热水通过管网直接供给农户以满足日常生活和生产用水。

## 4 室内热环境模拟与分析

为验证优化方案中住宅在冬季的室内热环境状况,在Ecotect中建立模型,分别对农村传统住宅与优化方案建筑模型在室内不采取任何外加加热与制冷措施的情况下,主要房间的冬季最冷日室内逐时温度与建筑总能耗进行数值模拟计算与对比分析。室内热扰的具体设置为:1人静坐,着衣量为1.00 clo,空气交换率为0.50,环境附加换气率为0.25。

### 4.1 冬季室内逐时温度

分析其热工性能,分别计算在天水地区全年最冷日室内逐时温度,并绘制成图(见图7—图9)。由图可知,天水地区室外空气变化幅度较大,全年最冷日(1月5日)最高温度为4.0°C,最低温度为-9.4°C,新方案设计室内温度变化

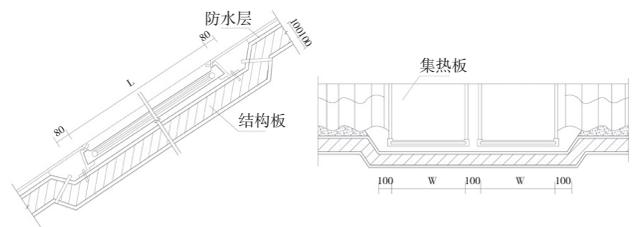


图6 太阳能热水器结构示意图(图片来源:作者自绘)

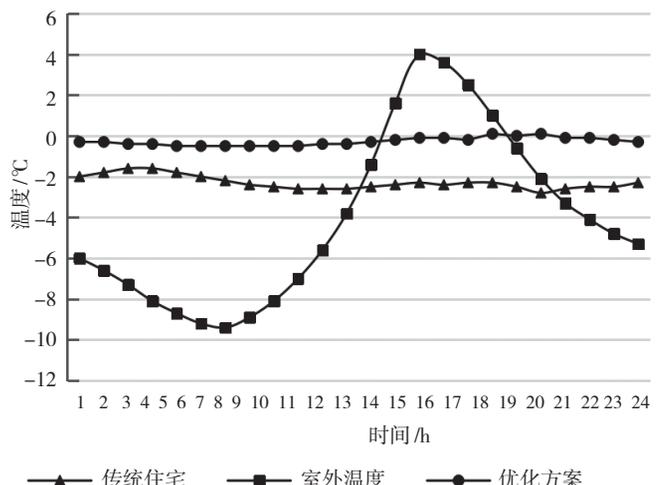


图8 南向卧室冬季最冷日逐时温度(图片来源:作者自绘)

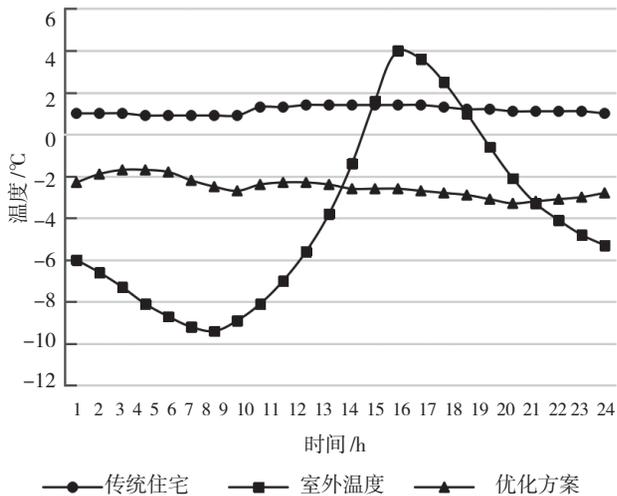


图9 西向卧室冬季最冷日逐时温度(图片来源:作者自绘)

较为平缓,在冬季室内最高温度明显要高于传统住宅,堂屋受暖廊影响,温度较传统住宅提升6~7℃,南向卧室与西向卧室提升2~4℃,热稳定性得到了明显的提升。

#### 4.2 全年逐月能耗

从两种方案的模拟结果来看(见图10),在普通无采暖空调的情况下,传统住宅全年总能耗为61 035.8 Wh,优化方案建筑全年总能耗为46 168.6 Wh,相比减少了14 867.2 Wh,能耗降低了24.35%,外墙与屋顶的保温能力强,具有明显的节能效率。但其围护结构虽有效地阻止了热量的散失,同时也阻止了夏季夜晚室内热量的散失,导致夏季能耗增加。因此,新方案建筑的节能设计在考虑冬季防寒保温的基础上还应考虑到影响夏季能耗的因素。

### 5 结语

近年来,国家对农村地区住宅建筑的节能越来越重视。结合天水寒冷地区的气候特点,依据寒冷地区农村住宅节能设计策略及《农村地区居住建筑节能设计标准》(GB/T 50824—2013),对天水农村住宅现状进行调研与分析,提出基于当地特定气候环境的新农村住宅节能设计的探索,通过对优化方案设计进行模拟与分析发现,营造区域微气候、优化建筑空间布局、围护结构节能设计等可以使建筑的能耗降低20%~30%,若同时考虑使用太阳能集热装置、雨水收集系统等节能措施的能效,农村地区住宅室内热环境状况与能耗的改善效果将十分明显。对天水地区农村住宅的节能设计方法的研究,有助于吸取农村传统住宅的宝贵经验,改进其

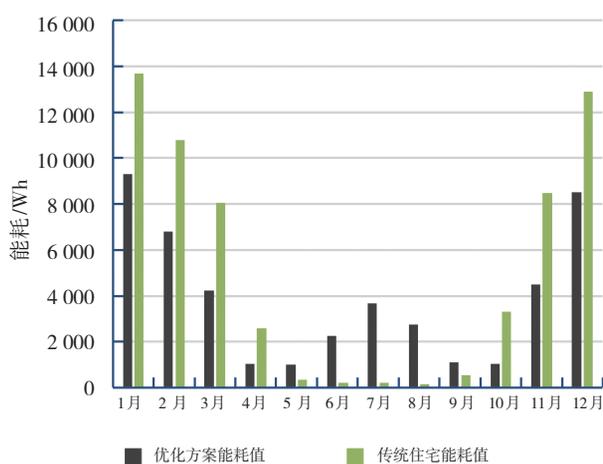


图10 全年逐月能耗(图片来源:作者自绘)

不足,使新建农村住宅朝着节能、生态的方向发展。

### 参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展报告2020[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [2] 邵腾,金虹,赵丽华. 东北严寒地区农村住宅现状分析及改进策略[J]. 中国科技论文,2016,11(01):12-16.
- [3] 张群,梁锐,刘加平. 宁夏地区乡村民居节能设计研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2011,43(04):570-575.
- [4] 李延俊. 西北旱区乡村住宅空间优化及热环境改善探析[J]. 建筑节能,2019,47(12):45-51.
- [5] 王建国,朱文月. 贵州既有民居建筑节能改造措施研究[J]. 建筑学报,2012(S1):118-122.
- [6] 孔俊婷,孙腾辉,尹孟泽,等. 山西润城镇传统民居生态节能改造策略[J]. 建筑节能,2018,46(09):95-98.
- [7] 余俊骅,刘煜,唐权. 关中地区农村住宅的绿色生态设计策略及适宜技术浅析[J]. 华中建筑,2010,28(08):86-89.
- [8] 张芳芳,张群,王江丽. 洛阳乡村民居建筑通风优化策略及效能[J]. 工业建筑,2020,50(07):34-40.
- [9] 朱赛鸿,何沐宸. 冀东地区农村住宅的绿色生态设计策略及适宜技术研究[J]. 建筑节能,2017,45(11):29-31.
- [10] 周丽,刘佳霓,刘杨. 新型农村绿色节能建筑的研究探讨:以太阳能民居为例[J]. 科技创业月刊,2017,30(06):123-125.

(上接第78页)

- [14] 周宏春,江晓军. 习近平生态文明思想的主要来源、组成部分与实践指引[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(01):1-10.
- [15] 朱华,王洪,李保贵,等. 西双版纳森林植被研究[J]. 植物科学学报,2015,33(05):641-726.

- [16] 吴承照,杨浩楠,张颖倩. 行为分析方法与国家公园功能分区模式:以云南大山包国家公园为例[J]. 环境保护,2017,45(14):21-27.
- [17] 林柳,张立. 象科动物对当地森林生态系统的影响[J]. 兽类学报,2018,38(04):411-419.