

关中合院建筑节能优化与绿色更新

何文芳^{1,2}, 刘承桦¹, 刘加平^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部绿色建筑国家重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘要: 关中是华夏文明重要发祥地和古丝绸之路的起点, 亦是合院建筑的发源地, 关中合院建筑作为古丝绸之路上传播中华文化的重要载体, 其绿色更新有益于“一带一路”沿线建筑文化传承与发展。通过文献研究与关中地区18个传统村落现场调查, 归纳了合院形制、单体建筑、营造技艺等典型特征, 并提出院落宽度、东西厢房挑檐宽度、东西厢房檐口高度、东西厢房屋脊高度、以及倒座檐口高度等“窄庭”形态节能设计因素及其数值范围; 采用现场测试与数值模拟方法, 建立典型关中合院建筑模型并验证其有效性; 对合院式民居的形态与围护结构进行优化设计分析, 结果表明传统关中建筑空间形态节能的最佳组合为, 院落宽度13 m, 东西厢房挑檐宽度0.3 m、东西厢房屋脊高度5 m, 倒座檐口高度3 m。因此“窄院”并不能很好的适应当地气候。此外模拟结果表明, 改善围护结构热工性能对于改善冬季室内热环境效果较好, 可以降低全年建筑能耗40.61%。

关键词: 关中; 合院建筑; 形态要素; 节能优化; 绿色

中图分类号: TU831.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2022)06-0856-08

Energy saving optimization and green renewal of Guanzhong traditional courtyard building

HE Wenfang^{1,2}, LIU Chenghua¹, LIU Jiaping^{1,2}

(1. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an 710055, China)

Abstract: Guanzhong is an important birthplace of Chinese civilization and the starting point of the ancient Silk Road. It is also the birthplace of courtyard buildings. As an important carrier of spreading Chinese culture on the ancient Silk Road, the green renewal of Guanzhong courtyard buildings is beneficial to the inheritance and development of architectural culture along the “Belt and Road”. Through literature research and on-site investigation of 18 traditional villages in Guanzhong area, this paper summarizes the typical characteristics of the courtyard shape, single building, construction techniques, etc., and proposes the energy-saving design factors and numerical ranges of the “narrow courtyard” form such as the height of the roof, the height of the cornice, the width of the overhang, the width of the courtyard, the height of the building on the south side, etc. By using field test and numerical simulation methods, a typical Guanzhong courtyard building model is established and its effectiveness is verified, and after that, the shape and enclosure structure of courtyard-style residential buildings are optimized and analyzed. The results show that the best combination of energy conservation in the space form of traditional Guanzhong buildings is that the width of the courtyard is 13 m, the size of the overhang is 0.3 m, the height of the roof is 8 m, and the height of the south house is 3 m, so the “narrow courtyard” cannot be well adapted to the local climate. In addition, the simulation results show that improving the thermal performance of the envelope has a good effect on improving the indoor thermal environment in winter, which can reduce the annual building energy consumption by 40.61%.

Key words: Guanzhong; traditional courtyard; form element; energy-saving optimization; green

合院建筑是“天人合一”“中庸之道”“礼制”等我国传统文化思想的重要载体^[1], 合院建筑广泛分布

于我国东北、华东、西北、西南等地区, 是我国形成最早、源流最长、铺及面最广的传统建筑类型^[2]。

收稿日期: 2022-11-16

修改稿日期: 2022-11-25

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XZ-38), 国家自然科学基金项目(51408479), 陕西省教育厅重点项目(20JS080)

第一作者: 何文芳(1984—), 女, 博士, 副教授, 研究绿色乡土建筑、建筑热工。E-mail: hwenfang@xauat.edu.cn

通信作者: 刘加平(1956—), 男, 博士, 教授, 研究绿色建筑、建筑物理。E-mail: liujiaping@xauat.edu.cn

关中平原作为华夏文明重要发祥地和古丝绸之路的起点^[3],亦是合院建筑的发源地,出土在陕西省岐山县凤雏村的西周早期建筑遗址,是目前已知时代最早、最完整的四合院平面布局^[4]。关中合院建筑自西汉以来沿着古丝绸之路,将建筑文化传入河西走廊、天山南北,并对中亚地区建筑产生深远影响。

关中合院建筑蕴涵着丰富的绿色营建智慧。其生土墙体、半坡屋顶、土炕、水窖和涝池等要素对于御寒、防洪、抗旱十分有效^[5]。单体建筑深远的出檐、封闭的空间、厚实的围合墙体等建筑语言较好的顺应了关中地区冬季寒冷、夏季炎热的气候^[6]。然而关中合院建筑的核心空间,即窄长院落,它的气候适应性未被量化验证,其绿色价值亟待挖掘。

同时,关中合院建筑形体分散,围护结构单薄,绝热性能低下^[7],普遍存在室内热环境较差,运行能耗较高等问题^[8],尤其是冬季出现室温过低现象^[9],人居环境品质亟待优化。

新时代关中合院建筑的绿色更新,有益于“一带一路”沿线中华建筑文化传承与发展。本文立足于以“窄院”为核心的关中合院建筑特征,从院落形制、单体建筑形态、形体营造技艺等方面,验证其绿色营建方法对热环境调节的有效性,并提出节能优化方法,为合院建筑绿色更新提供依据。

1 关中合院建筑特征

关中地区现存传统村落134个,历史文化名镇(村)6个,见图1。留存的完整合院建筑颇多,绝大多数修建于明、清时期。本文采用文献研究,并结合对韩城市、三原县、耀州区等地18个传统村落的现场调查,总结关中合院民居建筑形制的

典型特征(图2所示)。

1.1 合院形制

“合院”作为中国传统民居建筑的精髓与空间核心,反映了中国特有的时空意识^[10]。关中地区合院的布局特点是向纵深发展的狭长平面布置形式,其形式多为独院式(一进式),也有少部分的两进式院落与三合院。其基地面宽多为8~10 m左右,进深约20~30 m^[11]。

关中传统民居属我国北方四合院的一种亚型,通过厅房(正房)、倒座和厢房围合出工字形庭院,并给这几个主要的单体建筑配以院墙,大门,最终形成厚重、封闭的院落空间。

关中庭院院落空间的高宽比一般为0.9左右。内院中各方向檐口出挑形成挑檐,加大挑檐挑出尺寸形成檐廊,则称之为“歇阳”。这样的做法打破了狭长空间的单调性,同时在房间外形成过渡空间。

1.2 单体建筑

关中民居中倒座临街,厢房位于东西两侧,正房主要为坐北朝南的方位。合院平面布局严谨、规整、对称,以正房作为祭堂祖堂或客厅之用,仅厢房为主要居室,并根据家庭人口的多寡设置厢房数目,一般为4~6间不等。为充分利用空间,庭院左右两侧厢房宽度约为3 m。

各建筑屋顶为硬山仰瓦屋面,形式上以双坡屋顶居多,部分院落中厢房也存在单坡顶形式。各单体建筑高度随院落纵向推进,其中倒座最低,过厅次之,正房最高。院中建筑大多为一层,部分合院会在厢房与倒座上加建二层以增加内部空间满足使用需求。建筑层高(檐口)一般为3~4 m,屋脊高度可达4~6 m。



图1 传统村落调查

Fig. 1 On-the-spot investigation



图2 建筑特征

Fig. 2 Building feature

1.3 营造技艺

关中地区的民居材料因地制宜,主要是土、木、砖、石,较为早期的合院墙体会采用土坯墙外草泥抹灰,单坡小青瓦屋面。明代以来砖作为在建筑中广泛使用的新型材料,在关中地区的合院中却并未完全取代土墙的位置,而是将两种材料结合使用,各自发挥自身特性。

关中地区合院的营造手法与布局形式属中国传统院落式民居的建造模式,其中传统民居中相关的总体建筑尺寸由匠师按照工程作法中的规定控制,尺寸大多都存在限制。民居构架与中国传统木构架一致,均为木结构,以三架梁和五架梁居多;墙体上多在砖墙上加涂草筋灰,以提高墙体的耐久性。

2 典型关中合院建筑模型建立

2.1 数值模型

本文依据陕西省韩城市党家村一栋典型的关中合院建筑建立数值模型(图3所示)。该合院建筑宅基地为长方形,长约22 m,宽约11 m,由坐北朝南的正房、朝北的倒坐、东西厢房围合而成。其中正房为单层,开间4.0 m,进深3.9 m,主要用于祭祖;东、西厢房和倒座皆为两层,底层为

生活用房,二层为储物阁楼,两层之间用单层木板分隔;厢房主要为家中青壮年的居所,东、西各有2间,进深约3.5 m;倒坐为家中老年长者的居所,兼有餐厨的功能,进深约3.9 m。

合院的中心院落南北向长12.1 m,东西向宽3.2 m,四面由檐廊围合。正房檐廊宽约1.9 m,檐口高7.2 m,双坡屋顶的屋脊高8.6 m;倒坐檐廊宽1.3 m,双坡屋面的檐口高5.0 m,屋脊高7.8 m;东厢房采用单坡屋面,檐口高约4.6 m,屋脊高度约5.6 m,挑檐宽0.45 m;西厢房采用双坡屋面,檐口高4.4 m,屋脊高度5.5 m,形成“西高东低”的建筑特征。

该合院建筑对外封闭,门、窗、洞口均朝向庭院开设。其中围合庭院的建筑外墙和室内墙体为260 mm厚砖砌墙,用草筋灰与石灰抹面;其余建筑外墙采用360 mm厚砖砌墙,抹面材料一致;屋面采用木屋架、木檩条承重,上铺望板、苇席、小青瓦;地面使用60 mm青砖与30 mm细砂铺设;门采用50 mm木门;窗采用3 mm单玻木框窗。对比该合院建筑热工性能参数与陕西省农村建筑节能技术导则规定的热工设计限值发现,关中合院建筑的围护结构传热系数超出规范限值范围,热工性能较差,如表1所示。

表1 关中合院建筑热工性能参数与规范

Tab. 1 Thermal performance parameters and specifications of Guanzhong courtyard building

名称	典型关中合院建筑围护结构热工参数		陕西省农村建筑节能技术导则	
	构造形式	传热系数	构造形式	传热系数
内院外墙	10 mm 白灰抹面+20 mm 草筋灰+	1.55	20 mm 胶粉 EPS+25 mm 胶粉玻化浆料+	1.07
	260 mm 青砖		240 mm 多孔砖+20 mm 水泥砂浆及饰面	
余下外墙	5 mm 白灰抹面+10 mm 草筋灰+	1.26		
	360 mm 青砖			
屋顶	15 mm 小青瓦+10 mm 望板	1.12	20 mm 水泥砂浆找平+120 mm 膨胀珍珠岩板+	0.58
			30 mm 混凝土找坡+15 mm 混合砂浆	
地面	61 mm 青砖+30 mm 细砂	1.90	61 mm 青砖+30 mm 细砂+200 mm 素土夯实	1.90
窗	3 mm 单玻木框窗	4.7	塑钢中空窗(玻璃配置5+12A+5)	2.2
门	50 mm 木门	1.91	50 mm 木门	1.91

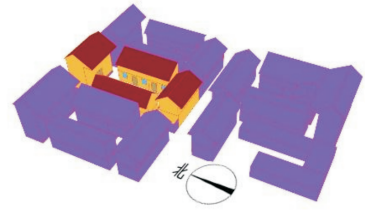
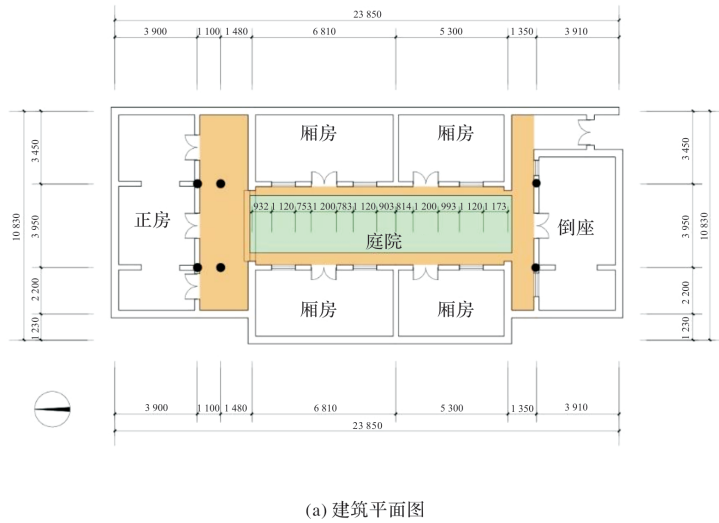
2.2 参数设置

依据该合院建筑,采用Grasshopper和Rhino平台建立典型关中合院建筑数值模型。为了体现建筑群对阳光相互遮挡的真实情况,同时建立周边建筑模型,将其定义为shades,见图3(b)。

数值模型全年气象参数选自中国标准气象数据库CSWD(Chinese Standard Weather Data)。依据关中乡村实际情况,模型冬季采用火炉、火灶、火炕取暖,燃料主要以煤炭主,室内采暖计算温

度设置为18℃。夏季采用空调进行降温,温度设置为26℃。

换气次数根据《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》的要求,各不同房间的值为0.5~0.8次/h;照明功率根据实际情况设置为1.5 W/m²;人员活动情况按测试时的实际情况进行设定,设置为0.15人/m²。模拟过程中夏季制冷能耗的计算时段设置为6月1日至9月30日,冬季采暖能耗的计算时段设置为11月1日至次年3月1日。



(b) 典型合院模型



(c) 测试建筑照片

图3 建筑模型

Fig. 3 Simulation models

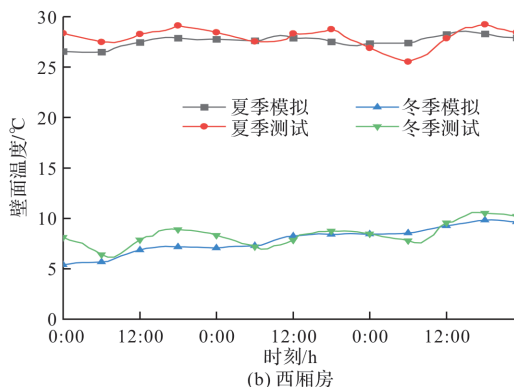
2.3 模型验证

分别于夏季07月27日至07月29日和冬季3月2日至4日,开展典型关中合院建筑现场测试,见图4(a),将测试结果用于典型关中合院建筑模型校验。测试参数包括直射与散射太阳辐射强度,建筑室内、外空气干球温度。由于该合院建筑为遗产保护建筑,因此测试期间无人居住,不开启制冷、采暖设备,属于自然运行工况。

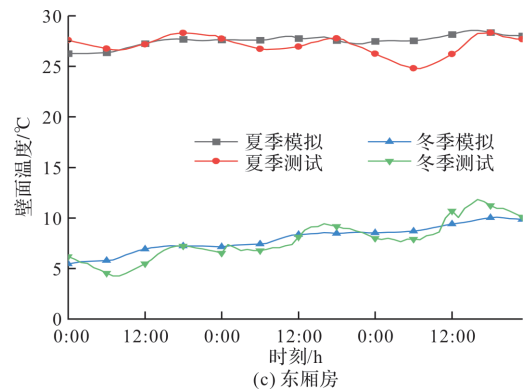
模型校验时,将测试期间的室外空气干球温度、太阳辐射数据替换原有气象文件中的相应数据。将模拟得到的冬、西厢房内壁面温度测试数据进行对比,如图4所示。其中夏季室内壁面温度分布在25~29℃区间,冬季室内温度分布在5~10℃区间。



(a) 测试照片



(b) 西厢房



(c) 东厢房

图4 模拟与实测数据对比

Fig. 4 Comparison of simulated and measured data

采用平均绝对误差 MAE 和均方根误差 RMSE 对比分析模拟值和实测值。

均方根误差 RMSE 对残差振幅的敏感性更高,在模拟验证中使用非常广泛,尤其适用于没有供暖、通风和空调系统的自然运行工况较窄温度范围在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 之间,较宽的温度范围在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 之间,阈值数值越小,表明模型越准确。

相对误差的公式为

$$\epsilon = \frac{|x_{m,n} - x_{r,n}|}{x_{r,n}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $x_{m,n}$ 为第 n 个模拟值; $x_{r,n}$ 为第 n 个实测值。

均方根误差的计算公式为

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{r,i} - x_{m,i})^2}{n}} \quad (2)$$

式中: $x_{m,i}$ 为第 i 个模拟值; $x_{r,i}$ 为第 i 个实测值; n 为样本量。

根据上述公式,分别计算出空气温度模拟值和测试值之间的平均绝对误差 MAE 和均方根误差

RMSE, 如表 2 所示。

表 2 温度模拟值与实测值的误差
Tab. 2 Error between simulated and measured values

名称	夏季测 点(西)	夏季测 点(东)	东季测 点(西)	东季测 点(东)
平均绝对误差 (MAE)	0.80	0.82	0.77	0.73
均方根误差 (RMSE)	0.93	1.13	0.98	0.88

模拟值与实测值误差值结果表明, 西侧室内测点的壁面温度模拟值与实测值的平均绝对误差 MAE 值和均方根误差 RMSE 值都在 1 以内, 东侧冬、夏季测点的平均绝对误差 MAE 值也都处于 1 以内, 均方根误差 RMSE 值稍大, 但仍在可接受范围之内。结果表明本文建立的基础物理模型满足可靠性的验证要求, 并且有较高精度。

3 关中合院建筑能耗分析与节能优化

不同的建筑能耗差异巨大, 建筑形态及围护结构对建筑热性能起着决定性影响^[12]。其中本文将围护结构热工性能作为数值模拟条件, 分别设置模拟组与对照组。模拟组采用典型关中合院建筑围护结构的选材、构造方式与热工参数, 对照组则取《陕西省农村建筑节能技术导则》中规定的围护结构构造与热工限值(表 1)。

在两类围护结构热工设计条件下, 依据前文得出的关中合院建筑典型特征, 本文着重分析五个对于建筑能耗有影响的形态要素, 包括院落宽度、倒坐的屋脊高度、东西厢房的檐口挑出尺寸、檐口高度与檐口高度。

关中合院建筑能耗主要包括冬季火炉采暖、夏季空调制冷, 生活炊事用能, 以及少量的照明用电。为此本文主要以采暖与制冷能耗为评价指标, 分析形态要素影响下的建筑能耗变化即节能优化方案。

3.1 变量范围

尽管关中合院建筑形式复杂多样, 但各形态要素都符合一定的尺度限制或比例关系, 这些尺度或比例作为古代建筑设计与施工时共同遵循的法则, 使得建筑在形式多样的同时还拥有统一的风格。

通过对明、清时期营造通则的调查, 可以得出关中建筑建造的如下限制条件: 普通百姓的房屋禁止使用斗拱, 且正房面阔不能超过三间; 通常明间面阔尺寸为九尺, 一丈, 一丈一尺, 丈二, 丈三, 丈四, 丈七不等(明清时一尺约等于 32 cm)^[13]; 明间两侧的次间一般为明间的 8/10; 面

阔与柱高的比例应为 10 : 8; 出檐尺寸应为檐柱高的 3/10; 举高与步架之比为 0.5、0.65、0.75、0.9 等等; 小式房脊步一般不超过八五举^[14], 见图 5。

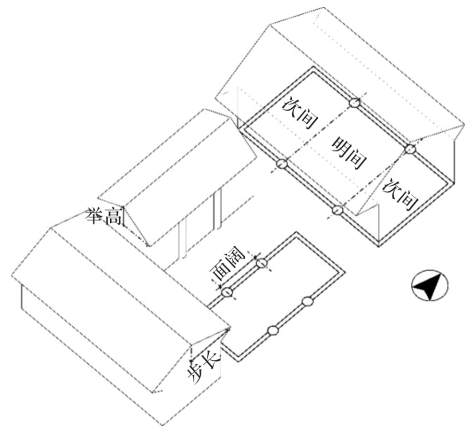


图 5 建筑各位置名称

Fig. 5 Name of each location of the courtyard

以上限制条件可作为本文数值模型中形态要素变量的尺度依据, 结合典型合院建筑尺寸现状, 可确定五个形态要素变量的尺寸变化范围、变化步长与变化次数, 如表 3 所示。

合院建筑模型形态变化的实现, 依赖于形态控制点的设置。本文将房间交接顶端设置为控制点, 通过控制点实现在各形态要素取值范围的自由变化。在此基础上, 设定屋顶必须高于檐口的限制条件, 以优化和减少冗余计算。

除上述自变量外, 为保证能耗计算不受到建筑用能空间体量变化的影响, 模拟过程中将东西厢房以及南侧倒座的一层与二层分别建立模拟区域, 其中一层布置用能设施, 二层阁楼为非采暖/制冷空间, 为此调整 R1 檐口高度、R3 屋脊高度不影响建筑用能空间体量。

表 3 形态要素变量的变化方案
Tab. 3 Change scheme of architectural form elements

编号	形态要素变量	尺寸变化 范围/m	步长/m	变量数
R1	东西厢房檐口高度	3~5	0.5	5
R2	东西厢房挑檐宽度	0.3~1.3	0.1	11
R3	东西厢房屋脊高度	5~8	0.5	7
R4	院落宽度	3~13	1	11
R5	倒座檐口高度	3~6.5	0.5	8

3.2 运算方法

本文选择了非支配排序遗传算法(NSGA-II)来运行 WallaceiX 的节能优化目标。其中建筑形态要素作为遗传因子, 制冷与采暖能耗作为计算目标, 获取特定情况下的形态要素组合结果, 生成满足适应性的最优解, 即最后形态要素组合方案。

实验以每代 50 个、共计 12 代的种群规模设计,计算全年能耗最低解;目标值设定,令能耗取值为负,计算在相同条件下全年能耗的最高值,用以与最低值情况进行对比,模拟组与对照组共计算 4 次。

随后,实验以同样的规模,分别计算模拟组与对照组中采暖、制冷能耗的最低与最高值,这个过程运算 8 次。在全部的 12 次运算中,设定精英比例为 0.9,突变比例为 0.1。

3.3 运算结果分析

3.3.1 建筑能耗变化范围

图 6 显示了模拟组建筑能耗优化过程与计算结果。随着运算迭代次数的增加,形态要素组合方案的解逐渐收敛,建筑能耗趋于稳定,约为 $200.48 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$,见图 6(a)。图 6(b)显示了以全年建筑最高能耗为计算目标下的结果,最终可得建筑能耗的最高约为 $205.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ 。

通过对模拟组采暖制冷能耗的最低最高值的计算,可知建筑全年能耗的变化范围为 $200.48 \sim 205.1 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;采暖能耗的变化范围为 $162.37 \sim 167.73 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;制冷能耗的变化范围为 $33.52 \sim 40.16 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ 。同时可以清楚地观察到本次计算过程中建筑能耗均值的变化曲线均类似指数函数,符合实验预期,见图 6(c)。

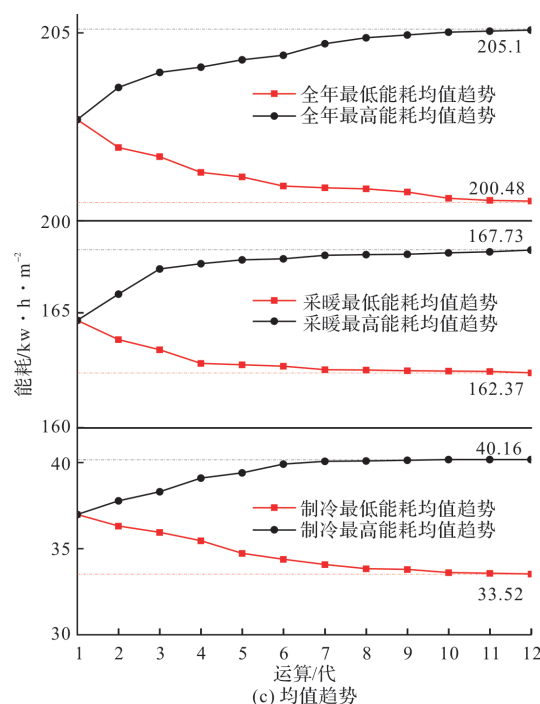
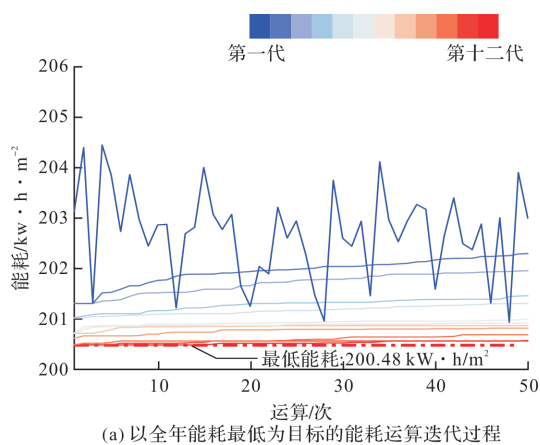


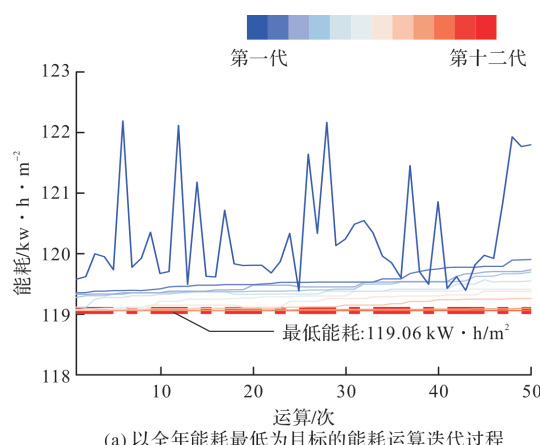
图 6 模拟组节能计算过程

Fig. 6 Simulation group computational process

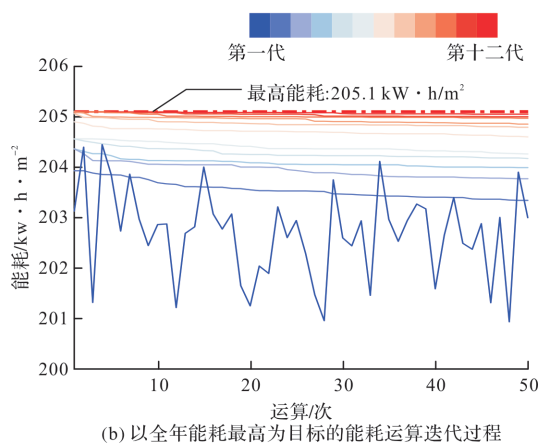
图 7 显示了对照组建筑能耗优化过程与计算结果。在对照组中形态要素组合方案的建筑能耗约为 $119.06 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$,对照组相对于模拟组,建筑能耗降低了 40.61%。最高建筑能耗得约为 $122.74 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ 。



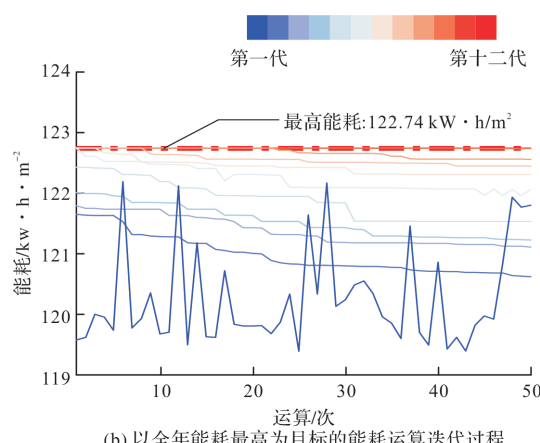
(a) 以全年能耗最低为目标的能耗运算迭代过程



(a) 以全年能耗最低为目标的能耗运算迭代过程



(b) 以全年能耗最高为目标的能耗运算迭代过程



(b) 以全年能耗最高为目标的能耗运算迭代过程

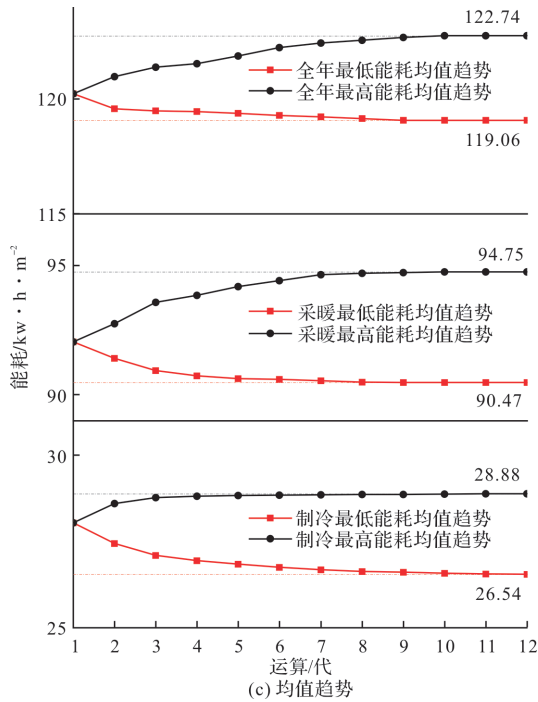


图7 对照组节能计算过程

Fig. 7 Control group computational process

通过对对照组采暖制冷能耗的最低最高值的计算,可知建筑全年能耗的变化范围为119.06~

122.74 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;采暖能耗的变化范围为90.47~94.75 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;制冷能耗的变化范围为26.54~28.88 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$.同时可以观察到本次计算过程中建筑能耗均值的变化曲线均类似指数函数,符合实验预期,见图7(c).

结合模拟组与对照组的变化范围,对照组在进行了围护结构热工性能的优化后,建筑能耗的变化范围明显减小.可知,围护结构的优化会降低形态变化的作用.

同时进一步对比模拟组与对照组采暖制冷能耗的变化范围,可知围护结构的改变对夏季制冷的能耗范围影响较大.

3.3.2 建筑能耗变化规律

本研究选择12次计算后能耗最大与最小的不同组合进行分析对比,见表4及图8.

组合2、组合4在满足约束条件的前提下采用最小尺寸的东西厢房屋脊高度与挑檐宽度,将院落宽度调整至最大;以期在冬季获得更多的太阳直射.组合3、组合6将东西厢房屋脊高度与挑檐宽度调整至最大,同时将院落宽度设置为最小;希望建筑在夏季获得更多的遮阳,以降低室内的能耗.

表4 冬夏季能耗模拟方案

Tab. 4 Simulation scheme of energy consumption in winter and summer

序号	描述	全年能耗/ (kW · h) · m ⁻²	制冷能耗/ (kW · h) · m ⁻²	采暖能耗/ (kW · h) · m ⁻²	形态要素变量/m					
					R1	R2	R3	R4	R5	
模拟组	组合 1	全年能耗最低	200.48	33.89	166.59	3	1.3	5	3	3.5
	组合 2	采暖能耗最低	202.32	39.95	162.37	3.5	0.3	5	13	3.5
	组合 3	制冷能耗最低	201.34	33.52	167.42	4.5	1.3	8	3	3
对照组	组合 4	全年能耗最低	119.06	28.52	90.54	3	0.4	5	13	3.5
	组合 5	采暖能耗最低	119.33	28.86	90.47	3	0.3	5	13	3
	组合 6	制冷能耗最低	120.19	26.54	93.65	5	1.3	8	3	3

根据对模拟组与对照组采暖能耗的形态要素的对比,见图8(a),R3、R4、R5的相对极差较大,应为影响采暖能耗的核心要素.

对比模拟组与对照组制冷能耗的形态要素变化,见图8(b),R2、R3、R4、R5的相对极差较大,应为影响夏季制冷能耗的核心要素.R1在不同方案中无明显规律,因此要素与能耗的相关性较弱.R5在组合1至6中均为3.5 m以下,因此为了降低能耗,南侧倒座应当尽量降低高度.

3.3.3 形态要素组合方案

结果显示,模拟组与对照组全年最低能耗的形态表现出较大差异,见图8(c),模拟组中组合1以组合3为基础,降低东西厢房屋脊高度,并略微提高倒座檐口高度,在保证夏季制冷能耗较低的同时,兼顾了冬季的采暖能耗.对照组中组合4的

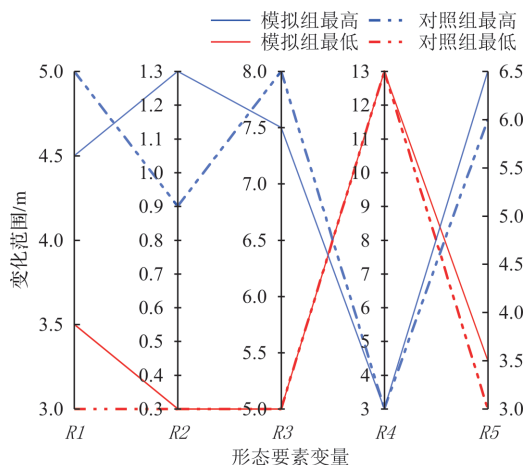
形态表现与组合5高度相似,只是微调挑檐宽度与倒座屋脊高度,总体上是一个应对冬季采暖能耗的形态组合.

由此可知,在模拟组中,建筑形态要素的改变对夏季制冷能耗的改善作用更佳;而在进行了维护结构热工性能优化的对照组中,建筑的形态要素的变化对冬季采暖能耗的改善更明显.

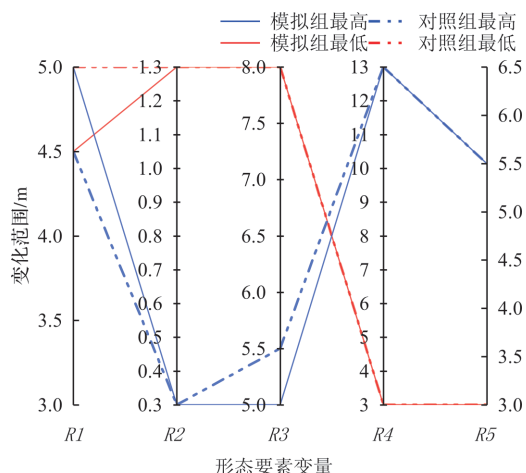
关中地区位于ⅡA气候区内,应首要满足冬季采暖以及保温防寒要求.结合上述分析和对不同方案的综合对比,认定综合能耗较低且主要针对采暖能耗优化的组合4为较优解.

结合冬夏两季的模拟分析图及上述分析,关中合院在古代通则的限定下,关中地区的节能设计建议为,院落宽度为13 m,东西厢房挑檐宽度为0.3 m、东西厢房屋脊高度为5 m,倒座檐口高

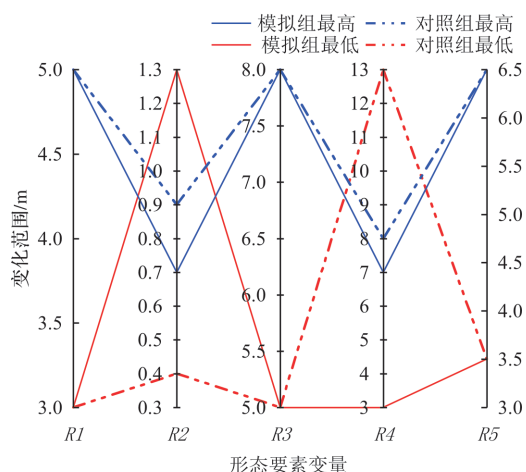
度为 3 m. 在进行当代的传统民居更新设计时,应尽量加大院落尺寸,减小挑檐宽度,降低倒座高度,以达到建筑节能的目的.



(a) 采暖能耗模拟组与对照组不同组合方案形态表现



(b) 制冷能耗模拟组与对照组不同组合方案形态表现



(c) 全年能耗模拟组与对照组不同组合方案形态表现

图8 组合方案要素对比

Fig.8 Comparison of elements of combination scheme

综上实验结果,并结合关中地区合院民居现状调查结果可知,目前,关中地区合院几何形态对夏季防晒有利,但却是以减少冬季日照为代价.故本文认为关中目前的建筑形态并不能回应对较好的气候条件.而清代以来民族间的融合与交流,人口迅

增引发的土地矛盾,生产力重新分布后所引起的移民活动,以及新的建筑材料及技术的应用等社会发展的新特点^[15],都应该是直接地影响到关中民居形制演变、规模变迁更直接更主要的原因.

4 结论

通过对关中地区传统合院节能设计因素的统计调查与模拟分析,可得到如下结论:

(1) 关中地区合院建筑形态有窄长院、单坡顶、二层阁楼等典型建筑特征;

(2) 针对调研中一栋典型关中一进式合院建筑建立模型.选取形态中对能耗影响较大的因素按照清代建筑通则中规定设定尺寸范围.其中,院落宽度变化范围 3~13 m、东西厢房挑檐宽度 0.3~1.3 m、东西厢房檐口高度 3~5 m、东西厢房屋脊高度 5~8 m、以及倒座檐口高度 3~6.5 m;

(3) 关中地区目前存在的传统建筑围护结构热工性能差,通过优化围护结构热工性能,可以降低全年建筑能耗 40.61%;

(4) 关中合院在古代通则的限定下,关中地区的形态要素设计建议为,院落宽度为 13 m,东西厢房挑檐宽度为 0.3 m、东西厢房屋脊高度为 5 m,倒座檐口高度为 3 m.

综上,关中地区适宜性节能措施优化原则为:

(1) 加大院落宽度;(2) 提高东西厢房屋顶高度;(3) 将南侧倒座的高度设置在 3 m 左右;(4) 使用热工性能更好的围护结构,通过更好的围护结构热工性能与更合理空间形态来提升建筑的节能效率.

参考文献 References

- [1] 饶红.“院”与现代人居环境[J].新建筑,1999(2):43-45.
RAO Hong. Courtyard and modern human settlement environment[J]. New Architecture,1999(2):43-45.
- [2] 吴良镛.菊儿胡同试验的几个理论性问题——北京危房改造与旧居住区整治(三)[J].建筑学报,1991(12):2-12.
WU Liangyong. Several theoretical problems in Ju'er Hutong experiment: Reconstruction of dilapidated buildings and renovation of old residential areas in Beijing(3)[J]. Architectural Journal,1991(12): 2-12.
- [3] 李克锡,王文芳.关中平原城市群与天水特色产业培育[J].开发研究,2018(6):60-65.
LI Kexi,WANG Wenfang. Guanzhong plain urban agglomeration and Tianshui characteristic industry cultivation[J]. Research on Development,2018(6):60-65.
- [4] 祁英涛.中国早期木结构建筑的时代特征[J].文物,1983(4):60-74.

(下转第 872 页)

- LIU Jifa. Innovation in the concept of activating and protecting cultural resources in the great site area: A review of the book evaluation and activating strategy of cultural resources in the great site area[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Social Science Edition), 2020, 39(4):101.
- [30] 刘卫红. 田园城市视域下的汉长安城遗址保护利用模式研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2017, 47(2): 283-288.
- LIU Weihong. The protection and sustainable development model of Han Chang'an City based on the theory of garden city[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2017, 47(2):283-288.
- [31] 赵冠宁, 黄卫东, 李晨, 等. 从“刚性计划”到“韧性计划”: 深圳城市更新计划管理的制度选择[J]. 规划师, 2022, 38(9):31-39.
- ZHAO Guanning, HUANG Weidong, LI Chen, et al. From “rigid program” to “resilient program”: Institutional comparison of urban regeneration programming, Shenzhen[J]. Planners, 2022, 38(9):31-39.
- [32] 刘昭, 黄曦宇, 李青香, 等. 面向过程治理的城市体检评估框架与协同研究[J]. 规划师, 2022, 38(3):20-27.
- LIU Zhao, HUANG Xiyu, LI Qingxiang, et al. Research on the Framework and Integration of Urban Physical Examination for Process Governance [J]. Planners, 2022, 38(3):20-27.
- (编辑 吴海西 沈 波)

(上接第 863 页)

- QI Yingtao. The historical characteristics of early Chinese wooden structures[J]. Cultural Relics, 1983(4): 60-74.
- [5] 虞志淳, 雷振林. 关中民居生态解析[J]. 建筑学报, 2009(S1):48-50.
- YU Zhichun, LEI Zhenlin. Ecological reserach on vernacular dwellings of Guanzhong region[J]. Architectural Journal, 2009(S1):48-50.
- [6] 高博, 杨梦娇, 赵硕, 等. 陕西关中民居绿色营建调查研究[J]. 古建园林技术, 2018(3):7.
- GAO Bo, YANG Mengjiao, ZHAO Shuo, et al. Investigation and research on green construction of Guanzhong houses in Shanxi province[J]. Traditional Chinese Architecture and Gardens, 2018(3):7.
- [7] 李玲, 李俊鸽, 杜高潮. 关中地区乡村典型住宅外围护结构节能设计研究[J]. 建筑科学, 2009, 25(8): 79-82, 108.
- LI Ling, LI Junge, DU Gaochao. Study on envelope energy saving design for typical rural residence in Guanzhong region[J]. Building Science, 2009, 25(8): 79-82, 108.
- [8] 虞志淳, 孟艳红. 陕西关中农村传统民居绿色优化设计[J]. 建筑节能, 2020, 48(11):58-62, 123.
- YU Zhichun, MENG Yanhong. The green optimal design of traditional dwelling in Shaanxi Guanzhong rural area[J]. Building Energy Efficiency, 2020, 48(11):58-62, 123.
- [9] 赵文学, 安赞刚, 刘加平. 陕西关中地区新型民居冬季室内热环境测试分析[J]. 建筑科学, 2013, 29(12): 72-76.
- ZHAO Wenxue, AN Yungang, LIU Jiaping. Test and analysis of indoor thermal environment of new residential houses in Guanzhong area, Shaanxi province in Winter [J]. Architectural Science, 2013, 29(12): 72-76.
- [10] 贾尚宏. 中国庭院的时空意识与构成特征[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2004(2):68-71.
- JIA Shanghong. Time & space awareness and constructing characteristics of Chinese courtyards [J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2004(2):68-71.
- [11] 李照, 徐健生. 关中传统民居的适应性传承设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016:131-134.
- LI Zhao, XU Jiansheng. The adaptive inheritance design of Guanzhong traditional residence[M]. Beijing: China Architecture Publishing, 2016:131-134.
- [12] 江亿. 我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调, 2005(5):30-40.
- JIANG Yi. Current building energy consumption in China and effective energy efficiency measures [J]. Journal of HV&AC, 2005, 35(5):64-64.
- [13] 白丽娟. 古建清代木构造[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2014: 41-44.
- BAI Lijuan. Ancient building wood structure of Qing-Dynasty[M]. Beijing: Chinese building materials industry publication, 2014: 41-44
- [14] 马炳坚. 中国古建筑木作营造技术(精)[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2003: 1-7.
- MA Bingjian. Techniques on Chinese Ancient Wood Structure Building [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2003: 1-7.
- [15] 孙大章. 中国古代建筑史. 第五卷, 清代建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002:160-162.
- SUN Dazhang. History of Ancient Chinese Architecture (Volume 5: Architecture in the Qing Dynasty) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002:160-162.
- (编辑 吴海西 沈 波)