

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.03.016



广东地区农村住宅室内热环境优化研究

金玲¹, 赵立华², 孟庆林², 李坤明², 王浩²

(1. 华南农业大学 水利与土木工程学院, 广州 510642;

2. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640)

摘要:广东地区新建农宅有向多层发展和天井消失的趋势,室内热环境因此而变化。为了解广东地区新建农宅室内热环境现状,选取有天井现代农宅、无天井现代农宅和传统农宅各一栋进行现场实测,在对比分析的基础上发现现代农宅室内热环境存在优化的空间。针对广东地区现代农宅存在的问题,借助计算机辅助分析的手法提出适宜的优化措施,屋面遮阳、增大天窗高度及天窗开口置于下风向是改善有天井多层农宅夏季室内热环境的有效措施,无天井现代农宅通过局部架空和窗口遮阳改善室内热环境效果显著。

关键词:农村住宅;热环境;天井;计算机辅助分析

中图分类号:TU111.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)03-0116-11

Optimization analysis on indoor thermal environment of rural residential buildings in Guangdong Province

Jin Ling¹, Zhao Lihua², Meng Qinglin², Li Kunming², Wang Hao²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agricultural University,

Guangzhou 510642, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science,

South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

Abstract: New-built rural residential buildings in Guangdong province have the tendency of multilayer and courtyard disappearance, resulting in the change of the indoor thermal environment. Three typical buildings are selected to measure the parameters of indoor thermal environment in order to understand the status quo of indoor thermal environment in new-built rural residential buildings in Guangdong. It's found that there are several defects count against indoor thermal environment on the basis of comparative analysis. Thus, optimizations were made for design strategies such as shading, insulation and natural ventilation in low-rise buildings with/without patios. There are effective measures to improve the indoor thermal environment in summer of low-rise buildings with patios like the shading roof, increasing height of skylight and skylight placed under the wind direction. Numerical analysis was conducted to quantify the energy and comfort performance of these design strategies. Stilt floor was found to be a good way to build semi-open spaces in low-rise buildings without patios.

Key words: rural residential building; thermal environment; courtyard; computer-aided analysis

收稿日期:2015-03-14

基金项目:国家自然科学基金(51388005)

作者简介:金玲(1980-),女,博士,主要从事建筑热环境与节能研究,(E-mail)jinling_208@126.com.

Received:2015-03-14

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51388005)

Author brief: Jin Ling (1980-), PhD, main research interests: thermal environment and energy saving, (E-mail) jinling_208@126.com.

中国农村地区的商品能消耗正在以每年超过10%的速度增长,商品能在农村地区用能比例由20世纪80年代的不足20%增长至60%^[1]。与此同时,新建的现代农宅缺乏对室内热环境的基本关注,简单的构造致使现代农宅热工性能很差,中国北方农户冬季室内温度过低、南方农宅夏季室内闷热潮湿。因此,近年来越来越多的科研工作者将关注的焦点由城市转向广大的农村地区^[2-5],为新农村建设提供了有益的参考和示范。广东地区夏季炎热漫长,农村空调能耗存在巨大的能源缺口,关于村落微气候与热环境的相关研究已取得初步成果^[6-7],但针对农村住宅室内热环境的相关研究工作还比较少,笔者将在现场实测与调研的基础上对比分析广东地区农村住宅室内热环境现状,并针对现存的问题分析原因,采用计算机辅助分析的方法提出可行的优化措施。

广东农村地区最常见的传统住宅是“厅井式”

(敞厅加天井)住宅,厅井式住宅是北方的合院建筑随汉族南迁进入广东,在文化与气候双重因素的影响下,经过长时间的发展衍化形成的建筑模式^[8]。近年来,受到人口增多、土地紧缺、工程技术水平提高等因素的影响,广东地区现代农宅的发展有两个明显的趋势:一是农宅由单层向3层(或3层以上)发展;二是作为传统农宅核心的“厅井”中的天井正在逐步消失。在保留天井的现代农宅中,天井均加设玻璃顶盖以满足防雨的要求。因此,选取典型的有天井现代农宅和无天井现代农宅各1栋作为优化对象进行室内热环境实测,同时实测1栋使用中的传统农宅作为参照基准。

1 实测简介

1.1 实测对象

实测时间是2011年7月—8月,是广东地区典型的夏季时段。实测对象及测试现场概况参见图1。



图1 实测对象及现场概况

Fig 1 The view of measured objects

1.2 测点布置

室外的巷道、半开放的门廊、天井、敞厅口、敞厅内部、卧室均布置了温湿度测点,高度在1.5 m左右,以横向考察各空间的温湿度分布情况。为考察

天井热压通风的潜力,在天井的各楼层高度处分别布置了温度测点。风速的测量主要是室外、天井、室内人的活动区域以及窗口风速。测点布置参见图2。



图 2 测点布置图

Fig 2 Measuring points' setting in measured objects

1.3 测试仪器及参数

测试所用的仪器型号及参数见表 1, 仪器测量范围及精度满足室内热环境测试国际标准 ISO 7726^[9] 的要求。改装后的黑球温度计与标准黑球温度计校验^[10], 测试精度为 ±0.5 °C, 可用于测试。

表 1 测试仪器和精度

Table 1 Measurement apparatus and its precision

仪器名称	型号	测试内容	测试范围	测试精度
HOBO prov2 温湿度记录仪	U23-001	空气温度	-40~70 °C	±0.2 °C
		相对湿度	0~100%	±2.5%
		黑球温度	-40~70 °C	±0.5 °C
热线式风速仪	YK-2005AH	风速	0.1~ 20.0 m/s	±(5%+ 读数)

2 实测结果

2.1 空气温度与相对湿度

图 3~图 5 分别是夏季 3 栋典型住宅主要使用空间实测温湿度波动曲线。

由图 3 可知, 有天井现代农宅室内平均温度逐层增大, 1 层厅堂(29.8 °C) < 2 层厅堂(30.2 °C) < 3 层厅堂(31.1 °C), 可见现代农宅中顶层到底层热缓冲效果逐渐增强, 无天井现代农宅室内温度(图 4) 为 1 层厅堂(29.2 °C) < 2 层厅堂(29.6 °C) < 3 层厅堂(30.7 °C), 也有相似的规律。一层厅堂平均温度均低于传统农宅厅堂平均温度 30 °C(图 5), 即农宅向多层发展的趋势有利于降低夏季室内温度。

但不容忽视的是现代多层农宅中顶层房间室内

热环境恶劣,平均温度比非顶层房间高 1℃以上,这是由于屋顶隔热构造缺失所致。调研结果显示,为节省房屋造价,广东地区现代农宅的屋顶构造绝大多数仅是钢筋混凝土结构层加两侧的抹灰层,节省了看不见的隔热层,使得现代农宅中顶层房间热环境恶劣,大多处于闲置的状态,形成了不必要的浪费。因此,引导村民认识到屋顶隔热的重要性十分必要。

与此同时,可以看到有天井现代农宅的各层厅堂温度都比无天井多层农宅的同层厅堂温度高,有两个主要原因:1)有天井现代农宅中,大量的太阳辐射热通过天井到达各层房间,而无天井农宅则没有

这部分热负荷,因此,夏季天井顶部的遮阳十分必要;2)实测的无天井现代农宅中室内装修大量使用大理石等石材,而有天井农宅中大多为砂浆抹灰饰面,石材的蓄热系数是砂浆的两倍,因此,装修材料的差异也是导致两栋住宅室内温度不同的原因之一。

3 栋农宅中夏季平均相对湿度均在 80%左右,分布规律与温度相反。现代农宅中 1 层厅堂内相对湿度(83%)略大于传统农宅(82%),2、3 层厅堂的相对湿度逐层减小(各空间平均相对湿度介于 79%~77%),农宅由单层向多层发展有利于防潮。

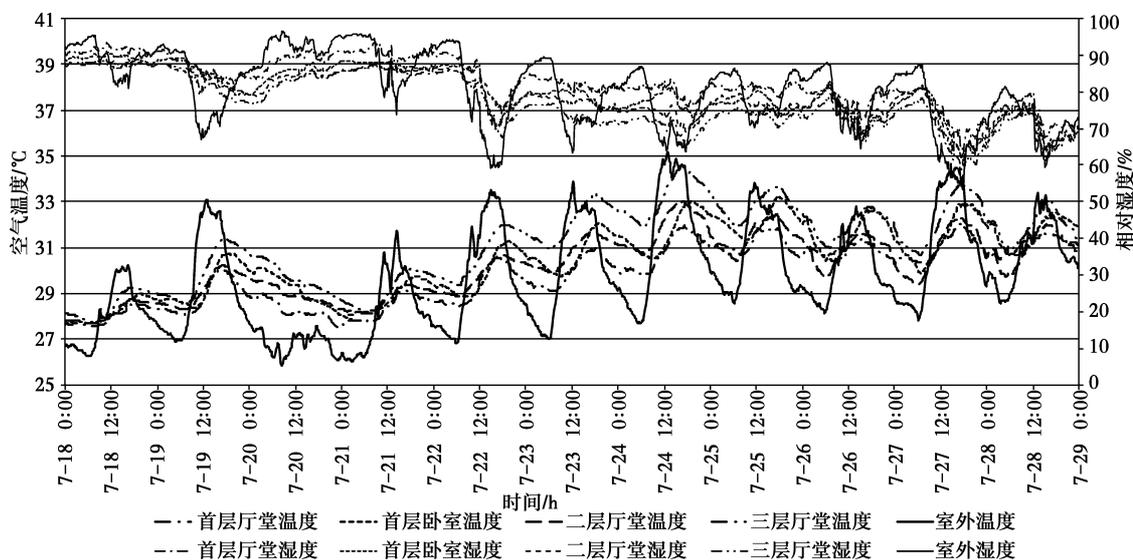


图 3 有有天井现代农宅夏季实测温度与湿度

Fig 3 Air temperature and relative humidity distribution of rural residential with courtyard in summer

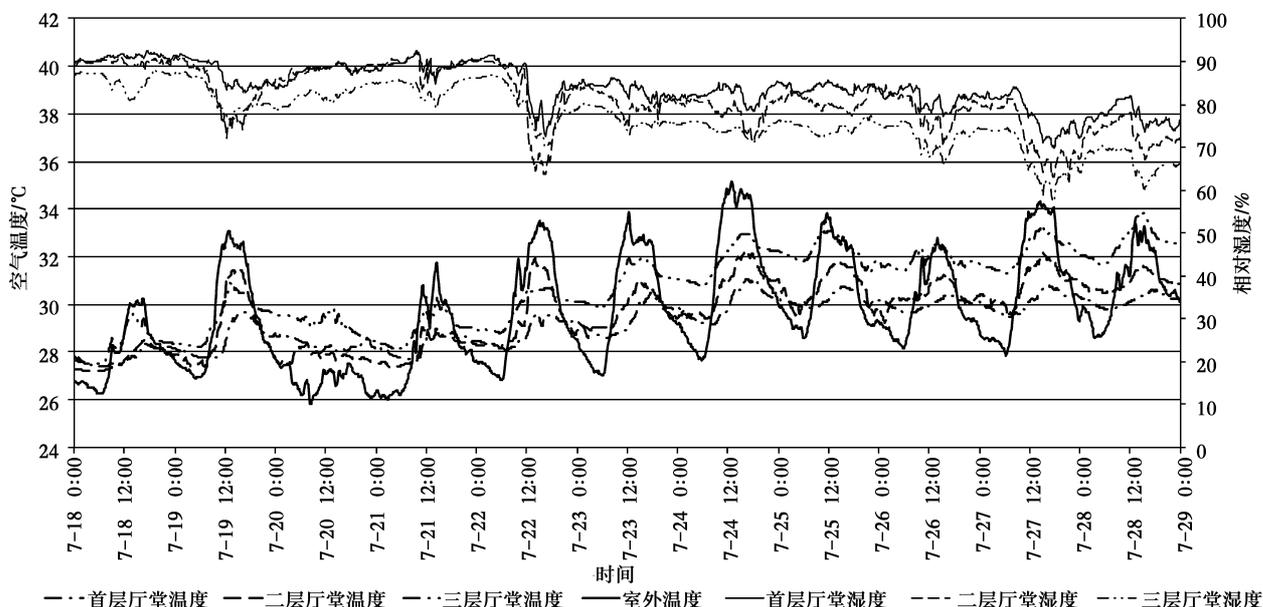


图 4 无天井现代农宅夏季实测温度与湿度

Fig 4 Air temperature and relative humidity distribution of rural residential without courtyard in summer

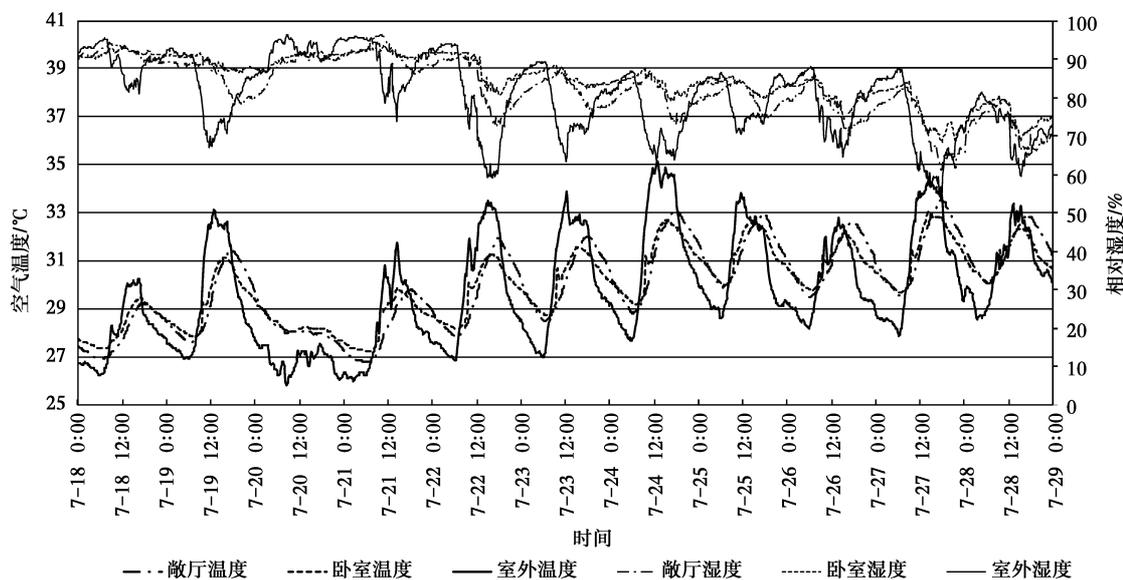


图 5 传统农宅夏季实测温度与湿度

Fig 5 Air temperature and relative humidity distribution of traditional residential in summer

2.2 自然通风

自然通风实测结果如图 6~图 8 所示。广东地区农村住宅多呈梳式布局,农宅周边有良好的风环境,实测期间瞬时风速介于 $0.1\sim 2.5\text{ m/s}$,3 栋典型住宅周边巷道内的平均风速均大于 0.7 m/s 。

然而由于遵循后墙不开窗的古制,传统农宅室内风速迅速衰减,厅堂平均风速不足 0.2 m/s ,卧室则不足 0.1 m/s (图 8),室内风环境不佳。无天井现代农宅中取消天井的同时首层厅堂开启侧窗,实测期间,首层厅堂平均风速为 0.29 m/s (图 7),非常接近室内适宜风速 $0.3\text{ m/s}^{[1]}$,室内风环境明显得到改善。

有天井的现代农宅中首层厅堂亦保留了不开窗的古制,实测平均风速约为 0.25 m/s (图 6),略优于传统农宅,主要得益于热压通风效果增强。一般说来,热压通风的大小取决于进出风口的高度差和温度差,实测天井垂直方向上的温度分布见图 9。由图 9 可知,现代农宅天井顶部和底部的平均温差为 $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,高差为 11.5 m ,理想状态下热压通风风速值为 1.19 m/s ,是传统农宅(平均温差 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,高差 4 m ,理想状态下热压通风风速值为 0.28 m/s)热压通风潜力的 4 倍。对比实测结果可知,现代农宅中的热压通风的利用还很不充分,这或与天井顶部的防雨顶盖有关。因此,可借助计算机辅助分析的手段优化天井顶盖的构造及开启方式,在防雨的同时改善其通风效果。

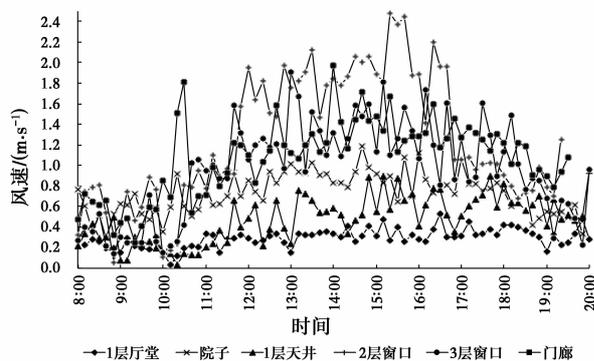


图 6 有天井现代农宅实测 1.5 m 高处室内外风速

Fig 6 Velocity distribution at the height of 1.5 m above ground for rural residential with courtyard

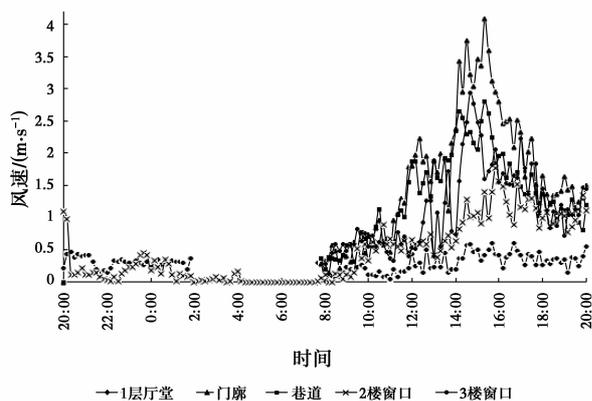


图 7 无天井现代农宅实测 1.5 m 高处室内外风速

Fig 7 Velocity distribution at the height of 1.5 m above ground for rural residential without courtyard

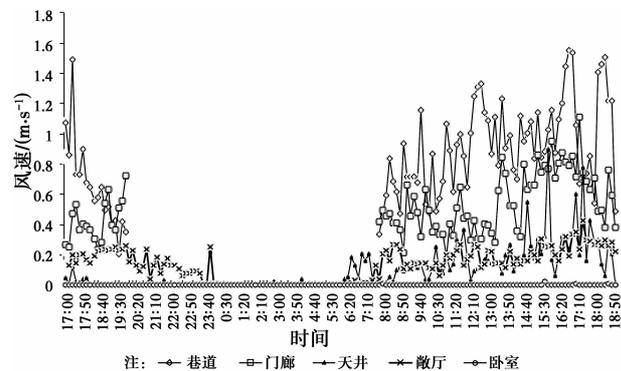
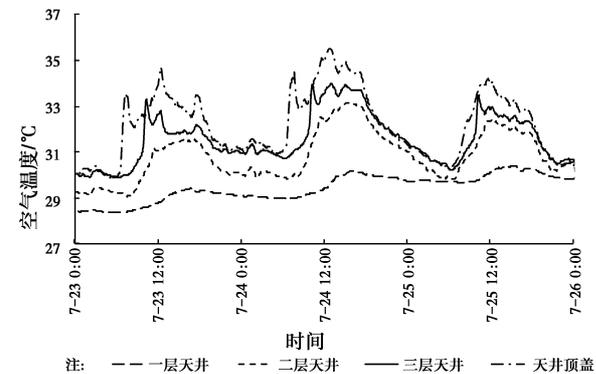
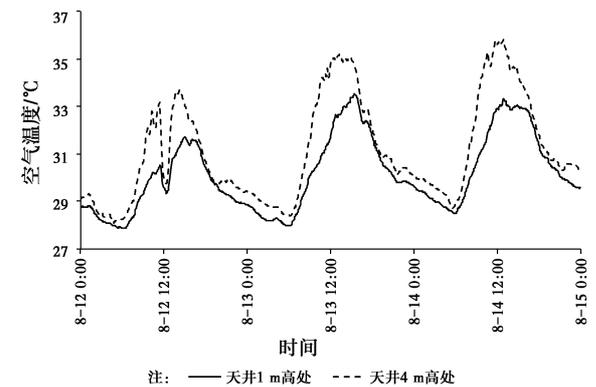


图8 传统农宅实测 1.5 m 高处室内外风速

Fig 8 Velocity distribution at the height of 1.5 m above ground for traditional residential



(a) 有天井现代农宅



(b) 传统农宅

图9 天井垂直方向温度分布

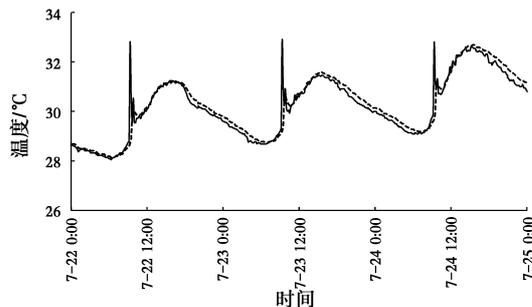
Fig 9 Air temperature distribution along the vertical direction of the courtyard

2.3 太阳辐射

太阳辐射对室内热环境的舒适程度有显著影响,实测选择黑球温度来表征辐射对室内环境的影响,图10为现代农宅首层东侧卧室靠近窗口位置的黑球温度和空气温度。由图10可知,10:00左右测点黑球温度突然增大3~5℃,空气温度也相应的出现波动,这是阳光直射测点形成的。

广东地区传统住宅是十分注重遮阳设计的。然

而,现代农宅的遮阳往往被忽略,夏季通过窗口或天井直接进入室内的太阳辐射热负荷不容忽视,使用者不能忍受过热的室内热环境时,会采取不甚美观的临时遮阳(图11)。



注: — 黑球温度 --- 空气温度

图10 黑球温度与空气温度

Fig 10 Comparison of globe temperature and air temperature



图11 窗口临时遮阳

Fig 11 The temporary window shade

实测结果表明,从优化室内热环境的角度来看,广东地区现代农宅的优点是:单层向多层发展的趋势有利于防热防潮,梳式布局可形成良好的室外风环境,突破首层外封闭的格局可有效改善首层空间室内风环境,这些优点在新建农宅中应继续保持和发扬。但与此同时,现代农宅还存在如下主要问题:1)屋顶隔热层的缺失导致顶层房间室内热环境恶劣,过热的室内热环境必将导致不必要的能源消耗和浪费,因此,引导村民认识到隔热层的重要性非常必要;2)现代农宅天井顶部的防雨构造影响了室内热压通风的效果,应对其出风口处的构造及使用要点提出建议以优化室内自然通风;3)现代农宅中遮阳设计被忽略,夏季通过窗口或天井直接进入室内的太阳辐射不容忽视,应针对建筑特点找准遮阳设计的关键部位。

3 优化分析

针对实测所发现的问题,通过计算机辅助分析的方法提取最适宜的优化措施。现代农宅中保留天井有利于天然采光、自然通风和除湿,但也会带来过量热辐射和使用率降低的问题,反之亦然。因此,有

天井农宅和无天井农宅各有千秋,从现实情况来看,二者也是平分秋色。因此,不讨论天井的去与留,而是针对有天井和无天井两种现代农宅分别建模、讨论各自适宜的优化方法。

3.1 隔热优化

选择建筑能耗分析软件 Energy Plus 作为工具对比隔热设计和遮阳设计前后的全年能耗及室内热环境。考虑到建筑互遮挡对太阳辐射的影响,计算模型采用 3 行 3 列共 9 栋建筑,研究对象为正中的一栋住宅(图 12)。

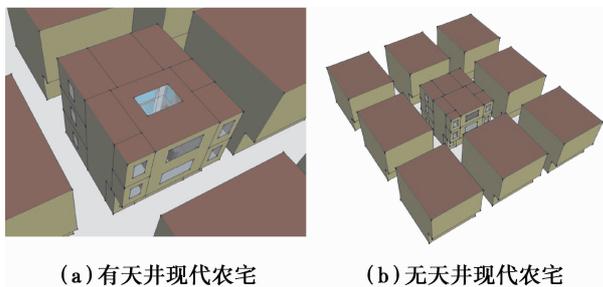


图 12 Energy-plus 基础计算模型

Fig 12 Energy-plus basic calculation model

围护结构材料及厚度根据实际情况设定,是广东地区现代农宅最常见的构造形式,模拟设置及热工参数^[12]为:内扰设置及作息按《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2012)设置;模拟时段为全年逐时;气象条件:《中国建筑热环境分析专用气象数据集》^[13];传热系数:180 厚粘土砖外墙(室内外分别做 20 mm 厚混合砂浆和水泥砂浆抹面), $K=2.35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $D=2.85$;屋顶(100 mm 钢筋混凝土结构层,室内外分别做 20 mm 厚混合砂浆和水泥砂浆抹面) $K=3.77 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $D=1.48$;外窗(普通铝合金推拉窗、5 mm 白玻) $K=6.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $S_c=0.85$ 。

有天井现代农宅中的天井实际上是被以玻璃及铝合金为主制成的顶盖所覆盖,所以在基础计算模型中天井顶部设置了玻璃顶盖,整个天井是从 1 层到 3 层通高的封闭无空调的空间。

在优化分析前,先进行模型的模拟验证,计算两栋基础模型全年逐时温度分布,室内温度逐层增大,夏季最大值可达 $35 \text{ }^\circ\text{C}$,冬季最小值不足 $12 \text{ }^\circ\text{C}$,整体变化规律与室内热环境水平与实测室内热环境相符。

优化模型在屋顶构造中增设 30 mm 厚 XPS 保温板,其余同基础模型。两栋住宅的优化计算结果见图 13,以基础模型的全年能耗为基准,有天井多层住宅设置屋顶隔热层后全年的能耗为基准能耗的 73.4%,节能率为 26.6%;无天井多层住宅设置屋

顶隔热层后全年的能耗为基准能耗的 65.9%,全年的节能率可达 34.1%。整体而言,广东地区现代农宅若设置屋顶隔热层,全年可节约 1/3 左右的空调能耗。以 $29 \text{ }^\circ\text{C}$ 作为可接受温度上限^[14],现代农宅整个夏季(6—10 月)室内热环境可接受比例约增加 10%。

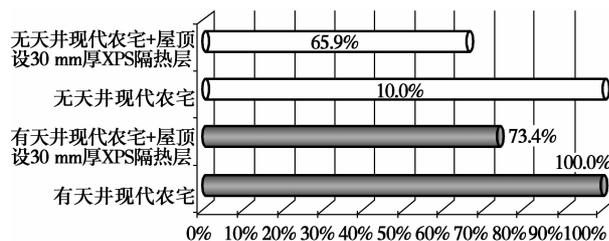


图 13 屋顶隔热构造节能率

Fig 13 Energy saving rate of roof insulation

3.2 自然通风优化

Fluent 被广泛应用于建筑内部的自然通风分析工作与研究中,采用 Gambit2.4.6 绘制网格,利用 Fluent6.3.26 对基础模型优化前后的室内外风环境进行数值模拟。

典型日的选取依据《城市居住区热环境设计标准》(JGJ 286—2013)^[15],以日平均温度与日较差作为主要评价指标,参照太阳总辐射最接近整个夏季平均值基本形态,最终选定 8 月 7 日做为夏季的典型气象日。当日下午 13:00 左右空气温度达到了全天的最大值 $30.9 \text{ }^\circ\text{C}$,太阳辐射值也处于较高的水平,此时室内热环境最为严峻,因此,选取 8 月 7 日 13:00 作为计算机模拟分析的评价时刻。

为验证模型的可靠性,将夏季实测的 11 天每日 13:00 的实测室外温度平均值与计算温度进行对比,无天井现代农宅中实测 1.5 m 高度处室外温度平均值为 $32.0 \text{ }^\circ\text{C}$,基础模型计算温度为 $33.2 \text{ }^\circ\text{C}$,相对误差为 3.8%,这是因为实际情况下太阳辐射对空气温度的影响有滞后性,而这种滞后性在 Fluent 的稳态计算模式中无法考虑,因此导致的误差,有天井现代农宅中的相对误差为 4.2%。

3.2.1 有天井现代农宅优化策略 选择 3 行 3 列共 9 栋住宅组成的组团为计算模型,主要分析对象为正中的一栋住宅。解析时假设室外空气流动为不可压缩三维定常流动,符合 Boussinesq 基本假设,考虑浮升力的影响^[16-17]。对比标准 $K-\epsilon$ 模型、RNG $K-\epsilon$ 模型和 Realizable $K-\epsilon$ 模型对基准建筑的计算结果,Realizable $K-\epsilon$ 模型在各方面均优于其他两个模型。对各边界界面的边界条件定义如表 2 所示。

表 2 边界条件说明
Table 2 Analysis condition

边界	解析条件
计算域	区域 120 m×120 m×100 m
解析日时	8 月 7 日 13 时
气象温度	30.9 ℃
湍流模型	realizable K-ε 模型 流入风向: wsw 沿来流方向的风速 $U=2.7$ m/s
入流边界	湍流动能 k 耗散率 ϵ 温度 $T=30.9$ ℃
出流边界	自由出流,沿流线方向各流动参数(U, V, W, k, ϵ)的梯度为 0
上空面边界	对称边界
地表面及建筑壁面	无滑移壁面(non-slip wall),采用标准壁面函数法
离散格式	QUICK
计算法则	SIMPLE
收敛条件	最大容许残差 10^{-3}

如 3.2 节所述,有天井现代农宅天井顶盖的构造方式(图 1(a))不利于热压通风,厅堂不开窗的祖制

亦对室内风环境有不利影响,综合考虑这两个优化方向,设计了 8 种可能的工况进行对比分析,详见表 3。不同工况下风环境优劣的评价标准是主要活动空间内、人行高度处的平均风速值和活动区域内风速值大于 0.3 m/s 的面积比例^[16],计算结果见表 4。对比分析结果表明,对于有天井的现代农宅而言,室内风环境有效的优化方式是:首层厅堂开启北窗;增大天井的高度。二者同时宜将天井的开口置于下风向。

表 3 有天井现代农宅自然通风优化措施工况说明
Table 3 The working condition explanation and optimization of the ventilation for rural residential with courtyard

工况	天窗	天窗开启	首层厅堂	备注
	类型	比例/%	开窗情况	
工况 1	矩形天窗	50	无	开启扇均布
工况 2	平天窗	100	无	
工况 3	矩形天窗	100	无	
工况 4	矩形天窗	50	无	开口设于上风向
工况 5	矩形天窗	50	无	开口设于下风向
工况 6	矩形天窗	50	有	开启扇均布
工况 7	矩形天窗	50	有	开口设于下风向
工况 8	矩形天窗	50	无	开口设于下风向

表 4 有天井现代农宅各工况室内平均风速

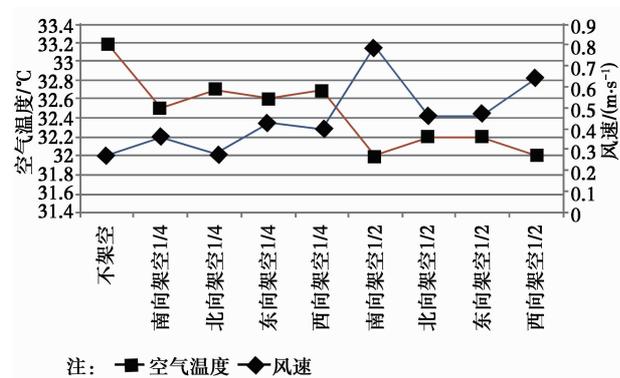
Table 4 The average wind speed of the rural residential with courtyard

工况	楼层	整层平均	变化比例/%	厅堂平均	变化比例/%	风速适宜区
		风速/($m \cdot s^{-1}$)		风速/($m \cdot s^{-1}$)		域面积比例/%
工况 1	1	0.216		0.224		15.61
	2	0.264		0.319		33.27
	3	0.327		0.385		42.72
工况 2	1	0.217	0.57	0.229	2.17	16.90
	2	0.275	4.13	0.341	7.04	36.64
	3	0.337	2.91	0.398	3.18	44.29
工况 3	1	0.216	0.05	0.226	0.79	16.36
	2	0.270	2.24	0.330	3.44	34.74
	3	0.329	0.60	0.379	-1.57	43.15
工况 4	1	0.194	-9.82	0.173	-22.89	10.75
	2	0.232	-12.02	0.282	-11.59	21.97
	3	0.321	-1.95	0.419	8.72	42.02
工况 5	1	0.223	3.35	0.239	6.77	18.51
	2	0.287	8.59	0.366	14.73	40.48
	3	0.362	10.74	0.461	19.48	48.22
工况 6	1	0.255	18.21	0.261	16.44	31.30
	2	0.266	0.69	0.315	-1.24	32.67
	3	0.337	2.92	0.390	1.19	45.24
工况 7	1	0.264	22.26	0.279	24.84	33.49
	2	0.284	7.46	0.358	12.37	39.15
	3	0.367	12.12	0.468	21.51	48.52
工况 8	1	0.250	15.98	0.297	32.90	23.98
	2	0.334	26.44	0.415	30.19	50.08
	3	0.399	21.99	0.578	49.97	48.55

3.2.2 无天井现代农宅优化策略 半开放空间是适应湿热气候的有益元素,传统住宅中半开放空间主要有赖于天井形成,而现代农宅中设置天井会降低房屋的平面利用率,因此,一部分村民在建新房时舍弃了天井,此时,局部架空或是可以替代天井的有效方式。

图 14 所示为无天井现代农宅从一层不架空到一层架空 1/2 时 9 种工况下 1.5 m 高度处室外微环境的解析结果。从计算结果可知,底层架空率由 0 增大到 25% 时,1.5 m 高度处的室外平均温度降低 0.5 °C 以上,平均风速由 0.27 m/s 增大到 0.43 m/s;底层架空率由 0 增大到 50% 时,1.5 m 高度处的室外平均温度降低了 1 °C 以上,平均风速由 0.27 m/s 增大到 0.79 m/s。

除了架空率外,架空的部位对热环境也有影响,当架空部位位于上风向时,室外风环境更优。一层南向架空率为 50% 的时候,1.5 m 高度处平均风速为 0.79 m/s,西向架空率为 50% 的时候,1.5 m 高度处平均风速为 0.64 m/s,均高于东向和北向架空时的平均风速 0.46 m/s。相应的,南向和西向架空 50% 时室外平均温度为 32 °C,较其他两个朝向架空时的平均值低 0.2 °C。



注: ■ 空气温度 ◆ 风速

图 14 1.5 m 高度处室外温度与风速

Fig 14 Average of air temperature and velocity at the height of 1.5 m

3.3 遮阳优化

使用 Energy Plus 作为分析工具,边界条件设置与 3.1 节隔热设计同。考虑到广东地区夏季太阳辐射强烈及现代农宅天井不利于防热的特点,分别计算基础模型、东立面挡板遮阳、南立面水平遮阳、西立面挡板式遮阳、北立面垂直遮阳、4 个立面均设遮阳和屋顶百叶遮阳等 7 个工况下的室内温度。同样以可接受温度上限 29 °C 为界限,统计计算结果中夏季室内温度可接受时长的比例。结果参见图 15、图 16。

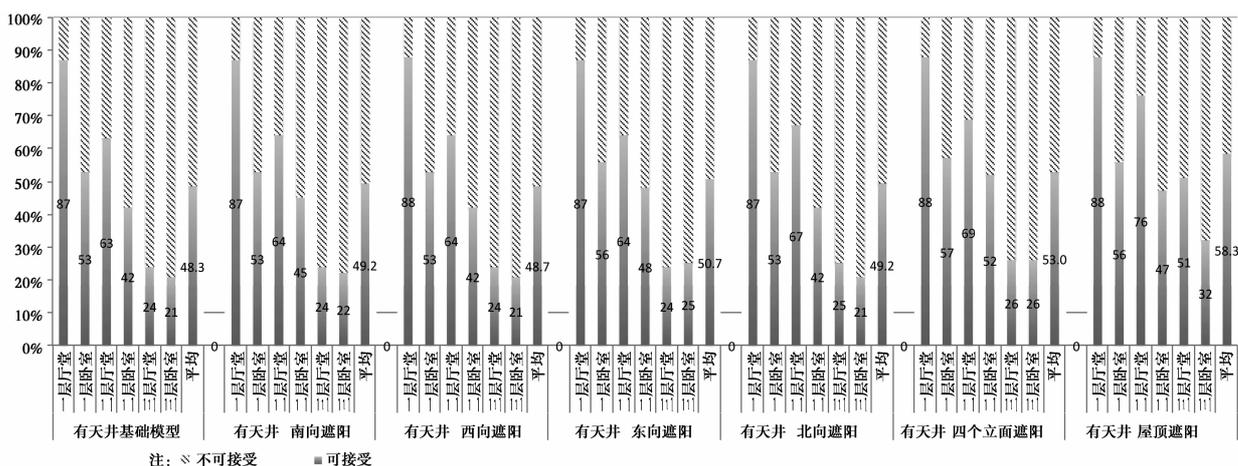


图 15 有天井现代农宅夏季室内热环境可接受比例

Fig 15 Percentage accepted of thermal environment in rural residential with courtyard in summer

由图 15 可知,有天井底层农宅的遮阳优化中屋顶遮阳效果最为显著。3 层厅堂可接受时长从整个夏季的 24% 上升到 51%,即顶层厅堂夏季可接受时长增加了 790 h,约合 33 d,即屋顶遮阳可以使得顶层厅堂夏季可接受时长大增加,约为整个夏季的 1/4,此外,屋顶遮阳使得主要使用空间平均可接受

时长增加 10%,亦即整个夏季自然室温可接受时长增加了 293 h,约合 12 d;其次,是 4 个立面均设遮阳的情况,夏季各空间平均可接受时长增加 4.7%,亦即整个夏季自然室温可接受时长增加了 138 h,约合 6 d,但立面遮阳对解决顶层热环境差的问题帮助不大。

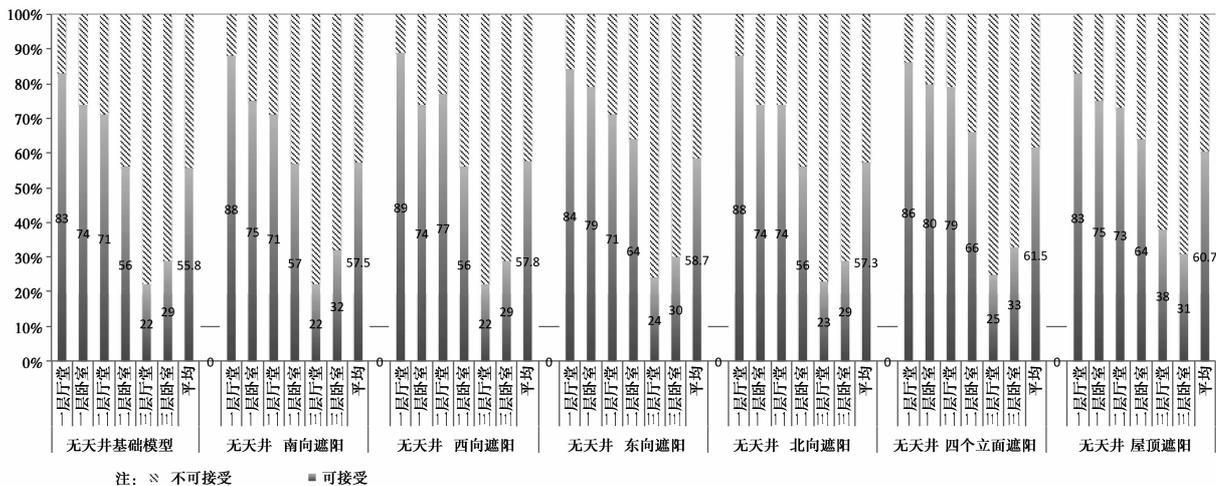


图 16 无天井现代农宅夏季室内热环境可接受比例

Fig 16 Percentage accepted of thermal environment in rural residential without courtyard in summer

由图 16 可知,对于改善无天井现代农宅夏季整体室内热环境而言,4 个立面的遮阳效果比屋面遮阳效果显著。4 个立面遮阳使得整个夏季室内自然室温可接受时长增加 5.7%,即 167 h;屋面百叶遮阳使得可接受的时长增加了 4.9%,即 143 h。立面遮阳对室内热环境的优化效果优于屋面百叶遮阳。

4 结论

通过对广东地区现代农宅和传统农宅室内热环境现场实测及计算机模拟分析,得到以下结论:

1) 屋顶遮阳是改善“有天井现代农宅”夏季室内热环境的有效方式,整体的屋顶遮阳(包括天井顶部遮阳)可以使顶层房间夏季可接受时长增加 790 h,是优化前可接受时长的一倍,各层主要使用空间平均可接受时长增加 293 h;而对“无天井现代农宅”而言,立面遮阳对室内热环境的改善效果优于屋面百叶遮阳。

2) 有天井现代农宅室内风环境有效的优化方式是:矩形天窗开口置于夏季主导风向的下风向;增大矩形天窗的高度以加强天井拔风效果;首层厅堂开启外窗,形成良好的风压通风。

3) 无天井现代农宅可用局部架空的方式改善室内外热环境,随着底层架空率的增加,1.5 m 高度处的室外平均温度降低,平均风速增大。架空部位对优化效果也有一定的影响,南向架空最佳,依次是西向、东西和北向。

4) 现代农宅屋顶构造加设 30 mm XPS 隔热层后,有天井多层住宅节能率为 26.6%,无天井多层住宅全年的节能率可达 34.1%。

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研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] Zhang T, Liu J P, Wang J, et al. Evaluation for climates adaptive capability of traditional Tuzhang dwelling [J]. Advanced Materials Research, 2012, 450/451:1219-1222.
- [3] Heinonen J, Junnila S. Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland [J]. Energy and Buildings, 2014, 76:295-303.
- [4] 金虹, 王秀萍, 赵巍. 东北地区乡土住宅发展演变探析 [J]. 低温建筑技术, 2011(12): 16-18.
- [5] 李荣. 重庆农村住宅外围护节能分析与研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
Li R. The Analysis and research on the energy-saving of rural housing's envelop in Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011. (in Chinese)
- [6] 高云飞. 岭南传统村落微气候环境研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.
Gao Y F. Research on micro climate of traditional villages in South China [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2007. (in Chinese)
- [7] Zhao L H, Li K M. Study on outdoor thermal environment of village in Pearl River Delta region [C] // The 13th International Conference of the International Society for Indoor Air Quality and Climate, July 7-12, 2014, Hong Kong.
- [8] 陆琦. 广东民居[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

- [9] ISO 7726. Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 1998.
- [10] McIntyre D A. Indoor climate [M]. London: Applied Science Published Ltd. 1980.
- [11] 刘加平, 谭良斌, 何泉, 等. 建筑创作中的节能设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [12] 华南理工大学. 建筑物理 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [13] 中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [14] 金玲, 孟庆林, 赵立华, 等. 粤东农村住宅室内热环境及热舒适现场研究 [J]. 土木工程与环境工程, 2013, 35(2): 105-112.
Jin L, Meng Q L, Zhao L H, et al. Indoor environment and thermal comfort in rural houses in East Guangdong of China [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2013, 35(2): 105-112. (in Chinese)
- [15] JGJ 286—2013 城市居住区热环境设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
JGJ 286-2013 Design standard for thermal environment of urban residential areas [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)
- [16] Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, et al. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2008, 96(10/11): 1749-1761
- [17] Franke J, Hirsch C, Jensen A G, et al. Recommendations on the use of CFD in wind engineering [C]//Proceedings of the International Conference Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, Belgium, 2004: 5-7.

(编辑 胡英奎)