基于桂北干栏式民居热工优化的冬冷夏热地区生态建筑设计

□ 钟继敏

[摘　要] 桂北传统干栏式民居夏季通风透气，具有排湿隔热效果；冬季气密性差，保温效果不佳。为了比对分析桂北干栏式民居热工性能的优劣势，设计了四种生态建筑。建筑A为传统干栏式民居、坡屋顶、木质外围护结构；建筑B为钢筋混凝土结构、平屋顶；建筑C为钢筋混凝土结构、坡屋顶、外围护为自保温砌块；建筑D条件与C相同，但多设置了百叶系统。经过斯维尔能耗模拟分析，得到一种较为理想的冬冷夏热地区多层生态民用建筑形式：带有隔热顶层，隔热顶层开窗并设置百叶系统，外墙采用自保温砌块。

[关键词] 生态建筑；干栏式民居；热工性能

1 介绍

广西干栏式民居因势随形、错落有致，虚实结合、布局灵活，底层架空、轻盈通透。目前多分布于多山的桂北、桂西北、桂东北地区，壮、侗、瑶、苗、毛南族均普遍采用。具有底层架空排湿隔热、顶层挑高通风透气、披檐突出遮阳挡雨等特点[1]。桂北属于冬冷夏热地区，包括桂林、柳州、贺州、河池等近广西一半的区域。这些地区冬季寒冷、夏季湿热，既需要考虑夏季排湿隔热，又需要考虑冬季采暖保温。桂北干栏式民居充分利用建筑的自身条件，能很好地实现遮阳、通风、排湿要求，满足夏季热工性能要求。但对于当地湿冷冬季气候，还不能实现良好的防寒保暖效果。如图1所示。

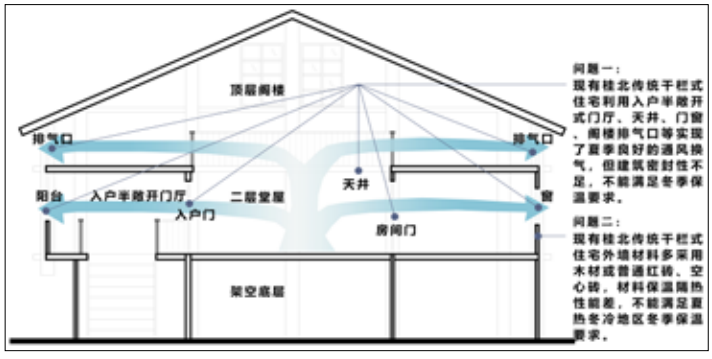

图1 桂北现有传统干栏式住宅通风保温效果示意图

如何合理利用干栏式民居隔热的优点，解决其冬季不保暖的缺点，实现冬暖夏凉的室内热工环境？这是一个非常有意义的课题。希望通过对桂北传统干栏式民居热工性能改良，开发一种被动式节能、适应夏热冬冷地区的新型生态建筑模型。探索适合桂北居住建筑的低技节能技术，可为发展广西绿色生态居住建筑另辟蹊径，既可应用于桂北既有民居改造、新建居住建筑，也可推广应用于我国夏热冬冷地区居住建筑。

建筑保温隔热属于建筑节能研究的重要内容，世界各国纷纷制定了建筑热工性能方面的政策法规及标准。1967年美国开始将有效温度指标ET纳入美国采暖通风空调工程师协会，以确定室内热舒适区的范围；1976年德国颁布了《建筑物热保护条例》；2000年法国提出了提高建筑热工性能的措施；1972年丹麦科技大学Fanger教授建立人体热平衡方程，并由此提出热舒适理论，形成用以确定室内热舒适度的评价指标“预测平均评价PMV”和“预测不满意百分比PPD”；我国也先后颁布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》《建筑门窗玻璃幕墙热工性能计算规程》（JGJ/T 151—2008）等；2017年广西颁布《广西壮族自治区民用建筑节能条例》，对新建、既有建筑节能及绿色建筑推广做了明确规定。

[课题项目] 1. 2020年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“基于干栏式民居热工优化的节能建筑可调遮阳系统研究”（编号：2020KY30014），主持人：钟继敏；2. 2020年广西科学技术计划项目“基于广西干栏式民居热工体系优化的居住建筑保温隔热外墙应用基础研究”（编号：8），主持人：钟继敏。

[作者简介] 钟继敏，南宁职业技术学院，骨干教师，副教授、高级工程师，硕士。

国内外开发了热工性能分析软件，对数据进行模拟测试分析，进行建筑热工性能方案优化设计。国外，常用的有美国劳伦斯伯克力国家实验室开发的Optics、THERM、WINDOW系列软件，瑞士的Informind Ltd软件，比利时Physibel实验室的BISCO软件，德国的ENVI-met软件等。国内，有广东省建筑科学研究院开发的粤建科MQMC软件、清华大学建筑技术科学系环境与设备研究所开发的DeST软件、中国建筑科学研究院建筑工程软件研究所研发的PKPM软件等。

国外，Giulio Allesina等在“Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies”文中分析了一种公寓建筑立面节能改造的模型。利用透明的塑料卷片沿着阳台周边安装，在炎热季节移开，便于换气；寒冷季节则将阳台空间包围起来，形成温室空间[2]。Amir Nezamdoost等在“Assessing the energy and daylighting impacts of human behavior with window shades,a life-cycle comparison of manual and automated blinds”文中设计了六种不同形式的百叶系统，包括四种手动百叶系统和两种自动百叶系统。通过实验数据分析，发现前四种手动百叶系统与后两种自动百叶系统的节能效果类似，甚至有时更有效[3]。何江等人在《一种具有蒸发冷却效果的遮阳百叶装置的研制》文中介绍了一种具有喷水装置的多孔遮阳百叶系统。多孔材料制成的百叶板在夏季可以吸收喷出的水分，有效降低自身温度，达到良好遮阳效果[4]。

国内，孙雁等《典型渝东南土家族聚落夏季风环境及吊脚楼夏季热环境模拟研究》文中利用CFD软件对黔江后坝乡进行通风模拟研究，分析出其底部架空、通风阁楼、屋檐外廊遮阳等建造方式对自然通风、除湿、降温有所帮助。吴崇山等在《贵州苗族吊脚楼居住建筑冬季室内热舒适现场调研》文中对贵州台江苗族吊脚楼冬季室内热环境进行现场测试，分析比较，得出吊脚楼民居与普通农宅比较的优劣。优势为其外围合结构相对开放，增加换气次数，室内湿度、污染物浓度均低于普通农宅；劣势为其保温、蓄热、气密性不如普通农宅，冬季室内平均温度低于后者，需要间歇式火源供暖[5、6]。

综上，国内外对建筑节能技术方面的研究有很多，比如：针对如何利用封闭阳台形成温室，达到严寒季节保温效果的分析，针对内外遮阳、手动与自动遮阳各自节能效果的分析等，皆提供了一些值得参考的节能模型。很多地区对于我国干栏式民居热工性能方面的研究及实践已有所涉猎，但对于广西干栏式民居的热工性能研究相对滞后。针对桂北地区干栏式民居夏季通风性能、冬季保温性能的分析，还不够深入。其相对于其他民居，值得推广应用的优势以及需要改善的劣势，还缺乏具体分析。因此，对其进行研究分析，并将成果应用于广西现代居住建筑中，形成适应当地气候、低技术、低成本的被动式绿色建筑节能技术，显得尤为必要且紧迫。

2 桂北传统干栏式民居热工性能分析

传统桂北干栏式民居，夏季不使用空调，室内温度仍凉爽宜人，被称为“会呼吸的建筑”。干栏式民居是如何利用建筑自身条件，很好地实现遮阳、通风、排湿的要求呢？下面通过其平、立、剖面分析成因。

2.1 桂北传统干栏式民居的平面分析

建筑多为三层，底层架空不住人，主要用于饲养牲畜、囤放工具等。二层为主要功能空间，布置有堂屋、火塘、厨房、餐厅、卧室、杂物间。三层则用于堆放谷物、杂物，当家中子女较多时，也布置少量卧室，一般为年幼子女居住。现重点分析二层的平面布置，通过对桂北地区干栏式民居的实地测绘，发现其二层平面呈现以下有利于通风透气的特点。

桂北地区位于广西与湖南、贵州交界处，气候冬冷夏热。为了适应夏天炎热的气候，这一带的干栏式住宅多有半敞开式的堂屋。堂屋布置在房间中心位置，一面敞开，形成堂屋与阳台连成一体的平面形态。通风透气、宽敞舒适，极好地适应了闷热的夏季气候。堂屋还兼具会客、家庭聚会、儿童玩耍、手工劳作等功能，是住宅中最为重要的功能空间。沿堂屋依次展开有厨房、卧室、杂物间，如图2所示。这种以半敞开式堂屋为中心的平面布局形式，能够有效形成穿堂风。

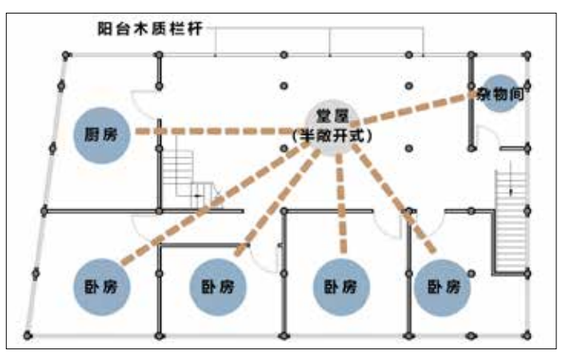

图2 以半敞开式堂屋为中心的平面布局

2.2 桂北传统干栏式民居的立面分析

架空底层、通长阳台、山墙窗户形成通风换气系统。架空的底层、通透的阳台为虚，木板封闭的墙体为实，如图3所示。虚实形成对比，不仅形成丰富的阴影变幻，同时具有更重要的实际功能。底层架空设计，可以排走南方常有的湿气，保持二层干爽。与敞厅相连的阳台大多做成一整排通长阳台，阳台上部出挑的屋檐可遮阳挡雨，通透的阳台也形成很好的通风换气通道。山墙顶部与屋檐交接处的三角形屋架部位多漏空，形成高侧窗，便于通风透气。顶部外露的穿斗式屋架，也很好地展示了建筑结构。

2.3 桂北传统干栏式民居的剖面分析

天井、顶层贮藏空间结合形成建筑空腔，有利于采光通风。堂屋上方开天井，天井与顶层贮藏空间结合，形成建筑空腔，如图4所示。这种剖面形式聪明地利用了烟囱效应，形成整个房屋的对流。顶层山墙开窗，带走汇聚在房屋顶部的热空气，室外新鲜的冷空气则从窗户和阳台补充进来。桂北地区的干栏式民居夏季凉爽舒适，与建筑这种完美的室内换气系统是密不可分的。这也是值得我们学习推广的一种被动式通风节能方式。

通过上述分析，总结出桂北干栏式民居夏季通风透气的主要成因有：

（1）以半敞开式堂屋为中心的平面布局，易于组织穿堂风。

（2）架空底层、通长阳台、山墙窗户形成通风换气系统。

（3）堂屋上方天井与顶层贮藏空间形成建筑空腔，利用烟囱效应，排气通风。

2.4 桂北传统干栏式民居冬季热工性能分析

虽然桂北传统干栏式民居在夏季具有良好的通风透气性能，但是在冬季却并不具有良好的保温性能。根据实地测绘，桂北传统干栏式民居冬季室内多湿冷，需要借助烤火设施取暖。其主要成因如下：

（1）桂北传统干栏式民居外墙多使用木质板条围护，寒冷的季候风会通过板条之间的缝隙带走大量室内热量。

（2）顶层山墙窗户常年开敞，或仅以木条封闭，密闭效果极差。冬季，穿堂风会带走大量室内热空气，保温效果差。

根据以上冬季不保温的成因分析，做出两项应对措施：

（1）外墙采用自保温砌体。

（2）顶层山墙窗户增设手动可调百叶系统。

基于桂北传统干式民居热工性能优化后的方案如图5所示。

3 四种民居建筑热工性能分析

以广西三江侗族自治区弄团村某单体民居建筑为分析实例。建筑占地面积为136m^2，用地平整，周边环境优美。基地南面临村级公路，北面为风景优美的山林，东面有小溪穿过，西面紧临一栋三层高住宅。建筑周边环境如图6所示，红色虚线方框内为研究对象。设计四种建筑：建筑A（带隔热层的广西传统干栏式民居）、建筑B（不带隔热层的广西现代新农村民居）、建筑C（带隔热层但不带可调百叶系统的新型民居）、建筑D（带隔热层及可调百叶系统的新型民居）。

图3 虚实结合的建筑立面

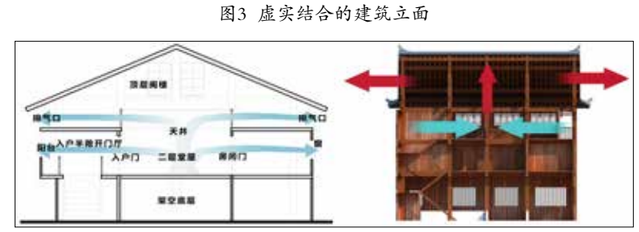

图4 具有烟囱效应的建筑剖面

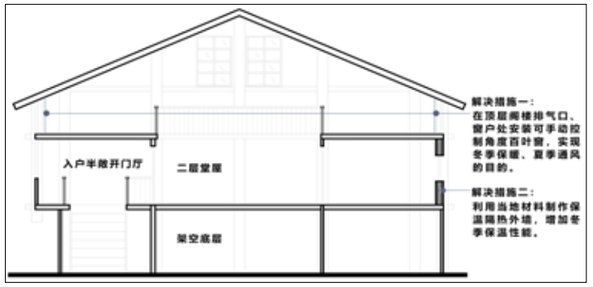

图5 桂北传统干栏式住宅保温隔热性能优化方案示意

图6 研究对象周边环境实地照片

3.1 四种建筑设计

3.1.1 四种建筑平、立面图

根据实测基地数据，设计出四种建筑的平、立面图，如图7所示。

3.1.2 室内换气量计算

每户居住人口以5人考虑，根据人均居住面积查到，每小时最小换气次数=0.5，因此建筑B、C、D的最小换气次数取0.5。因为建筑A顶层有不封闭开口，结合主导风向、建筑朝向考虑，换气次数取5。

由公式n=Q/V，推导公式Q=nV。

式中：n为空间的换气次数，单位次/h；Q为通风量，单位m^3/h；V为房间容积，单位m^3。

根据四种建筑的平立面图，分别计算出各自换气量：

建筑A：根据输入的图纸尺寸，计算机计算出

V_A =1341.94m^3

Q_A =nV_A=5×1341.94=6709.70m^3/h

建筑B：根据输入的图纸尺寸，计算机计算出

V_B =1243.87m^3

Q_B=nV_B=0.5×1243.87=621.94 m^3/h

建筑C：根据输入的图纸尺寸，计算机计算出

V_C=1581.33m^3

Q_C=nV_C=0.5×1581.33=790.67 m^3/h

建筑D：根据输入的图纸尺寸，计算机计算出

V_D =1581.33m^3

Q_D=nV_D=0.5×1581.33=790.67 m^3/h

3.1.3 供暖和制冷工况

为了对比建筑A、B、C、D在相同条件下各自的供暖供冷能耗，四种建筑均选用相同能耗的单元式房间空调器。其中，建筑D设置有百叶，夏季为了获得最大自然风，设计百叶开启角度为90°（最大值）；冬季利用屋顶保温层百叶闭合、形成温室空间保温，设计百叶开启角度为0°（最小值）。

3.2 四种建筑热工性能分析

以上四种建筑，选用斯维尔软件做模拟能耗计算。

3.2.1 试验结果

根据图7四种建筑平、立面图，建立的斯维尔三维模型如图8所示。四种建筑的全年负荷浏览如图9所示。通过计算机模拟分析，得出的全年能耗如表1所示。

表1 四种建筑模型全年能耗表

模型名称	供冷电耗	供暖电耗	建筑总能耗	单位
模型A	16.77	3.90	40.28	kWh/㎡
模型B	27.35	2.66	45.21	kWh/㎡
模型C	15.83	1.44	27.95	kWh/㎡
模型D	11.87	3.75	26.32	kWh/㎡

3.2.2 试验结果分析

通过实验数据分析，四种建筑全年供冷能耗从优至劣排序为：建筑D、建筑C、建筑A、建筑B。全年供暖能耗从优至劣排序为：建筑C、建筑B、建筑D、建筑A。全年建筑总能耗从优至劣排序为：建筑D、建筑C、建筑A、建筑B。

可见，带有隔热层的建筑A、C、D其供冷能耗和全

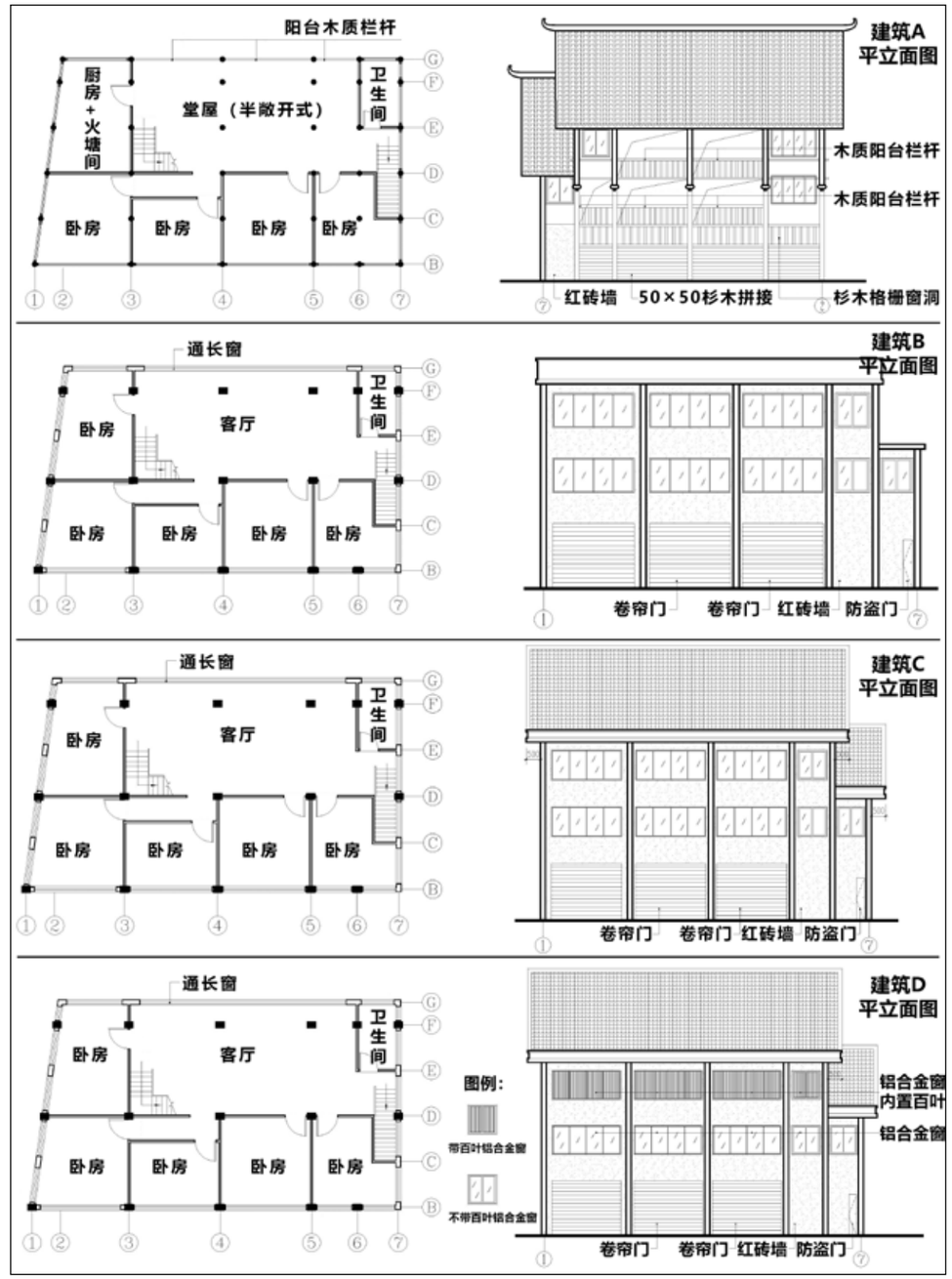

图7 四种建筑建筑平、立面图

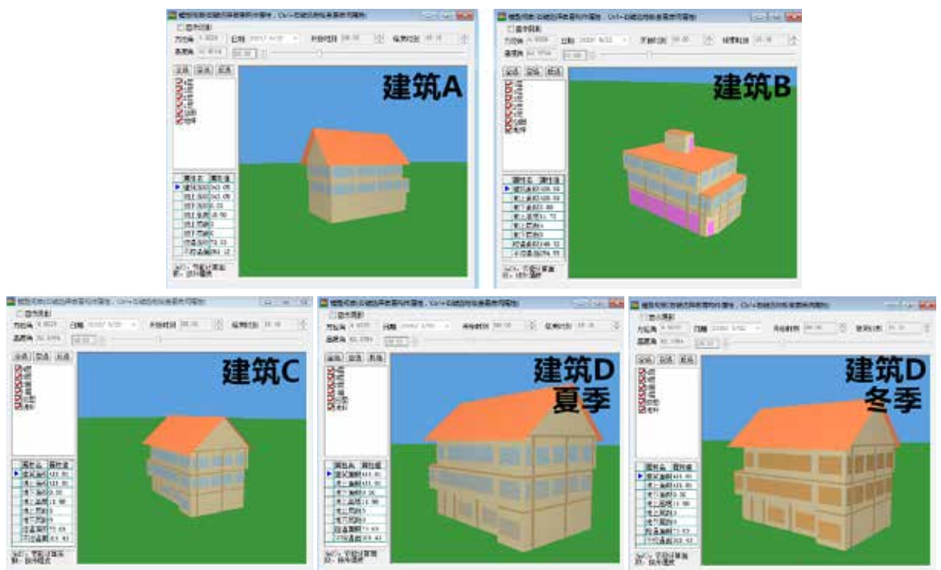

图8 四种建筑斯维尔三维模型

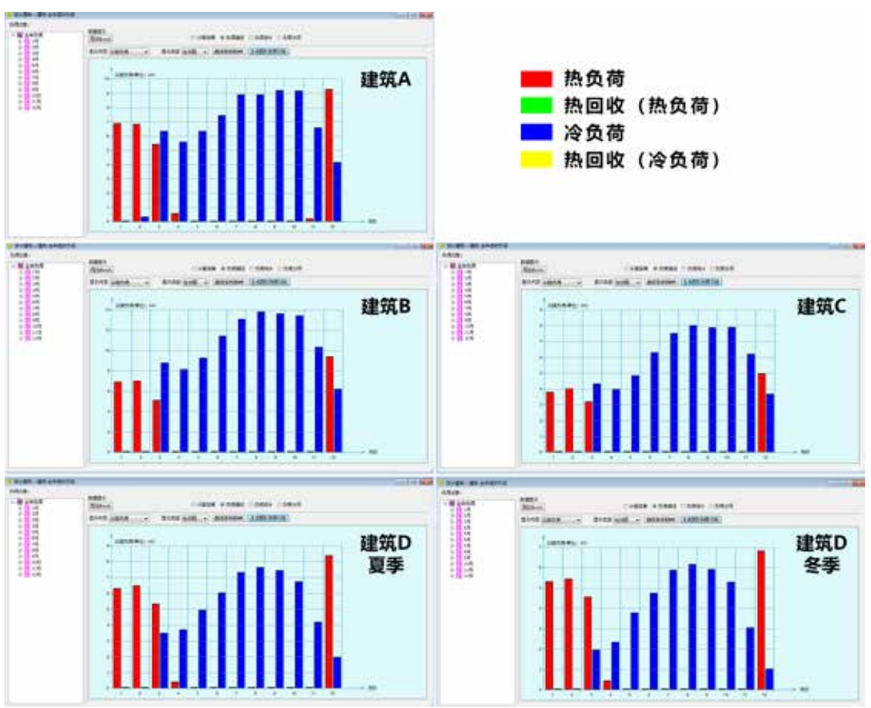

图9 四种建筑全年负荷浏览图

年总能耗均明显优于未带隔热层的建筑B。让人惊讶的是，未带隔热层的建筑B，虽然劣于带隔热层的建筑C；却优于带隔热层的建筑A、D。由此判断，建筑供暖电耗与建筑材料、百叶设置有关。

4 结语

通过四种建筑能耗模型设计及计算机能耗模拟比对分析，得出以下结论：

（1）通过建筑A、C、D与建筑B的比对分析，带有隔热层的建筑，其建筑能耗明显优于未带隔热层的建筑。

（2）通过建筑A与建筑B、C、D的比对分析，传统木质外围护结构的建筑，其建筑能耗明显劣于采用保温隔热外墙的钢筋混凝土建筑，但略优于未采用保温隔热外墙的钢筋混凝土建筑。

（3）通过建筑C、D与建筑A、B的比对分析，采用保温隔热外墙的建筑，其建筑能耗明显优于未采用保温隔热外墙的木质或钢筋混凝土建筑。

（4）通过建筑D与建筑C的比对分析，设置百叶的建筑，其建筑能耗略优于未设置百叶的建筑，且能耗大小与百叶设置位置、朝向、开启角度密切相关。

综上，可以得到一种较为理想的多层生态民用建筑形式：

（1）带有隔热顶层。

（2）隔热顶层开窗，并设置百叶，冬季百叶建议开启角度为0°，夏季百叶建议开启角度为90°。

（3）外墙采用自保温砌块。

[参考文献]

[1]李先逵.干栏式苗居建筑[M].北京:中国建筑工业出版集团,2016:140.

[2]Giulio Allesina,et al.Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies[J].Renewable Energy,2019,141:541-548.

[3]Amir Nezamdoost,et al.Assessing the energy and daylighting impacts of human behavior with window shades,a life-cycle comparison of manual and automated blinds[J].Automation in Construction,2018,92:133-150.

[4]He Jiang,et al.A design supporting simulation system for predicting and evaluating the cool microclimate creating effect of passive evaporative cooling walls[J].Building and Environment, 2010,46(3):584-596.

[5]吴崇山,单军,孔德荣.贵州苗族吊脚楼居住建筑冬季室内热舒适现场调研[J].暖通空调,2019,49(9):135-141+117.

[6]薛兴,王冕,吉林波.广西桂林龙胜地区干栏式建筑热舒适度的研究[J].土木建筑与环境工程,2013,35(S2):140-142.