

概念设计阶段建筑能效计算机辅助评价及系统开发

李楠^{1a,1b}, 姚润明²

(1 重庆大学 a. 三峡库区生态环境教育部重点实验室; b. 城市建设与环境工程学院, 重庆 400030;
2. 里丁大学 里丁, 英国)

摘要:概念设计是建筑设计最重要的环节之一,其中能效分析是建筑概念设计的重要内容。当前已有的能效分析方法或模拟工具都要求大量详细的参数输入,然而在建筑概念设计阶段,许多输入参数是没有确定的,目前国内大量采用的能耗模拟方法无法应用。针对建筑概念设计阶段,提出了一种能效分析方法,该方法可用于在策略性建筑设计阶段的建筑能效进行多方案对比。只需输入很少数据,就可以快速对不同的建筑方案进行能效分析,从而获得相应的最佳建筑设计建议,为我国快速工程设计与可持续发展之间提出了一种可行的解决方案。

关键词:建筑;概念设计;能效;计算机辅助设计

中图分类号:TU201.5 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2009)04-0088-05

Computer Aided Analysis Tool for Building Energy Efficiency in Conceptual Design Stage

LI Nan^{1a,1b}, YAO Run-ming²

(1a. Key Lab of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment(Chongqing University), Ministry of Education; 1b. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Resding University, UK)

Abstract: Conceptual design is one of the most important stages in building design, and energy efficiency analysis is one of the key issues in building conceptual design stage. The existing energy efficiency analysis methods and tools require inputting large number of parameters. However, the detail information of most parameters is not identified at the stage of conceptual design. And the current prevailing energy consumption simulation methods and tools are not appropriate at the stage of conceptual design. The proposed method can be used to compare the energy efficiency of multi-strategies at the conceptual design phase. Minimum data were required to be input for achieving the optimal building design scheme. The method can provide a solution to the gap between the rapid building design cycle and the sustainable development demand in China.

Key words: buildings; conceptual design; energy efficiency; computer aided design

近年来,中国城市得到了前所未有的发展,截止到 2008 年底,有超过 6 亿的城镇人口,城镇化率达到 45.7%^[1]。城市建设的飞速发展促使建筑业飞速发展,城乡建筑的运行能耗约占中国商品能源总

量的 25.5%^[2]。建筑节能已经成为中国能源战略实施、新农村建设工作的重点。

建筑运行能效与设计、施工、管理水平、人们行为等主要因素有关。良好的设计是影响建筑运行能

收稿日期:2009-04-15

基金项目:国家“十一五”科技支撑重大资助项目(2006BAJ01A05-06,2006BAJ02A09)

作者简介:李楠(1976-),男,博士研究生,主要从事建筑环境与建筑节能研究,(E-mail)nanLicqu@yahoo.com.cn。

效的最大因素。建筑设计可分为概念设计、初步设计及施工图设计3个阶段,在欧美发达国家,概念设计一直被认为是所有建筑设计阶段最重要的环节之一,建筑概念设计阶段的工作对建筑整个生命周期都有重要影响^[3];而在国内,概念设计往往只是简单地存在于建筑设计师脑海中,第1阶段的图纸体现往往就是初步设计图纸,根本谈不上在概念设计阶段对各种不同建筑方案进行能效评价工作。欧美国家近几年来随着对建筑节能工作的重视及深入研究,其推崇的做法是:在概念设计阶段,设备师需要对各种建筑方案的建筑自由运行能效进行简单的模拟和评价。这个阶段,建筑师往往只能提供1种或多种简单的设计构想,需要通过简单的模型构建、初始条件输入,快速地对每种建筑构想的能效进行比较分析,为建筑设计师提供有益的设计参考。这一阶段的能效评价往往不追求绝对数值的准确,而注重每种建筑构想建筑能效的比较结果。事实上,多年来,国内外学者对辅助建筑设计的建筑能效评价方法研究及工具开发从来就没有停止过。如美国伯克利实验室开发的DOE/ENERGYPLUS、TRNSIS系列,英国皇家建筑学会(CIBSE)推出的ESP-r,清华大学开发的DEST系列等。然而,这些建筑能效模拟工具往往需要操作者有较强的传热专业知识及良好的电脑操作技巧,同时在模拟评价过程中要求输入大量与建筑设计相关的详细参数^[4],而许多参数在概念设计阶段建筑师是无法详细给出的,使得建筑概念设计阶段的能效评价工作无法实施。

20世纪末,以英国剑桥大学马丁建筑研究中心的N. Baker教授为首的研究团队开始着力开发适用于建筑师概念设计阶段采用的建筑计算机辅助能效评价工具,并于2003年推出了适用于不需要什么电脑操作技巧人员、仅通过简单输入就可以实现建筑采光设计优化的LT-Europe系统采光设计软件^[5-6]。该文的内容则是作者在英国剑桥大学访问期间,协助导师姚润明博士开发的一种简易的基于综合热阻网络(TRV)和CIBSE标准的建筑能效模拟评价工具,也是LT-Europe系统的能效评价部分,该工具力求输入简单、界面友好,能够对影响建筑能耗的主要设计参数进行敏感度评价,从而有效帮助建筑师进行方案取舍,确定出最佳的设计解决方案。

1 理论方法

能效评价系统的思路就是比较各种建筑方案全

年在自由运行状态下室内过热(过冷)的时间长短,换句话说:就是要比较各种建筑方案下,通过有效的自然通风改善室内热环境的效果。简化的建筑通风传热模型(TRV)如图1所示,整个传热模型看成为一个多节点的热阻网络模型(TR模型),根据传热质原理,可以得出^[7-11]:

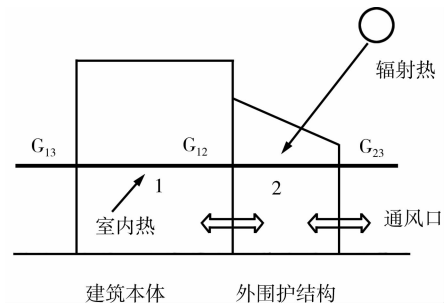


图1 建筑通风传热模型图

1)当气流从室外经过建筑表面进入室内时,有:

$$T_2 = T_1 - \frac{(G_{23} + V)(T_1 - T_3) - W}{G_{12} + G_{23} + V} \quad (1)$$

2)当气流从室内经过建筑表面排出室外时,有:

$$T_2 = T_1 - \frac{G_{23}(T_1 - T_3) - W}{G_{12} + G_{23} + 2V} \quad (2)$$

式中: T_1 为建筑室内平均空气温度,K; T_2 为外围护结构平均温度,K; T_3 为室外平均空气温度,K; G_{23} 为单位时间单位温差从外围护结构到室外的空气流能量, $\text{kJ} \cdot (\text{K} \cdot \text{h})^{-1}$; G_{12} 为单位时间单位温差从室内到外围护结构的空气流能量, $\text{kJ} \cdot (\text{K} \cdot \text{h})^{-1}$; W 为外围护结构得到的太阳辐射热,kW; V 为单位时间单位温差通风气流能量, $\text{kJ} \cdot (\text{K} \cdot \text{h})^{-1}$ 。

通过公式(1)、(2),结合公式(3)就可以求得做为过热(过冷)判定的指标—室内综合干球温度^[11]。

$$T_c = (T_{ai} + 3T_{ei})/4 \quad (3)$$

式中: T_c 为建筑室内综合干球温度,K; T_{ai} 为空气温度,K; T_{ei} 为假定环境温度,K;

2 建筑能效分析过程

为了对每种建筑方案进行能效评价,需要输入的数据主要包括:1)室外气温、太阳辐射强度、风速和风向、空气相对湿度等在内的气候数据;2)建筑信息则包括位置、朝向、窗墙比、内部得热、围护结构的轻重类型、遮阳信息;3)建筑通风策略:“昼夜全天通风”、“仅白天通风”或“仅夜间通风”等。如图2所示为建筑能效评价的全过程^[12]。

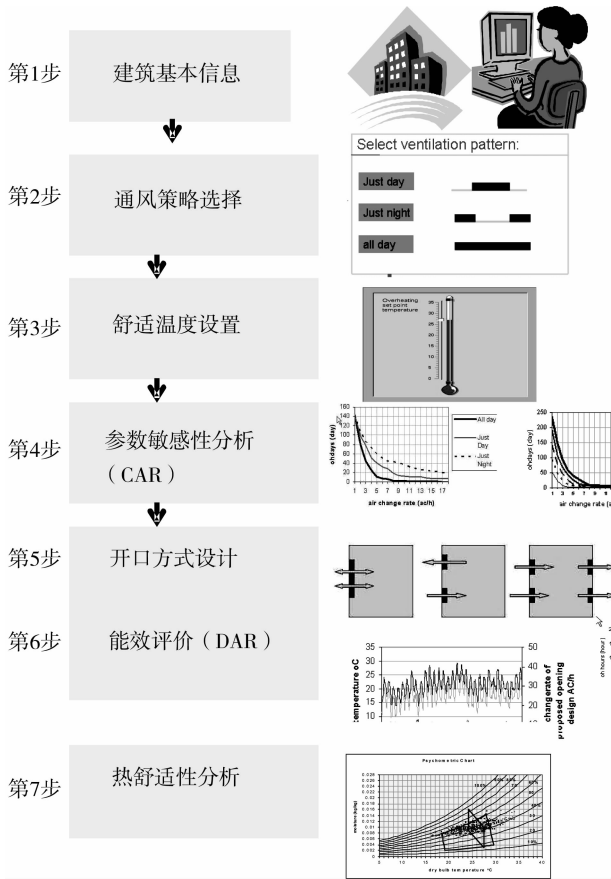


图 2 建筑能效评价步骤

2.1 参数敏感性分析

被动式节能建筑设计包含多种设计要素,而自然通风无疑是“被动式设计”中与建筑能效最密切相关要素^[13],系统定义过热天数为室内综合干球温度超过舒适温度时间达 2 h 以上的天数,并用来评价自然通风在本建筑方案的有效性。在参数敏感性分析中,选择不同的通风策略,分析墙体类型、室内得热和遮阳措施对建筑能效的影响。每个参数的基本取值如下:

- 1) 室内得热:高得热(GH)(40 W/m²),中得热(GM)(25 W/m²),低得热(GL)(15 W/m²)。
- 2) 遮阳措施:无(SN),内遮阳(SI),外遮阳(SE)。
- 3) 墙体类型:重型结构(MH),中型结构(MM),轻型结构(ML)。

参数敏感性分析的结果能够为建筑师决策建筑是否需要采用遮阳措施、建筑外墙应选择哪种结构类型。

2.2 热舒适评价

系统中提供了 3 种热舒适评价方法:第 1 种方法是根据英国环境设计手册的舒适标准做为热舒适的设置温度值,即夏季标准办公室取 23 °C,而对非标准办公室建筑则取 25 °C,在这个温度设定值的

±2 °C 范围内都认为室内是热舒适的,计算时考虑室内人员身穿夹克(西装)、长裤,服装的基本热阻 I_{cl} 取为 0.155 m² · K/W^[14];而第 2 种方法则是采用美国 ASHRAE 标准上所推荐的方法,用作业温度作为评价指标^[15]。作业温度的定义为:

$$T_{op} = at_a + (1 - a)T_r \quad (4)$$

其中: T_{op} 为作业温度, K; T_a 为室内空气温度, K; T_r 为平均辐射温度, K; a 为与空气流速相关的系数。

第 3 种评价方法则是根据英国皇家建筑学会(CIBSE)相关设计指南^[11],将室内空气的温度和湿度体现在焓湿图中,并计算其落在舒适区的比例。

3 系统软件开发

为做到工具输入简单、界面友好,采用多媒体 Director 软件及其脚本 Lingo 语言开发该系统软件。

基本信息的输入均采用直观的图形化界面,如图 3、图 4 所示,当设置好计算过热的舒适温度值及过热天数上限后,系统能对不同室内负荷下的墙体类型、遮阳措施、通风策略 3 个参数的所有 81 种组合情况的过热条件满足情况进行分析,如图 5 所示,以供建筑设计师进行选择,整个分析过程仅需要 5~10 min,而利用传统的能效评价软件(如:DOE、ENENGYPLUS 等),完成这一过程需要进行 81 次模拟,且每次都需要修改初始输入条件,非 1~2 d 不能完成。



图 3 选择工程地址界面

		LOW GAINS	GL-20.00	GL-25.00	GL-30.00	GL-35.00	GL-40.00	GL-45.00	GL-50.00	GL-55.00	GL-60.00	GL-65.00	GL-70.00
All day	Day only	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	Night only	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	Total	8	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
MIDDLE GAINS	Day only	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1
	Night only	6	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	1
	Total	N/A	7	6	5	3	3	2	2	2	2	2	1
HIGH GAINS	Day only	N/A	N/A	5	N/A	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2
	Night only	N/A	N/A	7	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4
	Total	N/A	N/A	12	N/A	N/A	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3

图 4 参数组合分析

在通风评价结果进一步分析上,可以进行设定

通风策略下的动态模拟,其室内温度可以通过频率分布图直观显示出来,见图 5 所示,同时,可以根据 ASHRAE 标准或 i-d 图对建筑方案的热舒适性进行直观的图形及统计信息显示,如图 6、图 7 所示。

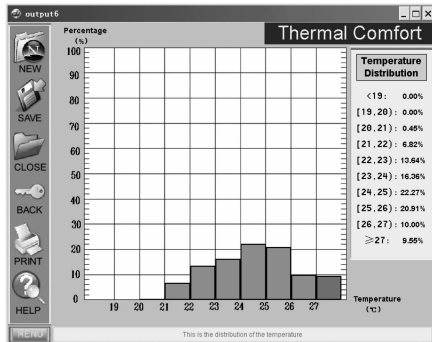


图 5 某时间段内室内空气温度频率分布

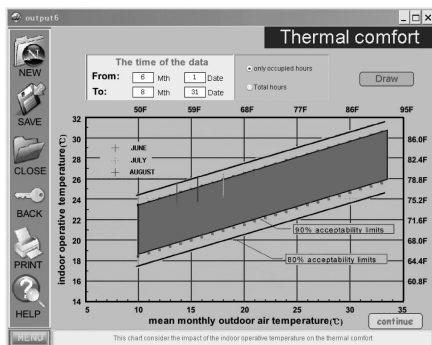


图 6 采用 ASHRAE 标准的热舒适评价

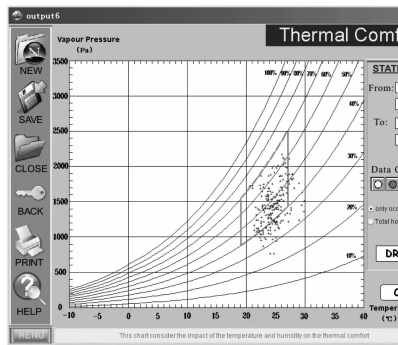


图 7 焓湿图热舒适评价

型办公建筑,外墙采用重型结构,窗户采用双层 low-e 玻璃铝合金断热窗,内部得热为中等,图 9 所示为马丁建筑研究中心的建筑师给出的强化自然通风策略,运用开发的该软件进行分析,确定出对该建筑能效目标而言,必须采用外遮阳措施,尤其在全为玻璃幕墙,太阳辐射较强的南向和西向。根据热舒适理论,可以确定出舒适作业温度在 7 月为 26.3 °C,8 月为 25.8 °C。因此,7 月份的低舒适标准要求下(80%的人感到满意)的作业温度区域在 22.8~29.8 °C 之间,高舒适标准要求下(90%的人感到满意)的作业温度区域在 23.8~28.8 °C 之间;8 月份的低舒适标准要求下的作业温度区域在 22.3~29.3 °C 之间,高舒适标准要求下的作业温度区域在 23.3~28.3 °C 之间。模拟计算后得出结论,通过改进后的通风策略结合良好的外遮阳设计,通过有组织的高效自然通风,7 月份低舒适标准要求下,满意率为 80%,高舒适标准要求下为 63%;8 月份低舒适标准要求下,满意率为 81%,高舒适标准要求下为 66%。



图 8 停工时的该建筑建设情况

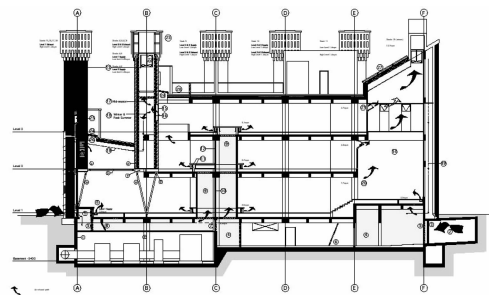


图 9 马丁中心提出的优化建筑设计方案

4 工程案例应用

该工程为建设部示范工程:北京未来之家超低能耗办公楼,该建筑位于靠近北京机场的五环路上,建筑方案第 1 次是由瑞典某设计集团完成,建筑南、东、西 3 面均考虑中国的建筑流行,采用玻璃幕墙结构,但该建筑设计经复查,发现无法满足甲方的高效低耗能指标,导致阶段性停工(图 8),后改由英国剑桥大学马丁建筑研究中心设计,作者所在团队负责为建筑设计师提供通风等建筑环境方面的配合^[16]。该建筑为南北朝向,建筑面积约 7 000 m²,建筑属典

5 结 语

在概念设计阶段,建筑设计师往往对建筑的很多具体参数来不及确定,而只是有一些设计的思路和想法,设计师在这个阶段往往需要一种通过简单输入就能对各种建筑方案所带来的室内热舒适状况优劣进行判定,从而对建筑方案进行科学的取舍,而目前市面上的大多数模拟软件都由于需要大量的输入而无法完成该项工作,因此,开发出界面友好、输入简单、能有效帮助建筑师快速判定建筑方案的室内声、光、热环境的软件是非常重要的,可以节省建

筑师的大量初期时间,不至于造成大的工作返工,也是能较好解决快速城镇化与可持续发展过程中的矛盾,避免大量垃圾建筑的产生。该建筑能效评价系统具有以下明显特点:

1)目前国内普遍采用的能耗模拟软件 DOE、ENERGYPLUS、DEST 由于需要输入的原始数据太多,往往需要等到建筑师的较详细设计方案确定以后才能进行,结果必然错失能效设计最佳良机,所能带来的建筑节能效益有限,而该能效评价系统可以针对建筑师概念设计阶段的各种设计构想进行能效优劣评价,帮助建筑设计师选定节能设计思路,避免大量的建筑设计返工现象。

2)国内外大量已有的能耗模拟软件在通风策略上都无法进行调整,只能设定为全天通风或不通风,而事实上由于气候的昼夜变化,大多数建筑用户都会选择室外气温较高的白天关窗,而夜间则开启窗户进行通风,也就是说用户对于建筑使用运行是有一定的行为调节能力,该系统中可以很好地选择建筑通风策略,更接近建筑实际运行情况。

3)该系统能对不同室内负荷下的墙体类型、遮阳措施、通风策略 3 个参数的所有 81 种组合情况的过热条件满足情况进行分析,以供建筑设计师进行选择,整个分析过程仅需要 5~10 min,而利用传统的能效评价软件(如:DOE、ENERGYPLUS 等),完成这一过程需要进行 81 次模拟,得出建筑能耗,然后再进行优劣比较,且每次都需要修改初始输入条件,非 1~2 d 不能完成。可以看出,在建筑概念设计阶段,利用该评价系统可以节省大量的工作时间,效率提高上百倍。

综上所述,该能效评价系统能很好地填补目前国内建筑概念设计阶段能效评价工具方面的空白,利用该系统,在概念设计阶段对建筑设计师的各种构想进行初步能效评价,制定节能设计思路,然后针对性地进行初步设计,再结合现有能耗模拟软件进行详细能耗模拟,这样,整个设计过程充分体现节能设计原则,将设计返工量降到最低,从而避免大量建筑垃圾的产生。

参考文献:

- [1] 潘家华,牛凤瑞,魏后凯. 城市蓝皮书:中国城市发展报告(NO.2)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2009.
- [2] 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 2008[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] CARLOS EMESTO OCHOA, ISAAC GUEDI CAPELUTO. Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design

strategies and active features in a hot climate [J]. Building and Environment, 2008, 43(1): 1829-1839.

- [4] 黄俊鹏,李峥嵘. 建筑节能计算机评估体系研究[J]. 建筑节能,2003(41): 109-115.
- [5] BAKER N, YAO R. LT-europe an integrated energy design tool for building[C]//PLEA 2002 Proceeding of the 19th International Conference, Toulouse, France, July 2002: 119-124.
- [6] YAO R, BAKER N, MC EVOY M. A simplified method for referring the energy and overheating performance of window design [J]. Architectural Science Review, 2003, 46(3): 225-232
- [7] YAO R, BAKER N, MCEVOY M. A simplified thermal resistance network model for building thermal simulation [C]//Sim2002, September 2002, Proceedings of eSim, Montreal, Canada: 135-140.
- [8] YAO R, STEEMERS. Strategic design and analysis method of natural ventilation for summer cooling[J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2005, 26(4): 315-335.
- [9] ALLARD F (ED). Natural ventilation in buildings, a design handbook [M]. James and James Science Publishers Ltd, 1998.
- [10] YAO R, STEEMERS K. Strategic design method for natural ventilation in buildings[C]//Room Vent 2004 9th International Conference on Air Distribution in Room, 5-8 September 2004, Coimbra-Portugal. ISBN 972-97973-1-5.
- [11] CIBSE. Design guide volume a: environmental design [M]. Yale Press Ltd, Great Britain, 1999.
- [12] RUNMING YAO, KOEN STEEMERS, NAN LI. An assessment tool for natural ventilation in strategic building design[C]//The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon, November 2005.
- [13] SU B. Passive design and thermal performance of houses for local climate[J]. ISEC-4 - Innovations in Structural Engineering and Construction, 2008, 2: 1193-1198.
- [14] Internation standard-BS EN ISO7730: Ergonomics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria[S]. British Standards Institution, 2005.
- [15] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. ISSN 室内热舒适 [S]. 104-2336.
- [16] LI NAN, LI BAI-ZHAN, YU WEI. Reasearch on design of energy efficiency building [J]. Journal of Central South University of Technology, 2007, 14 (S0): 161-166.

(编辑 王秀玲)