



方案设计阶段建筑性能模拟方法综述*

清华大学 夏春海[☆] 朱颖心 林波荣

摘要 从模拟辅助设计的过程分析、建筑群性能模拟、建筑单体性能模拟和建筑性能评价方法四个方面回顾了建筑方案设计阶段节能设计的研究成果,分析了现有研究方法的不足,指出解决现有问题应首先研究方案设计阶段的特点,其次分析模拟输入参数的可获得性,并在模拟中引入不确定性分析。

关键词 建筑节能 建筑性能模拟 模拟辅助设计 不确定性分析

Review of building performance simulation methods in conceptual design period

By Xia Chunhai[★], Zhu Yingxin and Lin Borong

Abstract Reviews the research achievement of energy saving design in the fields of building performance simulation methods in conceptual design period, including process analysis of design by simulation, simulation of microclimate around buildings, single building performance simulation and performance evaluation method. Analyses the deficiencies of present study methods, and points out that to solve these problems, the process of design by simulation should be discussed and the availability of input parameters in conceptual design period needs further analysis. Moreover, uncertainty analysis should be considered in building performance simulation.

Keywords building energy conservation, building performance simulation, simulation-aided design, uncertainty analysis

★ Tsinghua University, Beijing, China

0

0 引言

随着社会的进步和人们生活水平的提高,人类社会对能源的需求日益增长,建筑能源问题成为人类社会可持续发展的关键因素之一。随着我国城市化的高速发展,未来 15 年内我国城镇新建建筑的总量将保持在 10 亿 m^2/a 左右,参照发达国家城市发展带来的能源问题的经验,我国建筑能耗占总能耗的比例最终将达到 33%^[1]。为了在保持发展的同时有效地控制能源消耗增长,从而实现可持续发展,降低新建建筑能源消耗具有重要的意义,从建筑的方案设计阶段就开始考虑节能措施的应

用则有助于从源头控制能源消耗。由于建筑物本身及其环境控制系统的复杂性,仅凭经验或简单的计算无法准确判断设计方案的优劣,因此运用模拟分析手段指导设计是建筑节能的关键之一。

从 20 世纪 60 年代中期开始,各国学者便开始开展建筑热环境及控制系统的模拟技术研究,并逐步开展 CFD(computational fluid dynamics)模拟、采光模拟、自然通风模拟等相关研究。国际能源组织也多次资助建筑性能模拟方面的课题研究,

* 国家“十一五”科技支撑计划课题:建筑节能设计方法与模拟分析软件开发

①☆ 夏春海,男,1980 年 2 月生,在读博士研究生
100084 清华大学建筑技术科学系
(010) 62779993
收稿日期:2007-01-19
修回日期:2007-11-03

Markku 更是提出模拟应辅助设计的理念,从而引导模拟技术由研究走向应用^[2]。尽管建筑性能模拟技术已经取得了长足发展,但是由于用现有的大多数模拟工具进行模拟时需要有详细的建筑信息,所以建筑性能模拟技术现阶段主要应用在建筑的初步设计或者详细设计阶段,很少有专门针对方案设计阶段的模拟辅助工具。事实上,影响建筑本身性能的重要因素(造型、朝向、立面设计、功能划分等)主要在方案设计阶段确定,初步设计和详细设计阶段则主要完成环境控制系统的设计。曾有学者对 67 座建筑(共应用 303 项建筑节能技术)进行调研,发现其中 57% 的技术措施在方案设计阶段确定,而在初步设计阶段确定的仅 13%^[3]。目前,方案设计阶段的建筑性能模拟已经越来越受到重视^[3-5],但在实际工程中建筑性能模拟在方案设计阶段运用却存在诸多问题。

为了有效地提高模拟工具在方案设计阶段的实用性,首先应了解建筑方案设计的特点以及建筑设计过程和模拟分析过程的关系,并在此基础上对现有的模拟计算方法进行分析,从而实现从建筑草图设计到方案完成整个过程的模拟辅助节能设计。本文将以实现方案设计阶段的节能^①为重点,从模拟辅助设计的过程分析、建筑群性能模拟、建筑单体性能模拟、建筑性能评价方法四个方面对建筑方案设计阶段的性能模拟相关研究进行回顾,总结成果,分析不足,为后续研究指明方向。

1 模拟辅助设计的过程分析

建筑设计是分阶段进行的,在不同的阶段有不同的设计内容,并且随着设计的深入会有不同的专业参与到设计过程中,相应地建筑性能模拟也应该分阶段进行,而不能一蹴而就。因而,首先应该明确建筑设计的阶段划分以及各阶段的设计目的、已知和未知信息,从而确定与设计过程相对应的模拟过程,最终实现两个过程的协同工作。

1.1 设计过程

Markku 将建筑的全寿命过程分为方案设计、初步设计、详细设计、设备招标、施工、调试、运行管理和建筑改造 8 个阶段^[2]。保罗·拉索在其著作中则将建筑全寿命过程划分为策划、方案设计、初步设计、扩大初步设计、合同文件管理、施工图设计和建筑施工 7 个阶段^[6]。针对建筑设计阶段,陈锋将其划分为概念化设计、初步设计、详细设计、设计

后阶段(运行管理、设备管理、人员服务等)^[7]。建设部颁布的《建筑工程设计文件编制深度规定(2003 年版)》^[8]则将其简单地划分为方案设计、初步设计和施工图设计 3 个阶段。

专门对建筑方案设计阶段进行研究的不多,张伶俐等人从建筑师的思维活动出发对方案设计阶段进行了细化,分为准备阶段、构思阶段和完善阶段 3 个阶段^[9]。他们认为准备阶段主要是消化项目任务书,了解基本情况,从而形成基本的意象;构思阶段是意象逐步完善并物态化的过程,主要考虑建筑布局、建筑造型、建筑功能区域的大致划分、建筑与周边环境的关系、建筑所表达的内涵等;完善阶段主要解决方案的技术性问题,完成建筑细部设计和建筑材料选择。

1.2 模拟过程

建筑性能模拟研究最初集中在模拟建模方面,主要用于研究和教学,但随着工程需求的增长,研究逐步转向如何用于设计,即模拟辅助设计过程的研究。

基于模拟辅助设计的原则,清华大学 DeST 开发组提出了“design by simulation(分阶段设计、分阶段模拟)”的方法,并用于指导建筑性能模拟软件 DeST(designer's simulation toolkits)的研究和开发^[10]。在后续的研究中,陈锋将设计过程中设计人员和计算机模拟程序的工作进行了区分,提出了实现模拟辅助设计的具体流程(见图 1),并详细分析了不同设计阶段的已知和未知信息、模拟方法和建筑性能评价方法^[7]。然而作者没有对方案设计阶段进行细化,认为该阶段建筑的基本信息都是同时获得的,使得实际使用过程中只能对建筑围护结构参数进行调整,不能很好地解决大的方案性问题。

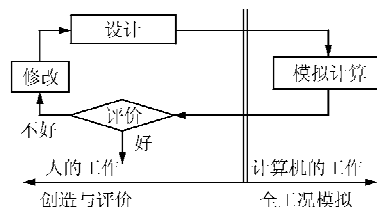


图 1 设计人员和计算机模拟程序的分工

① 本文所指的节能是指建筑物全年供暖、空调和照明能耗的减少。

Wilde 通过问卷调查和工程实例分析指出,目前的方案设计阶段存在模拟工具总滞后于设计过程的问题,使得建筑性能模拟只能起到评价设计效果的作用,而不能真正辅助设计^[3]。他提出了集成化工作平台的框架,试图从设计过程控制和管理角度解决现有问题。Morbiter 等人介绍了英国 HLM 设计公司与伦敦斯特莱斯克莱德大学合作的 TCS 项目,他们对同一类型参数在不同设计阶段采用了不同详细程度的描述方式,并运用 ESP-r 作为主要模拟工具辅助完成 3 个不同阶段的设计任务;指出方案设计阶段模拟的主要任务是指出可能存在哪些方面的问题和问题的大小^[11]。Tabary 认为建筑性能模拟是逐步深入的过程,他针对不同设计阶段采用不同模拟方法,建立了已有案例研究成果数据库,以指导方案阶段设计^[12]。王鑫在分析了美国建筑师赖特的建筑创作特点后指出,建筑创作中对节能策略的考虑应避免“末端治理”,应在方案设计阶段尽可能考虑被动式节能措施^[13]。

2 建筑群性能模拟

建筑方案设计阶段首先应处理的是建筑与周围环境的关系,并完成总平面设计,因此应首先进行建筑群性能模拟。建筑群性能模拟应包括室外风环境模拟、室外热环境模拟和建筑遮阳与日影模拟。

2.1 风环境模拟

室外风环境模拟主要采用 CFD 模拟技术,包括直接模拟、大涡模拟以及湍流模式理论。解决室外风环境模拟中建筑绕流问题时主要采用湍流模式理论,运用 SIMPLE 算法以及 QUICK 差分格式进行稳态计算。由于常用的标准 $K-\epsilon$ 湍流模型^[14]在建筑绕流计算中存在一定的偏差,现有研究的重点在于提出各种改进模型以提高计算精度,例如 LK 模型^[15]、MMK 模型^[16]、DURBIN 模型^[17]等。针对 $K-\epsilon$ 湍流模型及其改进模型存在的占用计算机内存大、计算时间长的问题,有学者考虑选择相对简单、快速的零方程模型。李晓锋在 Chen 提出的应用于室内计算的 Chen 零方程模型的基础上进行改进,提出了适用于室外风环境模拟的新零方程模型,经验证该模型能较好地模拟建筑绕流情况^[18]。此外,李晓锋和罗庆等人还分别分析了区域模型在建筑风环境模拟中的应用,指出区域模型计算时间短、能反映室外空气流动的大体趋势,但

在精度上有所不足^[18-19]。总的看来,目前在如何将风环境模拟结果体现到对建筑能耗的影响方面还缺乏深入研究。

2.2 热环境模拟

室外热环境模拟的关键在于处理空气对流、太阳辐射、长波辐射和固体导热的联合模拟问题,以及如何考虑植物和水景对室外环境的影响。模拟方法分为集总参数法和分布参数法。集总参数法以以色列学者提出的 CTTC 模型^[20-21]为代表,该模型在热平衡的基础上使用建筑热时间常数计算局部建筑环境空气温度随外界热量扰动的变化情况。李莹对 CTTC 模型作了进一步的改进,突破了二维计算的限制,建立了三维集总参数模型^[22]。李先庭等人利用 CTTC 模型分析了城市化对住宅建筑空调负荷的影响,指出城市热岛效应使夏季空调负荷增大 10%~35%^[23],但是在室外热环境分布参数对建筑单体能耗模拟的影响方面还缺乏深入研究。在分布参数方法研究方面,Michael 等人建立了 ENVI-met 模型,用于模拟都市的表面、植物和大气之间的微尺度交互作用^[24];Murakami 等人提出了不同的简化方法,模拟街区热环境状况^[25-27];Murakami 等人还提出了室外风环境和城市热岛效应模拟的多尺度模拟体系^[28];李晓锋比较系统地研究了住宅小区微气候的模拟方法,解决了室外空气流动、太阳辐射和固体导热的联合计算问题^[18];赵福云研究了空气流动和固体导热对小区热环境的影响,并进行了实测分析^[29];Tsuyoshi Honjo 等人分别借助 CFD 模拟工具研究分析了草坪、树木等不同绿化方式对小区热环境的影响^[30-34];张志勤建立了空气与水珠热质耦合计算模型,并利用 CFD 模拟工具分析了喷泉对周围热环境的影响^[35]。

2.3 遮阳与日影模拟

建筑遮阳与日影模拟方面的研究相对而言较为成熟,Enders 早在 1980 年就对日影模拟作了详细的分析^[36],国内的王诤、顾道金等人也分别开展了相关研究^[37-38]。早期的研究仅仅以显示日影为主,之后则逐渐倾向于逐时和累计等量化结果的计算和分析,并与建筑负荷模拟耦合。现有的 CAD 绘图软件基本上都可以实现建筑三维日影的快速显示,但是在量化计算方面考虑不足。大多数建筑性能模拟软件都含有建筑遮阳和日影模拟模块(例

如 DeST^[10], EnergyPlus^[39] 等), 同时也有专门用于遮阳和日影模拟的软件(例如清华大学开发的 sunshine2.0)。

3 单体建筑性能模拟

建筑师完成总平面设计以后, 将进行建筑单体的设计, 包括造型设计、立面设计、屋顶设计、功能划分等内容, 其中与节能相关的建筑性能包括建筑热性能、自然通风和天然采光。另一方面, 由于方案还没有完善, 很多设计参数都存在较大的不确定性, 有的甚至是定性的模糊表述, 或者根本没有到考虑的时候, 此时要完成建筑性能的模拟就需要引入不确定性分析方法。

3.1 热性能模拟

20 世纪 60 年代中期, 各国学者就开始研究建筑动态热性能模拟的相关问题。在 70 年代的全球石油危机以后, 建筑性能模拟技术得到了飞速发展, 美国相继开发了两个著名的建筑热性能模拟程序 BLAST^[40] 和 DOE^[41], 90 年代中后期又在 BLAST 和 DOE 的基础上开发了新的建筑性能模拟软件 EnergyPlus^[39]。欧洲于上世纪 70 年代也开始研究建筑模拟分析方法, 其中具有代表性的软件是 ESP-r^[42]。与此同时, 亚洲地区的学者也认识到建筑模拟的重要性, 并在软件研究和开发方面取得了重要的成就, 其中代表软件有日本的 HASP^[43] 和中国清华大学的 DeST^[10]。

不同的建筑性能模拟软件除了在软件结构和功能上有所不同外, 主要差异在于求解房间不透明围护结构动态热过程的计算方法选择上。常用的方法有反应系数法、谐波反应法、有限差分法和状态空间法。反应系数法是在拉氏变化的基础上得到反映不透明围护结构热特性的反映系数, 并求解围护结构内外表面温度和热流, 以 DOE^[41] 为代表; 谐波反应法将边界条件转化为周期正弦波函数, 从而将偏微分方程变为常微分方程, 并直接得到解析解, 由于存在局限性, 该方法很少被采用; 有限差分法通过空间和时间上的离散, 将偏微分方程组转化为线性方程组求解, 采用该方法的有 ESP-r^[42]; 状态空间法在时间上保持连续, 空间上离散, 将偏微分方程组转化为常微分方程组, 并求解所研究系统的传热特性, 采用该方法的以 EnergyPlus^[39] 和 DeST^[10] 为代表。

此外, 一些学者还研究了专门用于方案设计阶

段的热性能简化模拟工具。Baker 等人通过建立节点网络模型, 开发了 LT Method 3.0 软件用于方案设计阶段建筑热性能模拟, 该软件在方案设计阶段不考虑建筑内部空间的具体设计, 而是直接分为被动区和主动区进行模拟, 并利用 ESP-r 进行了验证^[44-45]。Cardiff 运用准入法模拟建筑热性能, 并开发了专门面向建筑师的模拟软件 Ecotect^[46], 该软件能够在热工分析、日照分析、造价分析、声学设计、照明分析等方面帮助建筑师进行优化设计, 并带有与 EnergyPlus, Radiance 等软件的数据转换接口, 但是在热性能模拟方面存在较大的缺陷。Leon 研究开发了网络在线的计算程序 MIT design advisor, 可对单面墙或房间进行快速计算, 输入简单, 并可对围护结构参数进行优化分析^[47]。

3.2 自然通风模拟

当室外空气温度较低时, 自然通风可直接利用室外免费的冷源降低室内温度, 同时提高室内空气质量。近年来, 自然通风技术已经受到广泛关注, 并在众多建筑工程中得到应用。1998—2001 年, 由英国、荷兰、比利时等 15 个国家参与的国际能源组织的合作项目 ANNEX 35 提出针对自然与机械混合通风设计的指导方案, 促进了自然通风技术的应用^[48]。

目前, 多区域网络模型^[49] 是解决自然通风模拟的主要手段, 该模型经过近 20 年的发展已经较为成熟, 并在多种自然通风软件中得以应用, 其中代表性软件为 COMIS^[50], CONTAMW^[51], BREEZE^[52] 和 NatVent^[53]。此外, 一些学者还在自然通风模型与建筑热模型的耦合求解方面展开了大量的研究, 以分析自然通风对建筑能耗的影响, 其中常见的耦合方式有 sequential coupling, ping-pong 和 onion 方式。sequential coupling 方式在假设节点温度的基础上计算通风量, 然后将通风量结果引入到热模拟模型, 热模拟的计算结果对通风模拟没有反馈^[54]; ping-pong 方式中, 通风模拟采用前一个时刻的热模拟结果, 计算出的通风量输出到热模拟中, 热模拟结果再输入到下一时刻的通风模拟中^[55]; onion 方式则在每个时刻互相反馈热模拟和通风模拟的计算结果, 直到满足精度要求^[55]。现有的软件中, EnergyPlus 通过 ping-pong 方式与 COMIS 模块进行耦合^[56]; 章宇峰则研究了在 DeST 逐时能耗模拟中热模拟和通风模拟以

onion 和 sequential coupling 方式耦合的计算问题^[57]。

3.3 天然采光模拟

天然采光的应用历史可以追溯到古代,在我国很多传统建筑中都可以看到利用天然采光的设计。20 世纪 70 年代能源危机以后,天然采光模拟技术得以快速发展,其中代表性模拟软件有德国的 ADELIN^[58]、美国劳伦斯伯克利实验室开发的 Superlite^[59] 和 Radiance^[60] 等。此外,在一些综合性能模拟软件中也包含了分析天然采光对全年能耗影响的模块,例如 DOE^[61], EnergyPlus^[39], DeST^[10] 等。目前这些软件已经在研究和工程中得以广泛应用。Reinhart 等人利用 Radiance 软件分析了外百叶对室内采光的影响,以及不同照度要求下全年天然采光的百分比^[62]。Krarti 等人在 DOE 的采光模拟模块的基础上,总结出了采光分析的简化计算方法,并用模拟软件的模拟结果进行了验证^[63]。Francis 等人详细介绍了采光模拟软件 Solene 的特点,并将之用于实例分析^[64]。Guillemin 等人研究了利用遗传控制法控制百叶偏转角度对室内照度和全能照明能耗的影响^[65-66]。Athienitis 等人利用模拟软件分析了复杂围护结构采光控制对照明能耗的影响,模拟结果表明采用采光控制时,阴天节能 75%,晴天节能 90%^[67]。唐振中通过模拟和实验分析活动外百叶对室内采光的影响,提出了外百叶的合理控制方法^[68]。陈红兵分析了不同围护结构设计参数对天然采光和照明能耗的影响^[69]。

3.4 不确定性分析

在建筑设计过程中,存在信息表述、物理建模、数值计算误差、随机因素(气象参数、室内热扰)等不确定因素,尤其是当建筑方案还没有完善时,其不确定性更大。基于不确定性分析的模拟计算方法是解决这类问题的有效手段之一。

根据是否更改热平衡方程,不确定分析方法可分为黑箱模型和白箱模型两大类,其中黑箱模型又可分为局部分分析和全局分析两类。在局部分分析方法中,微分敏感性分析法^[70]先计算基准值,然后依次取每个不确定性参数的上限值和下限值,并代入模拟程序进行计算,将每个参数的影响进行叠加即可得到不确定影响下的输出结果;因子分析法^[71-72]每次模拟计算时均改变所有的不确定参

数,并遍历所有参数的上限值和下限值,计算次数为 2^n 次(n 为不确定参数个数)。全局分析方法以蒙特卡罗方法^[73]为代表,该方法先确定每个不确定参数的分布规律,采用随机抽样的方法确定参数值,然后进行建筑模拟计算,其计算次数一般为 60~80 次。白箱模型是指在热平衡方程中引入不确定性计算,只经过一次建筑热性能模拟就可以获得不确定影响下输出结果的变化范围,该方法包括区间计算^[74]、仿射计算^[75]、模糊计算^[76]和域计算^[77]等方法。由于黑箱模型计算量较大,目前的研究主要应用白箱模型分析建筑热性能模拟中不确定因素的影响。Macdonald 在 ESP-r 计算程序中引入仿射计算,并与微分敏感性分析法、因子分析法和蒙特卡罗法进行了比较,指出仿射计算计算量小,但当不确定范围较大时输出结果的范围难以控制^[78]。燕达提出了域计算方法,并将之用于建筑环境系统设计——分析室内随机热扰的影响,并深入分析了建筑环境控制系统中随机扰量和控制手段的协同和制约关系^[77]。Wit 利用因子分析法对 89 个与建筑性能相关的参数进行了不确定分析,总结出 13 个重要指标,并利用贝叶斯原理进行了决策分析^[72]。

4 评价方法

在模拟辅助设计的过程中,每个阶段需要对当前设计条件下的建筑性能进行预测和评价,并以此作为进一步修改建筑设计的依据。目前的评价方法可以分为两大类,一类是基于确定性参数的评价方法,一类是基于不确定性参数的评价方法。根据是否运用模拟工具,各种确定性评价方法又有所差异。

不考虑系统设计和室内热扰,仅仅对围护结构进行评价是目前工程界常用的方法,这类方法或者对各国围护结构参数的限值进行确定(该方法目前在国内各主要节能设计标准中较为常见)^[79-80],或者用围护结构综合评价指标(比如 OTTV^[81], EHTV^[82])对围护结构的热工性能、窗墙比、体形系数等参数的综合影响进行评价。由于建筑是一个复杂的系统,单纯地依靠经验设置围护结构参数的限值并不能反映建筑的真实情况,因此通过动态模拟计算获得能耗结果,并与参照建筑^[79]的能耗进行比较是目前建筑性能评价的趋势,但是该方法还主要用于评价建筑热性能。此外,陈锋提出了应

用基础室温对非空调条件下的建筑热性能进行评价^[7]。

在不确定性评价方法方面,燕达利用室内温度满足时间对系统设计进行评价,并根据室内热扰的不确定性特点给出“完全满足”、“可能不满足”和“完全不满足”三种特定系统形式下的室内温度状况^[77];洪天真提出供热空调系统保证率对不确定性因素影响下的系统设计水平进行评价^[83]; Wit 提出了利用室内热舒适性指标 TO 的概率分布进行评价的方法^[72]; Macdonald 采用了不确定性计算结果的平均值和标准方差作为评价指标^[78]。

5 相关研究总结与评价

现阶段模拟技术的发展已经突破了模拟建模阶段,在模拟辅助设计方面取得了较大成就,并在建筑的初步设计和详细设计阶段得到了广泛应用。

在设计过程研究方面,对整个建筑设计过程的划分已经有较为一致的认识,大致可以划分为方案设计、初步设计、详细设计和施工图设计 4 个阶段,但是目前的研究对方案设计的不够细化,尤其是对建筑性能模拟的开始阶段不是很清楚,这也是为什么导致模拟工具的使用晚于设计过程的实质原因。

建筑群性能模拟研究较为深入和全面,而且目前的模拟方法基本上可以应用到建筑方案设计阶段的性能模拟中去。但是由于建筑方案设计阶段的变动性较大,方案改动频繁,而 CFD 模拟常常需要消耗大量的计算时间,因此如何根据设计要求进行合理简化,减少模拟时间是未来的发展方向。此外,随着计算机计算速度的提高,计算时间将减少,相应地,建模时间所占的比例将上升。目前不同模拟工具的建模方式有所不同,因此需要研究不同模拟工具间的数据转换和集成化模拟平台,以便各种软件能方便地协同工作。

单体热性能模拟工具已经能较好地辅助初步设计和详细设计,但在方案设计阶段则面临难以获得准确输入参数的问题,使得模拟工作无法开展,而简化的模拟工具尽管输入简单、计算速度快,但却存在计算精确性低的问题。因此需要对建筑热性能进行深入的研究,分析各参数的影响情况,根据方案设计的特点进行合理简化。

自然通风模拟和天然采光技术经过多年的发展已经较为完善,但应用在方案设计阶段却面临新

的挑战。当还不能获得详细的内部空间布局时,自然通风模拟的关键不在于计算详细的通风量和室内温度,天然采光的关键也不是要计算出室内照度和预测照明节能量,而应该是在已知建筑方案前提下预测运用自然通风和天然采光的潜力,目前的研究还很少涉及这方面。

鉴于方案设计阶段信息不确定性的特点,在建筑性能模拟中引入不确定性计算是方案设计阶段模拟辅助设计实现的瓶颈,目前这方面的研究几乎是凤毛麟角,还面临众多的难题。根据笔者的初步研究成果,正确界定输入参数的不确定范围和区分不同类型的不确定因素是解决方案设计阶段不确定性问题的前提。其次应在简化的建筑性能模拟程序的基础上,引入不确定性计算,并根据计算结果提出有效的评价方法,从而避免建筑设计的方案性问题。

6 结论

建筑方案设计阶段的节能设计是建筑节能的源头,如果不能实现方案设计的节能,后续的节能手段只能起到修修补补的作用。而实现方案设计阶段节能设计的关键并不仅仅在于模拟计算方法的发展,更重要的是分析方案设计阶段设计过程和模拟过程的关系,并在模拟辅助设计的原则下开发符合方案设计阶段特点的模拟软件或者软件集成化模拟平台。面向方案设计阶段节能设计的模拟方法的研究和工程实践,将有助于提高方案设计水平,并可能实现建筑方案设计过程的革命,从而从根本上解决建筑的节能问题。

参考文献:

- [1] 江亿. 我国建筑能耗状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 30-40
- [2] Markku J. IEA-BCS ANNEX 30 Bring simulation into application, subtask 2: design process analysis [R], 2002
- [3] de Wilde P. Computational support for selection of energy saving building [D]. Netherlands: Delft University of Technology, 2004
- [4] Hong Tianzhen, Chou S K, Bong T Y. Building simulation: an overview of developments and information sources [J]. Building and Environment, 2000, 35(4): 347-361
- [5] Godfried A. Building simulation trends going into the new millennium[C]// Proceedings of the 7th IBPSA

- Conference (Building Simulation'01). Brazil, 2001; 15-27
- [6] 保罗·拉索. 图解思考——建筑表现技法[M]. 许其昌, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- [7] 陈锋. 建筑环境系统设计中的全工况分析方法[D]. 北京: 清华大学, 1999
- [8] 中南建筑设计院. 建筑工程设计文件编制深度规定[S]. 北京: 中国建筑标准设计研究院, 2003
- [9] 张伶伶, 李存东. 建筑创作思维的过程与表达[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [10] 清华大学 DeST 开发组. 建筑环境系统模拟分析方法——DeST[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006
- [11] Morbitzer C, Strachan P, Webster J, et al. Integration of building simulation into the design process of an architecture practice[C]// Proceedings of the 7th IBPSA Conference (Building Simulation'01). Brazil, 2001; 697-704
- [12] Tabary L. CA-SIS—a design tool for thermal studies with gradual access[C]// Proceedings of the 5th International IBPSA Conference, Prague, Czech Republic, 1997; 41-48
- [13] 王鑫. 赖特建筑创作中的节能策略及其设计启示[J]. 新建筑, 2006(3): 86-88
- [14] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001; 332-352
- [15] 村上周三. CFDによる建築・都市の環境設計工学[M]. 東京: 東京大学出版会, 2000; 253-274
- [16] Sakamoto S, Mochida A, Murakami S, et al. Comparison of LES with DSM, K- ϵ and experiments for turbulence vortex shedding flow past 2D square cylinder[J]. J Struct Constr Eng, 1994 AIJ(459): 49-56
- [17] 富永禎秀, 持田灯, 村上周三, 他. 境界層流中の 1:1:2 直方体周辺流れの数値解析—Durbin 型の改良 k- ϵ モデルの予測精度に関する検討[C]// 第 14 回風工学シンポジウム論文集, 2000; 79-85
- [18] 李晓峰. 住区微气候数值模拟方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2003
- [19] 罗庆, 李楠, 姚润明, 等. 城市建筑群室外热环境数字图像分析[C]// 2005 年全国暖通空调专业委员会空调模拟分析学组学术交流会议论文集. 北京, 2005; 349-356
- [20] Swaid H, Hoffman M E. Prediction of urban air temperature variations using the analytical CTTC model[J]. Energy and Buildings, 1990, 14(4): 313-324
- [21] Elnahls M M, Williamson T J. An improvement of the CTTC model for predicting urban air temperatures[J]. Energy and Buildings, 1997, 25(1): 41-49
- [22] 李莹. 建筑群及单栋建筑周围空气温度的理论和实验研究[D]. 北京: 清华大学, 2000
- [23] 李先庭, 李莹, 陈玖玖. 城市化对住宅建筑空调负荷的影响[J]. 暖通空调, 2002, 32(2): 79-81
- [24] Michael B, Heribert F. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model [J]. Environmental Modeling & Software, 1998, 13(3): 373-384
- [25] Murakami S, Ooka R, Mochida A, et al. CFD analysis of wind climate from human scale to urban scale [J]. J of Wind Eng and Industrial Aerodynamics, 1999, 81(1/2/3): 57-81
- [26] Herbert J M, Johnson G T, Arnfield A J. Modeling the thermal climate in city canyons [J]. Environmental Modeling & Software, 1998, 13(3): 267-277
- [27] Yasunobu Ashie, Vu Thanh Ca, Takashi Asaeda. Building canopy model for the analysis of urban climate [J]. J of Wind Eng and Industrial Aerodynamics, 1999, 81(1/2/3): 237-248
- [28] Murakami S, Mochida A, Kim S, et al. Software platform for the total analysis of wind climate and urban heat island[C]// 3rd International Symposium on Computational Wind Engineering, 2000; 23-26
- [29] 赵福云. 城市住宅小区热环境数值模拟[D]. 长沙: 湖南大学, 2003
- [30] Tsuyoshi Honjo, Tadashi Takakura. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas[J]. Energy and Buildings, 1990/1991(15/16): 443-446
- [31] Aya Hagishima, Jun Tanimoto, Tadahisa Katayama. Numerical analysis of air temperature increases in urban area using the building-urban-soil simultaneous simulation model [C] // Proceedings of Building Simulation '99. Kyoto, 1999; 1333-1340
- [32] 吉田伸治, 大岡龍三, 持田灯, 他. 樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討[C]// 日本建築学会計画論文集, 2000; 87-94
- [33] Argiro Dimoudi, Marialena Nikoulopolou. Vegetation in the urban environment; microclimatic analysis and benefits [J]. Energy and Buildings, 2003, 35(1): 69-76
- [34] 林波荣. 绿化对室外热环境影响的研究[D]. 北京: 清

- 华大学, 2004
- [35] 张志勤. 喷泉周围热环境实验和理论研究[D]. 北京: 清华大学, 2004
- [36] Enders G. Numerical simulation of the shadowing of buildings for city planning purposes[J]. *Energy and Buildings*, 1980, 4(2):177-179
- [37] 王诤, 张笑. 建筑日照计算的新概念[J]. *建筑学报*, 2001(2):48-50
- [38] 顾道金, 朱颖心. 日照、遮阳模拟在建筑负荷与日照分析中的应用[C]//全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集, 2002
- [39] LBNL. EnergyPlus engineering document[G], 2002
- [40] Hittle D C. Building loads analysis and system thermodynamics (BLAST) users manual [G]. Champaign: US Army Construction Engineering Research Laboratory (USA-CERL), 1979
- [41] DOE. DOE engineers manual[G]. Version 2.1A, 1982
- [42] Clarke J A, McLean D. ESP-r—a building and plant energy simulation system[M]. Strathclyde: Energy Simulation Research Unit, University of Strathclyde, 1988
- [43] 松尾陽. 空調設備動態熱負荷計算入門[M]. 東京: 日本建築設備協会, 1980
- [44] Baker N, Steemer K. Energy and environment in architecture—a technical design guide[M]. London: E & FN Spon, 2000
- [45] Baker N, Steemer K. LT method 3.0—a strategic energy-design tool for Southern Europe[J]. *Energy and Buildings*, 1996, 23(3):251-256
- [46] Square One Research Ltd. Ecotect software [EB/OL]. <http://www.sq1.com>
- [47] MIT Department of Architecture. The MIT design advisor [EB/OL]. <http://designadvisor.mit.edu/design>
- [48] Per Heiselberg. Principles of hybrid ventilation[R]. IEA Annex 35, 2002
- [49] Musser A M. Multizone modeling as an indoor air quality design tool[J]. *Health Building*, 2000(2):455-460
- [50] IEAECBCS Annex 23. COMIS 3.0 with IISiBat user manual; multizone air flow modelling[G], 1997
- [51] Dols W S, Walton G N. CONTAMW 1.0 user manual[G]. NISTIR 6476. National Institute of Standards and Technology, 2000
- [52] Building Research Establishment. BREEZE 6.0f user manual[G]. UK, 1994
- [53] Svensson C. The NatVent Programme 1.0 user's guide[G]. Malmö: J&W Consulting Engineers, 1998
- [54] Kendrick J. An overview of combined modelling of heat transport and air movement [R]. AIVC Technical Note 40, 1993
- [55] Hensen J. Modelling coupled heat and airflow: ping pong versus onions[C]// Proceedings of 16th AIVC Conference, 1995:253-262
- [56] Per Sahlin. On the effects of decoupling airflow and heat balance in building simulation models [G] // ASHRAE Trans, 2003, 109(2):788-800
- [57] 章宇峰. 自然通风与建筑热模型耦合模拟研究[D]. 北京: 清华大学, 2004
- [58] Erhorn H, Szerman M. Documentation of the software package[M]. Stuttgart: ADELIN, 1994
- [59] LBL. Superlite software[EB/OL]. <http://eetd.lbl.gov>
- [60] LBL. Desktop Radiance[EB/OL]. <http://radsite.lbl.gov/radiance>
- [61] DOE. DOE-21E Daylighting supplement [S]. Berkeley: Lawrence Berkeley Lab, US Department of Energy, 1993
- [62] Reinhart C F, Walkenhorst O. Office worker response to an automated venation blind and electric lighting system; a pilot study [J]. *Energy and Buildings*, 1998, 28(2):205-218
- [63] Krarti M, Erickson P M, Hillman T C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting[J]. *Building and Environment*, 2005, 40(6):747-754
- [64] Francis Miguët, Dominique Groleau. A daylight simulation tool for urban and architectural spaces—application to transmitted direct and diffuse light through glazing [J]. *Building and Environment*, 2002, 37(8/9):833-843
- [65] Guillemin A, Molteni S. An energy-efficient controller for shading devices self-adapting to the user wishes[J]. *Building and Environment*, 2002, 37(11):1091-1097
- [66] Guillemin A, Morel N. An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system[J]. *Energy and Buildings*, 2001, 33(5):477-487
- [67] Athienitis A K, Tzempelikos A. A methodology for simulation of daylight room luminance

- distribution and light dimming for a room with controlled shading device[J]. Solar Energy, 2002, 72 (44): 271-281
- [68] 唐振中. 活动外百叶的采光遮阳性能研究[D]. 北京: 清华大学, 2006
- [69] 陈红兵. 办公建筑的天然采光与能耗分析[D]. 天津: 天津大学, 2004
- [70] Hamby D M. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1994, 32 (2): 135-154
- [71] George E P B, William G H, Hunter J S. Statistics for experimenters; an introduction to design, data analysis, and model building [M]. New York: Wiley, 1978
- [72] de Wit S. Uncertainty in predictions of thermal comfort in buildings [D]. Netherlands: Delft University of Technology, 2001
- [73] Lomas K J, Eppel H. Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs[J]. Energy and Buildings, 1992, 19(1): 21-44
- [74] Neumaier A. Interval methods for systems of equations [M]. London: Cambridge University Press, 1990
- [75] Stolfi J, de Figueiredo L H. Self-validated numerical methods and applications [C] // 21st Brazilian Mathematics Colloquium, 1997
- [76] Ross T J. Fuzzy logic with engineering applications [M]. New York: McGraw-Hill, 1995
- [77] 燕达. 随机室内发热量下空气调节系统模拟分析[D]. 北京: 清华大学, 2005
- [78] Macdonald I A. Quantifying the effects of uncertainty in building simulation [D]. Scotland: University of Strathclyde, 2002
- [79] 中国建筑科学研究院. JGJ 75—2003 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [80] 中国建筑科学研究院, 中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [81] Yik F W H, Wan K S Y. An evaluation of the appropriateness of using overall thermal transfer value (OTTV) to regulate envelope energy performance of air-conditioned buildings[J]. Energy, 2005, 30(1): 41-71
- [82] 任俊. 居住建筑节能设计计算与评价方法研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004
- [83] 洪天真. 建筑热过程的随机分析[D]. 北京: 清华大学, 1994

(上接第 52 页)

有,很多建筑即便有开启扇,也不方便操作,很难满足火灾时所需的补风量要求。

因此笔者认为,适用于现行《高规》的地上房间不能够笼统认为不需要进行补风就都能有较好的效果,应该视具体情况而定。在对这部分的要求中,现行《高规》内容过于简单,甚至低于新版《建规》的要求。考虑到外墙和屋顶均未开设可开启外窗,不具备进行自然通风的可能性,建议在条文中增加对这部分内容的要求,可以借鉴新版《建规》第 9.4.4 条的叙述。

6 结论

因为在民用建筑设计中,防排烟设计是暖通专业的重点工作,同时因为与人身、财产的安全关系重大,所以规范中的每一处细节和数据都是工程设计人员的设计依据。以上问题都是在实际工程设计中发现的,容易引起设计人员理解上的分歧。因此,希望在编制规范时,能够表述得更加清晰,使条文便于理解,并能同时考虑到现行其他规范的适用

性,以免出现相互之间脱节或矛盾之处。

以上观点难免有偏颇之处,希望专家、同行批评指正。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国公安部. GB 50016—2006 建筑设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,2006
- [2] 中华人民共和国公安部. GB 50045—95 高层民用建筑设计防火规范(2005 版)[S]. 北京:中国计划出版社,2005
- [3] 北京建筑设计研究院. 北京建筑设计技术细则(设备专业)[M]. 北京:北京建筑设计标准化办公室,2004
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993
- [5] 国家人民防空办公室,中华人民共和国公安部. GB 50098—98 人民防空工程设计防火规范(2001 版)[S]. 北京:中国计划出版社,2001
- [6] 中华人民共和国公安部. GB 50067—97 汽车库、修车库、停车场设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,1997