

# 数值化建筑节能与环境设计

## Numerical Building Energy Saving and Environmental Design

撰文 项卫中 刘昕晔 中国中元国际工程公司

**摘要** 建筑是一种特殊的产品，其系统高度复杂，影响因素众多，无法进行整体实验与样板复制，应用数值化设计技术可以在设计阶段对建筑节能和环境进行整体、全面、细致的分析，对建筑节能和环境有重要的意义。文章主要介绍数值化分析技术在建筑节能与环境优化设计中的应用。

**关键词** 建筑节能 建筑环境设计 建筑性能分析 CFD

### 1 介绍

我国建筑能耗占总能耗的1/3左右，且普遍高于发达国家，建筑环境不佳（如冷热不匀、通风不畅、室内空气质量低下等）也相当严重，这将严重影响我国的可持续发展。

造成这种状况的原因是多方面的，但不得不承认，我们在精细化设计方面做得还不够。具体体现就是，在设计过程中对影响建筑室内外环境和建筑物综合能耗等重大问题没有进行详细的分析和优化，决策很大程度上是建立在定性或一些比较粗略的分析之上。很显然，这对于大型建筑这样复杂的能量和环境系统是不适用的。

可喜的是，我国目前的绿色建筑评定和设计标准已对设计精细化、现代化提出了一定的要求，如对风环境、光环境和自然通风等项目进行计算机模拟等，这是对设计精细化一个有益的尝试。然而，这种尝试是初步的，还没有上升到对整个建筑设计流程的讨论。

欧美国家的设计流程无论在规划还是在单体建筑设计都与我国很不一样。他们的做法是初步方案之后马上会委托建筑性能与环境分析专家对方案进行分析，然后规划师或建筑师就会根据

建筑性能与环境分析师的意见进行修改。建筑师、设备工程师和分析人员的合作贯穿建筑设计的始终，如图1所示为可持续建筑设计的基本流程。

这一流程主要是针对建筑师的，而对暖通和相关的设备专业，分析师也有类似的配合流程。分析师应用的数值化分析技术主要由建筑能源性能动态模拟技术（Building Energy Performance Dynamic Simulation）与计算流体动力学（Computational Fluid Dynamics）组成。文章主要介绍数值化分析技术在建筑节能与环境优化设计中的应用，关于数值化技术与建筑设计各专业间的协作问题将在以后的文章中探讨。

### 2 数值化分析技术在建筑设计中的应用

#### 2.1 数值化分析技术简述

由上所述，数值化分析技术由建筑能源性能动态模拟技术和计算流体动力学（CFD）组成。一般来说，建筑能源性能动态模拟技术主要解决建筑的动态能耗分析和优化问题，CFD主要解决建筑与风、冷、热等有关的环境分析问题。

##### 2.1.1 建筑能源性能动态模拟技术

奥雅纳高级专家PC Thomas认为建筑性能动态模拟是唯一

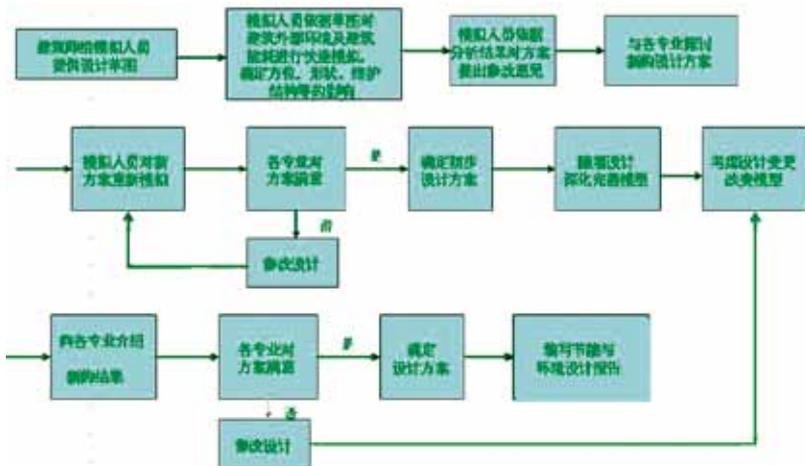


图1 可持续建筑设计的基本流程

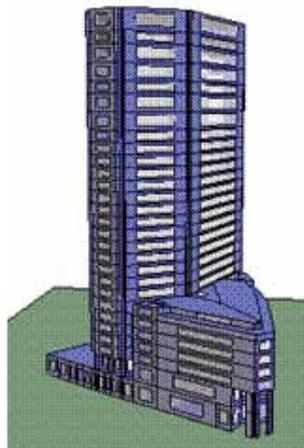


图2 用于建筑能源性能动态模拟的模型

一种能够整体比较不同设计方案节能效果的手段<sup>[1]</sup>，其观点得到了很多行业专家的认同。通过建立模型进行建筑能源性能动态模拟（图2），虽软件各不相同，但基本包括以下的步骤：

- 1) 利用当地多年的气象数据，建立该地的气象模型，包括一年中每个时间的温度、相对湿度、风速、风向、太阳高度、方向、强度、云量等参数；
- 2) 建立关于建筑物的三维模型，确定建筑物的方位以及与周围建筑物的关系；
- 3) 输入建筑维护结构参数，如墙体传热系数、玻璃透光率等；
- 4) 输入建筑物的使用状况；
- 5) 输入暖通空调系统类型、参数等；
- 6) 输入室内参数如温度、相对湿度、照度等；
- 7) 计算建筑物的冷热负荷及能耗；
- 8) 优化建筑物的整体能耗。

除图3所示的北京室外干球温度变化外，计算中还要用到全年湿球温度、全年风速、风向变化、全年太阳辐射强度、日照等一系列参数。这些参数都是计算暖通空调与照明全年能耗所必须的，同时在性能强度的模拟软件如IES中都会自带一些重要城市的气象参数。

建筑能源性能动态模拟无疑会增加一些计算时间，但随着计算机技术和软件技术的发展，模拟所需时间已大大缩小，完全可以在建筑设计中得到实际的应用。

### 2.1.2 CFD技术

CFD（计算流体动力学）是流体动力学的一个分支，它应用数值计算的方法解决流体流动问题。CFD被广泛应用于航空、航天、汽车、能源、建筑、环保等行业。在建筑设计中，CFD可以被应用于以下方面：

- (1) 外部流动——建筑风环境、雨水对建筑物的侵袭、建筑风荷载、小区污染控制、城市热岛分析。
- (2) 内部流动——室内温湿度控制，制造舒适的室内环

境，特别针对高大空间；研究新型室内环境制造方式的效果，如辐射供冷、置换送风；满足特定的设计需求，如数据中心、排烟设计。

(3) 外部与内部结合的流动——风力与浮力同时作用的自然通风；考虑风力作用的排烟设计。

### 2.2 数值化分析技术在区域规划设计中的应用

在规划设计中，应用数值化分析技术对区域中的能源、室外风环境和光环境进行分析。

#### 2.2.1 建筑能源性能动态分析技术在区域能源规划中的应用

在预测区域能源需求时，我国目前的做法一般是按某单位面积负荷指标乘以总建筑面积，往往还要再按大于1的安全系数放大。负荷偏大是我国多个区域供热项目和冰蓄冷项目经济效益差的主要原因。为了比较科学地预测区域的能源需求，应采用建筑能源动态性能分析技术对区域的逐时能源需求进行分析（包括暖通空调、照明、设备耗能）。图4显示出建筑能源性能动态分析技术在区域能源规划中的应用。

区域逐时能源消耗数据是进行区域能源规划极为重要的数据。根据计算结果可对区域能源中心的设计，如规模、位置、能源类型、设备类型等，提供科学依据。区域能源计算模型也可作为城市规划部门管理所用。

#### 2.2.2 CFD技术在区域风环境分析中的应用

由于高层建筑的存在，建筑下部风速会受到建筑所在地理位置、建筑布局、建筑形状、大小、方向和高度的影响。图5所示为利用CFD技术模拟的区域气流流线图。

绿色建筑评价技术细则中 4.1.13要求住区风环境有利于冬季室外行走舒适及过渡季、夏季的自然通风。住区以冬季作为主要评价季节，建筑物周围人行区距地1.5m高处风速不超过

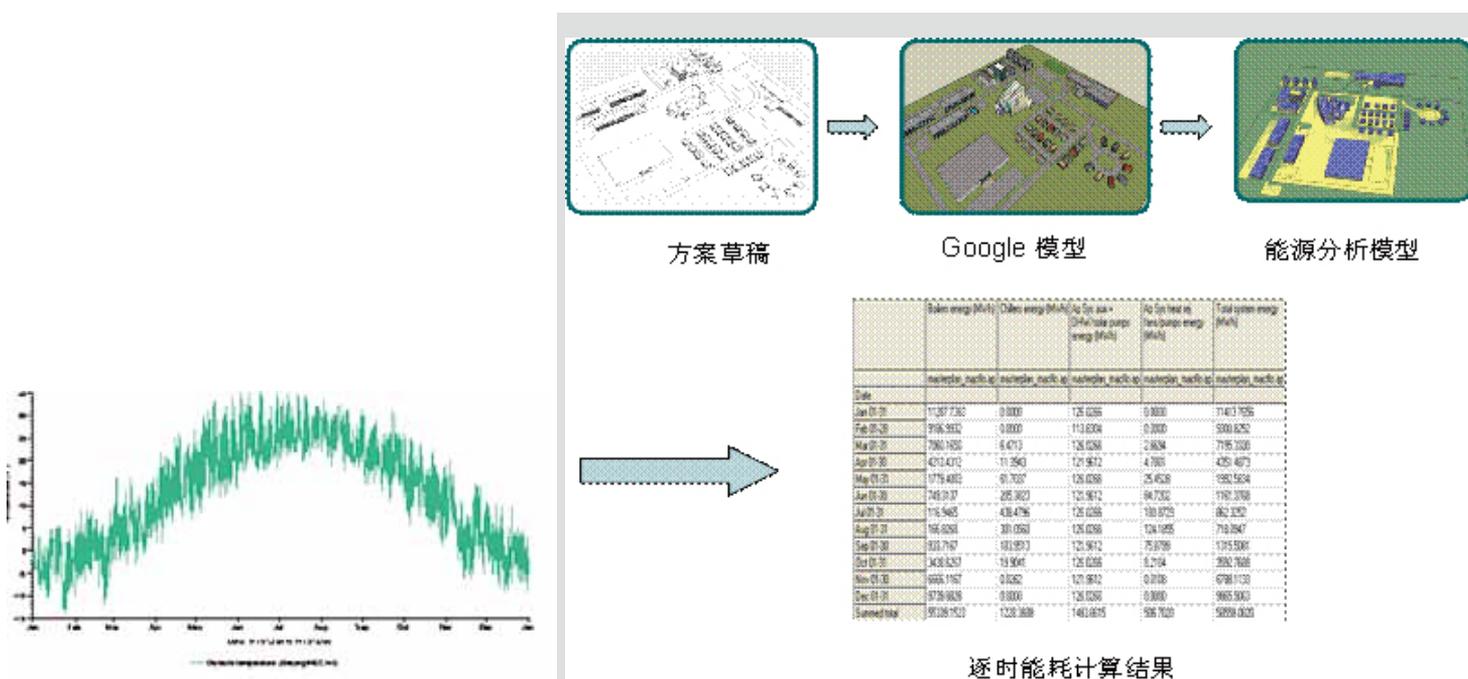


图3 北京全年室外干球温度变化

图4 建筑能源性能动态分析技术在区域能源规划中的应用

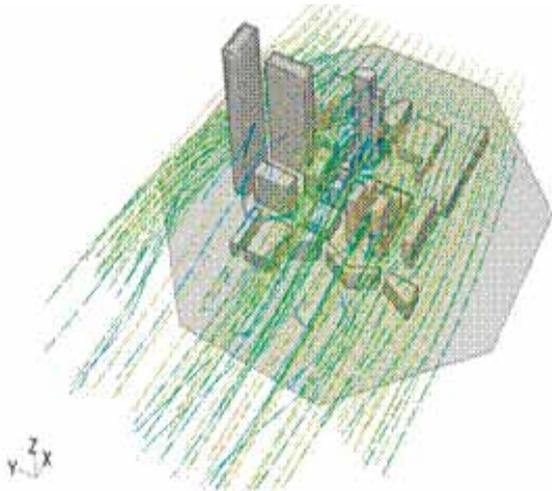


图5 CFD技术模拟的区域气流流线图

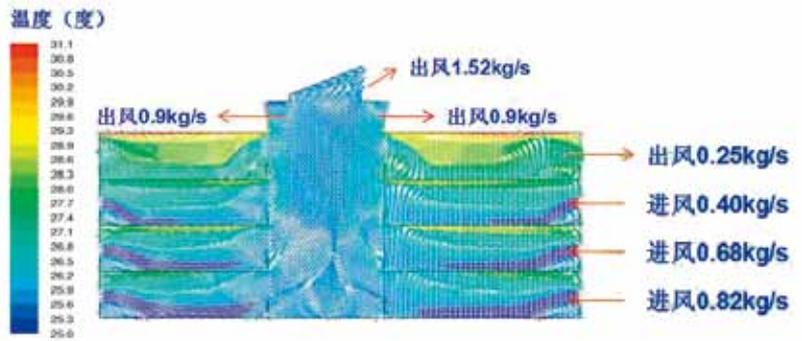


图6 带中庭的办公建筑的自然通风

5m/s。绿色建筑评价技术细则 5.1.17要求公共建筑物周围人行区1.5m 高处风速不超过5m/s<sup>[2]</sup>（虽没有明确说明，该风速似乎应理解为在平均室外风速条件下的风速）。

然而这样的环境评价还是不够全面，因为一个区域中建筑的功能各不相同，对风环境的要求也不相同。为此，国外将风环境的评价分为以下类型：建筑物周围道路和停车场、建筑物周围短期停留、建筑物周围行走、建筑物周围较长期停留、建筑物大门入口、建筑物周围静坐六个方面<sup>[3]</sup>。建筑物周围道路和停车场的要求最低，按顺序要求逐渐提升，建筑物周围静坐区的要求为最高（有关英国建筑风环境评价的详细情况将另文介绍）。

### 2.2.3 区域光环境分析

利用建筑性能化分析技术可以对区域的光环境进行分析，以最大限度地利用日光，减少眩光以及夜间光污染问题。

## 2.3 单体新建建筑的优化

单体新建建筑的优化是建筑节能与环境优化设计的重点，而数值化分析技术在这方面有极大的用武之地。

### 2.3.1 单体新建建筑的动态能源性能化分析

数值化分析技术在单体建筑优化方面的应用是非常广泛的。首先可以对所建模型进行以下分析：敏感度研究、维护结构材料选择、朝向和遮阳、窗户系统、暖通空调系统、控制系统。其中，敏感度主要研究利用模型研究影响建筑能耗的最重要因素是什么，维护结构材料选择则是研究不同建筑材料选择对建筑能耗的影响。在这里，影响建筑能耗的因素已不限于建筑材料的传热系数，还包括材料的密度、热容等。

需要指出的是，建筑动态能源模拟技术采用的是节点式计算模型，也就是说它只能算出一个空间（比如说一间房子）的平均值如平均温度、风速、相对湿度等，建筑物的舒适度正与这些参数的分布有关。而这些参数的分布则需要通过CFD的

三维计算技术才能获得。所以，在建筑节能和环境设计中还要大量使用CFD三维计算技术。在这里建筑动态能源模拟技术和CFD技术是相辅相成的。

### 2.3.2 建筑物内的自然通风分析

通过良好的设计，在过渡季节自然通风有可能为建筑提供可接受的环境条件，从而达到节能减排的目的。应用CFD 技术可进行建筑自然通风的可行性分析，确定开窗位置、面积、通道，从而优化自然通风系统。

图6为某带中庭的办公建筑的通风模拟结果。假设室外空气温度为25℃，办公室的发热量为42W/m<sup>2</sup>。可以清楚地看到，室外温度较低的空气从一、二、三层窗口进入，空气温度逐步升高，然后从四层及更高的出口流出。同时可以计算出各层窗口的进风量以及各层房间的温度分布，这样的数据无疑对建筑的自然通风设计是十分有用的。

### 2.3.3 高大空间的环境设计

建筑中庭、体育馆、展览馆、机场候机、音乐厅等都是高大空间的例子，如何设计高大空间的环境是摆在建筑师与设备工程师面前的一项重要挑战。高大空间环境容易形成温度不均，纵向温度失调（下冷上热）问题。如机场、展览馆等建筑中人员往往只停留在建筑下部，这样空调只需要解决建筑下部的温度而不需要考虑上部的温度，因而分层空调一方面可满足舒适要求，同时又可以大大降低建筑能耗。这样的设计需要通过CFD 计算来进行精细设计。

### 2.3.4 数据中心

IT设备对温度要求极为严格，温度过高会导致设备损坏。同时IT设备的产热量极大，因此空调系统设计的关键是确保有足够的冷空气进入IT设备，而从设备排出的热空气可被迅速排走，使冷热空气不发生混合，确保IT设备得到充分的冷却（图7）。

温度(°C)

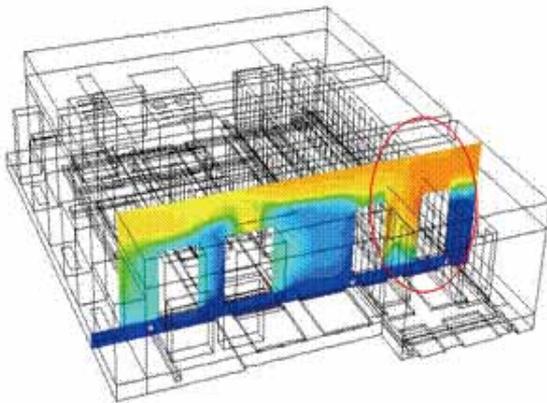
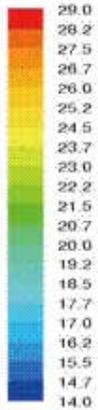


图7 数据中心冷热走廊的温度分布

CO (ppm)

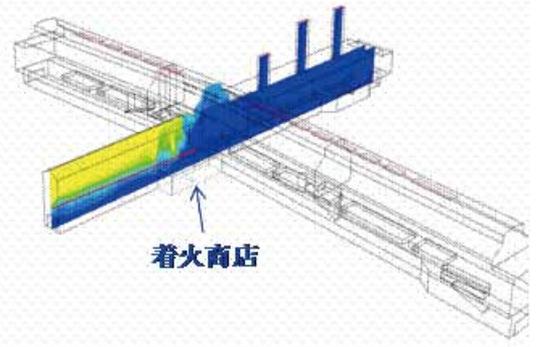
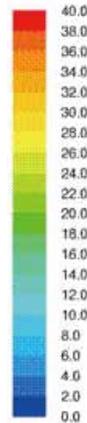


图8 大型商业中心通廊自然排烟设计

### 2.3.5 排烟设计

采用自然通风进行排烟时，当蓄烟池的面积或长度超过一定数值，需要通过CFD模拟计算烟气对结构的传热，以确保烟气仍被限制在烟池中并且是稳定的。图8为商业中心模拟发生火灾时东西通廊中心剖面上的CO浓度。

### 2.4 既有建筑改造

对既有建筑改造，数值化技术的第一个用途是对现有建筑存在的问题进行诊断。通过模拟分析找出问题的原因，从而使改造更加有的放矢；也可以对各种改造方案进行模拟分析以确定改造的效果。上述在单体建筑设计中应用的分析技术完全

可以应用到既有建筑改造方面。

### 3 结语

建筑作为一种特殊的产品，其体积庞大、造价高昂而无法进行整体实验，无法做出一个样板然后复制。因此应用数值化设计技术可以在设计阶段对建筑节能和环境进行整体、全面、细致的分析，使决策建立在科学的基础上，对建筑节能和环境有着重要意义。该技术已在欧美发达国家广泛使用，也将给我国的建筑节能与环境设计带来深刻变革。当然，数值化设计技术的推广还存在很多实际问题，但这些问题通过实实在在的努力是可以解决的。▲

#### 参考文献

- [1] PC Thomas. Building Energy Performance Simulation: a Brief Introduction, BDP. Environmental Design Guide, 2002.
- [2] GB/T 50378-2006绿色建筑评价标准[S]. 2006.
- [3] Lawson T. Building Aerodynamics. Imperial College Press, 2001.



#### 第一作者简介

**项卫中**，中国中元国际工程公司建筑环境总监，数值化建筑节能与环境设计中心主任；留英博士，英国皇家特许工程师。曾任英国著名机电咨询公司Hoare Lea Consulting Engineers流体分析和建筑能耗分析主任工程师和公司准董事（Associate）。主要从事建筑环境与建筑节能方面的咨询和研究工作。