

基于 EnergyPlus 的几种典型平面形状的 塔式办公建筑的能耗差异分析

张 明¹, 杨 柳², 冯旭明³

(1. 广州市建筑材料工业研究所有限公司, 广东 广州 510663;

2. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055;

3. 广东省材料与构件防火检测技术企业重点实验室, 广东 广州 510663)

摘 要:塔式办公建筑的空调能耗占到建筑总能耗的 50%~60%。建筑内部的太阳辐射得热量的多少直接影响着建筑的空调能耗, 这个又与建筑外围护结构的面积、朝向及建筑的外形等有密切关系。采用 EnergyPlus 建筑全能耗模拟软件对圆形、正六边形、正方形、正三角形平面形状的塔式办公建筑进行的全年能耗模拟, 根据模拟结果对这几种塔式办公建筑的能耗差异进行了分析。

关键词:建筑节能; 能耗分析; 塔式建筑

中图分类号: TU 111

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)04-0565-05

随着我国城镇化的加速, 城市用地逐渐趋于紧张, 建筑的规模逐渐向高层及超高层发展, 城市中出现越来越多的高层及超高层建筑, 这些建筑的面积多在几万 m^2 左右, 有些超高层的建筑面积甚至达到十几万 m^2 。规模如此庞大, 建筑能耗不可忽视。这些建筑多以正多边形为平面形式, 外围护结构以玻璃幕墙居多, 建筑内部的太阳辐射得热量较一般建筑要多, 随之带来的空调能耗加大。建筑内部的太阳辐射得热量的多少与建筑外围护结构的面积、朝向及建筑的外形等有很大关系。本文以几种典型平面的塔式办公建筑为研究对象, 分析了平面形式不同的塔式办公建筑的空调能耗差异, 以及空调能耗与建筑的外表面积及太阳入射角的关系。

目前由于建筑的使用地点、运行方式的不同等环境及人为因素的影响, 建筑的实际能耗差异具有相当大的不确定性, 不同建筑间的实际能耗没有可比性, 导致从实际能耗出发来研究建筑设计本身所造成的能耗影响难度非常大。建筑能耗模拟能够有效排除这些建筑设计本身以外的因素的影响, 从而对不同建筑设计进行能耗对比分析。国内外目前对建筑设计的节能性能分析及评估均采用这种方法。

1 EnergyPlus 简介

EnergyPlus 是一个建筑全能耗分析软件(whole building energy analysis tool)。世界上有很多用来设计或分析建筑及暖通空调系统的软件, 它们具有不同的功能和复杂程度, 面向不同的用户, 大致可分为以下四大类。

a) 设计用软件(practitioner design tools): 建筑师、工程师等用来进行建筑及系统设计的软件, 如 AutoCAD;

b) 建筑全能耗分析软件: 用来模拟建筑及系统的实际运行状况, 从而预测年运行能耗和费用的软件;

c) 能耗与环境影响分析软件(energy and environmental screening tools): 主要用来分析采用新的节能技术所带来的经济及环境效益, 往往对计算进行简化, 输入也比较简单, 并能够迅速地给出比较直观的结果;

收稿日期: 2013-01-21 修改稿日期: 2013-07-22

基金项目: 陕西省重点科技创新团队(2012KTC-11); 广东省部产学研集合专项资金资助项目(2011A0911000043)

作者简介: 张 明(1976-), 陕西西安人, 工程师, 主要从事建筑节能设计、建筑节能检测、建筑能耗分析等研究。

d)专业分析软件(specialized analysis tools):用于科研,拥有专门开发的精确的模型,例如计算流体力学(CFD)模拟软件Fluent、照明模拟软件Radiance等.建筑全能耗分析软件可以用来模拟建筑及空调系统全年逐时的负荷及能耗,有助于建筑师和工程师从整个建筑设计过程来考虑如何节能.大多数的建筑全能耗分析软件由四个主要模块构成:负荷模块(loads)、系统模块(systems)、设备模块(plants)和经济模块(economics)——LSPE.这四个模块相互联系形成一个建筑系统模型.其中负荷模块模拟建筑外围护结构及其与室外环境和室内负荷之间的相互影响.在负荷模块中有多种计算墙体传热和负荷的方法,如反应系数法(responsefactor)和热传导传递函数法(conduction transferfunctions, CTF)用来计算墙体传热;传递函数法(transfer function method, TFM)、热平衡法(heatbalance method)和热网络法(thermal network method)用来将窗、墙得热及内部负荷转变为冷、热负荷.系统模块模拟空调系统的空气输送设备、风机、盘管以及相关的控制装置.设备模块模拟制冷机、锅炉、冷却塔、能源储存设备、发电设备、泵等冷热源设备.经济模块计算为满足建筑负荷所需要的能源费用.有些软件没有经济模块,有些软件把系统模块和设备模块合并为一个模块.目前世界上比较流行的建筑全能耗分析软件主要有:Energy210, HAP, TRACE, DOE22, BLAST, EnergyPlus, TRNSYS, ESP2r, DeST等.这些软件具有各自的特点,例如,Energy210只能用来模拟 $1\,000\text{ m}^2$ 以下的小型建筑,DOE-2能够准确地模拟较复杂的围护结构的负荷,TRNSYS在模拟空调系统时能够提供最大的灵活性,等等.

EnergyPlus具有以下主要特点^[3]:

- a)采用集成同步的负荷/系统/设备的模拟方法.
- b)在计算负荷时,用户可以定义小于1 h的时间步长;在系统模拟中,时间步长自动调整,以加快收敛.
- c)采用热平衡法模拟负荷.
- d)采用CTF模拟墙体、屋顶、地板等的瞬态传热.
- e)采用三维有限差分土壤模型和简化的解析方法对土壤传热进行模拟.
- f)采用联立的传热和传质模型对墙体的传热和传湿进行模拟.
- g)采用基于人体活动量、室内温湿度等参数的热舒适模型模拟热舒适度.
- h)采用各向异性的天空模型以改进倾斜表面的天空散射强度.
- i)先进的窗户传热的计算,可以模拟包括可控的遮阳装置、可调光的电铬玻璃等.
- j)日光照明的模拟,包括室内照度的计算、眩光的模拟和控制、人工照明的减少对负荷的影响等.
- k)基于环路的可调整结构的空调系统模拟,用户可以模拟典型的系统,而无需修改源程序.
- l)与一些常用的模拟软件链接,如WINDOW5, COMIS, TRNSYS, SPARK等,以便用户对建筑系统作更详细的模拟.
- m)源代码开放,用户可以根据自己的需要加入新的模块或功能.

2 模型的建立

2.1 模型几何形状

塔式办公建筑平面的几何形状以圆形、正方形、正三角形居多.本文选择圆形、正方形、正三角形及正六边形这几种典型平面作分析,为了便于分析比较,模型的每层建筑面积均为 890 m^2 ,层数为20层,总建筑面积为 $17\,800\text{ m}^2$.平面形状如图1所示,建筑模型如图2所示.

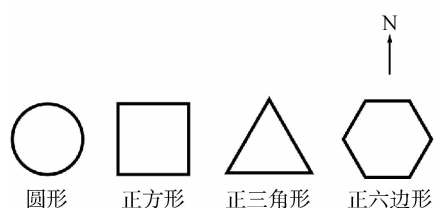


图1 平面形状

Fig. 1 Flat shape

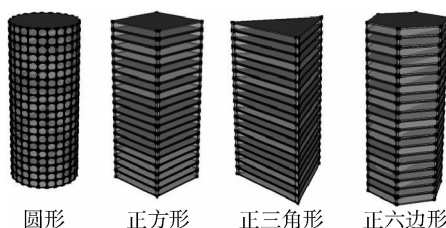


图2 建筑模型

Fig. 2 Architecture models

2.2 围护结构热工性能参数

假设本文研究的建筑在夏热冬暖地区并满足节能设计标准的相关规定,因此围护结构热工性能参数依据《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005 及《公共建筑节能设计标准》广东省实施细则 DBJ15-51-2007,设置见表 1.

2.3 室内热扰及作息時間

办公建筑的室内热扰主要包括人员、照明及设备的散热. 办公室的人员数量设置为 4m²/人^[1],人员散热量设置为 120 W/人^[2].

照明功率密度设置为 11 W/m²^[1],照明设备的散热量包括长波辐射散热量、短波辐射散热量及对流散热量,依据文献[3],天花板嵌入式荧光灯的长波辐射散热量系数为 0.37,短波辐射散热量系数为 0.18,对流散热量系数为 0.45.

电器设备的功率按 20 W/m²^[1].

人员逐时在室率、照明及电气设备逐时使用率、作息时间依据文献[1]设置.

2.4 空调系统

建筑模型的空调系统采用风机盘管加新风系统,新风量按 30 m³/(h·人),冷水机组 COP 选择为 5.1 W/W^[1],空调室内温度设置依据文献[1]设置. 并且在全年能耗模拟的过程中充分利用过渡季节的新风除热.

2.5 典型气象年数据

典型气象年数据采用 Chinese Standard Weather Data (CSWD),该数据是由清华大学江亿院士及中国气象局开发. 包括全国大部分城市的典型气象年数据、设计日气象数据、极端气象数据、最高和最低气温及太阳辐射数据等.

3 模拟结果分析

3.1 能耗指标分析

如表 2 所示,由于各建筑的照明及电器设备的功率及使用率相同,它们的照明和电器设备能耗相等,所以建筑总能耗差异主要表现在空调能耗上. 空调能耗的差异又主要表现在外围护结构面积的差异上,在外围护结构热工性能相同的情

况下,传入室内的热量随着外围护结构面积的增大而增大,由表 1 可知,圆形平面形式的建筑的外围护结构面积最小,三角形平面形式的建筑的外围护结构面积最大. 由图 3 可知,随着平面形状边数的减少(圆形可近似为无数个边),建筑总能耗成上升

趋势,以圆形为平面的建筑的能耗最小. 那么,以圆形平面的建筑的空调能耗指标为基准,正三角形平面的建筑的空调能耗差异为 2.7%,正方形平面的建筑的空调能耗差异为 1.1%,正六边形平面的建筑的空调能耗差异为 0.5%. 因此,可以得出在建筑面积相等的情况下,在以正 n 边形为平面的塔式办公建筑中,正三角形平面的塔式办公建筑的空调能耗最大,随着 n 值的增大,空调能耗逐渐减小,当 n 无限大,即建筑平面趋于圆形时,空调能耗最小. 另外,当 $n>6$ 以后,能耗差异幅度逐渐减小,趋于平缓.

表 1 建筑基本信息

Tab. 1 Basic information of the building

	圆形	正六边形	正方形	正三角形
建筑所在地	广州			
每层建筑面积(m ²)	890			
总建筑层数	20			
外墙传热系数(W/m ² ·K)	1.5			
屋面传热系数(W/m ² ·K)	0.9			
外窗传热系数(W/m ² ·K)	3.0			
楼地面传热系数(W/m ² ·K)	1.0			
外窗遮阳系数	0.28			
窗墙面积比(%)	70			
外墙总面积(m ²)	8 484	8 883	9 545	10 879
外窗总面积(m ²)	5 938	6 218	6 682	7 615

表 2 建筑能耗模拟结果

Tab. 2 Energy simulation results of the building

	圆形	正六边形	正方形	正三角形
全年累计总能耗指标(kWh/m ²)	138.2	138.6	139.0	140.3
全年累计照明能耗指标(kWh/m ²)	27.1	27.1	27.1	27.1
全年累计电器设备能耗指标(kWh/m ²)	49.3	49.3	49.3	49.3
全年累计空调能耗指标(kWh/m ²)	55.4	55.7	56.0	56.9
冷水机组装机容量(kW)	2 646	2 669	2 685	2 772

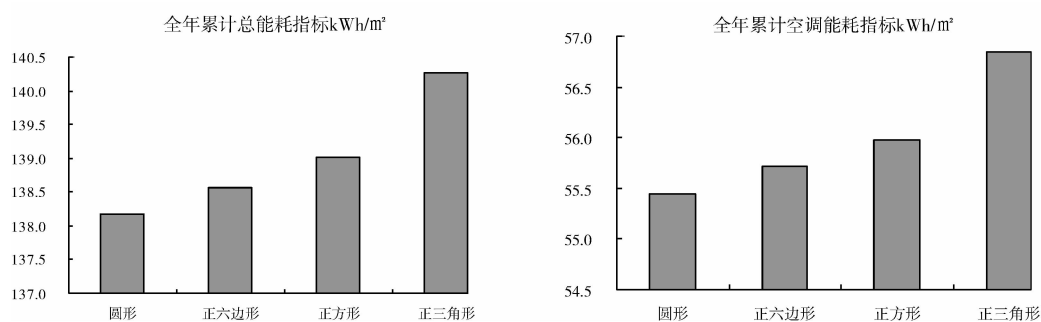


图 3 能耗指标对比

Fig. 3 Comparison chart of energy consumption indices

3.2 建筑内部得热量分析

办公建筑的内部得热量主要来源于人员散热、照明散热、电器设备散热及通过围护结构传入的热量,为了便于分析比较,本文将各建筑的人员散热、照明散热及电气设备散热设置为相同,那么室内得热的差异主要来源于通过围护结构的传热的差异.由于各建筑的窗墙面积比为 0.7,外窗的传热系数大于墙体的传热系数,因此,通过围护结构传入的热量主要来自于外窗的传热及透过玻璃的太阳辐射.

在 EnergyPlus 中,围护结构表面太阳得热量采用下式计算:

$$Q_{so} = \alpha \cdot \left(I_b \cdot \cos\theta \cdot \frac{S_s}{S} + I_s \cdot F_{ss} + I_g \cdot F_{sg} \right)$$

式中: Q_{so} 为围护结构太阳总得热量, W; α 为太阳吸收系数; I_b 为太阳直射辐射强度, W; I_s 为太阳散射辐射强度, W; I_g 为地面反射太阳辐射强度, W; θ 为太阳入射角(太阳光线与围护结构表面法向的夹角), $0 \sim \frac{\pi}{2}$; S 为围护结构表面积, m^2 ; S_s 为围护结构表面被太阳照射到的面积, m^2 ; F_{ss} 为围护结构表面与天空的夹角因子; F_{sg} 为围护结构表面与地面的夹角因子.

由上式及模拟结果

表 3 通过外窗的年累计得热量模拟结果

Tab. 3 Simulation results of the annual heat gain through windows

	圆形	正六边形	正方形	正三角形
通过外窗的年累计得热量(GJ)	1 692.8	1 763.6	1 866.7	2 083.5
单位外窗面积通过外窗的年累计得热量(MJ/m²)	285.1	283.6	279.4	273.6

表面积成正比,因此,圆形平面建筑的外窗面积最小,表现出总得热量最小,而正三角形平面建筑的外窗面积最大,表现出总得热量最大.

另外,由上式还可看出,围护结构太阳得热量与太阳入射角成反比例关系,太阳入射角 θ 为 0 度时,围护结构太阳得热量最大,当 θ 为 90 度时,围护结构太阳得热量最小.由于圆形平面建筑的外窗的太阳入射角最小,所以受到的太阳辐射最多,表现出单位外窗面积通过外窗的得热量也最多.正三角形平面建筑的外窗的太阳入射角最大,受到的太阳辐射最小,单位外窗面积通过外窗的得热量最少.

有以上分析可以看出,围护结构外表面积的影响高于太阳入射角的影响,虽然圆形平面形式的建筑的围护结构的太阳入射角最小,但是由于它的外表面积最小,建筑的能耗依然最小,但是它的单位外窗面积通过外窗的年累计得热量是最大的.所以,我们在设计圆形平面的塔式办公建筑时,控制窗墙面积比及外窗的热工性能可以得到最小的能源消耗.

4 结 论

本文以夏热冬暖地区气象条件为例,比较了在围护结构热工性能相同、建筑面积相同及内部热扰相同的情况下,圆形、正六边形、正方形、正三角形平面塔式办公建筑的能耗,得出如下结论:

(1) 圆形平面的塔式办公建筑的空调能耗最小,正三角形平面的塔式办公建筑的空调能耗最大.

(2)在以正 n 边形为平面的塔式办公建筑中,正三角形平面的塔式办公建筑的空调能耗最大,随着 n 值的增大,空调能耗逐渐减小,当 n 无限大,即建筑平面趋于圆形时,空调能耗最小。另外,当 $n > 6$ 以后,能耗差异幅度逐渐减小,趋于平缓。

(3)建筑的空调能耗与建筑外围护结构的外表面积成正比例关系,与太阳入射角成反比例关系,外表面积对空调能耗的影响高于太阳入射角对能耗的影响。

(4)在设计圆形平面的塔式办公建筑时,控制窗墙面积比及外窗的热工性能可以得到最小的能源消耗。

参考文献 References

- [1] 广东省建设厅. DBJ15-51-2007 公共建筑节能设计标准:广东省实施细则[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
Department of Housing And Urban-Rural Development of Guangdong Province. DBJ15-51-2007 Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings;Guangdong Provincial Regulations [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2007.
- [2] ASHRAE. 2005 ASHRAE Handbook of Fundamentals[S]. ASHRAE, Atlanta, 2001.
- [3] IESNA. Lighting Handbook; Reference & Application, Illuminating Engineering Society of North America[M]. 8th ed. New York: IESNA,1993.
- [4] University of Illinois, Lawrence Berkeley National Laboratory. Input Output Reference;The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output [M]. The Us Department of Energy,2004.
- [5] The Reference to EnergyPlus Calculations DOE U S. EnergyPlus Engineering Reference[J]. The Reference to EnergyPlus Calculations, 2010.
- [6] 潘毅群,吴刚, HARTKOPF Volker. 建筑全能耗分析软件 EnergyPlus 及其应用[J]. 暖通空调,2004,34(9):2-7.
PAN Yi-qun, WU Gang, HARTKOPF Volker. Whole building energy analysis tool-EnergyPlus and its application [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning,2004,34(9):2-7.
- [7] GB50189-2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
GB50189-2005 Design standard for energy efficiency of public buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2005.

Energy consumption difference analysis of some typical geometry office tower based on EnergyPlus

ZHANG Ming¹, YANG Liu², FENG Xu-ming³

(1. Guangzhou Building Material Institute Limited Company, Guangzhou 510663, China;

2. School of Arch., Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

3. Guangdong Province Enterprise Key Laboratory of Materials and Elements
Fire Testing Technology, Guangzhou 510663, China)

Abstract: The cooling energy consumption of office tower accounts for 50%~60% of total building energy consumption. The solar heat gain directly impacts the cooling energy consumption of building. This has close relationship with the area of the building envelope, orientation, the building shape and so on. This paper use the EnergyPlus to simulate the building annual energy consumption for each office tower whose floor shape is circular, regular hexagon, square or regular triangle. Energy consumption difference between these office towers is analyzed according to the simulation results.

Key words: building energy conservation; energy analysis; tower