

文章编号 :1003-0344(2008)06-084-6

某大型公共建筑全能耗模拟和节能潜力分析

左明明¹ 潘毅群²

1 同济大学机械工程学院 2 同济大学中德工程学院

摘要 本文首先介绍全建筑能耗模拟软件 EnergyPlus 的性能和特点,重点说明它在模拟大型公共建筑时所具有的优势。通过比较 EnergyPlus 与其他能耗模拟软件的特点,讨论了如何使用 EnergyPlus 最大限度地反映建筑各系统如空调系统、照明系统、生活热水系统等复杂构成及它们之间的相互耦合关系。然后采用 EnergyPlus 对拟申请美国 LEED 绿色建筑认证的某大型公共建筑进行能耗模拟并计算全年能耗费用。按照 LEED 标准的要求建立 ASHRAE 基准模型,通过比较 ASHRAE 基准模型和设计模型的全年能耗,讨论有效降低建筑全年能耗的途径并建立节能模型。在节能模型中,透明围护结构的遮阳性能得以加强,建筑系统中部分设备的效率得以提高,并引入日光照明、人员传感器等技术。结果表明,本文提出的节能模型与 ASHRAE 基准模型相比,全年耗电量减少了 4.7%,全年耗气量增加了 6.9%,全年电费减少了 14%,全年总能耗费用减少了 7.75%。

关键词 全建筑能耗模拟 大型公共建筑 ASHRAE 基准模型 EnergyPlus

Whole Building Energy Simulation and Energy Saving Potential Analysis of a Large Public Building Using EnergyPlus

ZUO Ming-ming¹, PAN Yi-qun²

1 School of Mechanical Engineering, Tongji University

2 Sino-German College of Applied Sciences, Tongji University

Abstract: By comparing EnergyPlus with other energy simulation tools, it explores how to use EnergyPlus to construct models to accurately simulate complex building systems as well as the interrelationships among sub-systems such as HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning), lighting and domestic hot water systems. Energy consumption and cost of a large public building were simulated and calculated for LEED certification using EnergyPlus. ASHRAE baseline model was constructed according to ASHRAE 90.1 standard and the comparison of annual energy consumption between ASHRAE baseline model and proposed model was carried out. Moreover, an energy saving model was built based on the proposed model, in which the shading performance of the transparent envelopes and operating performance of the building system components were improved. Meanwhile, other energy saving measures such as daylighting dimming and occupant sensor were considered. The simulation results show 4.7% electricity consumption decrease but 6.9% gas consumption increase of the energy saving model compared to ASHRAE baseline model. In summary, the annual energy cost of the energy saving model is reduced by 7.75%.

Keywords: whole building energy simulation, large public building, ASHRAE baseline model, EnergyPlus

0 引言

随着经济快速发展,在以北京、上海、广州等代

表的全国各地出现了越来越多的大型公共建筑,截止 2001 年底,上海公共建筑面积已经达到 8696 万 m²,并且仍在以每年 9.44% 的速度建设。公共建筑内部存在

收稿日期:2008-4-28

作者简介:潘毅群(1970~),女,博士,副教授,021-69584741;上海四平路 1239 号同济大学中德工程学院(200092);

E-mail: yiqunpan@mail.tongji.edu.cn

着众多功能和结构差别很大的空间,如会议室、餐厅、办公室、大厅、中庭等等,这必然会导致服务于建筑的空调系统、照明系统、生活热水系统等复杂程度的大幅增加。随着现代建筑技术的不断发展并融入大型公共建筑中,分析和评价大型公共建筑的全建筑能耗越来越困难。EnergyPlus 具有非常突出的性能,是可以应用于大型公共建筑评价的全建筑能耗模拟软件。B. Griffith 等为了节能并优化设计方案,应用 DOE-2.1 分析了 Teterboro 机场内某公共建筑,并利用 EnergyPlus 分析了该建筑采用多种节能策略的效果^[1];Peter 等利用 EnergyPlus 分析了其在模拟高层建筑的可靠性,并将其应用于纽约 Freedom Tower,结果表明了 EnergyPlus 可以准确模拟高层公共建筑^[2]。国内部分学者也通过 EnergyPlus 进行了各种节能研究,蒋骞等利用该软件中的双层通风幕墙模型和通过 CFD 分析得到的边界条件研究了通风腔风速、遮阳策略、朝向和结构参数对能耗的影响^[2],潘毅群等在分析 EnergyPlus 的特点基础上模拟了一栋具有冷热电联产系统的建筑,对该建筑的空调等系统建模进行了详细分析^[3,4]。

本文将在比较和分析 EnergyPlus 与 DOE-2.1 及 TRNSYS 在模拟建筑系统及建筑自身的性能和特点基础上,重点说明 EnergyPlus 作为全建筑能耗模拟工具的优势,以上海市一公共建筑为例分析模拟各建筑子系统及相应控制策略的方法,并对该公共建筑的全年能耗结果进行分析。

1 全建筑能耗模拟软件 EnergyPlus 的性能和特点

EnergyPlus 是一个建筑能耗逐时模拟引擎,采用集成同步的负荷/系统/设备的模拟方法。它在计算负荷时采用 CTF 来计算墙体传热,利用热平衡法计算负荷。CTF 实质上还是一种反应系数法,但它的计算更为精确,因为它是基于墙体的内表面温度,而不同于一般的基于室内空气温度的反应系数法。热平衡法是室内空气、围护结构内外表面之间的热平衡方程组的精确求解方法,它突破了传递函数法的种种局限,如表面传热系数和太阳辐射得热可以随时间变化等,同时,改变了以往 DOE-2 在进行日照计算时只计算 20 个不同太阳高度的采光系数,逐时计算太阳位置和采光系数,并引入各向异性的天空模型使得在计算日光照度时更加准确可靠^[4,5]。EnergyPlus 在模拟空调系统时,采用了一种基于部件组装的模拟方式,它以流体环路为基础,允许用户在这些环路中利用各个部件的

进出口节点相对自由地组合需要的系统结构,这种模拟方法既保证了可以一定程度上实现 TRNSYS 相对灵活的特点,又能够让用户围绕空气或水环路相对迅速地建立模型^[6,7]。通过软件框架中提供的控制量设定值管理器(Setpoint manager)可以控制系统层次的参数,如空调送风温度、冷冻水供水温度等,也可以通过控制器(Controller)来实现对表冷器和再热盘管的出风温度等的控制^[8]。在 EnergyPlus 的设备模拟中,既可以使用基于性能的设备模型,利用设备性能曲线进行模拟,也可以使用理论模型或与 Spark 等软件的接口进行模拟。

尽管 TRNSYS 和 DOE-2 已经被广泛用来分析建筑系统和建筑能耗,但是用它们来分析大型复杂公共建筑时仍然会遇到很多难以解决的问题。例如 TRNSYS 虽然可以使用它的多区模块 TYPE56 进行多区建筑的模拟,但是该模块只能最多模拟 25 个房间,最多 250 面墙以及最多 100 扇窗户的模型^[8],而目前大多数公共建筑的规模显然远远超出了这一范围。DOE-2 尽管在空调分区上没有如上所说的限制,但是其顺序的系统模拟方法不考虑负荷、系统和设备之间的相互影响,显然无法准确反映建筑各子系统的关联,同时,尽管 DOE-2.2 考虑了系统和设备之间的耦合,但是仍然无法得到准确的房间温度,也没有改变 DOE-2 无法灵活布置系统的缺点^[8]。

2 上海某公共建筑概况以及建筑系统分析

2.1 建筑概况

该公共建筑位于上海世博园区内,总建筑面积约为 14.2 万 m²,地上 7 层,地下 1 层。建筑高度为 40 m,该建筑以会议接待、公共活动为主,并具备与之相关的中小会议区、公共餐厅、贵宾区和新闻发布区等辅助配套功能。

2.2 建筑系统设置

2.2.1 空调系统

1)空气系统:该建筑中空气处理系统分为变风量系统和定风量系统两大类,其中定风量系统主要用于大型会议室、多功能厅、宴会厅以及较大的门厅,变风量系统则主要是用于中小会议室、中小办公室、贵宾室和五层的餐饮包厢。变风量系统按照外墙向内 4 m 为界限分设内外区,外区采用有再热的变风量末端,内区则采用无再热的变风量末端。

2)冷冻水系统:冷冻水系统采用一次泵定流量/二

次泵变流量系统,冷源夏季采用2台双工况冷水机组、冰蓄冷和3台江水源热泵机组,供暖季使用冰蓄冷和双工况冷机,而在过渡季部分负荷的情况下仅使用冰蓄冷系统满足白天的冷负荷。在该冷冻站中,其控制策略为白天启动蓄冰槽-江水源热泵-双工况冷机,在保证融冰优先的控制策略时,蓄冰槽的设定出水温度为3.3℃,江水源热泵和双工况冷机的设定出水温度为6℃,在夜间,双工况冷机对蓄冰槽进行充冷,蓄冰工况冷机出水温度设定为-5.6℃,并根据蓄冰槽出口水温判断蓄冰是否完成,若蓄冰槽出口水温低于-4℃,则表明蓄冰完成,充冷泵和双工况冷机自动关闭。

3)热水系统:该空调系统热水管网采用变流量系统,所需供热量在夏天由两台燃气锅炉提供,冬天则由供热模式下的江水源热泵和两台燃气锅炉提供,优先使用热泵供热,热水管网供水温度50℃。热水管网在满足空调热负荷的同时还与生活热水管网耦合,满足生活热水的热量需求。

2.2.2 照明及其他建筑系统

在设计方案中该建筑并没有采用日光照明和人工照明的协调控制,但是考虑该建筑部分空间窗墙比较大,具有提供日光照明的潜力,因此在节能模型中采用了日光照明技术。

该建筑还采用了光伏电池来满足电力需求。

3 能耗模拟模型的建立

3.1 设计模型

设计模型的围护结构设定参数根据设计图纸和文件确定,见表1和表2,其他一些具体的设备参数设定见表3。

表1 围护结构设定参数

围护结构名称	传热系数 (W/m ² K)		
	设计模型	节能模型	ASHRAE
外墙	0.66	0.66	0.705
地下室外墙	0.51	0.51	C-6.473
屋面	0.57	0.57	0.36
内墙	0.57	0.57	0.57
幕墙的传热系数	1.8/2.2/3/2.4	1.8/2.2/3/2.4	3.24

注 a) C-6.473 是指地下围护结构中墙体的导热系数(W/mK),该数值不包含土壤或空气的热阻 b) 1.8/2.2/3/2.4 分别是该建筑中使用的四种幕墙的名义传热系数。

表2 各朝向幕墙及天窗窗墙比和太阳辐射得热系数 SHGC

	设计模型 节能模型 ASHRAE		
	设计模型	节能模型	ASHRAE
幕墙的 SHGC	0.4	0.279	0.25
天窗的 SHGC	0.4	0.279	0.19
幕墙窗墙比	东	69%	69%
	南	52%	52%
	西	52.50%	52.50%
天窗窗墙比	北	81%	81%
	天窗窗墙比	6%	6%

表3 空调系统参数设置

	设计模型	节能模型	ASHRAE 基准模型
制冷机	总制冷量: 3-1758 kW, COP 4.83 冰蓄冷: 9254RTH 双工况冷水机组: 2-2426kW, 空调工 况 COP4.83, 辅助工况 COP3.09	总制冷量: 3-1758 kW, COP4.83 冰蓄冷: 9254RTH 双工况冷水机组: 2-2426kW, 空 调工况 COP3.5, 辅助工况 COP3.02	离心式冷水机组: 4-2691kW, COP6.1
	冷冻水出水温度/供回水温差	6/7℃	6/7℃
冷冻水出水温度/流量	无	无	ODDB: 16℃, 12℃ ODDB: 27℃, 7℃ 16℃-ODDB-27℃, 线性变化
冷却塔	双速轴流风机, 江水源热泵	双速轴流风机, 江水源热泵	双速轴流风机冷却塔
冷却塔出水温度/供回水温差	29.4/5.6℃	29.4/5.6℃	29.5/6℃
冷冻水一次泵	乙二醇溶液: 95 kW/1000L/s 江水源热泵辅助冷水泵: 616 kW/1000L/s	乙二醇溶液: 349 kW/1000L/s 江水源热泵辅助冷水泵: 349 kW/1000L/s	349 kW/1000L/s
冷冻水二次泵	349 kW/1000L/s	349 kW/1000L/s	349 kW/1000L/s
冷却水泵	310 kW/1000L/s	310 kW/1000L/s	310 kW/1000L/s
锅炉	燃气锅炉: 2-2800kW, 效率为 90% 江水源热泵: 3-1780kW, COP3.79	燃气锅炉: 2-2800kW, 效率为 90% 江水源热泵: 3-1780kW, COP3.79	燃气锅炉: 程序自动控制, 效率为 75%
热水出水温度/供回水温差	50/10℃	50/10℃	82/28℃
热水出水温度/流量	无	无	ODDB: 7℃, 82℃ ODDB: 10℃, 66℃ 7℃-ODDB-10℃, 线性变化
热水泵	55 kW/1000L/s	301 kW/1000L/s	301 kW/1000L/s

注:ODDB 为室外空气干球温度

3.1.1 空气系统

考虑到该建筑规模太大,其内部的房间类型和空间分布相当复杂,不同的空间会分设空气处理机组对空气进行处理,而在建立能耗模拟模型时不可能也没有必要对应实际空调系统模拟出每一空调箱。因此,根据房间的朝向、使用功能、系统类型和工作班次,将整个建筑分为89个空调分区,模拟了1个变风量系统、5个双变频风机定风量系统和7个单风机定风量系统。

3.1.2 冷冻水系统

为了在 EnergyPlus 中实现本文所讨论的冷冻水管网控制策略,必须借助设备控制部件(Plant-condenser Control)中部件设定温度控制模式(Component setpoint based operation),通过定制不同时刻的各设备设定出口水温时间表控制各设备的出口水温,同时,结合系统设定温度管理器(Setpoint manager)设定适当的管网冷冻水供水温度来实现。白天设备的运行顺序则通过部件设定温度控制模式中设备定义的先后顺序来实现。在模拟江水源热泵的江水源换热器时利用了 EnergyPlus 中湖泊水换热器模型,该模型考虑了不同季节空气状态参数、土壤温度变化和太阳辐射强弱的影响,这在一定程度上非常接近设计方案中的江水源换热器。

3.1.3 热水系统

本文涉及的热水系统的设定相对简单。生活热水

管网可以处理为热水管网的需求侧,其与需求侧其他部件如空气处理柜中的水加热器所不同的是它消耗掉的热热水无法回到系统中,相应的补水只能通过市政管网补给。在 EnergyPlus 中,管网与管网之间的连接都需要借助于一定的连接部件,因此生活热水管网耦合至热水管网的需求侧时,必须使用热水加热器作为连接节点。作为连接节点的热水加热器一方面作为生活热水管网的供给侧提供所需要的生活热水,另一方面它还作为热水管网的需求侧,从热水管网引入所需热水。还有一个非常重要的问题就是生活热水消耗掉的热热水必须从市政管网补给,而市政管网的供水水温往往是无法获得的,因此根据文献[9]的研究成果,结合 EnergyPlus 的标准气象参数设定了补水温度。

3.1.4 太阳能光伏电池

由于目前该光伏电池的性能参数还无法获得,因此根据设计容量和效率,结合 EnergyPlus 中简单的光伏电池模型进行模拟。由于设计方案中光伏电池嵌入在屋顶结构中的,因此在建立能耗模型时,针对该特殊结构定义了特殊的屋顶材质。EnergyPlus 允许模拟通过支架固定的光伏电池板,这也为研究不同光伏电池板的安装形式提供了可能。

3.2 节能模型

节能模型的系统设置与设计模型基本相同,同时,考虑到设计模型中冷机和水泵效率较低等问题,在设计模型中加入了如下节能措施:

- 1) 提高透明围护结构的遮阳性能,使其 SHGC 值降低到 0.279;
- 2) 在走道、茶水间和其他一些人员间歇停留的区域设置人员感应器,该措施预计可以使这些区域的灯光能耗减少约 10%;
- 3) 在建筑外围空间设置日光照明,以减少日照充分时的室内照明电耗;
- 4) 提高双工况冷机的效率,使其空调工况 COP 达到 5.5,制冰工况 COP 达到 3.92;
- 5) 提高水泵效率,使其与基准模型相同。

考虑上述节能措施后建立的节能模型参数设定可见表 1 至表 3。

3.3 ASHRAE 基准模型

ASHRAE 基准模型是根据 ASHRAE 90.1-2004 Appendix G 中的条款建立,具体的参数设置见表 1 至表 3。围护结构的热工性能的选择符合该标准规定的在上海地区最低性能要求,同时,不考虑外遮阳的作

用。在该模型中,空调分区和设计模型的空调分区相同,全空气系统均为单风道变风量系统,在建筑的外区设置带再热的变风量末端。冷热源则由离心式冷水机组和燃气锅炉组成。由于 ASHRAE 90.1 Appendix G Table G3.1-11 Service Hot Water Systems 中规定基准模型中用于生活热水系统的热源必须与设计模型相同,且在设计模型热源使用能源类型为电力时应设定基准模型中生活热水系统的热源为电加热器,考虑到本文设计模型采用热泵优先的供热原则,因此这里根据热泵的动力为电力选择独立的电加热器作为生活热水系统的热源。

3.4 其他

1) 本文选用国际能耗模拟用气象数据(IWEC)上海地区的气象文件作为三个模型的气象参数。

2) 在该建筑中,门厅和中庭等人流变化比较大的区域夏季设定温度为 25℃,冬季设定温度为 18℃,其他空调区域则均为夏季设定温度 25℃,冬季设定温度 20℃。

3) 在计算能耗费用和进行经济性比较时,采用了如表 4 所示的能源价格。基本电费按最大电力负荷 30 元/(月·kW)人民币计算。

表 4 上海市办公用电分时电价表

时段	电价	燃气单价
8:00-11:00		
13:00-15:00	1.037 元/kWh	
18:00-21:00		
6:00-8:00		2.300 元/Nm ³
11:00-13:00		
15:00-18:00	0.706 元/kWh	
21:00-22:00		
22:00-6:00	0.234 元/kWh	

4 全年能耗分析

4.1 全年能耗及费用

表 5 给出了基准模型、设计模型及节能模型全年能耗和耗能费用的结果比较。

表 5 全年能耗和用能费用统计及比较

模型名称	电		气		总费用 (万元)	节能费用 节省
	总耗电量 (MWh)	电费 (万元)	耗气量 (Nm ³)	气费 (万元)		
ASHRAE 模型	14,478	1,432	55,583	12.8	1,486	—
设计模型	16,642	1,540	50,301	11.6	1,552	-4%
节能模型	13,887	1,295	59,428	13.7	1,309	12%

根据表 5 中的结果,设计模型尽管耗气量相对于 ASHRAE 基准模型减少了 5282Nm³,但是其耗电量却多出 2164 MWh,同时,设计模型中采用了冰蓄冷系统,可以利用分时电价夜间谷价以节省运行费用,但是系统总体上效率较低,设计模型全年耗电量相对于

ASHRAE 基准模型仍增加了 14.9% ,全年能耗费用增加了 4%。节能模型采用的多种节能措施节省了电力消耗 ,年能耗费用比 ASHRAE 基准模型减少了 12%。为了进一步分析不同模型在全年不同时间里的能耗分布情况 ,图 1 和 2 给出了三个模型逐月的电力和燃气的消耗量。

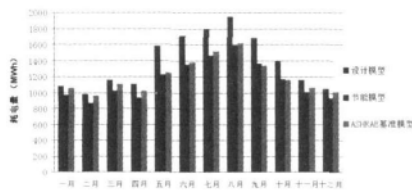


图 1 月耗电量比较

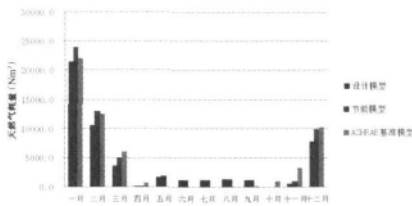


图 2 月燃气耗量比较

从图 1 可以看出 ,几项节能措施实施后 ,节能模型除 9 月和 10 月耗电量比 ASHRAE 基准模型略多外 ,基本每个月都实现了耗电量的减少。

从图 2 中可以看出由于设计模型和节能模型采用燃气锅炉制取生活热水 ,而基准模型生活热水由电加热器提供 ,因此设计模型和节能模型在夏季仍有耗气量 ,而基准模型没有。在 1 月至 4 月和 10 月至 12 月这两段时间里 ,由于江水源热泵处于供热模式以及热泵优先的供热机组运行策略 ,设计模型的耗气量明显都要少于 ASHRAE 基准模型。节能模型由于使用了人员传感器和日光照明等策略后减少了室内得热量 ,耗气量相对于设计模型和 ASHRAE 基准模型都有所增加。但是从全年能耗和总用能费用来看 ,这些措施还是能够显著减少全年用能 ,节省大量运行费用。

为了进一步分析三个模型各子系统和设备能耗变化情况 ,且用电设备种类较多 ,较为复杂 ,因此对全年总电耗进行分解 ,如图 3 所示。根据表 3 给出的设备细节 ,ASHRAE 基准模型中制冷主机为离心式冷水

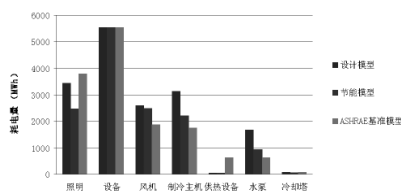


图 3 全年分项耗电量比较

机组 ,生活热水系统由电加热器制取 ,建筑供热由燃气锅炉提供 ,设计模型和节能模型中制冷主机则为双工况冷机和江水源热泵 ,供热设备为江水源热泵与燃气锅炉。因此图 3 中的制冷主机对于 ASHRAE 基准模型为离心式冷水机组 ,对于设计模型和节能模型则是双工况冷机和江水源热泵 ,供热设备对于 ASHRAE 基准模型是制取生活热水的电加热器 ,而对于设计模型和节能模型是江水源热泵。用燃气设备较为简单 ,不做分解。

根据全年分项能耗的比较 ,设计模型的照明电耗低于基准模型 ,而人员感应器和日光照明的引入使得节能模型照明耗电量进一步大幅减少 ,降低幅度约为基准模型年照明耗电量的四分之一左右 ,非常可观。同时 ,较低的照明负荷减少了室内得热 ,减少了空调系统的冷负荷 ,从而降低了供冷能耗。尽管较小的照明负荷在冬天会增加空调系统所需要承担的热负荷 ,但是从表 5 的全年能耗费用比较表明 ,热负荷的增加所带来的供热能耗和费用的增加远少于照明和供冷季所节省的能耗和费用。

设备(包括办公设备和电梯)耗电量的三个模型相等。

比较设计模型与基准模型可知 ,设计模型的空调系统耗电量(包括风机、水泵和制冷主机)比基准模型高出很多。分析其原因 ,一方面由于设计模型中双工况冷机空调工况下 COP 为 4.83 ,制冰工况下仅为 3.09 ,江水源热泵在制冷工况下的 COP 为 4.83 ,均低于基准模型中离心式制冷机的效率 ,因此其单位制冷量的能耗必然会高于基准模型 ;另一方面由于设计模型中水泵单位流量功耗相对于基准模型中的水泵几乎增加了一倍 ,考虑到设计模型还采用了冰蓄冷系统 ,这就必须在夜间仍运行乙二醇泵进行蓄冷 ,造成设计模型水泵全年耗能几乎是基准模型的 2.6 倍 ;风机耗电较高的原因是设计模型采用的是定风量系统 ,而基准模型采用的是变风量系统。

分析供热设备的电耗 ,设计模型和节能模型的供热设备年耗电量分别为 38.61 MWh 和 40.77 MWh ,相比而言 ,基准模型供热设备年耗电量显然多出很多 ,接近 634 MWh。考虑模型中供热系统的运行和构成 ,ASHRAE 基准模型由于全年都以电加热器为热源制取生活热水 ,相对于设计模型和基准模型中热泵优先的供热策略显然效率要低很多 ,同时 ,设计模型和节能模型中热泵机组只有在冬季才处于供热模式 ,夏季仍采用燃气锅炉供给生活热水 ,这种运行模式也一定程度上减少了设计模型和节能模型用于供热的电能。

4.2 太阳能光伏发电对全年用电量的影响

上文分析中全年能耗尚未计入太阳能电池的年发电量,本节将在上述全年能耗的基础上分析在设计模型和节能模型中采用太阳能电池所带来的能耗和费用影响。根据 EnergyPlus 软件中单晶硅太阳能光伏发电的模拟模块及设计方案中相关设计参数,采用上海地区典型气象年计算得到,1MW 太阳能光伏发电全年发电量为 889930 kWh。本建筑只采用并网发电,多余电量不返回电网,且不设置电池蓄电,实际可以使用的发电量依赖于当时需求电量和光伏发电能力,发电量多于需求量时不考虑多于电量的作用。发电计费仍采用表 4 的分时电价进行逐时电费的计算。表 6 为考虑光伏发电后设计模型与节能模型与 ASHRAE 基准模型的能耗与费用比较。

表 6 采用光伏发电后的设计模型、节能模型与 ASHRAE 基准模型的能耗比较

模型	总耗电量 (MWh)	电费 (万元)	电能节省率 (%)	费用节省率 (%)
ASHRAE 基准模型	14,478	1,486	-	-
设计模型	15,827	1,454	-0.3	2.1
节能模型	13,116	1,218	9.4	18.1

根据表 6 中的结果,计入太阳能光伏发电后,设计模型全年用电量仅比基准模型多 9.3%,节能模型全年用电量比基准模型少 9.4%,可见太阳能光伏发电能够大幅减少建筑用电。此外,在白天用电高峰时利用光伏发电不仅能减少建筑消耗电网供电,而且还能节省大量的峰值电价,设计模型的耗电费用不仅大幅减少而且还比基准模型少 2.1%,而节能模型全年用电成本相对于基准模型更是减少了 18.1%。因此采用太阳能光伏发电不仅减少了建筑全年耗电量,更是大幅减少了建筑全年的用电费用。如果能够采用上网发电以及电池蓄电装置,耗电费用节省将更为可观。

5 结论

本文比较了几种不同的全建筑能耗模拟软件在模拟大型公共建筑,特别是功能多样系统复杂的公共建筑时的特点和局限性,并讨论了如何用新一代能耗模拟软件 EnergyPlus 来准确模拟某公共建筑各建筑子系统及其复杂的运行控制策略的方法。通过上文的讨论,本文得出如下结论:

1)随着现代建筑技术和楼宇控制技术的发展和建筑系统变得越来越复杂,在模拟这样的系统时,必须引入更加灵活可靠的全建筑能耗模拟软件以便准确地模拟系统内部的复杂控制及各建筑子系统间的相互影响。EnergyPlus 作为新一代能耗模拟软件具有出

色的系统组装特性和设备控制特性,通过本文的分析也说明其具有充分的优势应用于全建筑系统的分析。而且根据笔者的经历,随着 EnergyPlus 的不断改进,上文讨论的模型计算时间相对于前一个版本缩短了一半,因此能够适应建筑设计不同阶段对时间的要求。

2)本文讨论的上海某公共建筑由于其系统多数部件的效率要比 ASHRAE90.1 的相关要求低,其全年耗电量相对于基准模型增加了近 14.9%,尽管其冰蓄冷系统利用分时电价节省了部分电费,设计模型的全年电费仍然比基准模型多出 4%。

3)在设计模型基础上,提高了部分建筑设备的效率和透明围护结构的遮阳性能,并引入人员传感器及日光照明系统后,节能模型相对于基准模型不仅减小了 4.1%的用电量,更是减少全年用电费用达 12%。

4)太阳能光伏发电系统的采用不仅使得设计模型的用电量减少,使其比 ASHRAE 基准模型年耗电费用减少 2.1%,节能模型相对于基准模型的全年用电费用节省则达到 18.1%。

参考文献

- [1] B Griffith, S Pless, B Talbert, et al. Energy Design Analysis and Evaluation of a Proposed Air Rescue and Fire Fighting Administration Building for Teterboro Airport [Z]. National Renewable Energy Laboratory, 2003
- [2] 蒋骞,龙惟定. 双层皮玻璃幕墙建筑的能耗分析和优化设计[J]. 暖通空调, 2006, 36(11): 58-63
- [3] V 哈特科普夫,潘毅群,吴刚,等. 固体氧化物燃料电池在建筑冷热电联产中的应用[J]. 暖通空调, 2003, 33(1): 47-52
- [4] 潘毅群,吴刚,Volker Hartkopf. 建筑全能耗模拟软件 EnergyPlus 及其应用[J]. 暖通空调, 2005, 34(9): 2-7
- [5] Crawley D B, Lawrie L K, Winkelmann F C, et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program [J]. Energy and Buildings, 2001, 33(4): 319-331
- [6] Richard K Strand, Curtis O Pedersen. Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE Loads Toolkit and EnergyPlus [A]. In: Proceedings of IBPSA Conference [C], Rio de Janeiro, 2001: 43-50
- [7] Daniel E Fisher, Russell D Taylor, Fred Buhl, et al. A modular, loop-based approach to HVAC energy simulation and its implementation in EnergyPlus [A]. In: Proceedings of IBPSA Conference [C], Kyoto, 1999
- [8] Drury B Crawley, Jon W Hand, Michael Kummert, et al. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs [A]. In: Proceedings of IBPSA Conference [C], Montréal, 2005: 231-238
- [9] Hendom R, Anderson, R, Christensen C, et al. Development of an Energy Savings Benchmark for All Residential End-Uses [A]. In: Proceedings of Simbuild [C], Boulder: 2004