

上海某商务区能源站空调负荷预测

林美顺, 潘毅群

(同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘要: 区域建筑群负荷预测是能源站系统容量配置的基础, 在研究区域建筑负荷预测方法的基础上, 运用软件模拟与情景分析相结合的方法, 预测上海某商务区能源站供能区域建筑群空调冷、热负荷, 进而预测能源站的空调负荷, 并对入住率进行情景分析, 计算不同入住率下的系统容量, 为能源站系统容量配置提供基础数据。

关键词: 能源站; 负荷预测; 软件模拟; 情景分析; 入住率

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2016)03-0013-05

Air-conditioning Load Prediction of a CBD Energy Center in Shanghai

LIN Mei-shun, PAN Yi-qun

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: District building load prediction is the basis of an energy center system sizing. Based on the study about district building load prediction, this paper used a new method combining software simulation and scenario analysis to forecast a CBD's building air-conditioning loads in Shanghai, then predicted the air-conditioning loads of the energy center. Considering the impact of occupancy rate on the district building loads, scenario analysis is also used to calculate the system capacity. The results provided basic data for energy center design.

Key words: energy center; load prediction; software simulation; scenario analysis; occupancy rate

0 引言

近年来随着社会经济的快速发展和城市化进程的稳步推进, 各大城市相继建设较大规模的商务区, 能源站集中供冷供热成为实现供能区域低碳目标和可持续发展的优选之一。但对已建成的能源站项目调研发现, 现运行的能源站系统设备配置过大, 负荷率很低, 不能实现节能、高效、环保、经济运行的设计初衷。究其最根本的原因是设计负荷偏大, 而且供能区域内建筑的入住率也对负荷有很大影响, 在商务区建设之初, 入住率不能达到设计要求, 造成能源站供能侧负荷远大于实际用户需求侧负荷。相对准确的负荷预测是实现能源站项目可持续运行的重要基础, 设计负荷直接关系到装机容量、输配系统、供能管网设计及初投资等问题, 全年累计负荷关系到设备的利用率和年运行费用等问题^[1]。负荷预测是能源站系统配置和运行策略设计的基础, 对项目的环境效益和经济效益影响很大。大型能源项目的建设通常分为用能规划、系统设计、系统运行等阶段, 在不同的阶段, 都需要

要对冷热负荷进行较为准确的预测。

能源站供能区域建筑负荷预测是能源站空调负荷预测的关键。在规划阶段, 由于单体建筑的具体设计还没有完成, 建筑体形、室内热扰、围护结构热工性能、建筑使用时间表等影响单体建筑负荷的信息未知^[2], 且区域内建筑布局及区域微气候对建筑群负荷的影响亦不确定^[3], 使得区域建筑群负荷预测具有较大的前瞻性和不确定性。

本文在对区域建筑负荷预测方法研究总结的基础上, 运用软件模拟与情景分析相结合的方法, 对上海某商务区内的能源站进行负荷预测及分析, 为能源站系统容量配置提供基础数据。该商务区将成为上海国际贸易中心标志性区域之一, 为生态、智慧、高品质并举的商务功能区。为实现该商务区低碳、智慧、宜人的规划目标, 贯彻节能、环保、节约的思想并获得足够的社会效益和经济效益, 商务区采用区域供冷供热系统, 提升能源的综合利用效率, 减轻电网压力, 减少污染物排放和城市热岛效应, 这具有极大的节能减排示范意义。

收稿日期 2015-08-08; 修回日期 2016-03-03

1 区域建筑负荷预测方法

区域建筑负荷预测方法主要有面积负荷指标法、统计模型预测方法、软件模拟预测方法、情景分析方法等^[4]。

面积负荷指标法是指采用单位面积负荷指标法估算出各单体建筑的负荷,再把各单体建筑的负荷简单叠加,然后乘以同时使用系数,这是一种静态的计算方法,不能反映区域中负荷的时间动态特性。而且同时使用系数的选取常根据规范及经验,缺乏理论依据,工程实践中使用面积负荷指标法常高估区域建筑负荷^[5]。

统计模型预测方法以历史数据为基础,利用统计学等相关技术手段对数据进行科学分析,建立负荷预测模型。此类方法主要有回归分析法、时间序列法、人工神经网络法、支持向量机法、灰色理论法等以及各种方法的综合利用。该方法工作量大,物理意义不明显,而且在缺乏历史数据的情况下,应用起来存在一定的困难。

软件模拟预测方法是以能耗模拟软件为工具,根据典型年气象参数、详细的建筑信息以及设计参数,计算该建筑的逐时负荷。目前,国内外已经开发了许多的能耗模拟软件,如 DOE-2、EnergyPlus、DeST 等。应用能耗模拟软件可以获得该建筑全年逐时冷负荷,通过分析逐时负荷的动态特性,可以得到系统的峰值负荷、负荷的季节变化、日间变化及逐时变化,进而可以获得不同比率的部分负荷下系统运行时间。然而区域建筑需建立不同类型建筑的模型,计算量往往较大,建立区域内的典型建筑模型^[6]可以在保证精度的前提下大大减少计算量。尤其在区域用能规划阶段,建筑的详细资料还未完成,可以建立能够反映该类型建筑负荷情况的典型建筑模型来预测区域建筑群负荷。典型建筑模型的建立尤为关键,直接影响负荷预测结果的准确性。

在进行区域负荷与能耗模拟时,由于缺乏详细参

数,很多参数不确定或者未知的情况下,需要进行定性分析,设定可能发生的几种情景,即应用情景分析(scenario analysis)方法。“情景”是指对未来情形以及能使事态由初始状态向未来状态发展的一系列事实的描述。情景分析法可对影响建筑负荷的多种不确定因素(建筑朝向、围护结构热工参数、室内负荷强度、建筑使用时间表等)进行情景设置,用软件计算不同情景下的建筑负荷,再根据城区功能定位、同类型城区建筑用能调研等资料,给定不同情景负荷出现的概率,从而预测建筑群负荷^[7]。

通过对各类负荷预测方法的比较(见表1),本论文采用软件模拟和情景分析相结合的方法对能源站负荷进行预测。具体步骤如下:

(1)首先,根据规划资料确定典型建筑的类型。其次,由于建筑内部负荷对建筑负荷的影响较大,为了在区域尺度上能够更好地预测建筑群的负荷情况,运用情景分析法,设置几种常见的内部负荷情景,综合考虑内部负荷对建筑负荷的影响,进而得到典型建筑的逐时负荷结果(单位面积负荷)。

(2)再对典型建筑模型的负荷指标进行区域尺度的面积扩展,得到相应的区域建筑群逐时冷、热负荷。

建筑群负荷:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \times A_i \quad (1)$$

式中: Q_j 为建筑群 j 时刻的负荷值, W;

b_{ij} 为 i 类型建筑 j 时刻的单位面积负荷, W/m²;

A_i 为区域内 i 类型建筑总面积, m²;

n 为建筑类型总数。

(3)最后,考虑管网损失,预测能源站供给的逐时空调冷、热负荷。

能源站空调负荷:

$$Q'_j = (1+\eta) \times Q_j \quad (2)$$

式中: Q'_j 为能源站 j 时刻的供能空调负荷值, W;

η 为管网损失,根据设计手册^[9]推荐,取5%。

表1 各类区域建筑负荷预测方法比较^[8]

预测方法	预测阶段			预测周期			特点
	用能规划	系统设计	系统运行	短期	中期	长期	
面积负荷指标法	√	√				√	静态的估算方法,不能反映负荷的动态变化,且往往高估区域建筑负荷
回归分析法			√	√	√	√	需大量历史数据,获得影响因子与负荷之间的回归函数,预测精度不高
统计模型			√	√			需大量历史数据,且建模过程比较复杂,需要较高的理论知识
神经网络法			√	√			需大量历史数据,能处理非线性关系,预测精度高,但建模复杂,输入变量选择不当会影响预测结果
支持向量机法			√	√			所需历史数据较少,能处理非线性关系,预测精度高,但计算速度慢
灰色理论法	√	√	√		√	√	所需历史数据较少,预测精度一般
软件模拟预测法	√	√			√	√	反映负荷的动态性,需要气象参数及详细的建筑信息,计算精度高
情景分析法	√	√			√	√	需要设定多种情景,仍具有不确定性

2 供能区域建筑群负荷预测

2.1 供能区域建筑类型及面积

本项目设计3个能源站以满足商务区内的建筑负荷要求,全部供能区域建筑面积为312万m²;其中1#能源站负担96万m²,并分三期建设,2#能源站负担83万m²,3#能源站负担133万m²;主要建筑功能类型有办公、商场、酒店。具体统计见表2。

表2 能源站供能区域建筑类型及面积

能源站房	项目进度	办公/m ²	商场/m ²	酒店/m ²	总计/m ²
1#	一期	142 264.93	11 368.3	98 105.57	251 738.8
	二期	172 797.34	127 451.32		300 248.66
	三期	164 325	246 488		410 813
	小计	479 387.27	385 307.62	98 105.57	962 800.46
2#		435 667	401 271		826 938
3#		751 930	579 215		1 331 145

2.2 典型建筑模型的建立

本项目规划资料提到的建筑业态主要为商务办公、商业服务业及酒店、公寓式酒店,所以选择的典型建筑模型类型为办公建筑、商场建筑、酒店建筑。建立典型建筑模型的依据有相同功能建筑的实际调研资料及当地建筑节能设计标准等。选用EnergyPlus能耗模拟软件建立并计算典型建筑模型的逐时负荷,其中,气象参数选用上海地区典型气象年数据,各类典型建筑模型的三维效果图见图1。

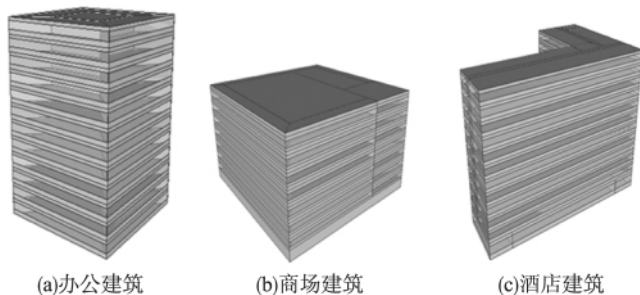


图1 典型建筑模型三维图

围护结构热工指标及室内设计参数均参照上海市DG 108—107—2012《公共建筑节能设计标准》和GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》,建筑空调系统运行时间如表3所示。此外,根据任务书的明确要求,供冷期为每年5月16日—10月15日,共150d;供暖期为12月1日—次年3月15日,共105d。

2.3 情景设置

室内负荷的设计对建筑负荷影响较大,为了使能源站负荷预测比较准确,根据建筑的档次,同时参考

表3 空调系统运行时间表

类别	系统工作时间	
办公建筑	工作日	7:00—18:00
	节假日	
酒店建筑	全年	1:00—24:00
商场建筑	全年	8:00—21:00

上海市DG 108—107—2012《公共建筑节能设计标准》和GB 50198—2015《公共建筑节能设计标准》中规定的人员密度、照明功率密度和电器设备功率的要求,对三类建筑分别设置3种情景(见表4)。根据商务区的功能定位及经验,预测上述各类情景的分布比例(见表5),综合各种情景,即可计算得到典型建筑的逐时冷、热负荷指标。

表4 典型建筑模型的情景设置

建筑类别	情景	人员密度 / (m ² /人)	照明负荷 / (W/m ²)	设备负荷 / (W/m ²)	新风量 / (m ³ /人·h)
办公建筑	情景1	4	11	20	30
	情景2	8	18	13	30
	情景3	10	9	15	30
商场建筑	情景1	3	12	13	20
	情景2	4	19	13	20
	情景3	8	10	13	20
酒店建筑	情景1	15	15	20	30
	情景2	30	15	13	30
	情景3	25	7	15	30

表5 商务区建筑室内负荷情景设置

建筑类型	办公建筑	商场建筑	酒店建筑
权重	情景1	0.3	0.3
	情景2	0.4	0.5
	情景3	0.3	0.2

3 能源站负荷预测结果及分析

3.1 能源站供能区域建筑群负荷

通过建立典型建筑模型,并对内部负荷进行情景设置,综合考虑各种情景的分布,计算得到典型建筑模型的逐时负荷指标,再进行区域面积扩展,计算供能区域建筑群的逐时空调负荷。对单体建筑及能源站供能区域建筑群的负荷指标及峰值出现时间做统计,结果见表6。

由于能源站的供能区域建筑类型及建筑面积不同,所计算得到的峰值负荷及出现时间亦不相同,不同功能建筑的混合及建筑配比调整,将对区域建筑群的负荷起到调峰的作用。

3.2 能源站空调负荷

考虑区域供能的管网损失,计算能源站的供能空

表6 单体建筑及能源站供能区域建筑群负荷指标、峰值出现时间统计

类型	冷负荷		热负荷	
	峰值负荷 / (W/m ²)	出现时间	峰值负荷 / (W/m ²)	出现时间
办公	77.39	8月7日 14:00	54.85	1月2日 8:00
商场	105.93	7月19日 12:00	33.8	12月23日 9:00
酒店	72.77	6月29日 18:00	47.62	12月20日 7:00
1# 一期	70.7	6月29日 17:00	43.41	1月2日 8:00
1# 二期	88.04	8月7日 14:00	34.54	1月2日 8:00
1# 三期	92.44	8月7日 14:00	32.31	1月9日 9:00
2#	90.5	8月7日 14:00	33.28	1月9日 9:00
3#	88.31	8月7日 14:00	34.03	1月2日 8:00

调负荷,各能源站设计日空调负荷及全年累计空调负荷统计见表7、表8。

表7 设计日能源站供能空调负荷

能源站房	能源站供能空调负荷			
	小时负荷 /MW		日负荷 /MWh	
	供冷	供热	供冷	供热
1# 一期	18.69	11.47	224.86	98.72
1# 二期	27.76	10.89	278.02	77.85
1# 三期	39.88	13.94	415.63	120.65
2#	78.58	28.90	797.45	200.41
3#	123.43	47.57	1 239.50	340.04

表8 能源站供能全年空调累计负荷

能源站房	全年累计冷负荷 / (万 kW·h)	全年累计热负荷 / (万 kW·h)
1# 一期	1 523	696
1# 二期	2 284	342
1# 三期	3 722	421
2#	6 748	923
3#	10 244	1 507

3.3 能源站空调负荷率的时间分布

空调负荷率是指逐时负荷与峰值负荷的百分比,仅统计能源站供能时间内的空调负荷率^[10],各能源站供能时间见表9。

表9 能源站供能时间表

能源站	业态	供能时间	供冷小时数 /h	供热小时数 /h
1# 一期	办公、商业、酒店	1:00-24:00	3 600	2 520
1# 二期	办公、商业	7:00-21:00	2 250	1 575
1# 三期	办公、商业	7:00-21:00	2 250	1 575
2#	办公、商业	7:00-21:00	2 250	1 575
3#	办公、商业	7:00-21:00	2 250	1 575

对预测的负荷结果进行统计,得到各能源站的空调冷、热负荷率的时间分布及负荷率分布的时间频度(见表10~11)。

表10 各能源站空调冷负荷率分布的时间频度

能源站	负荷率 /%			
	0~25	25~50	50~75	75~100
1#1 期	68	19	10	3
1#2 期	35	40	17	8
1#3 期	24	41	26	8
2#	32	42	18	8
3#	34	41	17	8

表11 各能源站空调热负荷率分布的时间频度

能源站	负荷率 /%			
	0~25	25~50	50~75	75~100
1#1 期	63	28	8	2
1#2 期	69	21	9	1
1#3 期	71	22	6	2
2#	68	21	9	2
3#	68	21	9	2

3.4 同时使用系数

同时使用系数的计算公式如下:

$$\text{同时使用系数} = \frac{\text{各类建筑叠加某时刻最大负荷}}{\text{各类建筑最大负荷之和}} \quad (3)$$

根据软件模拟得到的典型建筑负荷及能源站供能区域建筑群负荷,计算各能源站供能区域建筑的同时使用系数(见表12)。

表12 冷、热负荷计算的同时使用系数

能源站	冷负荷计算	热负荷计算
1# 站一期	0.92	0.85
1# 站二期	0.98	0.75
1# 站三期	0.98	0.77
2# 站	0.98	0.73
3# 站	0.98	0.74

目前,同时使用系数的选取仍缺乏理论依据,若不考虑实际设计的供能建筑群负荷特点,仅根据规范和项目经验选取同时使用系数,必然会导致区域负荷预测不准确。运用软件模拟计算建筑逐时负荷的方法,则可以规避同时使用系数选取的问题。

3.5 入住率对能源站容量配置的影响分析

通过对能源站项目的调研发现,现运行的能源站系统配置过大,负荷率低,究其原因,是系统配置时按照入住率为100%进行计算的,而实际能源站服务区域的建筑出租率及入住率较低,导致系统运行工况下负荷率偏低。对于大型能源站的服务区域,大多是分期建设,建筑群的入住率更不是能源站开始运行就能达到100%。入住率与商务区开发进度、周边设施等众多影响因素相关,这里不做重点研究,仅通过情景分析

表 13 不同入住率下的装机容量

类别	入住率 40%		入住率 60%		入住率 80%		入住率 100%	
	能源站供冷装机容量 /MW	能源站供热装机容量 /MW	能源站供冷装机容量 /MW	能源站供热装机容量 /MW	能源站供冷装机容量 /MW	能源站供热装机容量 /MW	能源站供冷装机容量 /MW	能源站供热装机容量 /MW
1# 一期	7.48	4.59	11.21	6.88	14.95	9.18	18.7	11.5
1# 二期	11.10	4.36	16.65	6.53	22.20	8.71	27.8	10.9
1# 三期	15.95	5.57	23.93	8.36	31.90	11.15	39.9	13.9
2#	31.43	11.56	47.15	17.34	62.86	23.12	78.6	28.9
3#	49.37	19.03	74.06	28.54	98.74	38.05	123.4	47.6

的方法计算不同入住率下的能源站装机容量,即将入住率为 100%时的各能源站装机容量分别乘以情景设置的入住率值,得到相应入住率下的装机容量。

由表 13 可知,入住率对能源站容量的配置影响较大,如果实际建筑群的入住率不能达到设计计算时的数值,那么容量配置就过大,导致系统运行工况下的负荷率偏低,系统不能高效运行。

4 结论

本文针对能源站项目用能规划阶段建筑详细设计资料未完成的情况,采用软件模拟与情景分析相结合的方法,对能源站的空调负荷进行预测,统计了能源站的设计日空调负荷、全年累计空调负荷、空调负荷率的时间分布及同时使用系数,并讨论了入住率对能源站装机容量的影响,为能源站系统容量配置提供基础依据。区域建筑群负荷预测是能源站项目的基础,而典型建筑模型的建立与模拟是负荷预测的关键。负荷预测是能源站项目的难点之一,既有复杂的技术问题又与当地生活习惯、消费水平和市场行为等诸多因素有关,所以需要随着规划设计的不断深入,设计资料的不断完整,对负荷预测做进一步的完善,在设计、建设的各个阶段进行修正和调整。

参考文献:

[1]王国弟,翁彦,徐巍,等.上海某能源中心空调负荷预测[J].发电与空调,

2014,35(4):67-70.

[2]Kavcic M,Mumovic D,Summerfield A,et al.Uncertainty and modeling energy consumption:Sensitivity analysis for a city-scale domestic energy model[J].Energy and Buildings,2013,60:1-11.

[3]潘毅群,郁丛,龙惟定,等.区域建筑负荷与能耗预测研究综述[J].暖通空调,2015,45(3):33-40.

[4]欧科敏,韩杰,周晋,等.区域建筑冷热负荷预测方法及其研究进展[J].暖通空调,2014,44(10):94-100.

[5]龙惟定.建筑节能管理的重要环节——区域建筑能源规划[J].暖通空调,2008,38(3):31-38.

[6]韩传忠,端木琳,舒海文,等.区域供冷负荷预测模型的建立[J].建筑热能通风空调,2012,31(1):9-11.

[7]龙惟定,白玮,张改景,等.区域建筑能源规划:建筑节能基础[J].建设科技,2008,(6):60-63.

[8]郝有志,李德英.热负荷预测方法评析[J].建筑热能通风空调,2003,(1):26-27.

[9]陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].(第二版).北京:中国建筑工业出版社,2008.

[10]瞿燕,潘毅群,黄治钟.上海世博园区空调动态负荷预测与研究[J].暖通空调,2008,38(10):9-17.

作者简介:林美顺(1990),女,朝鲜族,黑龙江人,供热、供燃气、通风与空调工程专业,硕士研究生,主要从事建筑节能、区域能源方向的研究(lynnfuture@hotmail.com)。

指导教师:潘毅群,教授,博士生导师,主要从事建筑模拟与仿真、绿色建筑技术方向的研究(yiqunpan@tongji.edu.cn)。