

时间序列方法及其在实际办公楼能耗预测中的应用

周芮锦¹, 潘毅群², 黄治钟²

(1.同济大学机械工程学院, 上海 201804 2.同济大学中德工程学院, 上海 201804)

摘要: 建立了基于时间序列分析方法的建筑能耗预测模型, 对上海某办公建筑逐月能耗进行预测。采用 CensusX12 方法进行季节调整, 建立 ARMA 时序模型, 并对季节因子进行温度化处理。模拟结果表明, 采用时间序列分析的方法来预测建筑能耗是一种有效方法。

关键词: 时间序列; 建筑能耗预测; ARMA 模型

中图分类号: TU111.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2012)02-0055-05

Time Series Analysis Method and Its Application in Energy Consumption Forecast of an Actual Office Building

ZHOU Rui-jin¹, PAN Yi-qun², HUANG Zhi-zhong²

(1.College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Sino-German College of Applied Sciences, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Based on time series analysis method, it establishes a forecast model of building energy consumption to forecast the monthly energy consumption of an office building in Shanghai. CensusX12 method is used to do seasonal adjustment, ARMA model is established and the seasonal factor is processed with accumulated temperature. The forecast results show that time series analysis method is applicable for building energy consumption forecast.

Key words: time series; building energy consumption forecast; ARMA Model

0 引言

建筑节能工作中对于建筑能耗的科学分析和合理预测, 不仅有助于优化建筑控制策略与日常运行, 还对建筑能源管理起着很大作用。建筑能耗预测方法主要分为两大类: ①正演模型(forward modeling); ②数据驱动模型(data-driven modeling)。前者用于支持建筑与空调系统设计与设计优化, 目前许多国家开发的具有不同特点的建筑能耗模拟计算软件, 例如 e-Quest、EnergyPlus、DeST 等, 都是采用的这种模拟方法。后者用于模拟预测既有建筑的能耗, 基于既有建筑的能耗记录数据和账单得出数据驱动模型, 以建立能耗基准、计算分析节能改造措施的节能效果^[1]。

时间序列分析方法属于数据驱动模型, 是统计学的一个分支。时间序列分析根据系统观测得到的时间序列数据, 通过曲线拟合和参数估计来建立数学模型, 对数据的未来值进行预测。国内外学者将时间序列方法应用于广泛的研究领域。焦文玲等^[2]采用时间序列分析方法对城市天然气短期负荷进行预测; 周恩泽等^[3]采用时间序列分析方法对供热负荷进行预测; S.Sp. Pappas 等^[4]采用时间序列 ARMA 模型对希腊的电力需求负荷进行预测。

收稿日期 2011-11-07; 修回日期 2011-11-17

建筑系统存在巨大惯性, 在考虑一定随机性的基础上, 下一个预测时刻的建筑能耗很大程度上与其历史情况密切相关。基于建筑能耗的这种特征, 采用时间序列分析的方法来预测建筑能耗, 将是一种准确有效的方法。它将建筑能耗的历史呈现并且科学利用, 来预测能耗的未来值。本文将基于时间序列分析方法, 并结合季节因子温度化的处理, 对建筑物能耗进行预测。

1 基于时间序列分析方法的建筑能耗预测模型

基于时间序列方法的建筑能耗预测模型的建立可分为 4 个步骤: ①时间序列的建立与预处理; ②季节调整序列模型的建立与预测; ③季节因子的温度化处理与预测; ④建筑能耗的预测。

1.1 时间序列的建立与预处理

按照一定的时间间隔对所研究系统的响应进行数据采集, 建立构成建筑能耗值的时间序列 $\{X_t\}$, 然后根据这组时间序列数据的特征, 采用相应的时序分析方法对其进行预处理。

月度观测值的季节性变动会将时间序列数据中所包含的一部分客观规律掩盖, 因此, 在分析之前需要对时间序列数据进行季节调整, 显示出序列中能够

真实地反映时间序列运动的客观规律的趋势循环分量^[5] ,并对其作进一步分析。

本文采用 CensusX12 方法加法模型^[5]对原时间序列进行季节调整,将原始时间序列 X_t 分解为季节因子(S_t)、趋势循环项(TC_t)和不规则因子(I_t) :

$$X_t = S_t + TC_t + I_t \quad (1)$$

采用 X12 方法对时间序列进行季节调整,分解其构成因素是一个复杂的迭代运算过程^[5] ,在本文将利用 Eviews 软件完成对原序列的季节调整,原序列 X_t 经过季节调整并提出季节因子 S_t 后得到季节调整序列 SA_t :

$$SA_t = TC_t + I_t \quad (2)$$

对序列 SA_t 建立时间序列模型之前,还需要对该序列数据进行平稳性检验。因为对于一个非平稳时间序列,序列的数字特征随着时间变化而改变,对其进行建模比较困难,必须在建模之前分析其是否具有平稳性。本文采用 ADF 单位根检验法^[6]对序列的平稳性进行检验,通过检验的时间序列才能进入下一步建模。

1.2 季节调整序列模型的建立与预测

这一步是对所建的平稳时间序列样本,通过模型的识别、模型的定阶、模型参数的估计以及模型适应性的检验,建立适合该时间序列的 ARMA 模型并进行预测。

平稳时间序列,在时刻 t 的响应 SA_t ,不仅与其以前时刻的自身值($SA_{t-1}, SA_{t-2}, \dots$)有关,还与其以前时刻进入系统的扰动(a_{t-1}, a_{t-2}, \dots)存在一定相关关系,可采用自回归移动平均模型(ARMA, Auto Regressive Moving Average model)进行建模。ARMA(n, m)(n 阶自回归 m 阶移动平均模型)的基本表示形式为:

$$SA_t - \varphi_1 SA_{t-1} - \varphi_2 SA_{t-2} - \dots - \varphi_n SA_{t-n} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_m a_{t-m} \quad (3)$$

式中 $\varphi_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为自回归系数 $\theta_i (i=1, 2, \dots, m)$ 为滑动平均系数。首先,采用 Box-Jenkins 方法进行模型识别,即依据时间序列的自相关函数图与偏自相关函数图,初步判断时间序列所适合的模型类型(见表 1)^[6]。

表 1 Box-Jenkins 模型识别方法

Tab.1 Box-Jenkins Model Identification Method

自相关函数	拖尾	截尾	拖尾
偏自相关函数图	截尾	拖尾	拖尾
模型(序列)	AR(n)	MA(m)	ARMA(n, m)

然后对模型进行定阶,常用的方法有残差方差图定阶法、F 检验定阶法和准则函数定阶法等,本文采用准则函数定阶法,根据两个常用的定阶准则:AIC 准则(A-Information Criterion 最小信息准则)与 BIC 准则(Schwarz 信息准则),当这两个准则数为最小时,是模型拟合精确度与模型中参数个数的综合选择最优

方案,所选择的模型阶数为最佳模型阶数。

确定模型阶数后,采用广泛适用的最小二乘估计方法对模型的参数 φ_i, θ_i 进行估计,并对模型进行适应性检验,即检验残差序列是否为白噪声序列以判断模型是否完全或基本上解释了系统的动态特性。若模型未通过适应性检验,则需对模型进行修改或重新识别,直至通过检验,表明所建时间序列模型是对时间序列动态特性和发展变化规律的客观描述,才可利用其对未来值进行预测。根据 ARMA 模型所得到的季节调整预测值 SA_{t+l} 可以表示为:

$$SA_{t+l} = \varphi_1 SA_{t+l-1} + \varphi_2 SA_{t+l-2} + \dots + \varphi_n SA_{t+l-n} + a_{t+l} - \theta_1 a_{t+l-1} - \theta_2 a_{t+l-2} - \dots - \theta_m a_{t+l-m} \quad (4)$$

1.3 季节因子的温度化处理与预测

这里采用引入积温的概念。积温定义为某一时段内逐日平均气温的累积值。由原序列 X_t 提出的月度季节因子 S_t 很大程度上由逐月积温决定,因此,采用拟合的方法研究季节因子与逐月积温值的关系,并用积温变量来表示季节因子,更具有物理意义与实际效应。

在建立季节因子与积温的回归拟合关系之前,计算出 Pearson 相关系数 r_{XY} ,判断两变量的相关性:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

若两变量具有显著相关性,即可对两变量进行回归拟合。根据回归方程的统计量结果,选择其中最优的数学方程模型 $S_t = f(T_t)$,对季节因子以月度积温预测值为自变量进行预测。

对于月度积温的预测,因为每一年同月份的积温值的波动不是太大,且受到近几年同月份的积温值的一定相关影响,所以本文采用不同权重值的方法预测 2010 年 12 个月份的积温值,可以用下式表示:

$$T_{2010,i} = a_1 T_{2009,i} + a_2 T_{2008,i} + a_3 T_{2007,i} (i=1, 2, \dots, 12) \quad (6)$$

式中 $a_1 + a_2 + a_3 = 1$, 分别为 2009 年、2008 年、2007 年所占的权重值。因为时间越靠近,对同月份积温的影响越大,取 $a_1 = 0.5, a_2 = 0.35, a_3 = 0.15$ 则:

$$T_{2010,i} = 0.5 T_{2009,i} + 0.35 T_{2008,i} + 0.15 T_{2007,i} (i=1, 2, \dots, 12) \quad (7)$$

由式(7)可得到,季节因子的预测模型可表示为:
 $S_{2010,i} = f(T_{2010,i}) = f(0.5 T_{2009,i} + 0.35 T_{2008,i} + 0.15 T_{2007,i}) \quad (8)$
 即可以采用月度积温值的历史采样值对季节因子的未来值进行预测。

1.4 建筑能耗的预测

最后通过对季节调整序列 SA_t 建立 ARMA 模型以预测得到其未来值,再通过对季节因子 S_t 采用月度积温 T_t 回归拟合后进行预测得到其未来值,则可由 X12 加法模型,即式 $X_t = SA_t + S_t$ 对建筑逐月能耗值进行预测。

2 建筑能耗预测实例

将上述建筑能耗预测的理论与方法应用于上海市某办公建筑,采集 2007 年 1 月~2009 年 12 月该建筑能耗数据与上海市天气数据,预测 2010 年 1 月~12 月的建筑能耗。该办公建筑总建筑面积 77 000 m²,空调面积约占 80%,采用冷水机组和燃气热水锅炉作为冷热源。将建筑物的用电量、燃气量分别进行时间序列分析预测,不仅建立时间序列模型的方法更为简易,也方便实际中建筑能耗优化管理与节能措施的改进采用。本文只涉及对该建筑物用电量的时间序列分析预测方法的研究分析。

2.1 时间序列的建立与预处理

记录从 2007 年 1 月~2009 年 12 月每个月的耗电量,共得到 36 个采样点,构成该建筑电负荷时间序列并作该序列时序图(如图 1)。

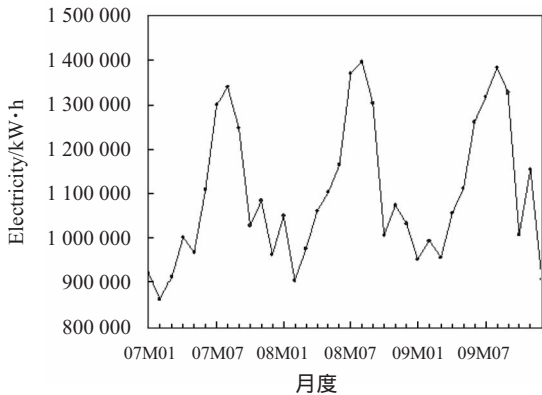


图 1 上海市 A 办公建筑 2007~2009 年度逐月用电量时序图

Fig.1 Sequence diagram of monthly electricity consumption from 2007 to 2009 of office building A in Shanghai

由图 1 看出用电量呈现明显的季节特征,利用 Eviews 软件对序列采用 X12 加法模型进行季节调整,季节调整的结果如图 2 所示。图 2(a)显示的是原序列经过 X12 加法模型季节调整后得到的季节调整序 $Electricity_SA_t$;图 2(b)显示的是逐月用电量的季节因子 $Electricity_S_t$;图 2(c)显示的是提出季节因子和不规则因子后所得到的趋势循环项 $Electricity_TC_t$;图 2(d)显示的是逐月用电量的不规则因子 $Electricity_I_t$ 。

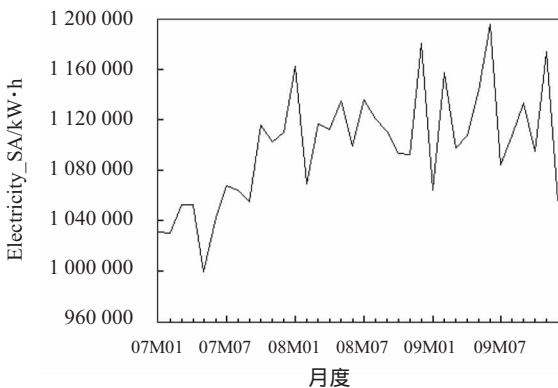


图 2(a) 上海市 A 办公建筑逐月用电量季节调整序列

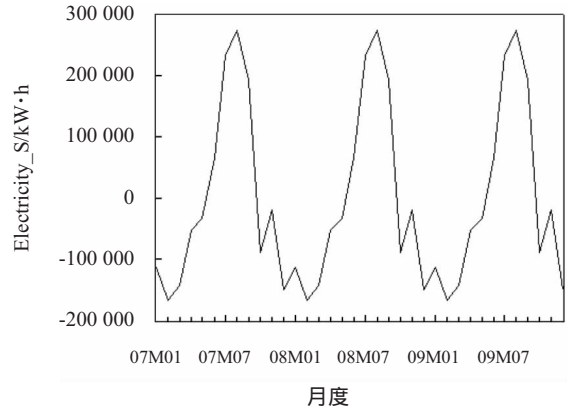


图 2(b) 上海市 A 办公建筑逐月用电量季节因子序列

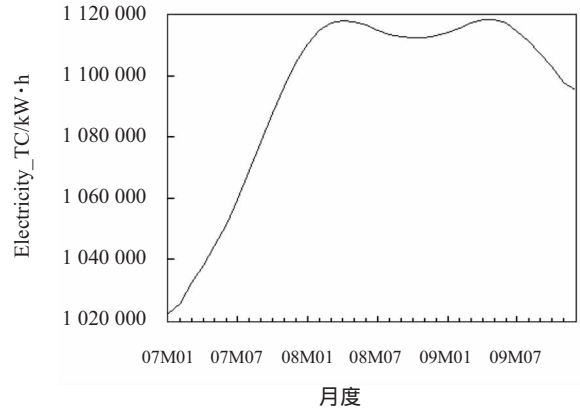


图 2(c) 上海市 A 办公建筑逐月用电量趋势循环序列

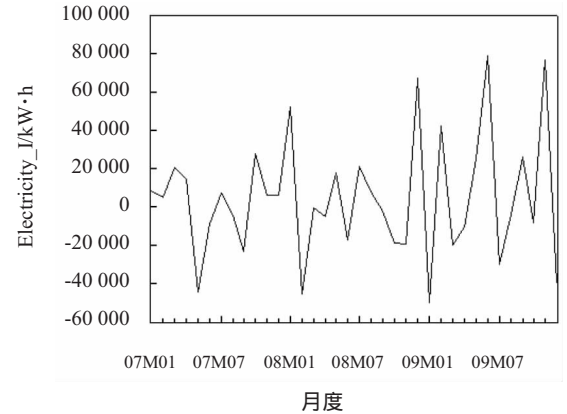


图 2(d) 上海市 A 办公建筑逐月用电量不规则因子序列

图 2 上海市 A 办公建筑 2007~2009 年度逐月用电量的季节调整结构(加法模型)

Fig.2 Seasonal adjustment structure of monthly electricity consumption from 2007 to 2009 of office building A in Shanghai (Additive Model)

对季节调整序列 SA_t 建立时间序列模型之前,笔者采用假设检验法即单位根检验法 (Unit Root Test) 进行平稳性检验。检验结果见表 2,单位根的 t 检验统计量值为 -4.502 820,在 1%、5%、10%这 3 个显著性水平下,单位根检验的临界值分别为 -3.632 900、-2.948 404、-2.612 874,显然 t 检验统计量值小于相应临界值,从而不接受原假设,序列不存在单位根,即季节调整序列 SA_t 为一组平稳时间序列。

表2 Electricity_{SA}序列单位根检验结果
Tab.2 Unit root test result of Electricity_{SA} Series

	t 检验统计量	P 值.
ADF 检验统计量	-4.503	0.001 0
1% level	-3.633	
5% level	-2.948	
10% level	-2.613	

2.2 时间序列模型的建立与预测

根据 Electricity_{SA} 序列的自相关函数(ACF)和偏自相关函数(PACF)的统计特性如图 3 所示,初步判断时间序列所适合的模型类型为 ARMA(n, m)模型,且 n 在 2 附近, m 在 3 附近。

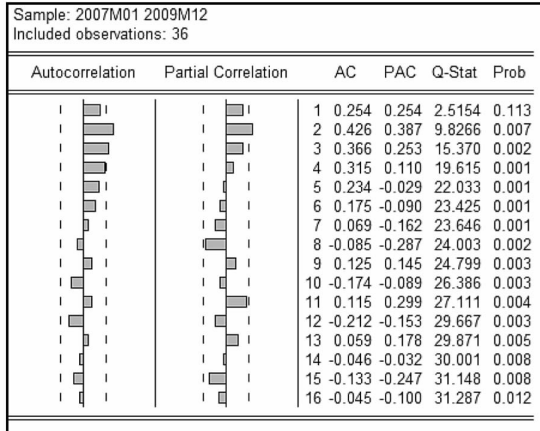


图3 Electricity_{SA}序列相关函数图示

Fig.3 Correlation function results of Electricity_{SA} Series

笔者选取 ARMA(2, 2)、ARMA(2, 3)、ARMA(3, 2)、ARMA(3, 3)、ARMA(2, 4)、ARMA(3, 4)这 6 个模型进行拟合,根据 AIC 准则函数值、BIC 准则函数值以及统计量结果选择最优模型阶数,模型 ARMA(2, 3)为时间序列 Electricity_{SA} 的最优时间序列模型,其参数估计的结果如图 4 所示。

Dependent Variable: ELECTRICITY_SA				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 2007M03 2009M12				
Included observations: 34 after adjustments				
Convergence achieved after 28 iterations				
Backcast: 2006M12 2007M02				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1115839.	5174.604	215.6376	0.0000
AR(2)	-0.661732	0.094301	-7.017237	0.0000
AR(1)	1.572447	0.110286	14.25794	0.0000
MA(3)	-0.598609	0.163104	-3.670110	0.0010
MA(2)	1.988224	0.301598	6.592293	0.0000
MA(1)	-2.314653	0.186694	-12.39809	0.0000
R-squared	0.606176	Mean dependent var	1103221.	
Adjusted R-squared	0.535850	S.D. dependent var	43451.87	
S.E. of regression	29603.12	Akaike info criterion	23.58793	
Sum squared resid	2.45E+10	Schwarz criterion	23.85729	
Log likelihood	-394.9949	F-statistic	8.619547	
Durbin-Watson stat	1.803740	Prob(F-statistic)	0.000049	
Inverted AR Roots	.79-.21i	.79+.21i		
Inverted MA Roots	.81+.46i	.81-.46i	.69	

图4 模型拟合结果图示

Fig.4 Model regression results

确定时间序列模型后,对模型适应性进行检验,主要是对模型的参数和残差序列进行检验。由图 4 可以看出,参数显著性检验的 P 值远小于 0.05,都通过统计检验。对残差序列进行 Q 检验,其结果见图 5。拟合检验统计量的 P 值都大于显著性检验水平 0.05,各阶的相关系数都在 95%的置信区间以内,即可以认为该残差序列为白噪声序列,通过模型的适应性检验,则时间序列 Electricity_{SA} 可以由下式表示:

$$\text{Electricity}_{SA,t+l}=1\ 115\ 839+1.572\ 447\text{Electricity}_{SA,t+l-1}-0.661\ 732\text{Electricity}_{SA,t+l-2}+a_{t+l}+2.314\ 653a_{t+l-1}-1.988\ 224a_{t+l-2}+0.598\ 609a_{t+l-3} \quad (9)$$

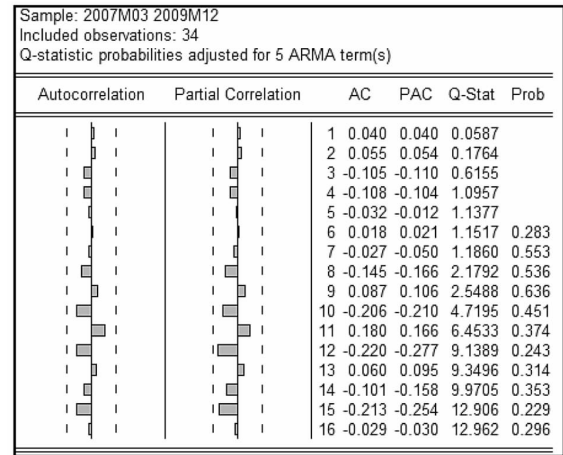


图5 模型 ARMA(2, 3)残差序列自相关函数图

Fig.5 Autocorrelation function results of

ARMA (2, 3) Model Residual Series

采用动态预测方法预测 2010 年 12 个月的建筑能耗值,即滞后因变量利用预测值,求出 2010 年 1 月~12 月的序列 Electricity_{SA} 预测值,将这些点连成曲线,及其 95%的置信区间如图 6 所示。

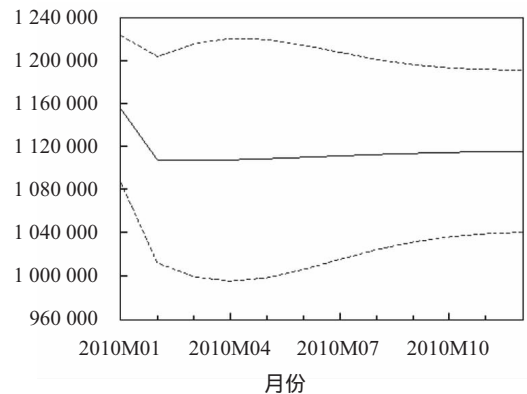


图6 Electricity_{SA} 预测值与 95%的置信区间

Fig.6 Forecast value of Electricity_{SA} with 95% Confidence Interval

2.3 季节因子的温度化处理与预测

笔者采集上海市 2007 年~2009 年共 36 个月的逐月积温值,并作积温序列时序图(如图 7)。

计算季节因子序列与积温序列的相关系数以准确衡量两序列的相关性,结果如表 3,其清晰地显示季节因子与积温这两个变量的相关系数是 0.865 844,

说明两变量之间存在着非常强的正相关性。

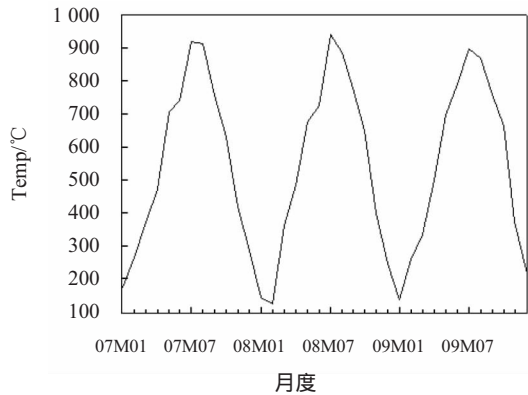


图7 上海市逐月积温序列

Fig.7 Monthly accumulated temperature series of Shanghai

表3 上海市A办公建筑逐月用电量季节因子序列与上海市逐月积温序列相关系数

Tab.3 Correlation coefficient of monthly energy consumption seasonal factor series of office building A and monthly accumulated temperature series of Shanghai

	积温 Temp	季节因子 Electricity_S
积温 T_t	1.000 000	0.865 844
季节因子 Electricity_S	0.865 844	1.000 000

本文采用 SPSS 软件对季节因子序列和积温序列进行回归拟合。将季节因子 $Electricity_S$ 作为因变量, 积温 $Temp$ 作为自变量, 并选取不同的数学方程模型进行回归, 根据回归结果的统计量判断, 选取二次函数(Quadratic)为最优回归拟合模型, R^2 为 0.848, F 检验值为 92.340, 表 4 为模型回归系数表。

表4 上海市A办公建筑逐月用电量季节因子与上海市逐月积温二次函数回归系数表

Tab.4 Quadratic function regression coefficients of monthly energy consumption seasonal factor series of office building A and monthly accumulated temperature series of Shanghai

	系数值	t 值	显著性水平 Sig.
T_t	-432.323	-2.113	0.042
T_t^2	0.873	4.636	0.000
常数 C	-81 535.858	-1.73	0.093

图 8 为拟合效果图, 图中 Actual 为季节因子 $Electricity_S$ 原值, Fitted 为拟合值, Residual 为拟合残差, 从图形上看回归拟合的结果理想。则季节因子 S_t 可由月度积温值 T_t 表示为:

$$S_t = 0.873 T_t^2 - 432.323 T_t - 81 535.858 \quad (10)$$

2.4 建筑能耗预测

由式(7)得到 2010 年逐月积温预测值, 然后将积温预测值带入式(8)得到季节因子 S_t , 2010 年预测值, 最后根据式(1)与式(2), $X_t = SA_t + S_t$ 可以得到建筑能耗

的预测量, 即:

$$Electricity_t = Electricity_SA_t + Electricity_S_t \quad (11)$$

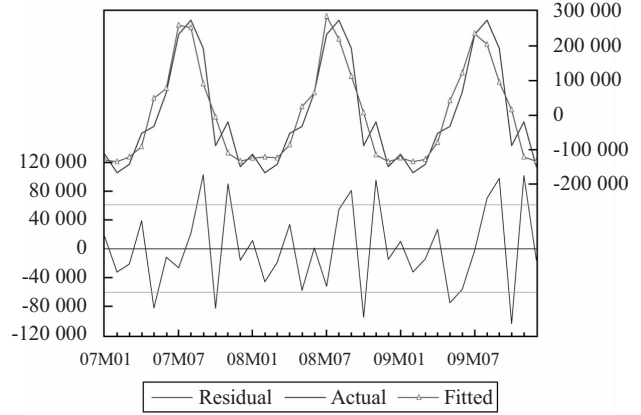


图8 上海市A办公建筑逐月用电量季节因子与上海市逐月积温回归拟合结果图

Fig.8 Regression result of monthly energy consumption seasonal factor series of office building A and monthly accumulated temperature series of Shanghai

预测结果如图 9 所示, 反映了预测能耗量和实测能耗量有较好的吻合, 也反映出预测能耗量与实测能耗量存在一定误差, 年度能耗量误差为 -16.48%, 最大月度相对误差为 18.2%, 最小月度相对误差为 2.7%。

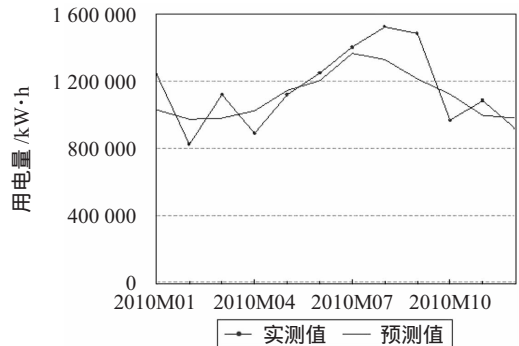


图9 上海市A办公建筑逐月用电量预测值与实测值拟合图

Fig.9 Forecast value and actual value of monthly electricity consumption of office building A in Shanghai

3 结论

在如今的社会能源消费中, 建筑是一个能耗大户, 建筑能耗预测对建筑节能工作的开展与优化起着重要的作用。本文基于时间序列分析方法, 采用 CensusX12 方法对建筑逐月能耗时间序列进行季节调整, 建立 ARMA 模型对季节调整序列进行预测, 并对季节因子提出温度化处理的方法加以预测, 得到精度较高的预测模型, 获取更具有实际物理意义的建筑能耗预测量。由于只有 3 年的实测数据作为时间序列数据样本, 对模型预测结果的准确性产生了一定影响, 但实例研究的结果显示在接受范围以内。目前所做的工作表明, 基于时间序列的建筑能耗(下转第 62 页)

闭,夜间和休息日停机。

(3)夏季空调最低设定室内不低于 26℃,冬季空调最高设定室温不高于 20℃。夏季以 26℃左右为宜,冬天以 18℃为宜。既能节约能源,又避免室内外温差太大引起身体不适。

4.3 未来节能潜力建议

根据办公楼 2008 年的用能情况分析,可以判断办公楼主要能耗集中在夏季制冷季节。建议办公楼可以安装或者设计建筑外遮阳,对建筑物本身进行降温。这样有利于降低夏季的空调能耗。

(1)由于建筑物修建时期并没有相应的公共建筑节能设计标准,建筑设计本身存在着设计缺陷。建筑围护结构的保温性能已经远远不符合节能需求。建议有条件的情况下可以对建筑进行节能改造,提高建筑物的保温性能。可以对建筑的外窗进行更换,将现有的单层窗更换为中空窗。

(2)为降低空调能耗,建议加强过渡季节使用电风扇,延缓空调的开启时间,不仅有利于空调能耗的降低,同时可以提高办公室室内工作环境。

(3)针对采暖锅炉及相关水泵进行检测和评估,可以分析和评价水泵的运行耗电量是否符合建筑物的设计标准及使用需求。建议聘请相关专业机构对采暖系统的设备和运行工况进行检测评估,为降低冬季采暖能耗提出专业意见及改造措施。

(4)该办公楼 2008 年单位面积的实际耗电量为 60.13 kW·h/m²,能耗接近调研的所有办公大楼平均能耗值。因此,建议该办公楼继续稳定维持现有用能现状,加强对高能耗设备进行相关检测和运行管理,对于各项办公能耗进行分项计量,提高能源的使用率,在提高办公环境质量的同时,适度降低或维持现阶段的建筑运行能耗。

5 结语

(1)通过本次审计调查,对该办公楼的各种系统设备用能、各种能源的使用情况有了一个较为全面的掌

握,通过与办公楼的专职能源管理人员、工程设备管理维修人员的交流与座谈,对该建筑的能源管理理念、管理制度以及管理措施方法等方面有了较为全面的了解。建立了基础的建筑情况数据库和建筑能耗水平数据库。对于今后研究全省机关办公大楼的建筑运行能耗状况奠定了数据基础。但是由于能耗状况还与设备的运行效率和大楼的具体管理细节有很大的关联,因此,对于大楼进行进一步详细的审计工作是有必要的。

(2)公共建筑在做好自身节能改造和管理的同时,需要给予能源审计工作更多的重视和更大的支持力度,这需要政府和各界媒体对节能工作所产生的社会、环境以及经济效益做出更细致、深入的宣传与报道。此外,如果政府在节能减排方面能够提供较好的激励政策和措施,这将对今后整个社会的节能工作起到更好的推动作用。同时,对于有标杆意义的重点建筑,建议进行建筑能耗分项计量和实时监控。对了解和掌握建筑物的实际运行模式和建筑能耗的详细情况有很大的帮助。

参考文献:

- [1]韩保华,马秀力,王成霞,等.国家机关办公建筑能耗现状与节能对策研究[J].建筑科学,2010(2):59-61.
- [2]龙惟定.我国大型公共建筑能源管理现状与前景[J].暖通空调,2007(4):19-23.
- [3]李明海,许红升,李迪.既有办公建筑节能改造技术经济效果分析研究[J].建筑节能,2009(6):62-64.
- [4]王燕,李安桂,师树海,等.西安市公共建筑夏季空调能耗调查与温湿度实时测试分析[J].暖通空调,2010(7):76-80.
- [5]左现广,唐鸣放.国内外建筑能耗调查与统计研究[J].重庆建筑,2003(2):16-18.

作者简介:周鑫(1986),男,陕西咸阳人,在读研究生,主要从事建筑技术方面的研究(xazhx09@126.com)。

(上接第 59 页)预测方法应用于实际办公类建筑是可行的,随着时间序列数据样本的增加,预测结果的准确性将会进一步提高。

参考文献:

- [1]Energy Estimating and Modeling Methods, 2005 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)[M].
- [2]焦文玲,金佳宾,廉乐明,等.时间序列分析在城市天然气短期负荷预测中的应用[J].哈尔滨建筑大学学报,2001,34(4):79-82.
- [3]周恩泽,方修睦.供暖热水锅炉房的热负荷预测[J].哈尔滨建筑大学学报,2000,33(3).
- [4]S.Sp. Pappas, L. Ekonomou, P. Karampelas, et al. Electricity demand

- load forecasting of the Hellenic power system using an ARMA model[J]. Electric Power Systems Research,2010(80):256-264.
- [5]高铁梅.计量经济分析方法与建模[M].北京:清华大学出版,2009.
- [6]张凌翔,张晓峒.ADF 单位根检验中联合检验 LM 统计量研究[J].统计研究,2010(9):84-90.
- [7]王振龙.应用时间序列分析[M].北京:中国统计出版社,2010.

作者简介:周芮锦(1987),女,重庆人,供热、供燃气、通风及空调工程专业,从事建筑节能方向的研究(sophia__585858@msn.com)。

指导教师:潘毅群,1997年毕业于同济大学机械学院供热、供燃气、通风与空调工程专业,获工学博士学位。