

电力系统短期负荷预测方法综述

廖旒焕¹, 胡智宏², 马莹莹³, 卢王允⁴

(1. 华北水利水电学院电力学院, 河南 郑州 450010; 2. 郑州轻工业学院电气信息工程学院, 河南 郑州 450002;
3. 山东省建设高压容器有限公司, 山东 济南 250101; 4. 周口市供电公司, 河南 周口 466000)

摘要: 简述了短期负荷预测的概念和意义, 分析了短期负荷预测的特点和影响预测精度的各种因素, 将目前的预测方法分为经典方法、传统方法、智能方法和预测新方法。综合分析了目前各种预测方法的应用原理, 详细分析和比较了各个预测方法的优点和不足之处。提出提高短期负荷预测的精度不仅重视历史数据的积累, 更应注重选择合适的预测模型, 综合预测模型是未来电力负荷预测方法的发展方向。

关键词: 电力系统; 短期负荷预测; 能量管理系统; 专家系统; 混沌理论

Review of the short-term load forecasting methods of electric power system

LIAO Ni-huan¹, HU Zhi-hong², MA Ying-ying³, LU Wang-yun⁴

(1. College of Electric Power, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450010, China;
2. College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;
3. Shandong Province Construction High Pressure Vessel Co. Ltd, Jinan 250101, China;
4. Zhoukou Power Supply Company, Zhoukou 466000, China)

Abstract: The definition and meaning of short-term load forecasting are introduced. The characteristics and factors affecting the precision of short-term load forecasting of power system are discussed. The current forecasting methods are divided into classical methods, traditional methods, intelligent methods, and new load forecasting methods, the applicable principle of every method is analyzed comprehensively, and the advantages and disadvantages of every method are analyzed and compared in detail. Therefore, to improve the precision of short-term load forecasting, we should not only focus on the accumulation of historical data, but also pay more attention to select the right forecasting model. Composite forecasting model is the direction of future development.

Key words: electric power system; short-term load forecasting; energy management system; expert system; chaos theory

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)01-0147-06

0 引言

短期电力负荷预测主要是指预报未来几小时、1天至几天的电力负荷, 电力负荷预测是能量管理系统的重要组成部分, 短期负荷预测不但为电力系统的安全、经济运行提供保障, 也是市场环境下的编排调度计划、供电计划、交易计划的基础^[1]。随着电力生产和消费日益市场化, 对负荷预测的准确性、实时性、可靠性和智能性提出了更高的要求, 因此, 负荷预测已经成为现代化电力系统运行和管理中的一个重要研究领域。

短期负荷预测作用的大小主要取决于预测精度, 因此如何提高预测精度是目前研究短期负荷预测理论和重点。关于短期负荷预测的研究已

有很长的历史, 国内外许多专家和学者在预测理论和方法方面做了大量的研究工作, 提出了很多预测模型^[2]。但是, 由于影响短期负荷的因素很多, 很多预测方法的预测精度和使用范围受到限制。因此, 针对目前的短期预测方法进行了综合比较分析, 分析了各种预测方法的原理、优点和不足之处, 并指出了未来短期负荷预测理论的研究方向, 为实际短期负荷的预测提供借鉴作用。

1 短期负荷预测的特点和影响因素

1.1 短期负荷预测的特点

电力负荷预测是根据电力负荷和其影响因素的历史数据, 建立相关的模型, 对未来电力负荷进行科学预测。短期负荷具有随机性和不确定性, 这就

使负荷预测具有以下明显的特点：(1) 预测结果的不确定性；(2) 由于各种负荷预测都是在具体的条件下进行的，具有条件性；(3) 短期负荷预测都有一定的时间范围，具有时间性；(4) 由于预测结果的不准确性和条件性，所以具有多方案性^[3]。

1.2 影响负荷预测精度的因素

负荷预测是根据负荷过去的历史资料，建立恰当的数学模型对未来的负荷进行预测。因此，预测精度主要受以下因素影响：(1) 历史数据；(2) 天气情况；(3) 日期类型；(4) 预测模型；(5) 社会事件等。

2 短期预测方法简述

短期负荷由于受天气变化、社会活动和节日类型等各种因素的影响，在时间序列上表现为非平稳的随机过程，但是影响系统负荷的各因素中大部分具有规律性，从而为实现有效的预测奠定了基础。目前用于短期负荷预测的方法很多，可以分为经典预测方法、传统预测方法和智能预测方法等。电力负荷预测研究的核心问题是如何利用现有的历史数据，建立预测模型，对未来时刻或时间段内的负荷值进行预测，因此，历史数据信息的可靠性和预测模型是影响短期负荷预测精度的主要因素。随着现在电力系统管理信息系统的逐步建立，以及天气预测水平的提高，准确获取各种历史数据已不再困难，因此，短期负荷预测的核心问题是预测模型的水平高低，以下内容对各种预测方法进行了分析和比较。

2.1 经典方法

2.1.1 回归分析法

回归分析预测方法是根据历史数据的变化规律和影响负荷变化的因素，寻找自变量与因变量之间的相关关系及其回归方程式，确定模型参数，据此推断将来时刻的负荷值。

回归分析法的优点是计算原理和结构形式简单，预测速度快，外推性能好，对于历史上没有出现的情况有较好的预测。

存在的不足是对历史数据要求较高，采用线性方法描述比较复杂的问题，结构形式过于简单，精度较低；该模型无法详细描述各种影响负荷的因素，模型初始化难度较大，需要丰富的经验和较高的技巧。

2.1.2 时间序列法

电力负荷的历史数据是按一定时间间隔进行采样和记录下来的有序集合，因此是一个时间序列，时间序列方法是目前电力系统短期负荷预测中发展较为成熟的算法，根据负荷的历史数据，建立描述

电力负荷随时间变化的数学模型，在该模型的基础上确立负荷预测的表达式，并对未来负荷进行预测。

时间序列方法优点是所需数据少，工作量小；计算速度较快；反映了负荷近期变化的连续性。

时间序列方法存在的不足是建模过程比较复杂，需要较高的理论知识；该模型对原始时间序列的平稳性要求较高，只适用于负荷变化比较均匀的短期预测；没有考虑影响负荷变化的因素，对不确定性因素（如天气、节假日等）考虑不足，当天气变化较大或遇到节假日时，该模型预测误差较大^[4]。

2.2 传统方法

2.2.1 负荷求导法

对于负荷序列 $p(i)(i=1,2,3,\dots)$ 负荷求导法的预测公式为：

$$p_{(i+1)\text{fore}} = p_{(i)\text{re}} + \Delta p_{(i)\text{fore}}$$

其中： $p_{(i+1)\text{fore}}$ 为对第 $i+1$ 点的负荷预测值； $p_{(i)\text{re}}$ 为第 i 点的负荷实际值； $\Delta p_{(i)\text{fore}}$ 为第 i 点的负荷变化率的预测值^[5]。

$$\Delta p_{(i)\text{fore}} = \sum_{j=1}^D K_j \cdot \Delta p_{j(i)\text{re}}$$

其中： D 为选用过去负荷的天数； K_j 为第 j 天的合适因子， $\sum_{j=1}^D K_j = 1$ ； $\Delta p_{j(i)\text{re}}$ 为第 j 天的第 i 点 $\Delta p_{(i)\text{re}}$ 。

负荷求导法的优点是原理清楚，便于理解和应用，但是负荷求导法要求电力负荷的变化率具有稳定性和规律性，并且预测误差有累计效应。

2.2.2 相似日法

对与待预测日相似的某些日的负荷进行修正，从而得出预测日的负荷，即为相似日法，相似日法首先采用某种差异评价函数，寻找与预测日负荷最相似的某些天（相似日），根据待测负荷日的参数进行修正。

相似日法是一种原理简单、应用简便、效果良好的实用方法，但是如何建立合适的评价函数找到相似日和进行修正是影响该法预测精度的关键问题。

2.2.3 卡尔曼滤波法

卡尔曼滤波法又称为状态空间法，其指导思想是：把负荷分解为确定分量和随机分量，确定分量一般用一阶线性模型描述和预测，随机分量可用状态变量表示，通过建立状态空间模型进行负荷预报。文献^[6]将其应用于电力系统短期负荷预测，并作了

改进, 提出了预测值修正方法, 使其对天气的影响预测得更为精确。由于对历史数据进行滤波估计, 得到的是对系统下一个时刻状态的最佳估计, 而通过预报获得的新数据则反映了系统的未来状态, 因此, 它们的组合能够让预测模型获得更多的信息, 从而得到更加准确的预测值^[7]。

卡尔曼滤波法不足之处是实际应用中难以估计出噪音的统计特性, 例如, 量测噪音和系统噪音方差等。

2.2.4 指数平滑法

指数平滑法采用电力系统负荷趋势外推预测技术, 是用过去数周的同类型日的相同时间负荷组成一组时间上有序的数组 $y(t)$, $y(t-1)$, $y(t-2), \dots$, 对该数组加权平均, 最后得出待预测时段的负荷值, 迭代的公式为:

$$L_{t+1} = \alpha X_t + \alpha(1-\alpha)X_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 X_{t-2} + \dots$$

其中: L_{t+1} 为 $t+1$ 时刻的负荷值; $\alpha = 1/n$, n 为所有数据积累的个数。

指数平滑法的原理是加权平均, 计算时应加大新近数据的权系数, 减小陈旧数据的权系数, 以体现过程的时变性, 反映了近期数据对未来负荷影响程度, 通过平滑作用可以消除序列中的随机波动。

指数平滑法的优点是将电力需求作为一个整体, 根据某个单一的指标进行预测, 方法简单, 但很难反映当今经济、政治和天气等条件的影响。

2.2.5 灰色预测法

灰色预测是一种对含有不确定因素的系统进行预测的方法, 用灰色模型 (GM) 的微分方程作为电力系统单一指标 (如负荷) 的预测时, 求解微分方程的时间响应函数表达式即为所求的灰色预测模型, 对模型的精度和可信度进行校验并修正后, 即可据此模型预测未来的负荷, 适用于贫信息条件下的分析和预测, 常用的灰色预测模型是 GM (1, 1)^[8-9]。

灰色系统理论的优点是在建模时不需要计算统计特征量, 可以应用于任何非线性变化的负荷指标预测, 要求负荷数据少, 不考虑分布规律和变化趋势, 运算方便, 短期预测精度高, 易于应用。

不足之处是要求负荷变化规律具有指数变化趋势, 当数据离散程度越大, 即数据灰度越大, 预测精度越差。

2.3 智能预测法

2.3.1 专家系统法

专家系统法是基于知识的程序设计方法建立起来的计算机系统, 拥有某一领域内的专家知识和经

验, 并能像专家那样运用这些知识和经验, 通过推理对未来进行预测。文献[10]提出基于专家系统对短期负荷进行预测, 其预测精度基本达到要求, 并在台湾电网中投入应用。

专家系统的优点是能够综合考虑多个影响因素, 该方法全程序化, 具有建模简单和快速决断的优点; 专家系统具有丰富的经验和知识, 可以不断丰富和积累; 以计算机为载体的专家系统可以准确无误地工作, 可靠性好, 工作效率高, 可以避免复杂的数值计算并得到较准确的预测结果。

专家系统的不足之处是预测过程中容易出现人为差错; 把专家知识和经验等确定地表达并转化为一组规则存在困难, 因此, 在构建数据库时存在困难^[11]; 由于各地的负荷具有各自固有的特征, 开发的专家系统都是针对某具体系统的, 不能直接应用于其他系统。

2.3.2 人工神经网络法

由于短期负荷受到天气情况和人们社会活动等因素的影响而变动, 存在大量的随机性和非线性关系, 神经网络能够处理此类问题, 20世纪90年代后, 神经网络开始用于电力负荷预测并达到了研究高潮, 有许多很成功的应用实例^[12]。

人工神经网络法选取过去一段时间的负荷作为训练样本, 构建适宜的网络结构, 用某种训练算法对网络进行训练, 使其满足精度要求之后, 此神经网络作为负荷预测模型, 实践证明人工神经网络短期预测有较好的精度。

人工神经网络的优点能够对大量非结构性、非精确性规律具有自适应能力, 具有信息记忆、自主学习、知识推理和优化计算的特点, 还有很强的计算能力、复杂映射能力、容错能力及各种智能处理能力, 特别是其学习和自适应功能是其其他算法所不具备的。

人工神经网络预测方法的不足是神经网络的层数和神经元个数多依据主观经验确定, 难以科学地确定网络结构, 学习速度慢和存在局部极小点等。

2.3.3 模糊预测法

模糊预测法是建立在模糊数学理论上的一种负荷预测新技术, 模糊数学的概念可以描述电力系统中的一些模糊现象, 例如负荷预测中的关键因素: 天气状况的评判、负荷的日期类型的划分等, 将模糊方法应用于负荷预测可以更好地处理负荷变化的不确定性。目前, 模糊理论应用于负荷预测主要有以下几种方法: 模糊聚类法、模糊相似优先比法和模糊最大贴近度法等^[13]。

从实际应用来看, 单纯的模糊方法对于短期负

荷预测，精度难以满足要求；同时要求提供较多的历史数据，在实际应用中存在困难；其优点是预测结果可以预测区间及概率的形式描述^[14]。

2.3.4 综合模型预测法

在实际应用中，由于历史负荷数据的复杂性和随机性，单一模型预测一般难以达到准确和可靠的效果，因此，根据各种算法的优点和不足，将几种算法有机地组合起来，可以提高预测精度。例如，有些学者提出时间序列法和神经网络综合模型^[15]，基于神经网络和模糊推理综合模型^[16]，混沌理论和神经网络综合模型^[17]，粒子群和神经网络综合模型^[18]，遗传算法和神经网络综合模型^[19]，小波分析与神经网络组合模型^[20]，蚁群灰色模型和神经网络组合模型^[21]，模糊算法和神经网络组合模型^[22]，蚁群优化算法和支持向量机组合模型^[23]，有的学者提出基于Ensemble混沌预测方法^[24]，小波支持向量机与相空间重构的预测方法^[25]，等等，这些方法的优点是克服了单一算法的不足之处，使得优势互补，提高预测精度，但是会降低计算速度，增加建模和实际应用的困难。

2.3.5 小波分析法

电力负荷具有特殊的周期性，负荷以日、周、月、年为周期发生波动，大周期中嵌套着小周期。小波分析理论是一种时域—频域分析方法，能将各种交织在一起的不同频率组成的混合信号，分解成不同频带上的块信号，对负荷序列进行小波变换，可以将负荷序列分别投影到不同的尺度上，各个尺度上的子序列分别代表了原序列中不同频域的分量，可以清楚地表现出负荷序列的周期性。因此，可以将小波分析方法用于电力系统短期负荷预测。

文献[9]第一次将小波分析应用于短期负荷预测，并证明了该方法的预测精度较高；小波分析不足之处是未能考虑天气、温度和湿度等诸多因素对负荷的影响，而且预测结果与小波基的选择有很大关系。

2.4 短期负荷预测新方法

2.4.1 混沌理论

混沌时间序列预测是新兴起的一种负荷预测算法，其基本理论是系统状态变量所需要的全部动力学信息包含在系统中任一变量的时间序列中，把单变量的时间序列嵌入到重构相空间中，使所得到的状态轨迹保留了原空间状态轨迹的主要特征。

复杂的电力负荷曲线具有明显的混沌现象^[26]，混沌时间序列预测的基础是从一维观测数据中构造系统的重构相空间，Takens定理给出了利用混沌时间序列进行短期负荷预测的理论基础。混沌时间序

列预测方法本质上是非线性系统时间序列预测方法，并不要求时间序列是完全严格混沌的，基于混沌进行短期负荷预测有着很好的应用前景，但是很多地方值得进一步探索和改进^[27-28]。

2.4.2 支持向量机

支持向量机(SVM)方法是建立在统计学习理论上的一种预测方法，SVM的训练问题本质是一个经典的二次规划问题，因此可避免局部最优解，并有唯一的全局最优解，且可以利用最优化理论中许多成熟的算法。应用SVM方法进行短期负荷预测比传统方法有更高的计算精度，且充分考虑了影响负荷的各种因素；SVM方法具有坚实的数学理论基础，收敛速度相对较快，能找到全局最优解等特点。

SVM方法的不足之处是由于存贮需求量大，编程困难，实际应用较难，而且不能确定数据中的知识是否冗余，以及作用大小^[29]；对于预测负荷曲线较平滑的系统，能够取得较理想的效果，但是，对于随机波动性较强的中小型电网，其预测效果相对较差。

2.4.3 数据挖掘

数据挖掘是指从大量数据中挖掘出隐含未知的、对决策有价值的知识和规则的过程，提取的知识可以表示成概念、规则、规律和模式等形式。数据挖掘过程包括数据准备、知识提取、知识表示与评估三个阶段。面对电力系统日益增加的数据信息量，针对系统运行安全性和经济性的要求，将数据挖掘用于短期负荷预测是非常有利的，尤其在环境因素和社会信息等变化较大的条件下，数据挖掘技术可以在错综复杂的庞大历史数据中，剔除错误和无用的数据，得出隐含在数据中决定短期负荷的影响因素，确定短期负荷的真正变化规律，从而提高预测精度。

3 结语

短期负荷预测精度直接影响电力系统运行的安全性、经济性和供电质量，将目前的短期负荷预测方法作了一个综合的比较和分析，指出了各种短期负荷预模型的优点和不足之处。未来的预测工作有待加强对历史数据的处理，准确估计预测模型中的参数，并积极探索预测模型的新思路和新方法，以满足电力市场环境对负荷预测提出的新要求 and 赋予的新内涵，而在实际应用中，应根据当地短期负荷的具体特征和影响因素进行灵活地选用预测模型。

参考文献

[1] 康重庆, 夏清, 刘梅. 电力系统负荷预测[M]. 北京:

- 中国电力出版社, 2007.
- KANG Chong-qing, XIA Qing, LIU Mei. Power system load forecasting[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [2] 康重庆, 夏清, 张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (17): 1-11.
- KANG Chong-qing, XIA Qing, ZHANG Bo-ming. Review of power system load forecasting and its development[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (17): 1-11.
- [3] 牛东晓, 曹树华, 赵磊, 等. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- NIU Dong-xiao, CAO Shu-hua, ZHAO Lei, et al. Power load forecasting technology and its application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [4] 叶瑰昀, 罗耀华, 刘勇, 等. 基于 ARMA 模型的电力负荷预测方法研究[J]. 信息技术, 2002, 6: 74-76.
- YE Gui-yun, LUO Yao-hua, LIU Yong, et al. Research on method of power system load forecasting based on ARMA model[J]. Information Technology, 2002, 6: 74-76.
- [5] 张振高, 杨正瓴. 短期负荷预测中的负荷求导法及天气因素的使用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18 (5): 79-83.
- ZHANG Zhen-gao, YANG Zheng-ling. Load derivation in short term forecasting using weather factor[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 18 (5): 79-83.
- [6] 李明干, 孙健利, 刘沛. 基于卡尔曼滤波的电力系统短期负荷预测[J]. 继电器, 2006, 32 (4): 9-12.
- LI Ming-gan, SUN Jian-li, LIU Pei. Short-term load forecast of power system based on Kalman filter[J]. Relay, 2006, 32 (4): 9-12.
- [7] 张民, 鲍海, 晏玲, 等. 基于卡尔曼滤波的短期负荷预测方法的研究[J]. 电网技术, 2003, 27 (10): 39-42.
- ZHANG Min, BAO Hai, YAN Ling, et al. Research on processing of short term historical data of daily load based on Kalman filter[J]. Power System Technology, 2003, 27 (10): 39-42.
- [8] DU Song-huai, HOU Zhi-jian, JIANG Chuan-wen. Grey forecasting price, utation and its simulation[J]. Journal of Grey System, 2003 (1): 43-48.
- [9] Granger C W J. Combining forecasts-twenty years later[J]. Journal of Forecasting, 1989, 8 (3): 167-173.
- [10] Ho Ku-Long, Hsu Yuan-Yih, Lee C E, et al. Short-term load forecasting of Tai-wan power system using a knowledge-based expert system[J]. IEEE PWRS, 1990, 5 (4): 46-57.
- [11] Rahman S, Bhatangar R. An expert system based algorithm for short-term load forecast[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 3 (2): 392-399.
- [12] Park D C, El-SharKawi M.A, Marks J, et al. Electric load forecasting using a neural net work[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6 (2): 442-449.
- [13] Chow Mo-yuen, Zhu Jin-xiang, Hahn Tram. Applications of fuzzy multi-objective decision making in spatial load forecasting[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13 (3): 1185-1190.
- [14] Nazarko J, Zalewski W. Fuzzy regression approach to peak load estimation in power distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14 (3): 538-546.
- [15] 卢建昌, 王柳. 基于时序分析的神经网络短期负荷预测模型研究[J]. 中国电力, 2005, 38 (7): 11-14.
- LU Jian-chang, WANG Liu. Study of short-term load forecasting based on ANN and time series[J]. Electric Power, 2005, 38 (7): 11-14.
- [16] 姜勇. 电力系统短期负荷预测的模糊神经网络方法[J]. 继电器, 2002, 30 (7): 11-13.
- JIANG Yong. Fuzzy neural network for short-term load forecasting[J]. Relay, 2002, 30 (7): 11-13.
- [17] 李广, 邹德忠, 谈顺涛. 基于混沌神经网络理论的小电网短期电力负荷预测[J]. 电力自动化设备, 2006, 26 (2): 50-52.
- LI Guang, ZOU De-zhong, TAN Shun-tao. Short-term load forecast for small power net based on chaos-artificial neural network theory[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26 (2): 50-52.
- [18] 蔡金锭, 付中云. 粒子群神经网络混合算法在负荷预测中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33 (5): 90-93.
- CAI Jin-ding, FU Zhong-yun. Application of particle group and neural network hybrid algorithm in load forecast[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33 (5): 90-93.
- [19] 梁海峰, 涂光瑜, 唐红卫. 遗传神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 电网技术, 2001, 25 (1): 49-53.
- LIANG Hai-feng, TU Guang-yu, TANG Hong-wei. Application of genetic algorithm neural network for short-term load forecasting[J]. Power System Technology, 2001, 25 (1): 49-53.
- [20] 邵能灵, 侯志俭. 基于小波模糊神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (1): 24-29.
- TAI Neng-ling, HOU Zhi-jian. New short-term load forecasting frinciple with the wavelet transform fuzzy neural network for the power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (1): 24-29.
- [21] 王捷, 吴国忠, 李艳昌. 蚁群灰色神经网络组合模型在电力负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制,

2009, 37 (2): 48-52.
 WANG Jie, WU Guo-zhong, LI Yan-chang. Application of ant colony gray neural network combined forecasting model in load forecasting[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (4): 48-52.

[22] 赵宇红, 肖金凤, 陈忠泽. 混合模糊神经网络在短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统与自动化学报, 2006, 18 (2): 99-104.
 ZHAO Yu-hong, XIAO Jin-feng, CHEN Zhong-ze. Application of hybrid fuzzy neural network in short-term load forecasting[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2006, 18 (2): 99-104.

[23] 魏俊, 周步祥, 林楠, 等. 基于蚁群支持向量机的短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (4): 36-40.
 WEI Jun, ZHOU Bu-xiang, LIN Nan, et al. Short-term load forecasting based on MG-CACO and SVM method[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (4): 36-40.

[24] 杨正瓴, 王渭巍, 曹东波, 等. 短期负荷预测的Ensemble混沌预测方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (23): 34-37.
 YANG Zheng-ling, WANG Wei-wei, CAO Dong-bo, et al. Ensemble chaotic forecasting method in short term load forecasting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (23): 34-37.

[25] 郑永康, 陈维荣, 戴朝华. 小波支持向量机与相空间重构结合的短期负荷预测研究[J]. 继电器, 2008, 36 (7): 29-33.
 ZHENG Yong-kang, CHEN Wei-rong, DAI Chao-hua. Short-term load forecasting based on wavelet support vector machine and phase space reconstruction[J]. Relay, 2008, 36 (7): 29-33.

[26] 蒋传文, 李承军, 等. 混沌理论在电力负荷预测中的应用[J]. 武汉交通大学学报, 1999, 23 (6): 608-611.
 JIANG Chuan-wen, LI Cheng-jun, et al. Application of chaotic theory in power load forecast[J]. Journal of Wuhan Transportation University, 1999, 23(6):608-611.

[27] 梁志珊, 王丽敏, 付大鹏. 应用混沌理论的电力系统短期负荷预测[J]. 控制与决策, 1998, 13 (1): 88-93.
 LIANG Zhi-shan, WANG Li-min, FU Da-peng. Short term load forecasting using chaos theory[J]. Control and Decision, 1998, 13 (1): 88-93.

[28] 雷绍兰, 孙才新. 电力短期负荷的多变量混沌预测方法[J]. 高电压技术, 2005, 31 (12): 69-72.
 LEI Shao-lan, SUN Cai-xin. Forecasting method of multivariate time series applied in short-term electrical load forecasting[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31 (12): 69-72.

[29] 赵登福, 王蒙, 张讲社, 等. 基于支撑向量机的短期负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (4): 26-30.
 ZHAO Deng-fu, WANG Meng, ZHANG Jiang-she, et al. A support vector machine approach for short-term load forecasting[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (4): 26-30.

收稿日期: 2010-01-06; 修回日期: 2010-11-19

作者简介:

廖旒煊 (1975-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为电力电子技术、非线性系统控制与应用研究; E-mail: lnhuan@126.com

胡智宏 (1974-), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为电子信息及应用。

封面人物

- 左二——国家电网公司 刘振亚总经理
- 右二——国家电网公司 李汝革总会计师
- 右三——国家电网公司办公厅 贺广迎主任
- 右四——国家电网公司中国电力技术装备有限公司 魏庆海总经理
- 左三——国家电网公司中国电力技术装备有限公司 王纪年党委书记
- 左一——国家电网公司中电技许继集团有限公司 李富生总裁
 中电协继电保护及自动化设备分会 李富生理事长
- 右一——国家电网公司中电技许继集团有限公司 姚致清副总裁
 中电协继电保护及自动化设备分会 姚致清副理事长兼秘书长