

电力系统短期负荷预测新方法

唐杰明, 刘俊勇, 刘友波

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 在分析短期负荷预测特征及其主要影响因素的基础上, 比较了专家系统、神经网络、支持向量机这些新一代短期负荷预测方法和组合模型的优缺点, 综述了近年来上述方法的应用及研究情况, 重点介绍了支持向量机和组合模型两种预测方法, 指出了智能化、组合模型、区间概率化是未来短期负荷预测方法研究的主要发展方向, 并就短期负荷预测实用化提出了建议。

关键词: 电力系统; 短期负荷预测; 智能方法; 组合模型

Abstract: The advantages and disadvantages of the new methods such as expert system method, ANN, SVM and hybrid ensemble model are compared based on features of short-term load forecasting and the main effects, and the researches and application of the above-mentioned methods are summarized. Two kinds of technologies, SVM and hybrid ensemble model, are emphasized, and finally the future development of short-term load forecasting is described as intelligent technique, probabilistic forecasting and hybrid model, and some advices of practice in this field are presented.

Key words: power system; short-term load forecasting; intelligent technique; hybrid ensemble model

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)01-0061-05

负荷预测是指从历史负荷数据及其相关因素等资料出发, 运用一定方法去合理推测将来一定时段的负荷需求情况, 它是保证系统安全稳定运行与电能质量的基础, 在电力系统中具有独特的重要性。从时间框架看, 可分为长期、中期、短期、超短期以及节日预测, 其中短期负荷预测是负荷预测的重要组成部分, 它对于电厂的发电计划、竞价上网、电能量交易合同、运行及调度方式等起着重要的作用。提高短期负荷预测水平有助于经济地安排发电机组启停, 合理制定检修计划, 维持电网安全运行, 降低发电成本, 提高电能市场交易水平, 从而提高系统的安全、经济与社会效益^[1], 因此有必要对短期负荷预测进行深入研究。

1 短期负荷预测特征与基本模型

1.1 短期负荷预测特征分析

虽然短期负荷变化具有随机性, 但也具有规律, 所以未来负荷在某种程度上是可以预测的。预测的关键在于根据负荷的影响因素找出一定时期内的负荷发展、变化规律, 其影响因素主要包括当地经济水平、生活习惯、气候因素、用电政策等, 因此, 短期负荷预测具有如下特征:

1) 预测方案的多样性, 预测方法的选择及预测

模型建立对于预测的准确性有决定性的影响。

2) 预测结果的确性和不确定性, 预测结果只在一定范围内具有精确性。

3) 预测结果受多种因素和随机干扰的影响。

4) 各种负荷预测都是在一定条件下进行的, 仅当条件与实际大致相符时, 预测才比较可靠。

1.2 短期负荷预测的基本数学模型

短期负荷预测模型较多, 以历史负荷数据和负荷相关因素作为影响因素建立预测模型, 其短期负荷预测模型可表达为: $y = f(\vec{x}, \vec{s})$ 式中 \vec{x} 是各种影响因素组成的向量包括: 历史负荷数据、气候、日期类型、时间等相关因素, \vec{s} 是预测模型的参数向量, 它由具体模型和实际系统的情况所决定, y 是待预测量。

基于上述特征, 近 10 多年来国内外提出了具有人工智能特点的短期预测新方法, 较传统方法在考虑预测随机性、不确定性等方面有了一定程度的改进, 但仍然存在不足。对这些新一代预测方法的特点进行分析, 并指出了现有方法的不足和未来发展方向。

2 短期负荷预测的新方法

2.1 专家系统方法

专家系统是一个基于知识程序设计方法建立起来的计算机系统^[1], 它拥有某个领域专家的知识 and 经

验,能模拟专家思维决策过程,通过推理在领域内做出智能决策。其用于短期负荷预测具有一些独特优点:能避免复杂的数值运算;能汇集多个专家的知识 and 经验,最大限度地利用专家能力,考虑的因素较为全面;在出现错误时,可修改知识库而不用修改主程序,使系统易于扩充;具有较强的处理大扰动的能力,在节假日、重大社会活动、突发事件等情况下的短期负荷预测中可以起到重要的作用。但也存在一些不足:专家经验知识转化成数学规则非常困难,预测知识库形成过程较复杂且难度大;开发的专家系统针对性强,难以直接应用于其它系统;不具有自主学习能力,受数据库里知识总量的限制,对知识库中未有的突发性事件的适应性能力较差。因此通常是将专家系统、神经网络、模糊理论等相结合,综合考虑气象、节假日、特殊事件等因素对负荷的影响,用于修正预测结果^[2,3]。

2.2 人工神经网络(ANN)方法

人工神经网络是由处理单元组成的一种并行、分布式信息处理结构,处理单元之间可以按连接的单向信道相互连接。人工神经元是神经网络的基本计算单元,它模拟了人脑中神经元的基本特征,一般是多输入、单输出的非线性单元,有一定内部状态和阈值。目前用于负荷预测的人工神经网络主要有BP网络、RBF网络等^[4,5],人工神经网络可通过样本学习充分逼近任意复杂的非线性关系,能方便地考虑多种因素对短期负荷的影响;具有信息记忆与综合、自主学习、自适应能力和较好容错性,在处理实时性要求高的问题上有较大优越性。但该方法也有一些不足:基于经验风险最小化原理的神经网络学习算法其泛化能力存在理论上的缺陷,易陷入学习不足或过拟合现象;神经网络使用一般非线性优化算法,存在收敛慢、易陷入局部极小、求解结果对初值依赖性较强等问题;网络结构确定、输入变量选择等缺乏有效理论指导,主观依赖性强;在网络结构和输入变量一定的情况下,样本及样本训练集在很大程度上决定了模型的训练时间和模型的泛化能力。因此基于神经网络的短期负荷预测方法的研究重点在于:如何确定网络结构、如何选取恰当的输入向量和如何构建样本及训练集等。

文献[4]综述和评估了从1991年到1999年期间提出的各种神经网络短期负荷预测方法及文献,有助于了解神经网络运用于短期负荷预测的情况、基本思

路和步骤:文献[5]利用相似日的输入向量在向量空间中距离较近,在小空间范围内用RBF网络拟合负荷与影响因素之间的非线性关系来提高预测精度;文献[6]结合神经网络和小波分析法,将小波分析的序列分解及重构技术运用于短期负荷预测。此外,有的学者运用混沌时间序列分析技术获取最佳嵌入相空间维数与延迟步长,并以此选取神经网络的输入向量;也有学者利用粗糙集理论选择输入变量和确定神经网络结构,还有学者利用主成分分析法进行特征抽取,消除了输入变量的冗余;这些都在一定程度上改善了预测效果。

2.3 支持向量机类预测方法

支持向量机类预测方法包括支持向量机(SVM)和最小二乘支持向量机(LSSVM),SVM是在统计学习理论^[7]基础上提出的一种新机器学习方法,它基于结构风险最小化原理和VC维理论,通过有限样本信息在模型复杂度和学习能力之间寻求最佳折衷,在实现最小化样本点误差的同时,缩小了模型泛化误差的上界,使所建模型的结构风险最小,从而获取最佳推广能力。LSSVM是支持向量机的一种扩展,在支持向量机模型中把损失函数设定成最小二乘损失函数,把不等式约束改为等式约束,就可得到最小二乘支持向量机模型。最小二乘支持向量机的求解最终可转化为线性KKT方程组的求解,因此其在保留支持向量机小样本、结构风险最小化等优秀特性的前提下,大大降低了求解的复杂性,提高了支持向量机的实用性。

支持向量机类方法和神经网络方法相比具有以下优点:基于经验风险最小化原则的神经网络只有在样本数趋于无穷时,才可能具有最优泛化能力,而基于结构风险最小化原则并针对有限样本学习的支持向量机方法能有效地防止过拟合现象,具有良好的泛化能力;神经网络需要预先确定模型结构,而支持向量机具有自适应的模型结构,避免了神经网络结构选择的主观性;支持向量机具有全局最优解,不存在神经网络方法的局部极值问题;支持向量机在建模过程中使用了核函数方法代替内积计算,其算法复杂性与样本维数无关,巧妙地解决了神经网络可能存在的维数灾难问题。然而支持向量机类方法也存在一些不足,其预测效果对训练集样本仍然依赖过大、对模型参数依赖较强;此外核函数和输入向量的选取主观性仍然较强。

文献[8]通过使用与预测点季节属性相同的历史样本来构建训练集,成功地将SVM引入了短期负荷预测;文献[9]通过数据挖掘技术,寻找出具有相似气象特征的数据序列,以此构建SVM短期负荷预测模型的样本训练集;文献[10]以负荷值和温度值构建输入向量,将最小二乘支持向量机引入了短期负荷预测;文献[11]运用粗糙集理论对历史数据预处理,构建了支持向量机的输入向量;文献[12]分别用ARIMA和SVM处理负荷的线性因素和非线性因素,结合两模型优势以提高预测效果。此外,有学者利用灰色关联度分析方法,在历史负荷数据库中搜索与预测点负荷变化趋势相近的样本来构建SVM的训练集;也有学者通过运用交叉验证方法选取SVM模型参数和RBF核参数;还有学者尝试将粒子群算法、遗传算法优化SVM模型参数和核参数,以期改善预测效果。

2.4 组合模型预测方法

组合预测方法是指将几种预测方法所得的预测结果选取适当权重进行加权平均的预测方法或在几种预测方法中进行比较,选择拟合优度最佳或标准偏差最小的预测方法。组合预测方法可分为传统组合方法^[13,14]和智能组合方法^[16,17]。传统组合方法的关键在于确定基本方法的权系数,其主要代表有等权平均组合预测法和最优加权平均组合法。前者是在对各种预测方法的预测精度完全未知的情况下所采用的一种较稳妥的方法,能降低单一预测方法的预测风险,且有很好的稳定性^[1];后者则依据各基本预测方法对历史数据的拟合误差,建立以误差平方和为最小的目标函数及相应的权系数约束条件,并通过最小化目标函数来求取权重系数的组合预测方法。传统组合方法物理意义清楚,但权值的确定较为复杂并缺乏将各种基本方法进行非线性组合的能力。近年来出现了通过样本训练来确定最优组合权系数的智能化组合方法,该组合方法不限制组合权系数的取值范围,能非线性地拟合各种基本方法的预测结果,但权值的确定依赖于样本及训练集的特征。组合预测方法建立在最大信息利用的基础上,综合多种单一模型所包含的信息,在大多数情况下可改善预测结果。但组合预测方法是在单个预测模型不能完全正确地描述预测量的变化规律时,为了提高预测效果的一种有效的补偿方法,如果能找到一个完全反映实际发展规律的模型,可能比组合方法的预测效果更好。

文献[13]深入探讨了组合模型机理,尝试了负权

重系数方法,分析了组合模型的各种求解方案,指出了最优拟合模型并不具备最佳的预测效果,并提出了较优预测模型概念及实现策略;文献[14]使用拉格朗日乘子法求解组合权重系数,并在权重系数小于0时,近似将误差矩阵的对角元素作为权重系数,简化了权重计算的复杂度;文献[15]建立短期负荷的最优加权组合预测模型,并运用遗传算法求解其权重系数;文献[16]利用神经网络拟合多种基本方法的预测结果与实际负荷数据的非线性组合关系,通过网络训练自适应地调整各种预测模型的权重,实现了对各种基本预测值的非线性智能组合。文献[17]通过虚拟预测法筛选出有较高预测精度的各种神经网络和SVR模型作为基本预测方法,并运用SVR方法对各种基本预测结果进行组合。

3 短期负荷预测方法的发展方向

电力系统市场化和信息化的不断发展,对负荷预测提出了更高的精度和速度要求,这些新要求推动负荷预测方法研究朝着智能化、组合化、区间概率化方向发展。

1) 智能化预测方法具有许多传统方法无可比拟的优势,能很好地处理负荷预测过程中的非线性问题^[1,4,8,10],能建立比传统方法更准确描述负荷成因的模型,因此随着计算机技术的发展,选择智能化方法建立预测模型将逐渐成为一个趋势,这也必将促使智能化方法不断发展、完善。

2) 由于单一预测模型很难准确描述负荷变化的复杂规律,目前已难以进一步提高预测精度,且单一模型的预测结果具有较大风险。而组合预测方法能集结多种单一模型信息,最大程度地利用已知信息,改善预测结果,降低预测风险,因此探索组合预测已成为学者们的共识。运用智能方法进行组合预测,既能避免复杂的权系数计算,又能非线性地组合各方法的预测结果,使得预测更高效,风险更小,因而其具有良好的研究与应用前景。

3) 一方面,电力市场风险分析决策的需求促进了概率性负荷预测的发展,负荷预测误差的分布概率以及概率性负荷预测结果,能让电网企业了解其历史上预测误差的统计规律,使其在市场条件下能够更好地认识到未来负荷可能存在的不确定性,帮助企业及时做出合理的经营决策;另一方面,确定性负荷预测

一般都只是给出一个确定的预测数值,无法确定预测结果可能的波动范围,不同的预测方法其预测结果也不一致,即便是同一种方法也可能由于参数选择的随机性造成预测结果的差别,而概率性预测方法^[18]能给出未来负荷的区间值及其置信度。因此负荷预测研究也逐步向概率性负荷预测方向发展。

4 短期负荷预测实用化建议

负荷影响因素的多样性、复杂性、随机性以及负荷的连续性、稳定性决定了短期负荷预测研究是一个综合性的课题,既离不开扎实的理论基础,又离不开预测的实践经验,为了高效准确地进行短期负荷预测,建议如下:

1) 建议在负荷特性分析的基础上针对不同的负荷模式建立不同的负荷模型,这是改善预测效果的有效途径之一,对于具有不同负荷模式的工作日、休息日、节假日应尽量使用不同的预测思路及模型。

2) 在上述基础上,应根据预测地区的负荷规律和特性,确定合理的历史数据辨识与预处理方法,并充分利用调度、运行、检修等记录来辨识和剔除坏数据并补充新数据,以确保在建模和预测过程中所运用的历史数据具有真实性、正确性、同规律性,这是高效预测的基础。

3) 在建模过程中,应注意纵横方向历史数据的综合运用,应充分合理运用短期负荷的日周期性、同类型日的同一时刻负荷的相似性、同一日上下时刻负荷的连续性等特征,利用历史数据信息的程度越充分,预测效果将越好。

4) 在负荷变化受到气象、温度等多种因素的影响作用较为明显时,为能较方便地考虑多种因素对负荷的非线性影响,应首先考虑以机器学习方法为主的智能预测技术;在实时性要求很高的场合,则应首先考虑运算速度快、准确性较高的诸如基于日周期外推技术等预测方法。

5) 负荷预测的本质就是找出负荷的规律性,因此诸如神经网络、支持向量机之类的机器学习预测方法,在组织样本训练集时,要尽量确保训练集的样本们具有与预测点相同的输入、输出映射函数关系,尽量确保训练集内所有样本在输入、输出映射关系上是相近或相同的,具有这样特性的样本集可以称为“相似样本集”,所以构建预测点的相似样本集是智能方

法高效预测的必要条件,对于传统预测方法,相似样本也是一条提高预测效果的有效途径。

6) 在运用支持向量机或神经网络法进行预测时,应注意理解和区分样本构建和样本训练集构建这两个概念。样本构建是指确定模型的输入、输出目标对,重点在于通过数学手段、经验等确定输入向量;而样本训练集构建是指确定模型的训练模式,即确定哪些样本参与建模中的训练过程,重点是确保参与训练的样本与预测点的样本具有相近或相同的输入、输出规律性。

7) 由于未来负荷趋势与近期负荷的相关性更高,因此在建立负荷预测模型过程中,应尽量贯彻“近大远小”原则和“相似性”原则。例如在选取支持向量机模型参数时完全可以不用交叉验证方法,而基于上述原则使用虚拟预测方法来确定参数,既保证了参数的适用性,又可大大缩短确定参数的时间。

8) 提高预测精度是负荷预测工作者不懈追求的目标,但负荷变化、发展的客观规律在某种程度上决定并限制了预测所能达到的最佳效果,所以在建立实际的负荷预测模型时,不能盲目地提出无限制、高精度的预测指标。对于变化平稳的、有较强规律的负荷地区,建立的预测模型可以有较高的精度要求,反之对于波动大、变化无规律的负荷地区,预测模型的精度要求就应相应地降低。

5 结论及展望

通过分析短期负荷预测特征和综述多种基于智能的短期负荷预测方法,证明了支持向量机类预测方法和组合模型在预测原理、预测效果、预测稳定性等方面具有较强优势,进而指出智能化、组合化、区间概率化是未来短期负荷预测方法研究的主要发展方向。

参考文献

- [1] 牛东晓,曹树华,等. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] Kwang-Ho Kim, Jong-Keun Park, Kab-Ju Hwang. Implementation of hybrid short-term load forecasting system using artificial neural networks and fuzzy expert systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10(3): 1534-1539.
- [3] Ansarimehr P, Barghinia I, Habibi H, Vafadar N. Short-term load forecasting for Iran national power system using artificial neural network and fuzzy expert system[J]. Power Sys-

tem Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 2, 13-17 Oct. 2002, 2(10): 1082-1085.

[4] Hippert H S, Pedreira C E, Souza R C. Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2001, 16(1): 44-55.

[5] 鞠平, 姜巍, 赵夏阳, 等. 96点短期负荷预测方法及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, (22): 32-36.

[6] 徐军华, 刘天琪. 基于小波分解和人工神经网络的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 30-33.

[7] 瓦普尼克著, 张学工译. 统计学习理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[8] Bo-Juen Chen, Ming-Wei Chang, Chih-Jen lin. Load forecasting using support vector Machines: a study on EUNITE competition 2001 [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1821-1830.

[9] 牛东晓, 谷志红, 邢棉, 等. 基于数据挖掘的SVM短期负荷预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 6-12.

[10] Li Yuan-cheng, Fang Ting-jian, Yu Erkeng. Short-term Electrical Load Forecasting Using Least Squares Support Vector Machines [J]. Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 1, 13-17, 2002, (10): 230-233.

[11] 张庆宝, 程浩忠, 刘青山, 等. 基于粗糙集属性约简算法和支持向量机的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2006, 30(8): 56-59, 70.

[12] Yu-jun He, You-chan Zhu, Dong-xing Duan. Research on Hybrid ARIMA and Support Vector Machine Model in Short Term Load Forecasting. Intelligent Systems Design and Applications, 2006. ISDA '06. Sixth International Conference on Volume 1, 2006, (10): 804-809.

[13] 莫维仁, 张伯明, 孙宏斌, 等. 短期负荷综合预测模型的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 30-34.

[14] 李林川, 吕冬, 武文杰. 一种简化的电力系统负荷线性组合预测法[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 10-13.

[15] 谢开贵, 李春燕, 俞集辉. 基于遗传算法的短期负荷组合预测模型[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 20-23.

[16] 张亚军, 刘志刚, 张大波. 一种基于多神经网络的组合负荷预测模型[J]. 电网技术, 2006, 30(21): 21-25.

[17] Salgado R M, Pereira J J F, Ohishi T. A Hybrid Ensemble Model Applied to the Short-Term Load Forecasting Problem [J]. Neural Networks, 2006. IJCNN '06. International Joint Conference on 16-21, 2006, (7): 2627-2634.

[18] 杨文佳, 康重庆, 夏清, 等. 基于预测误差分布特性统计分析的概率性短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 47-52.

作者简介:

唐杰明(1968-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力市场及负荷预测研究。

(收稿日期: 2007-11-10)

(上接第21页) 务护线员, 增加举报破坏电力设施行为的回报等。

2.2.7 针对农村10kV配电网内在因素采取的反事故措施

对于重载10kV和公用台区, 应每月开展负荷监测工作, 对超负荷运行的重变台采取负荷预警制度, 及时制定整改方案转接负荷, 最高负荷率超过85%的亦应采取预警转接制度, 做好负荷转接, 必要时可加装低压台区综合监测仪或多功能电子表进行负荷监测。线路上可在负荷高峰期运用红外线测温仪测量导线及连接器的温度, 一旦温度异常, 应立即进行处理, 避免高温熔断导线。线路上安装短路故障指示器, 即使10kV线路发生短路故障, 也能快速查出故障点及时排除, 降低事故损失。

对于柱上开关、跌落式熔断器、阀式避雷器、针式

绝缘子、高损配变、并沟线夹等早期投运的残旧设备, 应选用技术参数高的现行产品, 结合全年的停电计划分批轮换。柱式开关可选用零气压的SF₆负荷开关, 跌落式熔断器可选用(H)RW11-12型, 配变可选用S9及以上系列的变压器。对于产权属用户的设备, 宜采用沟通的方法, 阐述设备故障给用户带来的危害, 说服用户定期开展预试工作, 或轮换残旧的设备。

配网建设应以巴中市经济发展规范化为依据, 以满足市场需求为向导, 近期与远期相结合, 依靠科学, 大力加快配网建设的改造步伐, 增强配网的供电能力以适应国民经济的持续增长和居民生活用电质量不断提高的要求, 逐步淘汰高耗能、安全可靠低、维修费用大的设备。建议使用安全可靠高、易维护的新产品、新设备, 努力提升配网安全运行水平, 积极推进配电网自动化。

(收稿日期: 2007-10-10)