

智能电网环境下的自适互动智能负荷预测研究

王建军

(华北电力大学经济与管理学院, 北京 昌平 102206)

● **摘 要:** 智能电网是电网企业发展的必然趋势, 针对智能电网建成后带来的新能源、分布式能源的并网问题, 以及智能电网建成后的高度集成信息化的环境变化, 需要建立新环境下的负荷预测数据仓库, 数据仓库中不但包含传统预测所考虑的定量性数据, 而且包括新的定性数据。基于数据仓库根据数据挖掘技术计算与预测日具有高度相似特征的相似度, 提取相应的数据, 形成相应的知识库和推理规则库。研究具有一定自适应性的能够自己确定模型结构的智能预测方法, 并研究相应的后干预校正算法, 使预测精度得到突破性的提高, 形成自适互动的智能负荷预测体系方法。研究将提高智能电网乃至整个电力工业的经济效益; 增强我国的节能减排、可持续发展能力; 完善智能电网的智能性和高效性以及拓展电力负荷预测理论研究范围。

关键词: 智能电网; 自适互动; 智能负荷预测; 新能源; 数据仓库

中图分类号: TM727; TP31

文献标志码: A

文章编号: 1673-7598(2010)05-0011-05

1 概述

电力工业是国民经济的命脉, 对于我国经济建设、国家安全、社会稳定、生活质量具有至关重要的作用。电网作为连接发电厂和用电用户之间的连接纽带, 其主要任务是在满足用户用电需求的基础上, 提高电能的利用效率, 在实现其自身可持续发展的基础上促进国民经济的可持续发展。随着能源压力的不断增大、电力市场化的进程不断深入, 外界经济、环境对电网的影响越来越大, 电网建设正面临前所未有的挑战和机遇, 建设以“互动、自愈、安全、经济、清洁、节能、高效”为特点的智能化、经济化、环保化、可持续发展化的电网已经成为全球的共同目标。欧美许多发达国家的电网企业, 正积极推进技术革新和管理转变, 普遍将智能电网作为未来电网发展的目标之一。我国国家电网公司在2009年5月提出我国建设坚强智能电网的发展规划, 计划于2020年建成我国的“坚强智能电网”。可以说, 智能电网是我国乃至世界电网的未来发展的必然趋势。

随着智能电网的建设, 在电网上运营的电力流以及相关的信息流、业务流、资金流将实现高度一体化, 信息化、数字化、自动化、互动化将成为新型电网的重要特征, 电网将逐渐建造并改造成为坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的复杂电

力网络系统。智能电网建成后, 具有重大社会效益的清洁能源装机比例将达到35%, 相关分布式电源将实现即插即用。可以说, 智能电网的改造将对电网企业以及整个电力发、输、配、送的电力工业链条产生重大影响, 带来前所未有的改变。而电力负荷预测工作作为电网管理部门主要的基础工作, 对制定经济优化的发电计划、制定经济合理的电力调配计划、控制电网经济运营、降低旋转储备容量、保障生产和生活用电等方面具有重要的意义。在智能电网的环境下, 随着新能源和相关分布式电源的并网以及其他智能设备的投入使用, 将对发电计划、电力调度、电网经济运营、电力储存以及电网运营的安全性带来新的挑战。智能电网环境下电力负荷预测技术的研究以及应用范围从内涵上讲, 除了原有的传统发电侧预测部分外, 还包括对新能源、分布式电网的发电侧预测部分; 从外延上讲, 拓展了相应新能源的信息采集和预测部分, 例如对新能源的风力发电部分而言, 除了需要对风力发电进行预测外, 还需要对相关的风速进行预测等。随着智能设备的进入, 相关的智能设备中包含的智能信息决策部分同样需要相应的智能预测结果对其进行基础支撑。

因此, 智能电网环境下的电力负荷预测部分需要迎合智能电网的特性, 应该对相关环境的变更具有自适应性, 且和相关的智能信息流进行互动结合预测, 这就需要电力负荷预测技术具有更强的智能

收稿日期: 2010-04-18

基金项目: 国家自然科学基金(70671039); 中央高校基本科研业务费专项资金。

作者简介: 王建军(1981—), 男, 吉林白山人, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统工程与应用、电力负荷预测技术。

特性,即在智能电网环境下进行自适互动智能电力预测技术的研究。该研究具有以下研究意义:

(1) 提高智能电网乃至整个电力工业的经济效益

以我国的一个中等规模的省级电网为例,按照常规假设其平均供电负荷在4 500 MW左右,如果将系统日负荷预测精度提高1%,就表示在系统发供电可靠率相同的条件下,电网发电出力富裕时可减少50 MW的旋转备用容量,电网发电出力不足时可减少非计划限电45 MW,经计算,由此产生的主要效益为:因系统减少旋转备用容量,产生年经济效益2 000万元,减少非计划限电增加售电量,年经济效益446万元,共创电网年经济效益2 246万元,按照常规假设每度电的产值和边际利润分别按5.3元和0.07元、非计划限电电量损失率按0.8元、全年限电日253天考虑,这时,因系统减少非计划限电,产生年社会经济效益3.38亿元。由此可见,负荷预测精度的提高具有巨大的经济效益。

(2) 增强我国的节能减排、可持续发展能力

按照常规假设,我国火电比率为75%,按照我国2009年上半年的统计数据,供电煤耗率为341 g/kW·h,火电设备平均利用小时为2 934。由此计算得到的由于负荷精度提高1%而产生的减少50 MW备用容量将节约年用煤量超过60 000 t。这对于我国的节能减排、资源利用以及可持续发展具有重大的意义。

(3) 完善智能电网的智能性和高效性

随着新能源和相关分布式电源的并网,智能电网的发电计划、电力调度、经济运营将发生改变,只有根据实际情况提高预测的精度,才能准确地把握各种电力需求,制定智能电网的发电计划,保证电网高效的运转。这就需要预测技术具有相应的智能性,同时也提高了智能电网的智能性。

(4) 拓展电力负荷预测理论研究的研究范围

从预测的手段上来看,以往的电力负荷预测理论由于局限于相关信息的收集,一般采用负荷数据和少量的气象数据进行预测。由于电力的社会属性,预测工作不但受到上述因素的影响,更受到例如气象、需求、现货、期货、经济、系统、市场、价格、竞争、政策、政治活动、背景、领域等大量复杂因素的多重干扰影响。如果想从本质上提高负荷预测的精度,就必须科学地、系统地、全面地考虑更多的影响因素,智能电网的建成可使电网的信息化集成达到一个前所未有的高度,为考虑更多因素进行智能负荷预测创造了前提和基础。从预测的内容上看,预测内容将包括原来电力系统内没有的新能源及分布式

发电。因此,智能电网环境下进行自适互动智能电力预测技术的研究将拓展电力负荷预测研究理论的研究范围。

2 国内外研究现状及问题分析

2.1 研究现状

自20世纪20年代开始就有学者对电力负荷预测开始进行研究,但由于当时的电力系统规模小,变化较为平稳,因此电力负荷预测没有受到重视。随着电力系统的市场化进程以及对能源的空前重视,负荷预测也受到了更加广泛的重视。近二三十年来,国内外的很多专家学者对负荷预测的理论和进行了大量的研究工作,取得了很多成果。总的说来,国内外关于负荷预测的理论成果大多集中于短期负荷预测的研究,中期和长期的负荷预测研究偏少,超长期的负荷预测更少。从方法上来说,预测方法大致经历了4个阶段的发展:1) 以线形回归方法为代表的传统统计预测方法阶段;2) 引入由Box-Jenkins提出著名的时间序列预测方法(包括AR、MA以及ARMA)阶段;3) 灰色预测方法以及组合预测方法阶段,其中组合预测方法国内重视程度较高,国外学者很少重视组合预测方法的研究;4) 近期的以神经网络以及支持向量机为代表的智能预测方法阶段。

2.1.1 线形回归预测方法

虽然传统的电力负荷预测方法有多种,例如趋势外推法、均值预测、自适应指数平滑预测等,但是线性回归预测方法是其中最成熟、运用最广、影响力最大的传统预测方法。电力负荷回归模型预测技术就是根据历史负荷数据资料,依靠线性回归数学模型对未来的负荷进行预测,通过给定的一组或者多组自变量和因变量的历史数值,研究各自变量和因变量之间的关系,形成回归方程。常用的回归模型有一元线性回归、多元线性回归2种^[1-2]。至今为止,线形回归模型由于方法简单、预测速度快的优点决定了其作为负荷预测研究必须引用的经典模型地位,也是软件实现的必须的基础算法之一。然而由于其模型的线性方法决定其必然无法描述复杂的非线性因素对其的影响,并且其自变量所选取的主要因素需要依靠经验确定。

2.1.2 时间序列预测方法

Box-Jenkins提出的时间序列模型被认为是最经典、最系统、最被广泛采用的一类短期负荷预测方法,包括AR、MA以及ARMA三类方法。至今为止,大

部分研究文献中所用的比较基准都采用该算法,该模型将负荷数据看成是一个周期性变化的时间序列,然后根据给定的模型对未来的负荷进行预测^[3-4]。由于时间序列预测方法所需要的数据本身就是历史负荷序列本身,因此其数据方便收集与获取,但同样也决定了时间序列方法具有难以考虑其余因素对负荷的影响这一缺点,该方法同样无法考虑非线性因素对负荷的影响。

2.1.3 灰色预测方法及组合预测方法

由于灰色预测方法具有要求负荷数据少、不考虑变化趋势、运算方便、易于检验等特点,因此适合于中长期的负荷预测,尤其适合年度负荷预测,并取得了令人满意的效果,但灰色预测方法具有数据离散程度越大预测精度越差的缺点,并且其适合具有指数增长趋势的负荷指标,对于具有其它扰动趋势的负荷序列预测精度难以提高^[5-6]。

组合预测方法^[7]是对传统统计预测方法的综合改进,其预测方法是选择多个预测函数模型进行加权平均组合,按照协方差最小确定权重形成最终的预测模型。组合预测方法虽然较单一的预测方法而言精度一般都有明显的提高,但是仍然从本质上难以适应短期内其余因素对负荷的影响,无论如何改变权重系数,使预测结果更加精确,组合预测方法均依赖于原始的多个预测方法的预测结果,这就意味着,组合预测方法不但具有这些方法的优点,同时也具有这这些方法的不足之处。

2.1.4 智能预测方法

近些年来,越来越多的学者形成一种共识,即负荷预测精度本质上的提高必须要考虑其他影响因素对负荷预测的影响,因此,对负荷预测方法的研究重点转向能够考虑其他影响因素,具有良好的非线性拟合能力的智能预测方法。因此,很多智能预测算法如神经网络^[8-10]、专家系统^[9]、支持向量机^[11-13]、粒子群算法^[14]、遗传算法开始运用于负荷预测中^[13],大量的智能负荷预测方法的研究成果开始在各种期刊上予以发表^[15],在诸多智能算法中,神经网络预测方法应用最为广泛。总的说来,上述智能算法的预测结果都优于传统的时间序列预测方法。但是在这些智能算法的预测过程中,都没有解决除气象数据和经济数据外的其他定性因素对负荷预测的影响问题,例如2008年8月份的北京奥运会召开造成所需负荷增加,或者电价的政府管制价格同样也会影响负荷的变化。此外,上述研究虽然注重了除负荷外的其余因素对电力负荷预测的影响,但是却将这些因素

和历史负荷数据放入同一个预测模型中对负荷进行预测,而有学者指出,负荷预测的很多无规律变动是由许多非参数的影响造成的,因此,如何利用这些因素进一步提高预测的精度是目前需要解决的一个难题。文献[16-18]结合数据挖掘技术对负荷预测进行研究,对解决该问题进行了探索尝试。

2.2 问题分析

以上的负荷预测研究工作和研究方法为搞好负荷预测工作奠定了基础,发挥了重要作用。但是,目前国内外的负荷预测研究工作仍然有下列不足。

(1) 这些研究方法虽然考虑了除负荷外的影响因素,但是由于相关信息收集的限制,仅能对如GDP、人口、气象条件中的温度以及湿度影响进行研究,仍然缺乏对更多负荷外影响因素的研究。此外,对某些明显的经验型知识以及某些隐性知识对负荷的扰动影响,智能电网信息化的高度集成为收集其余因素,提取相关规则进行更加智能化的负荷预测提供了基础。

(2) 现阶段的智能化电力负荷预测方法,如神经网络、支持向量机等还不能客观筛选和确定主要影响因素、输入变量、模型结构,从而确定最优的负荷预测模型,在建模过程中需要人为的靠经验进行确定,所确定的模型缺乏自身的适应性,若相应的环境改变,需要对这些参数进行人为的调整。而智能电网环境下的负荷预测环境更加复杂,不同区域、不同发电形式的智能电网预测情况不尽相同,因此,目前缺乏具有较好自适应确定参数的智能预测方法的研究。

(3) 以上的预测方法并没有考虑智能电网环境下的负荷预测问题,智能电网建成后,更多新能源、分布式电网等微网的并网成功将给负荷预测研究带来新的挑战,例如风力发电需要对12个月的风速与风电场发电功率分别进行相关的智能预测等。

基于上述分析,结合实际背景的需要,需要对智能电网环境下的自适互动的智能电力预测技术的一系列新的理论方法进行研究,不但可以为新形势下的电力负荷预测问题解决做出努力,而且也可以为其余相关的预测问题研究提供借鉴、案例和参考。

3 智能电网环境下的自适互动智能电力预测研究

3.1 建立基于智能电网信息化的互动智能电力负荷预测模型

通过智能电网高度集成的信息化,建立电力负

荷预测所需的预测数据仓库。数据仓库除了包括电力智能设备本身采取的数据外,还应该包括气象数据、政治数据、经济数据、市场数据等,其中气象数据既包含温度、湿度、风速等定量数据,还应该包括如“多云转阴、大风降温、中雨转小雨”等描述性知识,政治数据中包括如“60年大庆活动”、“世界杯重大转播”、“奥运会承办期间”等描述性知识,经济数据中包括“金融危机、稳定增长、负增长”等描述性知识,市场数据中包括“分布式电源结构、大用户需求变化、生产故障”等描述性知识,将这些数据通过信息技术中的数据仓库技术集成数据仓库,为知识挖掘、识别、发现和获取做好准备。

根据数据仓库中的数据,提取出训练数据集对智能型的预测模型进行训练,通过训练结果结合数据仓库中的数据建立相应的推理规则库和经验知识库。知识库既可以作为预测的预处理分析,也可以作为预测结果的后干预检验使用。知识库中作为预处理分析部分的主要任务是寻找与预测日特征相似的典型特征日,提取与预测日特征相似的特征数据,结合智能神经网络预测模型方法的创新,建立预测模型,得到预测结果,这样的预测结果自然含有与预测目标高度相似的知识特征,从而可以较大幅度地提高预测精度,为预测效果的改善带来新的突破。这里举一个简单的例子,对于风力发电源的负荷预测假设经气象预报得知相关的风速等级后,根据预测日的类型和气象预报的风速等级计算数据仓库中的数据与预测日的相似程度,选取相似程度高于一定阈值的相关数据进行预测,由于预测结果必然含有相似日数据的典型特征模式影响,预测效果必然较用所有数据集进行预测更加精确。

3.2 建立自适应智能电力负荷预测模型

以神经网络和支持向量机为代表的传统智能预测模型,虽然具有无需识别变化形状和规律,可模拟任意非线性复杂映射,可处理历史数据和定量影响因素数据作为输入变量,具有经学习训练得到最终模型的一定智能性的优点,但是由于具有不能客观筛选和确定主要影响因素及输入变量,网络结构需要人为确定,不能根据研究对象自动确定优化的网络结构,不能客观确定最优负荷预测模型的缺点,使神经网络不适合复杂因素影响下负荷预测工作对预测精度和速度的要求,缺乏一定的自适应性。

为了克服上述缺陷,希望研究建立一种自动优化确定网络结构的自适应神经网络和支持向量机负荷预测模型。首先利用上述的信息化互动进行相

似特征日数据的筛选,然后列举出可能的输入变量集,利用编码技术将输入变量以及神经网络和支持向量机的所需参数及结构参数进行编码,将误差最小作为目标函数,这样就将自适应智能模型结构的问题转化为一个无约束优化问题。然后利用解决无优化约束的智能方法如遗传算法、粒子群算法、蚁群算法等进行求解,最后将训练得到的智能模型用于预测中。以神经网络为例,根据Kromogol定理,任意一个非线性映射,可以用一个三层神经网络模型来描述,对于预测问题一般采用一个输出变量,因此需要确定的就是输入层变量个数和隐含层神经元个数,按照上面所述,列举出可能的输入变量,每个输入变量参与与否设为一个二进制变量,0表示不参加预测,1表示参加预测,另外将隐含层的节点个数编码成一个变量,同样用一定位数的二进制码表示,将这个二进制编码串作为优化对象,将误差最小作为优化目标,设定学习经历,利用相应的智能算法进行优化训练,最终得到相应的神经网络预测模型。这样得出的模型避免了人为设定参数的主观因素,并且当环境参数变化时可以重新学习训练网络,具有一定的自适应性。

3.3 研究并提出智能误差后干预修正算法

虽然通过自适应预测模型得到了相应的模型预测值,但是仍然有少量的预测结果不尽如人意,需要在原有预测的基础上对这些少量的预测结果进行后干预纠正,建立具有智能知识的智能后干预修正算法或规则,将其并入到后干预的推理库和算法库中,作为经验决策规则进行后干预功能的使用,这种规则为预测人员提供了如同专家一样的指导,可以避免相关人员由于经验的缺乏而影响预测的效果,还可以修正预测模型因尚未发现的影响因素带来的预测偏差。

3.4 研究智能电网与新能源发电相关的负荷预测

智能电网的发展将会使以风电为代表的新能源发电方式自由安全地并网发电,然而相比较火力发电而言,风电的发电出力稳定性较差,随机性较强,对气象因素尤其是风速的依赖性较大,因此,风电发电出力的预测以及风速的预测所考虑的因素也将会有所不同。

4 结论

本文在介绍智能电网环境背景以及国内外研究现状的基础上,对智能电网环境下的自适互动智能

电力预测理论研究进行探讨,提出一种新的信息集成的智能互动电力预测体系,提出智能电网下信息化、智能化的电力预测方法,提出新的负荷相关定性、定量数据预处理方法,依靠数据挖掘技术提取具有相似特征的模式序列数据,全面考虑各种变量对预测的作用,以此作为预测的基础。将智能优化算法和智能预测方法进行结合,建立具有较强适应性的自适应智能预测模型,结合数据预处理方法进行负荷预测,对于预测不理想的个别结果,智能分析其引起的原因,提取相应的规则或利用智能算法进行修正,创造客观的新的后干预方法,使预测精度得以突破性的提高,进而提高电力工业的经济效益和社会效益,完善电力负荷预测的理论研究。

参考文献

- [1] 赵宏伟,任震,黄雯莹.基于周期自回归模型的短期负荷预测[J].中国电机工程学报,1997,17(5):348-351.
- [2] KYUNG B S, YOUNG S B, DUG H H, et al. Short-term Load Forecasting for the Holidays Using Fuzzy Linear Regression Method[J]. IEEE Transactions Power Systems, 2005,20(1):96-101.
- [3] 朱陶业,李应求,张颖,等.提高时间序列气象适应性的短期电力负荷预测算法[J].中国电机工程学报,2006,26(23):14-19.
- [4] 雷绍兰,孙才新,周淑,等.一种多变量时间序列的短期负荷预测方法研究[J].电工技术学报,2005,20(4):62-67.
- [5] 牛东晓,赵磊,张博,王海峰.粒子群优化灰色模型在负荷预测中的应用[J].中国管理科学,2007,15(1):69-73.
- [6] 张俊芳,吴伊昂,吴军基.基于灰色理论负荷预测的应用研究[J].电力自动化设备,2004,24(5):24-27.
- [7] 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.
- [8] 陶文斌,张粒子,潘弘,等.基于双层贝叶斯分类的空间负荷预测[J].中国电机工程学报,2007,27(7):13-17.
- [9] 刘东,李莉.小波神经网络嵌入专家系统的短期电力负荷预测[J].陕西电力,2009,37(10):44-48.
- [10] PAI P F, HONG W C. Forecasting Regional Electric Load Based on Recurrent Support Vector Machines with Genetic Algorithms [J]. Electric Power Systems Research, 2005,74(3):417-425.
- [11] WEI C H. Electric Load Forecasting by Support Vector Model [J]. Applied Mathematical Modelling, 2009,33(5): 2444-2454.
- [12] 牛东晓,谷志红,邢棉,王会青.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.
- [13] 刘达,康薇.电力市场中扩展短期负荷预测的动态支持向量机模型研究[J].陕西电力,2008,36(8):6-9.
- [14] MOHAMMED E T, F E K. Short-term Forecasting of Jordanian Electricity Demand using Particle Swarm Optimization[J]. Electric Power Systems Research, 2008,78(3):425-433.
- [15] 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.
- [16] WI Y M, SONG K B, JOO S K. Data Mining Technique using the Coefficient of Determination in Holiday Load Forecasting [J]. Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2009,58(1):18-22.
- [17] 熊浩,李卫国,黄彦浩,等.基于模糊粗糙集理论的综合数据挖掘方法在空间负荷预测中的应用[J].电网技术,2007,31(7):36-41.
- [18] 牛东晓,邢棉,孟明.基于联合数据挖掘技术的神经网络负荷预测模型研究[J].电工技术学报,2004,19(9):62-68.

(责任编辑 付小平)

Research on Adaptive Interactive Intelligent Load Forecasting in Smart Grid Environment

WANG Jian-jun

(School of Economic and Administration, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Smart grid is the inevitable trend of electric grid enterprises. After the completion of the smart grid, with the new energy and distributed energy accessed into electric grid, and a highly integrated information system completed, the electric grid enterprises' environment will be changed. A data warehouse of the load forecasting will be established, it contains not only quantitative data for traditional forecasting, but also new qualitative data. Based on the data warehouse, firstly, data mining techniques is used to calculate a high degree of similarity days of the forecasting in order to extract the corresponding data, and then a corresponding knowledge database and inference database are created. Secondly, a group of self-adaptive intelligent models which can determine the structure of themselves is applied for load forecasting. Finally, the corresponding intervention correction algorithm will be applied to improve the accuracy. An adaptive interactive intelligent load forecasting system is formed. The study will improve the economic benefits of smart grid and the whole electric power industry, enhance China's ability of energy-saving emission reduction and sustainable development, and will be conducive to the theory and applications of electric load forecasting study.

Key words: smart grid; interactive; smart load forecasting; new energy; data warehouse