

电力负荷预测研究综述及预测分析

杨博宇^{1,2}, 陈仕军²

(1. 国网四川省电力公司党校(管理培训中心) 四川 都江堰 611830;

2. 四川大学水利水电学院 四川 成都 610065)

摘要: 电力系统负荷预测研究对于用电形势分析、用电规划、合理部署人力、物力资源以及经济有效地管理电力系统都具有重要的意义。分析了电力负荷研究现状,较系统地总结了电力负荷预测的特点、步骤及其常用预测方法,并从多个角度对不同预测方法的特点进行比较分析,进而对四川省用电负荷预测及中国用电形势进行预测分析,为电力负荷预测研究提出富有针对性的建议。

关键词: 电力负荷; 预测方法; 回归分析; 电力弹性系数; 空间负荷预测法

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)03-0056-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.03.012

Overview of Electrical Load Forecasting Researches and Forecasting Analysis

Yang Boyu^{1,2}, Chen Shijun²

(1. Party School (Management Training Center) of State Grid Sichuan Electric Power Company,

Dujiangyan 611830, Sichuan, China;

2. Water Conservancy and Hydropower School, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

Abstract: The researches on load forecasting of power system are of great significance to the electricity consumption analysis, electricity planning, rational arrangement of manpower and material resources, economical and effective management of power system. Firstly the background and current situation of electrical load research are analyzed, and the characteristics and procedures of electrical load forecasting and its common prediction methods are systematically summarized. And then from different point of view the characteristics of different prediction methods are analyzed and compared, moreover the electrical load forecasting in Sichuan province and the national electricity consumption situation are analyzed. Furthermore, the corresponding opinions and suggestions are put forward for the researches of electrical load forecasting.

Key words: power load forecasting; forecasting method; regression analysis; electricity elasticity coefficient; spatial load forecasting

0 引言

电力负荷预测主要是基于电力历史数据对未来时段的电力负荷、用电形势、用电需求、用电量等进行综合预测及推算。负荷预测的研究对象是不确定事件^[1]。电力负荷预测研究的不确定性推动着负荷预测研究和技术向着精细化、综合化和多元化发展。通过对一个区域的电力负荷预测进行有效分析,可以更合理地规划地区发展方式,为提高人民生活

活质量水平和社会经济发展提出富有针对性的合理化建议。

1 电力负荷预测研究现状

中国电力负荷预测研究开始于20世纪80年代,起步晚于国外近10年^[1]。1980年以来,中国步入大力发展经济的重要阶段,随着改革开放不断深入,电力需求极度旺盛,对于电力负荷预测技术的研究也不断升温。同时由于“一带一路”“全球能源互

联网”的建设步伐不断向前,对于电力负荷预测技术能力提高也不断强化。目前,常用电力负荷预测方法主要分为以回归分析法、趋势外推法、产值单耗法等为主的数学统计类方法和以人工智能类为主的新型预测方法^[2]。中国电力负荷预测技术虽然起步较晚,但近年来发展速度迅猛,正在逐步缩小与国外发达国家的差距。电力负荷预测具有不确定性、波动性、多变性、有条件性、多方案性、时间性和周期性等特点^[2]。其中时间性最为关键,它是电力负荷预测的核心要点。而预测方法及方案选择则是电力负荷预测需要关注的核心问题。

2 电力负荷预测的特点

通过对电力负荷特点的剖析,才能更有针对性地选取适用的预测方法,从而取得符合精度要求的预测结果,更好地为区域电力系统和经济社会发展提供重要支撑。

1) 不确定性

电能属于瞬时能源,难以像化石能源(石油、天然气、可燃冰等)那样长期大量存储,具有不可大量存储和不确定性,因此,电力负荷预测应保证电力的消费和生产在同一瞬时进行。此外,电能对于居民生活、工业生产等尤为重要,且电力供需在国内相当长一段时间内存在矛盾(供应能力跟不上经济发展需求),因此,电力负荷预测工作变得更加重要。

2) 时间性

电力负荷从长期来看是波动变化的,且这种变化呈现出周期性和连续性的特点,而时间是电力负荷预测最显著的影响因素之一。通过时间性可以进而分析电力负荷预测的连续性和周期性特征。

3) 多方案性

电力负荷预测是一项长期性的工作,需要耗费大量时间、数据、软件等进行分析,并从多种预测方案中寻找出最符合实际情况、预测精度更高的预测结果^[3]。常用的电力负荷预测方法有宏观指标法(电力弹性系数)、统计分析法(回归分析、时间序列)、空间负荷预测方法、人工神经网络法、组合预测模型等。随着科技的进步以及电力负荷预测的不断发展,更多新的、行之有效的预测方法将会不断涌现出来。但在实际电力负荷预测中应进行多种方案的比对、筛选,从而得到最适用的预测方案。

除了上述特点,电力负荷预测还受到季节、温度、天气等因素的影响。全国的用电高峰期通常集中出现在极寒、炎热或极度恶劣天气时期,即大多数出现在4季度末至1季度初和2季度末至3季度初^[3],用电高峰期的天气温度一般在0℃以下、0~10℃或30℃以上。由于电力负荷预测对天气、温度和季节等具有敏感性,不同的温度、天气、季节等因素都会对用电负荷造成明显影响,甚至轻微的天气和温度变化都会导致电力负荷预测数据的波动。在新形势下的电力负荷预测将会不断产生对于电力负荷的新认识。

3 电力负荷预测的步骤

根据电力负荷预测的发展方向,科学地进行负荷预测对于区域内的用电规划、经济发展、居民生活、工业生产、科技发展、产业发展等都具有重要意义。文献[4]指出电力负荷预测步骤可分为:

1) 确定预测目标和内容;

2) 选择及建立合适的预测模型;

3) 输入相应数据进行过程分析;

4) 对预测的数据结果进行综合分析;

5) 评价、评估相应预测结果,出具方案可行性报告。

4 负荷预测方法分析

1) 宏观指标法

典型用于电力负荷预测的宏观指标法为电力弹性系数^[5],其反映的是电力消费年平均增长率 A_Y 与国民经济年平均增长率 A_X 之比,用公式表示为

$$E = \frac{A_Y}{A_X} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1} \cdot \frac{X_1}{X_2 - X_1} \quad (1)$$

变形可以得出:

$$Y_2 = \frac{E(X_2 - X_1)}{X_1} \cdot Y_1 + Y_1 \quad (2)$$

式中: X_1 、 X_2 分别为某时段初期及末期区域国内生产总值; Y_1 、 Y_2 分别为初期和末期的区域全社会用电量数据。

2) 回归分析法

该预测方法运用统计学原理,对大量的数据进行数学推理,确定用电量或用电负荷与地区国内生

产总值、人口数量、国民经济等经济参数之间的关系^[6]。通过建立具有相关性的数学模型方程,运用外推法对未来某一时间状态下的电力负荷进行预测。根据自变量的多少,可以分为一元回归分析模型和多元回归分析模型;根据函数是否呈线性关系,又可分为线性回归分析和非线性回归分析模型。

3) 人工神经网络法

人工神经网络(artificial neural network, ANN)技术,就是模仿人脑的智能化分析原理,对大量数据具有的非精确性、非结构性、非线性规律表现出较强的记忆性和自适应特点,并且能够进行自我学习、数据推理和拟合优化^[7]。神经网络法最突出的特点是智能化,这是其他方法所不具备的。文献[8]指出 ANN 技术发展至今,其 BP 神经网络模型运用最为普遍,该方法是一种按照误差反向传播算法训练的多层前馈神经网络。

4) 空间负荷预测法

空间负荷预测(spatial load forecasting, SLF)最早是由美国 Willis 在 1983 年提出^[9],其定义为在未来电力部门的供电范围内,根据规划的城市电网电压水平不同,将城市用电按照一定的原则划分为相应大小的规则(网格)或不规则(变电站、馈线供电区域)的小区(每个小区又称为一个负荷元胞,简称元胞)^[10]。通过分析、规划、预测城市小区土地利用的特性和发展规律,来进一步预测相应小区中电力用户和负荷分布地理、数量及产生时间。该方法是对未来的规划预测,不仅包括对负荷的大小,更是对于负荷的分布位置预测。SLF 超越了传统的负荷预测方法,它是电力系统管理由粗放型向精细化转变的产物,且适应于现代新型电力系统规划。通过该方法的预测结果可以有效对地区内电力负荷安装位置及容量进行确定,从而显著提高电力系统的经济效益及稳定性能。

5 预测方法分析与比较

上述 4 种电力负荷预测方法都有各自的特点和不足,每种方法都有各自的研究角度和适用条件。

1) 从适用角度比较

回归分析法或趋势分析法更符合于统计规律的研究与描述,适用于大量、多年数据分析,这种方法更倾向于由历史数据分析来建立预测模型,从而进

行历史、现在、未来发展方式的一致性预测。回归分析的难点在于回归线类型的选取、回归变量的选取、回归变量因素与计量经济学之间关系的构建,这些因素都会直接影响预测精度。

宏观指标法(电力弹性系数)更类似于单耗指标法,适用于根据历史统计数据,在分析影响单耗或电力弹性系数的多方因素变化趋势下,寻找其中的规律,确定单耗指标或电力弹性系数,再以此为基础预测电力负荷数据,同时辅以国内生产总值、经济指标、社会发展规划等作为参考。该方法的难点在于对指标或系数预测准确性的把握,因为稍有误差便会大大影响预测精度;此外,该方法对经济指标依赖度较高,需要收集的国民经济数据量较大^[5]。

2) 从预测时间长短分析

人工神经网络(ANN)技术中的 BP 神经网络预测方法更适用于短期负荷预测^[7],其他适用于短期负荷预测的方法还有指数平滑法、灰色模型法等。BP 神经网络方法的缺点是需要设定节点数、隐含层数、训练次数等算法参数,计算过程较为复杂;同时该方法的算法参数设定多为长期尝试结果或长期累积经验,缺少业界公认理论概念进行有效支撑,以弥补过程缺陷。

对于中长期负荷预测,采用回归分析法、宏观指标法(电力弹性系数)、产值单耗法、趋势分析法、空间负荷预测法和改进型的灰色预测模型更合适。其中前 4 种方法比较简单,而后 2 种算法是比较复杂和综合的组合算法,也是当前应用较为广泛的新型预测模型思路。所谓改进型灰色模型是将各种单一模型经灰色关联度筛选和检验后,选择恰当的权重分配方法,进行组合预测^[11]。而空间负荷预测(SLF)的组合预测则是通过建立影响电力负荷因素的多变量(经济、气温、气象、人口、产值等)预测模型^[12],运用地理信息(元胞)和地区用电负荷历史数据、元胞负荷值、元胞负荷密度等信息进行数据整合,综合分析元胞内负荷密度发展规律及程度,最后对元胞内负荷值进行负荷预测,为城市相关建设规划提供参考建议。SLF 适用于短、中、长期的综合全方位城市或地区用电负荷和方位预测。

6 四川电力负荷预测分析

下面选用两种方法对四川省电力负荷数据进行

预测。

6.1 宏观指标法

根据前面所提到的宏观指标法介绍,以下具体运用宏观指标法分支中的电力弹性系数法进行负荷预测。以四川省电力负荷和国内生产总值历史数据为依据,运用电力弹性系数法进行对四川省中长期电力负荷数据和电力弹性系数进行预测。

从表1中可以看出,电力弹性系数是反映国民经济发展与电能需求增长的重要指标。准确预测电力弹性系数可以保证以很小的误差有效得到下一年的全省用电负荷需求,为经济建设规划和用电指标分析提供参考建议。由表1可知,预测数据与实际电力负荷数据的误差范围均在±5%以内,符合误差允许,同时也证明了方案的可行性。同时通过分析,预测四川省“十二五”的电力弹性系数为0.48,“十三五”的电力弹性系数为0.7。这表明四川省工业化刚步入中期,城镇化与全国差距较大,城镇化滞后于工业化,所以在“十二五”“十三五”乃至“十四五”时期,是四川省加速推进城镇化及工业化的重要时期。同时随着电能替代、节能降耗不断发展,使相应电力在终端能源消费中维持较高占比,电力弹

性系数也相应维持在0.5~1之间,以适应地区经济社会发展对电力的需求。影响电力弹性系数的因素是多方面的,主要有电力工业发展水平、经济结构、科学技术水平以及人民生活水平等^[5]。

6.2 回归分析法

这里选取一元线性和一元非线性两种回归分析法对四川省历史用电负荷数据进行分析,从而对2012—2020年的数据进行相应预测分析和误差比对。一元线性回归分析法的公式表达式为

$$y = ax + b \quad (3)$$

一元非线性三次对数回归分析法的公式为

$$y = \alpha \cdot \ln^3(x) + \beta \cdot \ln^2(x) + \gamma \cdot \ln(x) + \lambda \quad (4)$$

式中: x 为全省对应年份国内生产总值; y 为实际电力负荷数据; a 、 b 和 α 、 β 、 γ 、 λ 分别为预测模型待定参数。

一元线性回归模型取2010—2017年历史数据估计待定参数,而一元非线性回归模型取1990—2017年历史数据估计待定参数。最后取两种方法的平均值作为2018—2030年四川省电力负荷的预测值,同时进行误差分析,并对“十三五”“十四五”四川省用电负荷增速进行预测。如表2所示,可以

表1 电力弹性系数法及2012—2030年电力负荷预测值

时间段	四川省国内生产总值/亿元			全社会用电/ 10^2 GWh			预测电力弹性系数	实际电量弹性系统
	当年数据	同比增长率/%	预测数据数值	实际数据	同比/%	误差范围/%		
2012年	23 873.00	12.60	1 830.70	1 830.70	4.53	-	0.48	0.36
2013年	26 392.00	10.00	1 918.57	1 948.9	6.46	-1.56	0.48	0.65
2014年	28 537.00	8.50	2 028.42	2 014.80	3.38	0.68	0.48	0.4
2015年	30 053.00	7.90	2 091.20	1 992.40	-1.11	4.96	0.48	-0.14
2016年	32 681.00	7.70	2 099.79	2 101.00	5.45	-0.06	0.7	0.71
2017年	36 980.20	8.00	2 218.66	2 205.18	4.96	0.61	0.7	0.71
2018年(预测)	39 753.72	7.50	2 320.95	2 320.95	5.25		0.7	
2019年(预测)	42 735.24	7.50	2 442.80	2 442.80	5.25		0.7	
2020年(预测)	45 940.39	7.50	2 571.05	2 571.05	5.25		0.7	
“十二五” (增速预测)		10.77			5.16		0.48	
“十三五” (增速预测)		7.50			5.30		0.7	
“十四五” (增速预测)		7.20			4.8		0.67	
“十五五” (增速预测)		6.80			4.80		0.65	
2021—2030年 (增速预测)		7			4.60		0.66	

表2 回归分析及2012—2030年电力负荷预测值

时间	四川省国内 生产总值/亿元	全社会用电量/ 10^2 GWh				
		预测数据数值	预测数据数值	平均值	实际数据	误差范围/%
预测模型		一次回归	三次对数			
2012年	23 873.00	1 821.11	1 820.49	1 820.80	1 830.70	-0.54
2013年	26 392.00	1 901.79	1 911.31	1 906.55	1 948.90	-2.17
2014年	28 537.00	1 970.48	1 983.25	1 976.87	2 014.80	-1.88
2015年	30 053.00	2 019.03	2 031.46	2 025.25	1 992.40	1.65
2016年	32 681.00	2 103.19	2 110.45	2 106.82	2 101.00	0.28
2017年	36 980.20	2 240.88	2 228.84	2 234.86	2 205.18	1.35
2018年(预测)	39 753.72	2 329.70	2 299.15	2 314.43		
2019年(预测)	42 735.24	2 425.19	2 370.18	2 397.68		
2020年(预测)	45 940.39	2 527.83	2 441.91	2 484.87		
2013—2017年(增速)		3.9	3.2	3.55		
“十三五”(增速预测)		4.7	3.6	4.15		
“十四五”(增速预测)		4.6	6.1	5.35		
2021—2030年(增速预测)		0.966 7	0.996 4	0.98		

发现运用三次对数的预测模型的预测值与实际数据更接近且误差范围更小。

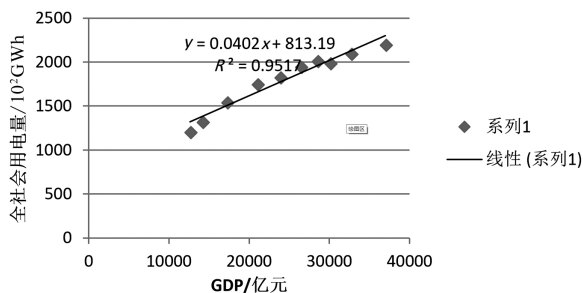


图1 四川省国内生产总值与用电负荷线性关系

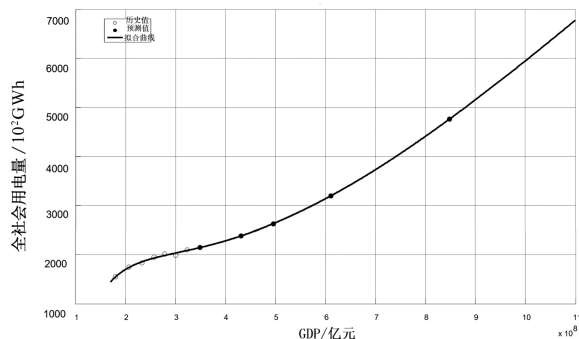


图2 四川省国内生产总值与用电负荷非线性三次对数关系

由图1、图2可知,四川省国内生产总值与用电负荷更呈现非线性的关系。由1990年到2017年历史用电数据和生产总值关系可知,用电负荷增速呈现波动性增长。在运用回归分析法预测负荷时,应当先选定回归线类型,以便更好地提高预测精度。

根据国家能源局四川省监管办公室发布的《四川省电力供需监测报告》及电力企业联合发布的《2017年度全国电力供需形势分析预测报告》,2017年全国全社会用电量超过了 5×10^6 GWh,同比增长速度达到6%,增速同比提高约1个百分点。由此可见,2018年全国用电负荷将会继续保持平稳上升,这也是全国各省的发展趋势。2017年四川省全社会用电量约为 2.2×10^5 GWh,同比增长5%;外送电量约 1.4×10^5 GWh,同比增长7.9%。综合分析,第二产业及工业用电所占比例继续下降,而第三产业及城乡居民生活用电所占比例稳步上升。这也是全省积极推进电能替代、节能降耗、清洁能源电量增加、电力体制改革释放红利、产业结构调整等有效措施,保证经济建设与电力系统建设稳步前进的结果。

7 结 语

从国内电力负荷预测形势分析为出发点,以《四川省电力供需监测报告》数据为基础,深入分析影响电力负荷预测的各种因素,从而得到对四川省未来电力负荷预测的有效方法及相关建议。短期电力负荷预测,由于受到天气、气候及突发因素的影响,波动性较大,可以选择以智能化为主的电力负荷

(下转第91页)

低数据运维工作量及难度,最大程度地规避数据安全
风险。

3 结 语

随着信息化建设的持续深入,大数据、云计算、
区块链等新技术的逐步应用,以及业务需求的持续
增长,安全一直是信息运维永恒的话题。从信息安
全保障的实际需求出发,构建了信息安全保障体系,
并分别从管理和技术两个层面阐述了其架构和包含
的关键要素。安全管理持续推进的事实证明,该体
系能够有效地消除信息安全管理死角,夯实信息安
全基础,提升信息系统安全保障水平,切实承担起智
能电网和“五大”体系高效运转的支撑职责,为四川
公司筑起一道安全的“防火墙”。

参考文献

[1] 李文娟,胡瑛瑛,赵瑞玉.通信与信息专业概论[M].

(上接第60页)

预测模型,如BP神经网络方法、专家系统法和支持
向量机(support vector machine,SVM)法^[4],这些方
法可以有效地计及影响电力负荷的诸多外在因素,
从而训练出精度较高的预测模型。在中长期电力负
荷预测时,可以运用回归分析法、趋势分析、电力弹
性系数、产值单耗等方法,通过大量历史数据或经济
指标数据支持,对平稳且大量的数据有不错的预测
效果。四川省未来电力负荷预测应采用以智能化和
传统方法相结合的新型预测方法,如空间负荷预测
(SLF)元胞分析模型、改进型灰色模型等组合算法,
这将更适应不断暴露出来的负荷曲线波动问题。新
型负荷预测问题的不断出现也将带动电力负荷预测
技术向更深层次发展,而电力负荷预测也将为中国
建成“一带一路”经济强国、全球电力市场互联互通
提供坚强护盾与有力支撑。

参考文献

[1] 张彦宇,肖茜.国内外关于电力系统负荷预测的研究
现状分析[J].山东工业技术,2016(11):215-216.
[2] 刘建军.电力系统负荷预测综述[J].中国科技信息,
2016(16):52-53.
[3] 于杏.电力负荷预测方法分析[D].南京:南京理工大
学,2016.

北京:人民邮电出版社,2014.

[2] 曾鸣,李娜,董军,等.基于大安全观的电网运行管理
关键技术——关于印度大停电的思考[J].电力系统
自动化,2012,36(16):9-13.
[3] 贺惠民,王刚,陈乐然,等.智能电网信息安全问题与
优化研究[C].中国电机工程学会年会,2013.
[4] 周文琼.大数据环境下的电力客户服务数据分析系统
[J].计算机系统应用,2015,24(4):51-57.
[5] 孙昌军,郑远民,易志斌.网络安全法[M].长沙:湖
南大学出版社,2002.
[6] 王凡林,陈辉,王寿荣.IT治理机制下的企业内部控
制问题与建议[J].会计之友,2011(3):70-71.
[7] 姜日敏.电信运营商数据脱敏系统建设方案探讨[J].
中国科技信息,2014(8):132-133.

作者简介:

杨嘉湜(1963),硕士研究生、高级工程师,从事电力系
统自动化及电力通信信息专业工作。

(收稿日期:2018-05-04)

[4] 宋晓茹,李莉,张来青.中长期电力负荷预测研究[J].
计算机仿真,2014,31(9):132-135.
[5] 罗国东.基于改进电力弹性系数法的负荷预测[J].陕
西电力,2013,41(6):46-48.
[6] 李钜,李敏,刘涤尘.基于改进回归法的电力负荷预测
[J].电网技术,2006,30(1):99-104.
[7] 杜莉,张建军.神经网络在电力负荷预测中的应用研
究[J].计算机仿真,2011,28(10):297-300.
[8] 朱建平.神经网络在电力负荷预测中的应用研究[J].
科技资讯,2015(23):32-34.
[9] Willis H L. Spatial Electric Load Forecasting[M]. New
Work: Marcel Dekker, 2002.
[10] 肖白,杨欣桐,田莉,等.计及元胞发展程度的空间负
荷预测方法[J].电力系统自动化,2018,42(1):61-
67.
[11] 俞明生,冯桂宏,杨祥.组合优化灰色模型在中长期
电力负荷预测中的应用[J].沈阳工业大学学报,
2007,29(2):153-156.
[12] 肖白,周潮,穆钢.空间电力负荷预测方法综述与展
望[J].中国电机工程学报,2013,33(25):78-88.

作者简介:

杨博宇(1990),博士研究生,研究方向为水电运行管理
及电力市场;

陈仕军(1989),博士、助理研究员,研究方向为水电运
行管理与电力市场、能源战略与经济管理。

(收稿日期:2018-03-06)