

# 基于多时段气象数据判断相似日的日负荷曲线预测研究

周晖<sup>1</sup>, 王玮<sup>1</sup>, 秦海超<sup>1</sup>, 王书春<sup>2</sup>, 姜红<sup>2</sup>

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 长春供电公司调度所, 吉林 长春 130051)

**摘要:** 日负荷曲线预测是电力市场运营的基本内容。而短期负荷预测应用中较为成功的人工神经网络方法 ANN (artificial neural network), 在很大程度上取决于训练样本以及输入变量的合理选取, 它关系到算法的收敛性、计算速度以及预测的精度。通过对长春地区日负荷数据与日气象数据的基础分析, 提出了选用多时段气象数据以及日类型作为相似日判别要素, 并运用灰色关联理论, 计算出预测日和诸多历史日的关联度, 来确定 ANN 的训练样本, 从而建立起适应性较强的日电量的预测模型。然后由日电量预测的结果, 采用 96 点的波形系数, 求出日各点的负荷预报值, 经滚动预测检验证明, 该方法能较好地满足实际电力系统的负荷预测要求。

**关键词:** 日负荷曲线预测; 相似日; 多时段气象数据; 灰色关联理论; 波形系数法

**中图分类号:** TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)23-0041-05

## 0 引言

在当今电力工业进行市场化运营条件下, 日负荷曲线预测是运营系统的必不可少的内容之一<sup>[1]</sup>, 在东北模拟电力市场中, 对日负荷曲线的预测结果, 已经实施了较为严格的逐点考核标准。在这种情况下, 如何提高短期负荷预测工作的水平, 减少购电计划的偏差, 已经成为供电公司一项十分重要的工作, 因为它影响着企业每天的经济效益。

尽管短期电力负荷预测, 一直是学术界研究的热点问题之一, 但由于负荷需求始终是动态变化的, 它受到诸多因素的影响, 如地区的经济发展水平、能源供应方式、用电结构、用电行为、气候、需求侧管理政策等, 因此探寻影响因素与电力负荷变化的关联关系、寻求适应性好的算法, 一直是大家研究的重点。

在诸多影响因素中, 其中气象对电力负荷的影响, 其规律性比较明显, 如在春季, 降雨对灌溉负荷的影响比较大; 在夏季, 温度和湿度对降温负荷影响比较大<sup>[2]</sup>; 在冬季, 寒冷状况对取暖负荷的影响比较大; 阴雨天气, 对照明负荷影响比较大; 因此, 在电力负荷预测模型当中, 计及气象因素的影响, 已得到了大家的共识<sup>[3]</sup>, 而且气象部门也能够提供出实测的气象数据, 使得基于气象影响的电力负荷的建模分析, 具备了必要的技术分析条件。

需要指出的是, 由于日负荷各点的数据, 是一个总量参数, 即它是不同时刻、不同影响因素的综合作用的结果, 就目前现有的监测系统和信息水平而言,

实际上还难以分辨出其中由气象因素引起的负荷变化分量。在上个世纪 80 年代, 人工神经网络技术<sup>[4]</sup>等智能算法的出现, 由于它们具有自主学习的功能, 使得寻找电力负荷与各影响因素之间存在的复杂非线性关系成为可能。

但在应用人工神经网络方法进行 96 点的负荷预测时, 遇到了以下几个问题。

1) 电力负荷预测要求达到了 15 分钟为一个间隔, 而许多气象机构为电力部门只能提供到以日为单元的参数, 如日平均 (最高、最低) 温度、日降雨量、日天气状况、日风力等, 它反映的是各气象要素一天之内总的情况, 显然, 与电力负荷 96 点的数据, 从序列的角度看是不匹配的, 这也是在进行逐点的日负荷 - 气象对应分析时一大困难。

2) 应用人工神经网络算法进行负荷预测时, 其预测精度在很大程度上, 取决于训练样本和输入变量选择上; 另外, 尽管人工神经网络算法可以处理多输入 - 多输出问题, 但如果是一个过于复杂的系统, 势必会影响到其算法的收敛性, 因此, 把 96 个点的负荷作为输出是不为推荐的。

基于此, 在什么季节, 选择哪个气象要素作为影响变量, 选择多大训练样本, 建立一个关于日电量还是负荷曲线逐点的预测模型, 这些都是实现 96 点负荷预测工作事先必须考虑清楚的问题。

为此, 采用 SPSS 软件<sup>[5]</sup>, 在对长春地区的 2001 年 6 月到 2004 年 12 月的电力负荷数据和多时段 (2: 00, 8: 00, 14: 00, 20: 00) 的主要气象参数 (气温、

风力、云量等)作基本分析的基础上,发现在冬季长春的电力负荷与温度的关联性比较强,且同类型日负荷变化规律比较相似,因此提出了选用多时段温度数据以及日类型作为相似日判别的要素,并采用灰色关联理论,来计算预测日与历史日的关联度,从而确定人工神经网络所需要的训练样本,先建立日电量的预测模型,然后用日电量预测的结果和96点的负荷波形系数,求出日各点的负荷预报值。最后,通过滚动预测结果的验证,证明了该方法的可行性。

## 1 长春地区冬季短期负荷预测影响因素的确定

如上面分析可知,随着气象观测技术的发展,气象部门现在能够获得越来越精确的气象数据,其中每日的温度、湿度、风力、云量这些气象要素,对一个基本观测站而言,能获得4个点的参数,这些点的数据,与单个统计参数(如日最高、日最低、日平均温度)相比,能更准确地、更全面地反映气象参数在一日内的动态变化过程,图1为某日多时段温度变化曲线。

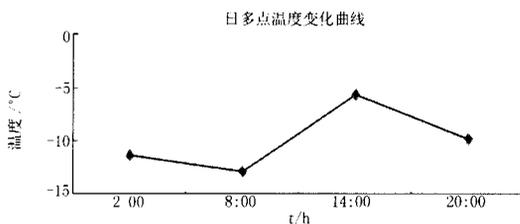


图1 2000年12月1日温度的变化曲线

Fig 1 Daily temperature curve on multi-intervals data on Dec 1, 2000

由于长春地处北方,是一个比较寒冷的地区,在冬季,温度的高低对地区负荷的影响较大,做日电量和日平均温度的相关性分析,其结果见表1。

表1 2001和2002年供暖期日平均温度与日电量关联分析

Tab 1 Correlative coefficient between daily average temperatures and daily average load in 2001, 2002

年份	相关系数
2001年冬	-0.604
2002年冬	-0.557

由表1可知,两者的相关系数在2001~2002年2个取暖期内(上年的10月15日~次年的3月15日)分别为-0.604和-0.557。说明气温是影响冬季负荷变化的重要因素。

此外,考核日电力负荷变化曲线,画出2001年

12月3日~12月23日三周时序日电量曲线,如图2,发现它具有比较明显的以周为周期的循环变化特点,也就是说,工作日与周末的日电量需求存在着较大的差异。

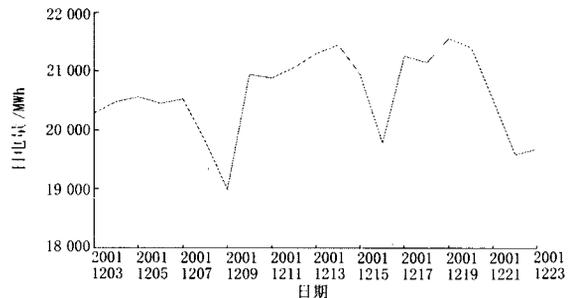


图2 2001年12月3日~12月23日长春地区日电量变化曲线

Fig 2 Load curve from Dec 3, 2001 to Dec 23, 2001

以年为单位统计一周内不同工作日的日电量平均值,并以星期日为基准,计算其它日的电量与它的比值,计算结果列在表2中,可以看到,工作日的用电水平比较平稳,且它们与周末的比值关系也比较平稳。

表2 一周内各天的日用电量比值计算

Tab 2 Load rate of others day in a week to Sunday

年份	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
2001	1.06	1.07	1.08	1.07	1.07	1.03	1.00
2002	1.06	1.06	1.07	1.07	1.06	1.03	1.00
2003	1.06	1.07	1.06	1.06	1.05	1.02	1.00

因此,进行冬季的日电力负荷预测,一者需要考虑温度的影响,二者还要考虑周末和工作日电力需求的不同。此外,由于经济的发展,还要考虑电力负荷还有自然增长的问题,即近期负荷水平对预测日的负荷的影响较大,蕴含着“近大远小”的特点。

## 2 灰色关联计算与相似日的确定

要进行负荷预测,并且达到比较好的预测结果,实际上必须找到能与预测日相似或者对它有惯性作用的历史日作为训练样本来进行建模,前面的分析告诉我们,相似日的确定,必须在与预测日相近的一段时间范围内,考核历史日是否与预测日的日类型相同,温度状况是否基本相同。

为此,我们在距预测日三周的范围内,在相同类型日的各天,选择每天的四个温度参数作为确定相似日的基本要素。

确定相似日的方法很多,有模式识别<sup>[6]</sup>、聚类方法、相关分析等,考虑到我们所采用的是多时段的

温度参数,是一个动态时间序列,因此采用灰色关联理论来进行分析。

灰色关联理论<sup>[7]</sup>,是灰色系统理论中一个重要的内容,它的主要特点是对于动态变化的时间序列,可以从整个曲线的变化形态与趋势性,通过计算被测曲线与基准曲线之间关联度,分析出基准曲线与被测曲线的关联的紧密程度,并进行排序。

灰色关联算法的基本过程,分为以下几步:

1)对原始序列  $Y(k)$ 和  $X_i(k)$ ,  $k=1, m$  ( $m$ 为样本的个数),进行无量纲化处理(取像),得到  $Y(k)$ 和  $X_i(k)$ ,  $k=1, m$ ,  $i=1, n$  ( $n$ 为变量个数);

2)计算  $X_i(k)$ 与  $Y(k)$ 之间的关联系数  $\rho_i(k)$ ,其公式为:

$$\rho_i(k) = \frac{\min_k |y_0(k) - x_0(k)| + \max_k |y_0(k) - x_0(k)|}{|y_0(k) - x_0(k)| + \max_k |y_0(k) - x_0(k)|}$$

( $i=1, n$ ;  $k=1, m$ )

其中:分辨系数 取 0.5;

3) 求出灰色关联度  $\rho_i$ ,  $\rho_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \rho_i(k)$ , ( $i=1, n$ )

图 3为采用灰色关联算法,对 2001年 12月 17日作相似日的计算,取关联系数大于 0.5的作为相似日,依关联度强弱进行排序的示意图。

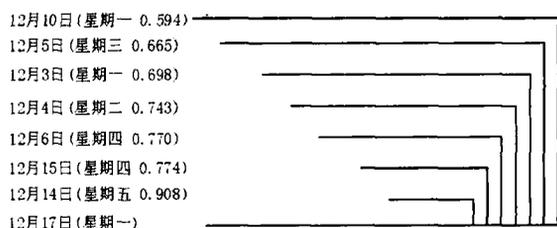


图 3 按灰色关联度排序后确定的相似日

Fig 3 An example of determination of similar days ordered by Grey incidence

从图 3可以看出,所选出来的相似日按关联度进行排序,与原自然的时间顺序是不同的,这主要是气象条件作用的结果,选出来的这些天的一日温度变化状况,相似性强;另外与预测日关联性比较强的样本从待选的 21个减少到 7个,大大减少了样本的数量。

### 3 基于 ANN 的日电量预报和日负荷曲线预测

为了验证采用相似日确定的训练样本,所建立预测模型具有较好的适应性,编制了人工神经网络

的 BP算法的 C语言程序,做了按自然时间序列,不考虑相似日(SCH-1)和关联度排序,考虑了相似日(SCH-2)(注:此处不需要采用波形系数法)的两种数值计算方案,并对 2001年 12月 3日~12月 23日三周进行了滚动预测,表 3为预测值与实际值比较的相对偏差。

在对周休日的预测时,采用的是在工作日预测电量的基础上采用比值修正的办法,主要是因为周休日的样本数量较少,离预测的周休日较远的样本其参考意义不大,还影响预测结果。

表 3 考虑相似日与不考虑相似日的日电量预测相对偏差

Tab 3 Comparison of relative error of load prediction with/without similar days considered

方案	12-3	12-4	12-5	12-6	12-7	12-8	12-9
SCH-1	8.95%	5.37%	10.34%	1.40%	15.75%	6.41%	6.87%
SCH-2	1.15%	0.81%	0.13%	0.80%	1.82%	0.01%	0.91%
方案	12-10	12-11	12-12	12-13	12-14	12-15	12-16
SCH-1	1.61%	0.14%	9.73%	11.28%	1.79%	0.18%	3.17%
SCH-2	1.98%	0.95%	0.77%	0.89%	0.53%	1.51%	1.12%
方案	12-17	12-18	12-19	12-20	12-21	12-22	12-23
SCH-1	10.93%	0.98%	3.33%	9.98%	7.26%	2.02%	7.31%
SCH-2	1.06%	0.14%	2.16%	1.24%	1.62%	1.80%	0.04%

从表 3可以看出,不考虑相似日的日平均相对预测偏差达到了 5.94%,考虑相似日则为 1.02%,预测效果大大改善。

96点的负荷预测,采用 ANN方法进行单点训练,预测效果不十分理想,考虑到相近日的负荷曲线形状变化不大,因此日负荷曲线的预测,采用波形系数法<sup>[8]</sup>来解决以上问题,这种方法适合解决具有周期性序列平稳增长问题。所谓的波形系数法指的是:

假设已知  $N$ 天各时刻的负荷值

$$Y_{1,1}, Y_{1,2}, \dots, Y_{1,96}$$

$$Y_{2,1}, Y_{2,2}, \dots, Y_{2,96}$$

$$\dots, \dots, \dots$$

$$Y_{N,1}, Y_{N,2}, \dots, Y_{N,96}$$

欲预测出第  $N+1$ 天各时刻的负荷值  $Y_{N+1,t}$  ( $t=1, 96$ )。

注意,以上为采用灰色关联算法选出来的  $N$ 天相似日。

第一步,计算出每天各时刻的平均负荷,即

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{96} (Y_{i,1} + Y_{i,2} + \dots + Y_{i,96}) \quad (i=1, n)$$

第二步,将  $N$ 天日电量  $Y_i$ ,采用考虑气象因素的 ANN模型,求出  $N+1$ 天的日电量  $Y_{N+1}$ 。

第三步,计算近期的各时刻电量波形变化系数,

即先将每个时刻的负荷除以当天的平均负荷,计算出每天各时刻负荷变化波形系数,即

$$S_{i,t} = \frac{Y_{i,t}}{\bar{Y}_i} \quad (i=1, n; t=1, 96)$$

再求出各时刻的平均值,即可认为它是  $N+1$  天各时刻波形变化系数的预测值,即:

$$S_{N+1,t} = \frac{1}{N} (S_{1,t} + S_{2,t} + \dots + S_{N,t}) \quad (t=1, 2, \dots, 96)$$

第四步,预测出下一天各时刻的负荷

$$Y_{N+1,t} = S_{N+1,t} \times Y_{N+1} \quad (t=1, 2, \dots, 96)$$

图 4 为采用波形系数法预测的 2001 年 12 月 5 日的负荷曲线,同时还画出了实际的日负荷曲线。

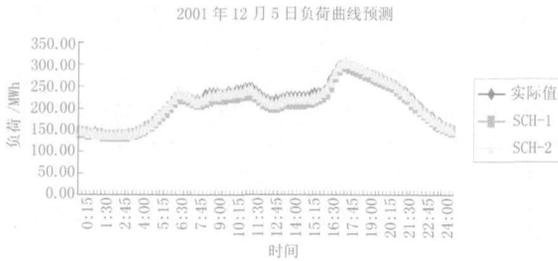


图 4 采用波形系数法预测的日负荷曲线

ig 4 Daily load curve forecasted by wave coefficient approach

从图 4 中可以看出,利用波形系数法进行日负荷曲线的结果是令人满意的,按照国家电力公司的短期预测标准,日负荷预报准确率 98% 的被考核日为合格日。

日负荷预报准确率计算公式为:

$$A_1 = \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i^2} \right) \times 100\%, \quad E_i = \frac{|LF_i - LR_i|}{LR_i} \times 100\%$$

其中:  $LR_i$ ,  $LF_i$  分别为负荷的实际值和预测值,  $n$  为单点的相对误差,  $E_i$  为单点的相对误差,其中  $i=1, 2, \dots, 96$ 。

采用相似日选择后的预测的准确率为 98%,达到了国电公司的要求,不经过相似日选取的预测结果只有 96%。滚动预测的结果表明,该准确率水平基本稳定在 97% 以上,基本能满足现场的需要,为预测专工的负荷预测工作起到很好的辅助决策作用。

## 4 结论

针对长春地区 96 点负荷曲线预报问题,本文在以下方面作了探讨:

1) 加强了对负荷数据的分析研究,从而掌握了负荷本身的变化规律(包括周负荷变化特性,日负荷变化特性)。

2) 探讨了在负荷与气象相关性较强的季节,考虑气象要素影响的必要性,并通过相关分析,找到主要的影响负荷的气象因子。

3) 利用多时段的温度数据,可以从整体上考核历史日的温度与预测日的温度的关联性,并采用灰色关联理论,确定相似日,从而确定 ANN 预测算法所需要的、合适的样本。

4) 采用两组不同的计算方案,对 3 周的负荷进行滚动预测,验证了基于相似日的训练样本的 ANN 预测模型,具有较好的预测效果。

5) 采用波形系数法,很好地预测了日负荷 96 点的负荷值,预测准确率较好。

需要指出的是,由于省电力公司的日负荷 96 点的预测要求,要求点合格率达到 97%,从本课题的数值运算结果看,尽管 ANN 具有较好的适应性,但预测结果很难到以上水平;另外,遇到节假日串休,以及西方一些节假日时,人们相应的用电行为会发生变化,所以需要进行人工干预。这些问题的解决,还有赖于负荷预测信息系统的进一步建设,以及对未来预测日的性质及其用电规律的更深入研究。

## 参考文献:

- [1] 赵遵廉. 电力市场运营系统 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.  
ZHAO Zun-lian. Electricity Market Operation System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [2] 黄朝迎. 北京地区 1997 年夏季高温及其对供电系统的影响 [J]. 气象, 1999, (1): 20-24.  
HUANG Zhao-ying. Effect of Summer Temperature on Electric Supply System in Beijing in 1997 [J]. Meteorology, 1999, (1): 20-24.
- [3] 汪峰, 等. 基于因素影响的电力系统短期负荷预报方法的研究 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(8): 54-58.  
WANG Feng, et al. Study of Short-term Load Forecast Model Involved Meteorological Elements [J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(8): 54-58.
- [4] 焦李成. 神经网络理论 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.  
JIAO Li-cheng. Theory of Artificial Net Network [M]. Xi an: Xidian University Press, 1999, 19(8): 54-58.
- [5] 卢文岱. SPSS for Windows 从入门到精通 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.

- LU Wen-dai SPSS for Windows[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997.
- [6] 赵凯,等. 基于模式识别技术的短期负荷预测[J]. 湖南电力, 2000, (6): 1-3.
- ZHAO Kai, et al Short-term Load Forecast Based on Mode Identification Technology[J]. Hunan Electric Power, 2000, (6): 1-3.
- [7] 刘思峰. 灰色关联理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- LU Si-feng Grey Incidence Theory and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [8] 于尔铿. 能量管理系统[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- YU Er-keng Energy Management System [M]. Beijing: Science Press, 1998.

收稿日期: 2005-03-17; 修回日期: 2005-06-02

作者简介:

周 晖(1964-),女,副教授,硕士生导师,在读博士,从事电力负荷预测、电力系统经济调度方面的研究。

E-mail: zhoh@dq.njtu.edu.cn

### Study of next-day load curve prediction based on similar days determined by daily multi-intervals meteorological data

ZHOU Hui<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, QN Hai-chao<sup>1</sup>, WANG Shu-chun<sup>2</sup>, JIANG Hong<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Changchun Power Supply Company, Changchun 130051, China)

**Abstract:** Next-day load curve prediction is the important items of electricity market operation system. The algorithm of artificial neural network, which is applied in short-term load forecast successfully, depends on how to select the trained samples and input variables to a great extent, as it has great relation with the convergence, calculation speed and calculation precision. Based on overall analysis of daily load data and daily meteorological data in Changchun, this paper proposes the set of multi-intervals meteorologicals data and date type involved is considered as the criterion of determination of similar days. With Grey incidence theory, the incidence degree of temperature variation curve in historical days and that of forecast days is obtained. The days which has similar meteorological condition to future day is selected as the sample of ANN, and daily forecast model of electricity amount which has good adaptive characteristics is constructed. By wave coefficient of daily load curve, the estimated load magnitude of 96 points per day is gotten. Verified by continuous prediction in practice system, the result is satisfactory.

**Key words:** next-day load curve prediction; similar days; daily multi-intervals meteorological data; Grey incidence theory; wave coefficient

(上接第 18页 continued from page 18)

### Application of IEC 60870-5-103 standard in the field of the testing of microprocessor-based protective relay

ZHOU Sen, ZHENG Yu-ping, LU Han, ZHANG Yi, JINan, HOU Guo-jun, LU Yong  
(NARI Relays Electrical Co., Ltd, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** This paper introduces the application of IEC60870-5-103 standard in the field of protective relay testing. Based on the standard, the communication is established between test system and protective relay. The test system not only gets the parameter value, the status, sampling value, relay trip element of the tested protection, but also telecontrols it by communication. It provides a good way to test protective relay and other microprocessor-based secondary devices in power system. It makes it possible to test protection automatically in the way of closed-loop. The principle has been successfully applied in HELP-90A relay testing instrument.

**Key words:** IEC 60870-5-103 standard; protective relay testing; closed-loop automatic testing