

叶殿秀, 张培群, 赵珊珊, 等. 2013. 北京夏季日最大电力负荷预报模型建立方法探讨 [J]. 气候与环境研究, 18 (6): 804–810, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12146. Ye Dianxiu, Zhang Peiqun, Zhao Shanshan, et al. 2013. Research on meteorological forecast technique of daily maximum electric loads during summer in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (6): 804–810.

北京夏季日最大电力负荷预报模型建立方法探讨

叶殿秀¹ 张培群¹ 赵珊珊¹ 夏鑫² 柯宗建¹ 王有民¹ 刘秋锋¹

¹ 国家气候中心, 北京 100081

² 国家发展改革委经济运行局, 北京 100824

摘 要 为了探索夏季(6~8月)日气象负荷的最佳分离方式和引起日最大电力负荷波动的主要因子,以及建立预报模型最佳个数,基于北京市2005~2010年逐日最大电力负荷和同期的气象资料,分析了北京地区日最大电力负荷的变化规律,采用不同方法将气象负荷从夏季日最大电力负荷中分离出来,分析北京夏季气象负荷与气温、相对湿度、降水及炎热指数、高温持续日数、炎热日数持续时间、前一日气象负荷等因子之间的关系,并基于2005~2009年夏季逐日气象负荷和其主要影响因子采用逐步回归方法建立日最大电力负荷的预报模型,将2010年夏季北京日最大电力负荷作为预报效果的独立样本检验。结果显示:2005~2010年,北京逐日最大电力负荷具有明显的线性增长趋势,夏季日最大电力负荷具有显著的星期效应;与去掉逐年夏季日最大电力负荷趋势和夏季平均日最大电力负荷趋势相比,去掉全年逐日最大电力负荷变化趋势的夏季日气象负荷预报模型的拟合能力更优;北京夏季日气象负荷与当日气温的相关系数最高,与前一日气象负荷也关系密切;利用前一日相对气象负荷和当日气象要素一周逐日分别建立预报模型的拟合和预测效果较好。

关键词 北京 日最大电力负荷 气象因子 趋势分离方式 预报模型

文章编号 1006-9585 (2013) 06-0804-07

中图分类号 P49

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12146

Research on Meteorological Forecast Technique of Daily Maximum Electric Loads during Summer in Beijing

YE Dianxiu¹, ZHANG Peiqun¹, ZHAO Shanshan¹, XIA Xin², KE Zongjian¹,
WANG Youmin¹, and LIU Qiufeng¹

¹ National Climate Center, Beijing 100081

² Economic Operation Bureau of National Development and Reform Commission, Beijing 100824

Abstract The best method to distinguish the components of the variations in daily electrical loads and the main factors that cause daily maxima, and the optimum number of forecast models was explored. Based on daily electric load, temperature, relative humidity, rainfall, and wind speed data from 2005 to 2010 in Beijing, the characteristics of the daily electric load maxima were analyzed and the methods to distinguish the variation components were discussed. Based on the correlation between electric load and meteorological parameters, the maximum electric load of the long summer days was also analyzed. The method of stepwise regression was used to model the variations in daily electric load maxima from June to August during 2005–2009. The results showed that the daily electric load increased linearly from 2005 to 2010 with a significant weekly effect during summer. Separation methods based on annual daily variation trends are the best. For the same day, the correlation coefficient between electric load and average air temperature is high, which also applies to the

收稿日期 2012-08-16 收到, 2013-02-25 收到修定稿

资助项目 国家发展改革委经济运行调节局电力需求侧管理专项, 全球变化研究国家重大科学计划项目 2012CB955903

作者简介 叶殿秀, 女, 1964 年出生, 硕士, 正研级高级工程师, 主要从事气候影响评价、气象灾害评估等工作。E-mail: ydx@cma.gov.cn

variations of the daily electric load for the day before. Seven forecast models that take into account the daily air temperature and electric load for the same day and the day before are better than two or four models that consider the whole week.

Keywords Maximum electric loads, Meteorological elements, Tendency separation methods, Forecast model, Beijing

1 引言

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 制冷、取暖和居民生活用电占全社会用电量的比例越来越大, 导致电能变化幅度大, 难以预测, 直接影响电网安全稳定运行。电网负荷(电量)预测, 对电力系统的安全、经济、可靠运行, 提高电网的供电质量有着重要的现实意义。

许多研究(严智雄和陈以洁, 1994; 胡江林等, 2002a; 张小岭和王迎春, 2002; 罗森波等, 2007; 等)表明, 电力负荷与气象条件有密切关系, 由于气候条件、经济结构和发展水平的不同, 各电网电力负荷与气象因子的关系也不尽相同。目前在建立电力负荷预报模型时, 大多数利用气象负荷与气温或多个气象要素之间的关系建立预报模型, 很少考虑气象要素的综合作用及其持续作用。另外, 以往研究中一般采用两种电力负荷[电力负荷(陈正洪和洪斌, 2000; 蔡新玲等, 2004)或气象负荷(罗森波等, 2007; 钟利华等, 2008; 阎访等, 2009)]建立预报模型, 至今尚未发现关于电力负荷不同处理方式对预报模型模拟效果影响的对比研究。同时, 在以往预报模型研制中, 很少考虑前一日用电负荷对当日用电负荷的影响。仅胡江林等(2002b)研究表明, 考虑这一因子对提高预报模型的准确率非常重要。

夏季正是用电高峰期, 电力负荷往往达到最高值或破记录, 使电网的稳定安全受到影响。基于以上研究中存在的不足, 本文试图以北京夏季最大电力负荷为例, 探讨适用于北京夏季气象负荷的分离方式, 建立预报模型时应考虑的影响因子以及具有较好模拟预测能力的模型最佳个数。相信本研究结果对其他地区电力负荷预测模型的建立具有借鉴价值。

2 资料处理及方法

2.1 电力资料质量控制及处理

采用比较滤波法(王雁平和乐春峡, 2007)将

北京日最大电力负荷资料进行质量控制。首先将逐日(2005年1月1日至2010年9月30日)最大电力负荷作纵向和横向比较, 即将最大电力负荷与前一整点和后一整点的负荷平均值比较, 同时将当日最大电力负荷与前一天、后一天最大电力负荷平均值进行比较, 若两者偏差大于某一阈值则取前两横、纵向比较平均值的平均值。此外, 对于有遗漏的不完全历史负荷数据, 则采用加权平均的方法来补充。

2.2 气象负荷提取方法

图1给出了2005年1月1日至2010年9月30日北京电网日最大电力负荷距平的逐日演变曲线。可以看出, 北京地区逐年电力负荷呈双峰型, 第一峰值出现在夏季, 次峰值出现在冬季; 日最大电力负荷变化大, 最大值与最小值相差 10000×10^3 kW以上; 北京日最大电力负荷总体呈增加趋势, 趋势系数通过95%信度检验。由此说明, 2005~2010年北京日最大电力负荷主要表现随时间变化的趋势项, 以及随季、月和日而变的气象因素变化引起的波动项(或称为气象负荷), 由于随机因素对日最大电力负荷的影响较小, 可以忽略不计。

气象负荷分离方式至关重要。为此, 本研究采用最小二乘法将北京2005~2009年逐日最大电力负荷、历年夏季逐日最大电力负荷以及历年夏季平均日最大电力负荷的变化趋势分别分离出来, 以实际日最大负荷减去线性趋势即得到气象负荷, 利用相关分析方法分析气象负荷与气象因子的关系, 并利用逐步回归方法建立北京夏季日最大电力负荷预报模型。

2.3 气象因子及有关约定

北京2005年1月1日至2010年9月30日逐日平均气温、最高气温、最低气温、相对湿度、风速、降水、云量等资料来自国家气象信息中心。降水资料采用等级分级编码处理, 即无雨编码为0, 0.1~9.9 mm编码为1, 10.0~24.9 mm编码为2, 25.0~49.9 mm编码为3, 50 mm以上编码为4。

炎热指数采用如下公式计算:

$$I = 1.8T - 0.55 \times (1.8T - 26)(1 - R_H) + 32 - 3.2\sqrt{U}, \quad (1)$$

其中, T 表示日最高气温 (单位: $^{\circ}\text{C}$), R_H 表示日最小相对湿度 (0.01), U 表示日平均风速 (单位: m/s)。

累计炎热指数: 统计当日之前连续的日炎热指数超过 80 的部分, 并将这部分累计在当天的炎热指数上。

连续炎热日数: 炎热指数连续大于等于 80 的天数。

累计高温: 将连续日最高气温超过 35°C 的部分累计在当天的最高气温上。

连续高温日数: 日最高气温连续大于等于 35°C 的天数。

3 结果分析

3.1 夏季日最大电力负荷星期效应

图 2 给出 2005~2010 年北京夏季星期一至星期日逐日平均日最大电力负荷占夏季平均日最大

电力负荷的百分比。从中可见, 星期一至星期五 (以下称工作日) 日最大电力负荷明显比星期六、星期日 (以下称休息日) 高, 一般偏高 8% 左右。说明夏季北京日最大用电负荷表现出明显的星期效应。

3.2 夏季日最大电力负荷与气象因子之间的关系

我们将 3 种分离方式获得的气象负荷与可能影响的气象因子做点散图, 发现除降水量外, 气象负荷与大多气象因子呈线性相关关系。

基于气象负荷与各气象因子存在着线性关系, 我们进一步统计了气象负荷与气象因子之间的相关系数。从表 1 可见, 无论哪种方式分离出的气象负荷, 其与日平均气温、最高气温、最低气温、炎热指数、累计高温、累计炎热指数、连续炎热日数均表现出极高且稳定的正相关, 与相对湿度、平均风速、云量相关不显著, 与降水量呈负相关。说明北京日最大电力负荷对气温的变化最敏感, 温度是其主要的影响因子。

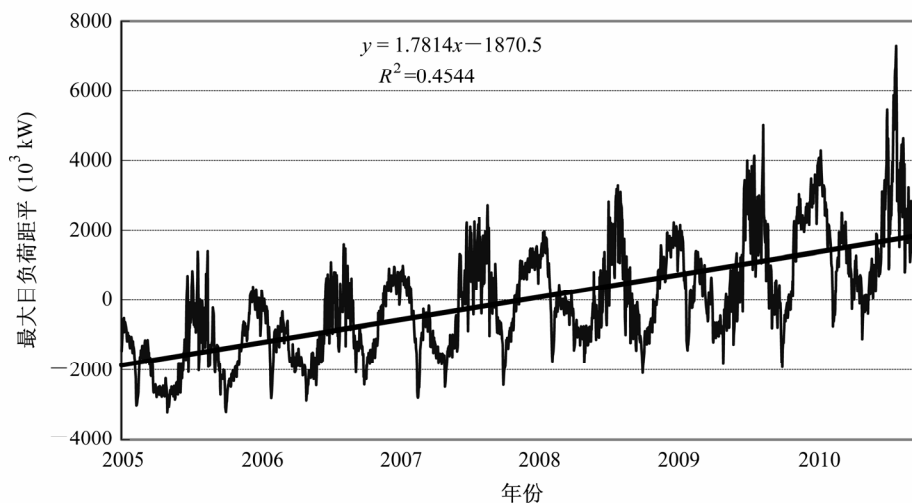


图 1 2005 年 1 月 1 日至 2010 年 9 月 30 日北京日最大电力负荷距平变化曲线 (趋势系数: 0.6740)

Fig. 1 Daily maximum electric load anomalies in Beijing from 1 Jan 2005 to 30 Sep 2010 (the trend coefficient is 0.6740)

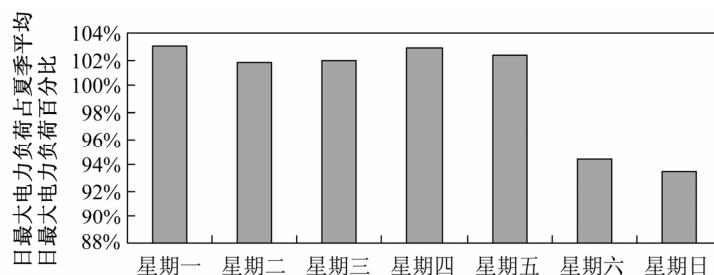


图 2 2005~2010 年北京夏季星期一至星期日平均日最大负荷占夏季平均日最大负荷的百分比

Fig. 2 Percentage of daily maximum electric load in the average summer daily maximum electric load from Monday to Sunday in Beijing during 2005-2010

表 1 夏季相对气象电力负荷与同期气象因子之间的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between the relative meteorological electric load and meteorological factors in summer

	相关系数												
	平均气温	最高气温	累计高温	连续高温日数	最低气温	相对湿度	平均风速	云量	降水量	降水等级	炎热指数	累计炎热指数	连续炎热日数
1	0.758	0.612	0.604	0.330	0.744	0.014	-0.038	0.007	-0.162	0.087	0.7779	0.778	0.227
2	0.756	0.627	0.621	0.356	0.710	-0.036	0.017	-0.008	-0.173	-0.231	0.794	0.717	0.586
3	0.745	0.597	0.589	0.323	0.740	0.017	-0.046	0.007	-0.160	-0.222	0.769	0.715	0.574

注：第一列中数字代表气象负荷分离方式，1 表示去掉年逐日变化趋势，2 表示去掉夏季逐日变化趋势，3 表示去掉夏季平均最大日负荷趋势

3.3 最大电力负荷预测模型的建立

受胡江林等（2002b）研究启发，统计了北京夏季当日气象负荷与前一日气象负荷之间的相关关系。结果显示，相关系数为 0.76，达 0.01 显著水平。以下建模时，自变量除采用相关显著的气象因子外，还考虑了前一日的气象负荷。

3.3.1 因变量为气象负荷的预报模型

根据日最大电力负荷星期变化的特征，认为一周中至少应分休息日和工作日两种情况建立电力负荷预测模型，才可能达到较好的拟合效果。采用逐步回归方法对 3 种分离方式的气象负荷建立预报模型（具体模型略）。统计的拟合和预测误差显示，平均相对误差均较大，普遍在 3% 以上；其中，去掉全年日最大电力负荷变化趋势的气象负荷预报模型误差整体较小。由此说明，去掉逐年日最大电力负荷变化趋势的气象负荷分离方法较优。

3.3.2 因变量为相对气象负荷的预报模型

为了减小预报模型的拟合和预报误差，进一步分析了气象负荷的变化特征。发现近 6 年来北京夏季气象负荷随着时间的推移，振幅在增大，而同期的气象因子（气温、炎热指数等）没有这种变化特征。也就是说，趋势负荷越高，同样气象条件造成气象负荷的变化也就越大。为了消除这种变化的影响，采用相对气象负荷（当日气象负荷占趋势负荷的百分比）作为因变量来建立预报模型。

3.3.2.1 一周建立 2 个模型

采用相对气象负荷作为因变量，将一周分为工作日和休息日分别建立预报模型，模型的拟合和预报误差结果见表 2。

表 2 相对气象负荷逐步回归模型拟合与预报平均相对误差
Table 2 Relative errors of the simulated and predicted results of relative meteorological electric load

		平均相对误差
工作日	拟合	2.942%
	预报	2.484%
休息日	拟合	2.804%
	预报	3.092%

由表 2 可见，工作日和休息日的平均拟合相对误差及工作日的平均预报相对误差均在 3% 之内，仅休息日的平均预报相对误差略超过在 3%。说明因变量为相对气象负荷时其建模拟合、预报效果明显提高。所建模型的拟合预报样本中究竟有多大比例其相对误差在 3% 之内？为了进一步搞清这个问题，我们又对拟合误差进行了不同等级比例统计，发现仅有 60% 左右的拟合预报样本相对误差在 3% 之内。进一步分析了一周中每一天的相对误差情况，发现星期一、星期六的误差相对较高（表 3）。究其原因，可能是日最大电力负荷的星期效应所致。因为休息日的最大电力负荷总体低于工作日的最大用电负荷，而我们在分离气象负荷时，是将所有样本放在一起采用线性趋势分离，这样分离出的气象负荷在休息日和工作日应该是存在系统误差。这样在建模时星期一的前一天与星期二至星期五的前一天、星期六的前一天气象负荷与星期日的前一天气象负荷也存在系统误差，导致拟合相对误差较大。

表 3 北京夏季一周拟合电力负荷的平均相对误差
Table 3 Relative errors of the daily simulated summer relative meteorological electric load in Beijing

		平均相对误差
星期一		3.94%
星期二		2.84%
星期三		2.71%
星期四		2.39%
星期五		2.70%
星期六		2.94%
星期日		2.70%

3.3.2.2 一周建立 4 个模型

基于以上考虑，为了进一步提高模型拟合精度，一周建立 4 个电力负荷预报模型（模型略）。

从一周最大电力负荷拟合与预报平均相对误差分析可知，一周中建立 4 个电力负荷预报模型的拟合电力负荷平均相对误差均小于 3%，平均预报相对误差除星期六略高外，其余也均小于 3%。与

一周建立 2 个预报模型拟合结果相比,一周建立 4 个预报模型拟合与预报的相对误差均明显减小。表明考虑前一日气象负荷的一周建立 4 个模型所建模型具有较好的拟合与预测能力。

表 4 一周拟合最大电力负荷平均相对误差

Table 4 Relative errors of the daily simulated summer maximum relative meteorological electric load in Beijing

	平均相对误差	
	拟合	预测
星期一	2.744%	2.709%
星期二	2.734%	2.906%
星期三	2.517%	3.233%
星期四	2.543%	2.288%
星期五	2.609%	2.32%
星期六	2.33%	3.125%
星期日	2.947%	2.509%

为了更详细了解所建模型在一周中模拟能力,统计了一周中每天模型模拟的不同等级误差比例情况。一周中逐日相对误差小于 3%的比例基本在 65%以上,约占总样本数的 2/3,其中星期一相对误差小于 3%的比例最高,达 73%。

3.3.2.3 一周建立 7 个模型

受上述一周建立 4 个预报模型比建立 2 个预报模型的拟合、预报效果好的启发,设想一周每天建立一个模型拟合和预报效果是否会更好些?基于此,建立了一周 7 个预报模型,具体模型见表 5。

表 5 一周 7 个电力负荷回归方程

Table 5 Regressive equations of the daily summer maximum relative meteorological electric load in Beijing

	回归方程	复相关 回归 样本		
		系数	平方和	数
星期一	$y_i = -91.733 + 0.583y_{i-1} + 1.06x_{1i} + 0.93t_{pi}$	0.923	118.08	66
星期二	$y_i = -105.06 + 0.328y_{i-1} + 0.867x_{2i} + 1.326t_{pi} + 0.642t_{mini}$	0.933	100.60	65
星期三	$y_i = -115.208 + 0.514y_{i-1} + 1.315x_{2i} + 0.94t_{pi}$	0.955	212.97	65
星期四	$y_i = -111.192 + 0.488y_{i-1} + 1.011x_{2i} + 1.4636t_{pi}$	0.958	229.38	65
星期五	$y_i = -102.371 + 0.433y_{i-1} + 0.943x_{2i} + 1.485t_{pi}$	0.938	151.38	65
星期六	$y_i = -141.659 + 0.508y_{i-1} + 1.899x_{2i} - 0.28R_i$	0.959	234.74	65
星期日	$y_i = -132.993 + 0.315y_{i-1} + 1.254x_{2i} + 1.581t_{pi}$	0.929	130.04	66

注: y_i 为第 i 日的相对气象负荷, y_{i-1} 为第 i 的前一日相对气象电力负荷, x_{1i} 为第 i 日的炎热指数, x_{2i} 为第 i 日累积炎热指数, t_{pi} 为第 i 日的平均气温, R_i 为第 i 日的降水量, t_{mini} 为第 i 日的最低气温。

与表 4 相比,表 6 中星期二至星期五各日拟合平均相对误差和对 2010 年夏季星期二、星期五的预报平均相对误差都有所减小。

表 6 一周 7 个方程拟合最大电力负荷平均相对误差

Table 6 Average relative errors of the daily simulated summer maximum relative meteorological electric load in Beijing

	平均相对误差	
	拟合	预测
星期一	2.744%	2.709%
星期二	2.702%	3.217%
星期三	2.362%	2.896%
星期四	2.347%	2.327%
星期五	2.590%	2.599%
星期六	2.33%	3.125%
星期日	2.947%	2.509%

从拟合和预报的相对误差小于 3%比例来看,星期三、星期四、星期五的比例均有所增大(表 7)。由此说明一周每日建立一个预测模型更为科学、合理。

表 7 一周 7 个模型和 4 个模型模拟的最大电力负荷拟合误差比例比较

Table 7 Comparison of the results of seven and four models of the maximum summer maximum relative meteorological electric load in Beijing

	7 个模型误差比例			4 个模型误差比例		
	相对误差<1%	相对误差<2%	相对误差<3%	相对误差<1%	相对误差<2%	相对误差<3%
星期一	24.05%	53.17%	73.42%	24.05%	53.17%	73.42%
星期二	24.05%	49.37%	65.82%	30.38%	50.63%	67.09%
星期三	29.11%	53.16%	72.15%	27.85%	44.30%	64.56%
星期四	29.11%	48.10%	67.09%	26.58%	48.1%	65.82%
星期五	25.32%	45.57%	65.82%	29.11%	49.37%	64.56%
星期六	25.64%	50%	65.39%	25.64%	50%	65.39%
星期日	24.05%	46.84%	67.09%	24.05%	46.84%	67.09%

根据所建模型,我们对 2005~2009 年北京拟合与实际电力负荷进行了客观分析,结果显示,模型拟合度达到 0.9305(图 3)。

4 结论

本文建立了当日气象要素、综合气象因子及其持续累积效应、前一日最大电力负荷等因素的日最大电力负荷预测模型。通过拟合和预测效果检验,表明该方法有更高的预测精度,取得了较满意的结果。

(1) 2005~2010 年,北京逐日最大电力负荷具有非常显著的线性增长趋势。

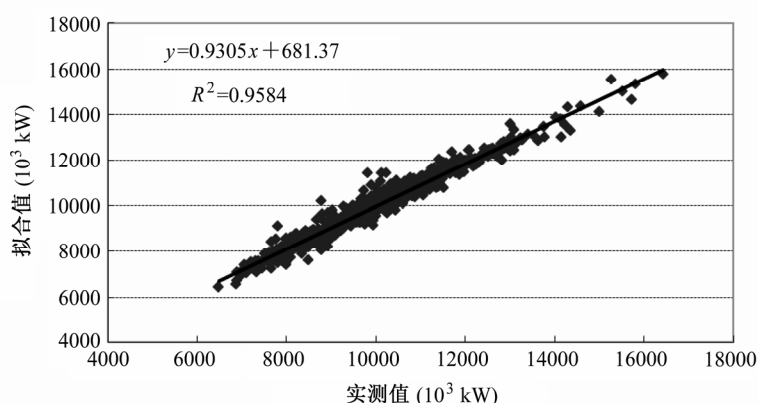


图3 2005~2009年北京夏季电力负荷实际值与拟合值的拟合度图

Fig. 3 The fitting degree of the simulated and real daily summer maximum relative meteorological electric load in Beijing during 2005–2009

(2) 北京日最大电力负荷具有明显的星期效应。从星期一至星期五用电负荷较高, 星期六和星期日较小。

(3) 与我国其他地区一样(陈正洪和洪斌, 2000; 罗森波等, 2007; 贺芳芳等, 2008; 钟利华等, 2008; 阎访等, 2009), 北京日最大电力负荷对气温的变化最敏感, 气温是其主要的影响因子, 累计炎热程度对电力负荷也是非常重要的影响因子。

(4) 从所建模型拟合能力上看, 以去掉逐年日最大电力负荷趋势所获取的气象负荷优于去掉逐年夏季日最大电力负荷趋势和夏季平均最大电力负荷趋势。采用相对气象负荷建立模型的拟合效果优于采用气象负荷建立模型的拟合效果。

(5) 考虑到前一日电力负荷的惯性作用, 建立预报模型时, 除考虑当日气象因子外, 还应考虑前一日的气象负荷。基于一周中电力负荷的变化特征, 通过多种试验表明, 一周内逐日建立预报模型的拟合和预测效果较好。

日最大电力负荷变化是一个复杂的系统, 要完全准确预测几乎不可能。即便是气象因子对它的影响也仍有许多问题有待进一步研究。本模型的预测误差在某些情形下仍可能较大, 实际运用时应对此有所估计。

参考文献 (References)

- 蔡新玲, 贺皓, 李建科, 等. 2004. 陕西省日用电量、最大负荷的气象预报模型 [J]. 陕西气象, (3): 40–42. Cai Xinling, He Hao, Li Jianke, et al. 2004. Meteorological prediction models of daily power consumption and electric load [J]. Journal of Shaanxi Meteorology (in Chinese), (3): 40–42.
- 陈正洪, 洪斌. 2000. 华中电网四省日用电量与气温关系的评估 [J]. 地理学报, 55 (S1): 34–37, 55. Chen Zhenghong, Hong Bin. 2000. Relationship between daily energy consumption and temperature in Central China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 55 (S1): 34–37, 55.
- 贺芳芳, 徐家良, 周伟东, 等. 2008. 上海地区高温期气象条件对用电影响的评估 [J]. 高原气象, 27 (Suppl.): 210–217. He Fangfang, Xu Jialiang, Zhou Weidong, et al. 2008. Evaluation on effects of meteorological conditions on electrical consumption in megathermal days of Shanghai [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (Suppl.): 210–217.
- 胡江林, 陈正洪, 洪斌, 等. 2002a. 华中电网日负荷与气象因子的关系 [J]. 气象, 28 (3): 14–18, 37. Hu Jianglin, Chen Zhenghong, Hong Bin, et al. 2002. A relationship between daily electric loads and meteorological elements in Central China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 28 (3): 14–18, 37.
- 胡江林, 陈正洪, 洪斌, 等. 2002b. 基于气象因子的华中电网负荷预测方法研究 [J]. 应用气象学报, 13 (5): 600–608. Hu Jianglin, Chen Zhenghong, Hong Bin, et al. 2002. Forecast technique of electric network loads in Central China based on meteorological elements [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13 (5): 600–608.
- 罗森波, 纪忠萍, 马煜华, 等. 2007. 2002~2004年广东电力负荷的变化特征及预测 [J]. 热带气象学报, 23 (2): 153–161. Luo Senbo, Ji Zhongping, Ma Yuhua, et al. 2007. The variability characteristics and prediction of Guangdong electrical load during 2002–2004 [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 23 (2): 153–161.
- 王雁平, 乐春峡. 2007. 电力系统负荷建模的数据预处理技术 [J]. 电网技术, 31 (S2): 292–294. Wang Yanping, Yue Chunxia. 2007. A data pretreatment technique about power system load modeling [J]. Power System Technology (in Chinese), 31 (Supplement 2): 292–294.
- 阎访, 陈静, 车少静. 2009. 石家庄夏季用电量对天气的响应及其预测模型 [J]. 干旱气象, 27 (3): 282–287. Yan Fang, Chen Jing, Che Shaojing. 2009. Response of electric power load to weather in summer of Shijiazhuang and its prediction model [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 27 (3): 282–287.
- 严智雄, 陈以洁. 1994. 气候对南昌市电量需求的影响分析 [J]. 气象, 20 (2): 44–46. Yan Zhixiong, Chen Yijie. 1994. Assessing of climatic impact on electricity demand in Nanchang [J]. Meteorological Monthly

- (in Chinese), 20 (2): 44–46.
- 张小岭, 王迎春. 2002. 北京夏季用电量与气象条件的关系及预报[J]. 气象, 28 (2): 17–21. Zhang Xiaoling, Wang Yingchun. 2002. Relationship between power consumption and meteorological conditions during the summer in Beijing city and its forecast [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 28 (2): 17–21.
- 钟利华, 李勇, 叶殿秀, 等. 2008. 综合气象因素对广西电力负荷的影响 [J]. 气象, 34 (5): 31–37. Zhong Lihua, Li Yong, Ye Dianxiu, et al. 2008. The impact of composite meteorological factors on the electrical load in Guangxi [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (5): 31–37.