

文章编号:2096-5389(2022)01-0061-07

宜昌市电力负荷对气象因子的响应 及气象预报模型的建立

杜 裕¹, 张 明², 何卫平¹, 雷东洋¹, 丁丽丽¹

(1. 湖北省宜昌市气象局, 湖北 宜昌 443000; 2. 湖北省兴山县气象局, 湖北 兴山 443700)

摘 要:利用 2015—2017 年宜昌市逐小时电力负荷资料及对应时段地面气象观测站数据, 分析宜昌电力负荷的变化特征, 研究气象敏感负荷与气象因子的关系, 基于主要气象敏感因子通过逐步回归法建立宜昌电力负荷预报方法。结果表明: 宜昌电力负荷呈逐年增长的趋势, 夏季和冬季是一年中电力负荷高峰期, 年最大电力负荷出现在夏季, 年均增幅达 11.8%, 年最小电力负荷出现在春节期间; 气温对气象敏感负荷影响最大, 随着日平均气温 T 升高逐日气象负荷率先减小后增加, 当 T 为 17 °C 时, 气象负荷率最小, 从而划分了 4 个变化阶段: $17\text{ °C} \leq T < 26\text{ °C}$ 、 $T \geq 26\text{ °C}$ 、 $7\text{ °C} \leq T < 17\text{ °C}$ 、 $T < 7\text{ °C}$, 基于各阶级主要气象敏感因子分别建立电力负荷回归预报方程, 经检验, 在实际应用中预报相对误差绝对值为 3.8%, 基本能够满足电力部门负荷预测的精度要求。后期可结合人工智能算法, 进一步提高宜昌电力气象负荷预测的稳定性和准确性。

关键词:电力负荷; 气象敏感因子; 相关分析

中图分类号:TM714 **文献标识码:**B

Response of Power Load to Meteorological Factors and its Weather Forecast Model in Yichang

DU Yu¹, ZHANG Ming², HE Weiping¹, LEI Dongyang¹, DING Lili¹

(1. Yichang Meteorological Office of Hubei Province, Yichang 443000, China;

2. Xingshan Meteorological Office of Hubei Province, Xingshan 443700, China)

Abstract: Based on the hourly power load data and meteorological data of Yichang from 2015 to 2017, the characteristics of power load and the relationship between meteorological sensitive load and meteorological factors are analyzed. Stepwise regression method is adopted to get the prediction equations of load based on the main meteorological sensitive factors. The results show that power load is increasing year by year in Yichang, and that summer and winter are the two peak periods of power load in a year. The maximum power load occurs in the summer, with the annual growth rate reaching 11.8% on average, and the minimum power load occurs during the Spring Festival. Temperature is the major influence factor of meteorological sensitive load. With the increase of daily average temperature (T), the daily meteorological sensitive load rate decreases at first and then increases. When the daily average temperature is 17 °C, the meteorological sensitive load rate is the lowest. Therefore, the change can be divided into four stages: $17\text{ °C} \leq T < 26\text{ °C}$, $T \geq 26\text{ °C}$, $7\text{ °C} \leq T < 17\text{ °C}$, $T < 7\text{ °C}$. Based on the main meteorological sensitive factors, each class of power load regression prediction equation is established respectively. The forecast test results show that the absolute relative error of forecast in practical application is 3.8%, which can basically meet the requirements of load forecasting in power sector. Combined with artificial intelligence algorithm, the stability and accuracy of meteorological sensitive load forecast of Yichang will be

收稿日期:2020-12-31

第一作者简介:杜 裕(1987—),女,工程师,主要从事专业气象服务研究工作,E-mail:1142462598@qq.com。

通讯作者简介:张 明(1987—),男,副高,主要从事综合气象观测工作,E-mail:475945482@qq.com。

资助项目:湖北省科技发展基金(2018J06):宜昌市电力负荷与气象因子关系及精细化预报方法研究。

improved in the future.

Key words: power load; meteorological sensitive factors; correlation analysis

0 引言

电能是现阶段最通用的一种能源,已渗透到社会生活和人民生活的各个方面,电网安全稳定运行是现代化城市正常运行的基础条件。电力负荷特性是评价一个地区电网负荷状况的主要指标,掌握电力负荷的变化特性及其与影响因素的关系,对提高电力负荷预测的准确性和电网运行具有重要指导作用。电力负荷受诸多因素影响,总体上可将影响因素分为气象类和非气象类^[1-2],随着经济社会发展和人民生活水平的提高,人们用来改善室内环境的电力负荷需求在不断增加^[3],近年来气候变化加剧了用电的紧张局面,在电力发电、供电有限的情况下,导致城市“电荒”,拉闸限电事件频频发生^[4-6],电力负荷对气象类因子的响应引起众多学者的广泛关注^[7-19],付桂琴等^[7]对河北省电力负荷分析指出,对电力负荷影响明显的气象因子为气温、降水、相对湿度;熊明明等^[8]研究天津电力负荷与气象因子的关系发现,在季节和日尺度上,气温的影响十分显著,夏季、初秋相对湿度的影响非常显著,此外 4 月、6 月、7 月和 12 月还需考虑风的影响;陈正洪等^[9]研究华中电网四省日用电量与气温的关系表明,华中四省夏季日用电量与日平均气温呈显著正相关,而冬季相关不显著;张立祥^[10]等对沈阳市供电量与气象要素的关系分析发现,沈阳市受气象条件影响显著的季节为过渡冬季和夏季,而秋季和隆冬季节影响很小;武辉芹等^[11]研究指出河北省南部农作物的各生长阶段气象条件对电力负荷有明显影响;孟明等^[12]对北方和南方城市居民住宅负荷对比分析得出北方冬季寒冷,取暖负荷比重相对较大,冬季日负荷仅次于夏季,南方降温负荷出现的时间较早,降温负荷持续时间比北方更长。综上所述,不同地区电力负荷对气温、降水、相对湿度、风速等气象影响因子敏感程度不同,此外,由于各地经济结构、气候条件和发展水平不同,主要气象敏感因子对电力负荷的主要影响时期和影响方式也不同。

宜昌位于长江北岸、三峡东口,境内拥有长江、清江等大小河流 100 多条,已建成三峡、葛洲坝、隔河岩等水电站 400 余座,有“世界水电之都”称誉。宜昌水电资源丰富,如何保障电网安全稳定运行一直是电力部门十分关心的问题,近年来,宜昌电力

调度部门对电力气象服务需求越来越高。因此,本文深入研究宜昌电力负荷的变化特性和发展规律,着重探讨电力负荷与气象因子的关系,并基于主要气象敏感因子,建立日最大电力负荷预报方法,以期为宜昌电力部门提供更有针对性的电力气象服务产品。

1 资料与方法

选取的电力负荷资料为宜昌地区 2015 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 31 日逐日每 15 min 一次的监测值,取每日 24 次(01—24 时)整点负荷平均值得到逐日平均电力负荷;逐日最大电力负荷和逐日最小电力负荷为监测值。气象资料为宜昌地区 11 个国家气象站同期气温、气压、相对湿度、风速等观测资料,11 个站的观测值求平均得到宜昌气象要素值,在统计气象要素逐日最大值、最小值、平均值时,为了与电力负荷资料时间同步,一天 24 次统一按 01—24 时来计算。分析宜昌电力负荷特征与气象因子关系时主要采用相关分析及回归分析等数理统计方法。

2 电力负荷特征

2.1 电力负荷年变化趋势分析

从宜昌 2015—2017 年逐日电力负荷的变化曲线(图 1)可见,宜昌逐日电力负荷呈逐年增长趋势,同时表现出明显的季节变化特征,整体呈现出“两峰两谷”的态势,夏季负荷最高,冬季次之,春秋季负荷相对较低。这与夏季天气炎热,气温显著升高,空调降温负荷明显增加,部分大宗用户的用电负荷逐渐恢复有直接关联。冬季电力负荷自初冬起到春节前夕,出现次高峰。这是由于冬季气温较低,取暖负荷大幅增加,部分新增负荷用电及原有大宗用户年底负荷增加导致负荷稳定增长。节假日对电力负荷影响较大,特别是中国最隆重的传统节日——春节,日电力负荷从春节前一个星期开始急速下降,到春节后 3 d 左右降为全年最低。

年最大电力负荷和年最小电力负荷是电力部门十分关注的指标,从 2015—2017 年宜昌电力负荷年变化(图 2)来看,年平均电力负荷、年最大电力负荷逐年稳步增长,年均增幅分别为 3.9% 和 11.8%,年最大电力负荷增速最快,最大电力负荷最高值达 3 085.6 MW,出现在 2017 年 7 月 25 日 13 时 11 分;

年最小电力负荷,先减小后增加,最小电力负荷最低值达 1 092.9 MW,出现在 2016 年 2 月 13 日 06 时。这与 2015—2016 年冬季,气温整体偏高,为弱暖冬年有关,特别是 2016 年 2 月 13 日正值春节假期,且前期连续 5 d 日平均气温超过 10 ℃,日最高气温达 20 ℃ 以上。长假期间停工停产,加之气温偏高取暖负荷不明显,使得电力负荷明显偏低。

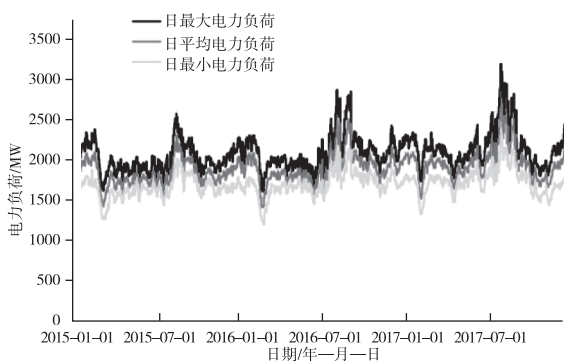


图1 2015—2017 年宜昌日最大电力负荷、日平均电力负荷、日最小电力负荷变化曲线

Fig. 1 Variation of daily maximum, mean and minimum power load in Yichang from 2015 to 2017

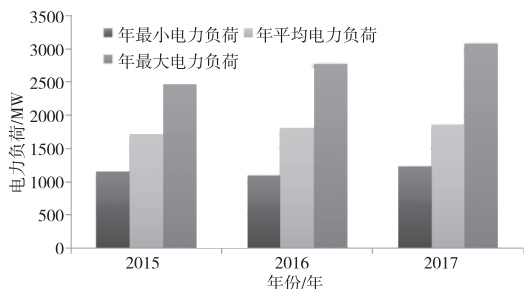


图2 2015—2017 年宜昌年最大电力负荷、年平均电力负荷、年最小电力负荷变化

Fig. 2 Variation of annual maximum, mean and minimum power load in Yichang from 2015 to 2017

2.2 电力负荷月变化特征分析

宜昌电力负荷月变化如图 3 所示,各月电力负荷存在明显差异,夏季和冬季为电力负荷高峰期,春季和秋季为低谷期。月平均电力负荷最高值出现在 8 月,最低值出现在 2 月。8 月月平均最大电力负荷达 2 318.8 MW,2 月月平均最大电力负荷仅有 1 870.6 MW。另外统计发现,2015、2016 和 2017 年,春节假期均在 2 月份,可见节假日对电力负荷的影响十分明显。

从宜昌 2015—2017 年电力负荷月均峰谷差变化(图 4)可知,宜昌电力负荷月均峰谷差随着季节

的变化呈规律性的变化,月均峰谷差在 291.6 ~ 498.8 MW 之间,夏冬峰谷差大,春秋峰谷差小。宜昌四季分明,冬夏长而春秋短,夏季降温负荷、冬季取暖负荷增加,使得高峰负荷增大,造成峰谷差较大。春季随着气温的回升,加之低谷用电负荷的增加,峰谷差逐渐减少;秋季随着气温的下降,空调降温负荷消失,高峰负荷减少,峰谷差降低。

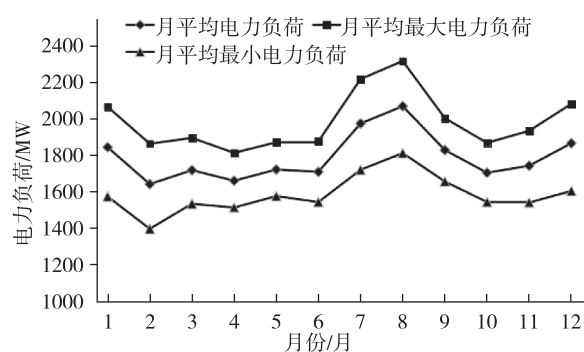


图3 2015—2017 年宜昌月平均最大电力负荷、月平均电力负荷、月平均最小电力负荷变化

Fig. 3 Variation of monthly maximum, mean and minimum power load in Yichang during 2015—2017

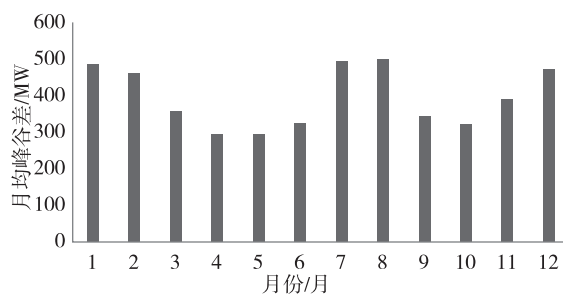


图4 2015—2017 年宜昌电力负荷月均峰谷差变化

Fig. 4 The monthly variation of peak - valley difference power load in Yichang during 2015—2017

2.3 电力负荷周变化特征分析

尽管电力负荷受多种因素影响,每时每刻都在发生变化,但负荷的变化是具有周期性的^[17]。基于前面的分析,节假日对电力负荷影响很大,本文在分析电力负荷周变化特征时,按正常工作日(正常上班的周一至周五)和周末(正常休息周六、周日,不包括法定节假日及国家调休规定上班的周六、周日)分别进行统计和分析。从宜昌 2015—2017 年电力负荷周变化特征(图 5)可见,日平均电力负荷从周一开始增长,周四达到顶峰,周五开始下降,周一至周五电力负荷差异较小,周末放假休息,电力负荷有所下降,周六负荷明显减少,周日降至最低。这与人们以周为单位的生产、生活规律密切相关。

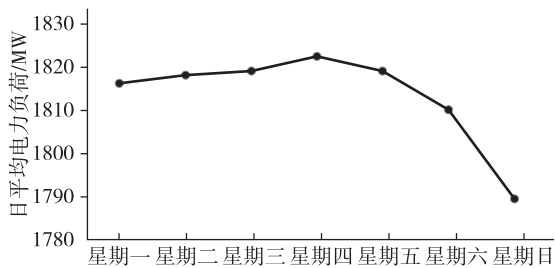


图 5 2015—2017 年宜昌电力负荷周变化

Fig. 5 Variation of daily mean power load from Monday to Sunday in Yichang during 2015–2017

2.4 电力负荷日变化特征分析

电力负荷日变化同样按正常工作日和周末分别进行统计和分析,从图 6 宜昌 2015—2017 年电力负荷平均日变化曲线可得,正常工作日电力负荷日变化呈“三峰三谷”的特点,即:早高峰、下午高峰、晚高峰、凌晨低谷、午间休息低谷和傍晚下班低谷。一天之中 04 时左右为最低值,随后负荷逐渐上升,09 时出现早高峰,12 时午间休息出现低谷,下午负荷有所增加然后一直维持较高的水平,17 时左右达到最高值,随后负荷有所下降出现傍晚下班低谷,21 时左右出现晚高峰之后负荷开始下降。周末电力负荷日变化特征与正常工作日相似,除 00—05 时周末电力负荷稍高于正常工作日,其他时段正常工作日负荷均高于周末。

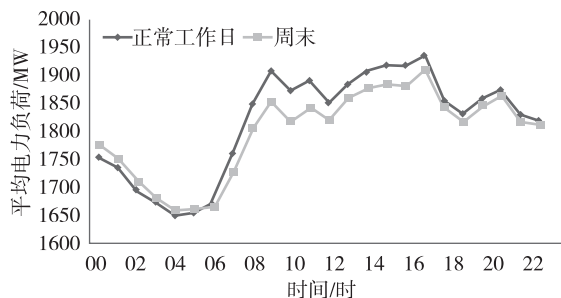


图 6 2015—2017 年宜昌电力负荷平均日变化

Fig. 6 Diurnal variation of hourly power load and non - working days in Yichang from 2015 to 2017

3 电力负荷与气象要素的关系

电力负荷受当地经济条件、人们生活水平、天气变化、节假日等诸多因素影响,为了分析电力负荷与气象要素的关系,首先需从总负荷中提取出因天气变化引起的气象敏感负荷,由于电网调度部门最为关心的是每天的最大电力负荷,因此主要考虑日最大电力负荷分离后得到的气象敏感负荷,按照

式(1):

$$L_{\max} = L_t + L_s + \varepsilon \quad (1)$$

其中, $L_{\max}$ 为日最大电力负荷, L_t 为长期趋势变化项,表示随着时间的增长,由社会发展所引起的电力负荷的变化项, L_s 为气象敏感负荷, ε 为误差分量,是一个不可预知的较小随机分量,通常忽略不计。 L_t 是满足人民生活基本需要的负荷,随社会经济发展呈线性递增趋势,计算时剔除非正常数据和节假日数据,求得 2015—2017 年日最大负荷趋势方程为:

$$L_t = 0.3611 d + 1884 \quad (2)$$

胡江林等^[15]指出气象敏感负荷与长期趋势负荷的比值为气象负荷率,更能反映负荷的变化规律,进而求出日最大气象负荷率 $r_{\max}$ 。

$$r_{\max} = L_s / L_t \quad (3)$$

3.1 气象负荷率与日平均气温的关系

气温是影响气象负荷最重要的气象因子,从宜昌 2015—2017 年逐日气象负荷率与日平均气温的变化曲线(图 7)来看,日平均气温呈正弦曲线变化,波峰出现在夏季,波谷出现在冬季,均与气象负荷率的峰值区相对应,说明气象负荷率与日平均气温之间有明显的相关关系。从数值来看,夏季和冬季气象负荷率普遍为正值,夏季气象负荷率基本在 0% ~ 45% 之间,冬季基本在 0% ~ 20% 之间,由于夏季天气变化快,随着气温的升降,气象负荷率波动起伏也尤为剧烈;春秋季节气象负荷率普遍为负值,气象负荷率受气象条件影响较小,曲线变化相对平缓。

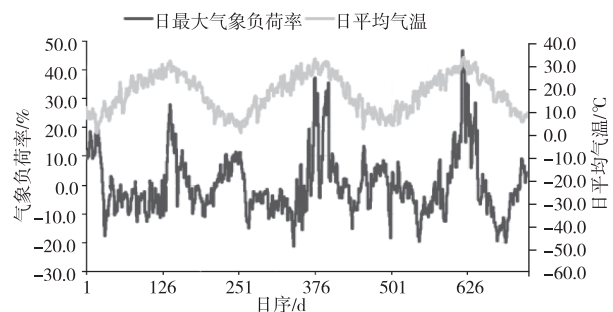


图 7 2015—2017 年宜昌逐日气象负荷率与日平均气温的变化

Fig. 7 Variation of daily meteorological power load rate and daily mean temperature in Yichang from 2015 to 2017

进一步分析气温变化对气象负荷率的影响,对 2015—2017 年宜昌逐日气象负荷率按日平均气温每隔 1℃ 进行分类统计,得到日平均气温与日气象负荷率的拟合曲线如图 8 所示。

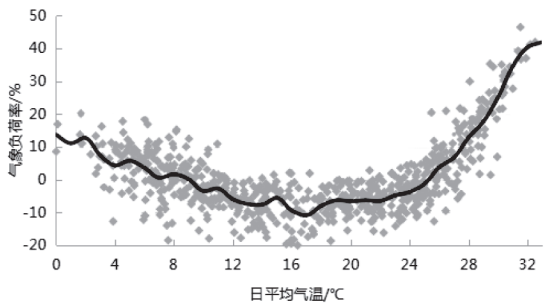


图8 2015—2017年宜昌日平均气温与气象负荷率的关系
Fig. 8 The relationship of daily mean temperature and daily meteorological power load rate in Yichang from 2015 to 2017

由图8可见,随着日平均气温的升高,气象负荷率先减小后增大,当日平均气温 $T=17\text{ }^{\circ}\text{C}$,气象负荷率 $r_{\max}$ 最小,此时气温非常适宜,电力负荷受气温

的影响最小。具体分析气温与气象负荷率的关系,可将其划分为4个阶段:当 $T\geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$, $r_{\max}$ 为正,随着气温的上升, $r_{\max}$ 快速上升, T 与 $r_{\max}$ 呈显著正相关;当 $17\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $r_{\max}$ 为负,随气温上升 $r_{\max}$ 缓慢上升;当 $7\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $r_{\max}$ 为负,气温上升 $r_{\max}$ 下降; $T<7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $r_{\max}$ 为正,随气温下降 $r_{\max}$ 上升, T 与 $r_{\max}$ 为负相关。

3.2 气象负荷率与气象要素的关系

每日选取11个要素:日平均气压 P 、日最高气压 $P_{\max}$ 、日平均气温 T 、日平均气温的5 d滑动平均 T_5 、日平均气温的3 d滑动平均 T_3 、日最高气温 $T_{\max}$ 、日最低气温 $T_{\min}$ 、气温日较差 T_{24} 、最高气温的24 h变化量 $T_{\max 24}$ 、日平均相对湿度 U 和日平均风速 W ,按照上述划分的4个阶段,分别计算气象负荷率与气象要素的相关系数,结果见表1。

表1 不同日平均气温下气象负荷率与气象要素的相关系数
Tab. 1 Correlation coefficients of daily meteorological power load rate and meteorological elements under different daily mean temperatures

	P/hPa	$P_{\max}/\text{hPa}$	$T/^{\circ}\text{C}$	$T_5/^{\circ}\text{C}$	$T_3/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\min}/^{\circ}\text{C}$	$T_{24}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max 24}/^{\circ}\text{C}$	$U/\%$	$W/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
$17\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<26\text{ }^{\circ}\text{C}$	-0.067	-0.097	0.501**	0.485**	0.506**	0.438**	0.386**	0.053	-0.175**	-0.202**	-0.007
$T\geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$	-0.138	-0.161	0.816**	0.896**	0.896**	0.713**	0.695**	0.217*	-0.173	-0.232*	0.359**
$7\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<17\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.205**	0.203**	-0.477**	-0.488**	-0.463**	-0.417**	-0.344**	-0.091	-0.070	-0.107	-0.112
$T<7\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.042	0.032	-0.367**	-0.257*	-0.258*	-0.347**	-0.158	-0.196	-0.132	0.187	-0.102
绝对值平均	0.113	0.123	0.540	0.532	0.531	0.479	0.395	0.139	0.137	0.182	0.145

注: * $\alpha<0.05$, ** $\alpha<0.01$ 。

从表1可以看出,影响气象负荷率最主要的气象因子是气温, T 、 T_5 、 T_3 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 与气象负荷率 $r_{\max}$ 的相关系数绝对值平均分别为0.540、0.532、0.531、0.479、0.395,气压、相对湿度和风速仅个别阶段与气象负荷率显著相关。

不同阶段影响气象负荷率的主要气象因子各不相同。夏半年气象负荷率与气压呈负相关,与气温呈显著正相关。其中与最高气温的24 h变化量 $T_{\max 24}$ 全年均为负相关,天气相对稳定,最高气温波动越小,气象负荷越高;气温日较差与气象负荷率相关性较低;当 $17\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,除了气温因素,相对湿度对气象负荷率有一定的影响;当 $T\geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均风速与气象负荷率呈显著正相关。冬半年气象负荷率与气压呈正相关,与气温呈显著负相关,冬半年相对湿度、平均风速与气象负荷率相关性不高。当 $7\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,除了气温对气象负荷有明显影响,气压与气象负荷率相关性也十分显著;当 $T<7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,仅气温对气象负荷影响显著,但与气温的相关系数较其他阶段明显较低,这应该与低温阶段停工停产及春节期间用电的特殊性有关。

3.3 气象负荷率分阶段预报

由于气象负荷率随日平均气温呈现出明显的阶段性变化特征,故根据各阶段影响气象负荷率的主要气象敏感因子,采用逐步回归方法,分别得到 $17\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T\geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $7\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T<7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这4个阶段气象负荷率的预报方程, Y 为气象负荷率的预测值(单位:%)。

当 $17\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时:
$$Y = 1.075T_3 - 0.141U - 17.425 \tag{4}$$

当 $T\geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时:
$$Y = 4.134T_5 + 1.564T + 0.807T_{\max} - 171.296 \tag{5}$$

当 $7\text{ }^{\circ}\text{C}\leq T<17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时:
$$Y = -1.501T_5 - 0.52T_{\max} + 0.957T_3 + 10.387 \tag{6}$$

当 $T<7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时:
$$Y = -1.383T + 12.736 \tag{7}$$

3.4 电力负荷预报检验

在实际应用中,由上面的预报方程计算得到气象负荷率预测值,由式(2)计算得到趋势负荷预测

值,结合式(1)和式(3)即可计算出电力负荷的预测值。由趋势方程计算得到的趋势负荷,由于时间间隔太长,会加大趋势负荷预测的误差^[8],在实际预测中可考虑由短时间内(前 1 d、2 d、3 d 等前 n 天)的趋势负荷平均值作为预报日的趋势负荷。根据过去一段时间日最大电力负荷实况和天气要素实况,代入预测模型计算出每日趋势负荷,求其平均值作为预报日趋势负荷,进而求得电力负荷预测值。

$$L_{in} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{1 + r_i} \right) \quad (8)$$

$$L_f = L_{in}(1 + r_f) \quad (9)$$

其中, n 为过去日数, L_i 为过去第 i 日的负荷

实况, r_i 为过去第 i 日的气象负荷率预测值, L_{in} 为过去 n 日趋势负荷平均值, r_f 为预报日的气象负荷率预测值, L_f 为日最大负荷预测值。

对 2018 年正常工作日日最大负荷进行试报,根据 7 种不同时段(前 1 a、前 1 d、前 2 d、前 3 d、前 2 ~ 3 d、前 2 ~ 4 d、前 2 ~ 5 d)分别计算趋势负荷。其中,前 1 a 即根据 2017 年日最大电力负荷长期变化趋势,代入其趋势方程求得 2018 年趋势负荷;前 2 ~ 3 d、前 2 ~ 4 d、前 2 ~ 5 d 即根据前几日的趋势负荷求平均作为预报日的趋势负荷。

不同温度阶段不同时段计算得到趋势负荷,由式(9)得到预报日的日最大负荷,并计算日最大负荷预报相对误差绝对值见表 2。

表 2 不同温度阶段不同趋势负荷下日最大负荷预报相对误差绝对值(单位:%)

Tab. 2 Absolute relative error of daily maximum power load forecast with different time period in calculating trend power load under different daily mean temperatures

趋势负荷计算时段	前 1 a	前 1 d	前 2 d	前 3 d	前 2 ~ 3 d	前 2 ~ 4 d	前 2 ~ 5 d
17 °C ≤ T < 26 °C	4.1	3.3	4.2	4.6	4.0	3.9	3.9
T ≥ 26 °C	3.1	3.1	3.8	3.7	3.1	2.8	2.7
7 °C ≤ T < 17 °C	7.0	3.1	4.5	5.2	4.5	4.6	4.8
T < 7 °C	3.7	2.9	3.4	4.2	3.4	3.7	4.1
平均	4.5	3.1	4.0	4.4	3.8	3.8	3.9

从表 2 的测试结果来看,预测效果比较理想,基本能够满足电力部门预报准确率高于 96% 的要求。利用预报日前 1 d 的趋势负荷作为预报日趋势负荷,预报的相对误差最小,4 个阶段电力负荷预报相对误差绝对值均低于 3.3%,预报准确率高于 96.7%;其次是利用前 2 ~ 3 d 和前 2 ~ 4 d 的趋势负荷平均值作为预报日趋势负荷,预报相对误差绝对值全年平均为 3.8%。在实际业务中,由于预报日前 1 d 的数据实况无法获得,建议利用前 2 ~ 3 d 或 2 ~ 4 d 的趋势负荷来计算。从不同阶段来看,基于主要气象敏感因子建立的负荷预报方法,夏季和冬季的预报误差小于春秋和秋季。这与夏季和冬季电力负荷对气象条件的变化更为敏感,气象因子对电力负荷的贡献更显著有关系。

4 结论

①宜昌电力负荷呈逐年增长的趋势,表现出“两峰两谷”的态势,夏季和冬季电力负荷高,春季和秋季电力负荷相对较低。年最大电力负荷出现在夏季,年均增幅达 11.8%,节假日对电力负荷影响较大,年最小电力负荷均出现在春节期间。电力负荷周变化和日变化规律与生产、生活密切相关。

②电力负荷与气象要素关系密切,特别是气温对气象敏感负荷影响最显著,随着日平均气温的升高,气象负荷率先减小后增大,当日平均气温 T 为 17 °C 时气温最适宜,气象负荷率 r_{max} 最小,从而划分了 4 个变化阶段 17 °C ≤ T < 26 °C、 T ≥ 26 °C、7 °C ≤ T < 17 °C、 T < 7 °C,不同温度阶段气象负荷率与气象要素关系不同,夏半年气象负荷率与气压呈负相关,与气温呈显著正相关;冬半年气象负荷率与气压呈正相关,与气温呈显著负相关,相对湿度、风速仅个别阶段与气象负荷率显著相关。

③利用逐步回归法基于各阶段主要气象敏感因子建立分阶段负荷预报方法,总体而言,基本能够满足电力部门负荷预测的精度要求,相较于春季和秋季的预报,夏季和冬季的预测效果更佳。试验结果表明,可利用前 2 ~ 3 d 或前 2 ~ 4 d 的趋势负荷平均值作为预报日趋势负荷预测值。

④电力负荷预测是电力调度的重要参考依据。近年来,随着低碳经济和绿色生活的倡导,大量清洁能源推广利用,大规模的分布式可再生能源入网,加大了电力负荷预测的复杂性和不确定性^[20-21],后期可结合人工智能算法,进一步提高电力气象负荷预测的稳定性和准确性。

参考文献

- [1] 张贲,史沛然,蒋超. 气象因素对京津唐电网夏季负荷特性影响分析[J]. 电力自动化设备,2013,33(12):140-144.
- [2] 廖峰,徐聪颖,姚建刚,等. 常德地区负荷特性及其影响因素分析[J]. 电网技术,2012,36(7):117-125.
- [3] 袁顺全,千怀遂. 我国能源消费结构变化与气候特征[J]. 气象科技,2003,31(1):29-32.
- [4] 刘健,陈星,彭恩志,等. 气候变化对江苏省城市系统用电量变化趋势的影响[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(5):546-549.
- [5] 陈海燕,胡波,吴利红. 浙江夏季高温特征及住宅降温耗电初探[J]. 气象科技,2005,33(6):594-598.
- [6] 钟利华,周绍毅,邓英姿,等. 广西近年高温干旱气象灾害及对电力供求的影响[J]. 灾害学,2007,22(3):81-84.
- [7] 付桂琴,李运宗. 气象条件对电力负荷的影响分析[J]. 气象科技,2008,36(6):795-800.
- [8] 熊明明,李明财,任雨,等. 天津电力负荷特性及其与气象因子的关系[J]. 气象科技,2013,41(3):577-582.
- [9] 陈正洪,洪斌. 华中电网四省日用电量与气温关系的评估[J]. 地理学报,2000,55(增刊):34-38.
- [10] 张立祥,陈力强,王明华. 城市供电量与气象条件的关系[J]. 气象,2000,26(7):27-31.
- [11] 武辉芹,张金满,曲晓黎. 河北省南部电网夏季电力负荷特征及与气象因子的关系[J]. 气象科技,2013,41(5):945-948.
- [12] 孟明,陈世超,赵树军,等. 城市配电网居民住宅和商业负荷特性对比分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2018,30(4):97-103.
- [13] 张自银,马京津,雷杨娜. 北京市夏季电力负荷逐日变率与气象因子关系[J]. 应用气象学报,2011,22(6):760-765.
- [14] 卢珊,高红燕,李建科,等. 西安市居民用电量对气象因子的响应及预测[J]. 干旱气象,2017,35(5):886-892.
- [15] 胡江林,陈正洪,洪斌,等. 华中电网日负荷与气象因子的关系[J]. 气象,2002,28(3):14-18.
- [16] 雷绍兰,古亮,杨佳,等. 重庆地区电力负荷特性及其影响因素分析[J]. 中国电力,2014,47(12):61-65.
- [17] 石涛,廖超伦,谭睿,等. 南城县气候变化与极端天气研究[J]. 气象水文海洋仪器,2021,38(1):45-47.
- [18] 刘亚红,曹亮. 上海市电力负荷与气象因子关系及精细化预报[J]. 应用气象学报,2013,24(4):455-463.
- [19] 古田会. 贵州2010年电力行业气象服务效益评估分析[J]. 贵州气象,2011,35(5):62-64.
- [20] 张明,杜裕,洪国平. LSTM在宜昌短期电力负荷预测中的试验应用[J]. 气象研究与应用,2019,40(3):72-77.
- [21] 魏晓川,王新刚. 基于气象大数据的城市电力负荷预测[J]. 电测与仪表,2021,58(2):90-95.