[电力系统]

基于实时气象因素和LSSVM的短期负荷预测研究

文/国家电网公司华北分部　张　贲　孙　田　史沛然　周　煜
北京清软创新科技股份有限公司　罗　欣

电力系统负荷受气象因素的影响很大，为提高负荷预测准确度，提出了基于实时气象因素和最小二乘支持向量机（Least Squares Support Vector Machine，LSSVM）的短期负荷预测模型。

短期负荷预测对电网建设、电力市场交易和电力调度等有重要的意义，一直以来都是研究的重点。系统负荷受能源供应、地区经济发展水平、气象因素和日类型等的影响，因此负荷不是一成不变的，存在随机性和波动性，但在较长的时间维度上看，负荷也呈现出明显的周期性和规律性。因此，可以通过研究各个影响因素与系统负荷的关系，找到合适的方法来实现短期负荷预测。

气象因素是影响负荷预测的关键因素，包括温度、湿度、天气情况和风力等，其中温度和湿度是影响负荷的主要因素。在考虑气象因素影响的前提下，现有的很多短期负荷预测研究都是基于日特征气象因素的，如平均温度、平均湿度等，有效地利用实时气象因素理论上可以提高预测的准确率。

针对以上背景，本文提出了基于实时气象因素和LSSVM的短期负荷预测模型，综合考虑了实时气象因素精细化程度高和LSSVM算法收敛快等优点，从而提高预测准确度。

气象因素对负荷的影响分析

气象指的是大气中的物理现象，包括温度、湿度、天气情况和风力等，对负荷变化影响非常显著，其中，温度对负荷的影响最明显。当温度骤然变热或者变冷时，系统负荷由于大范围制冷或者供暖设备的投入而有较大波动。除此之外，湿度也是影响负荷变化的主要因素，因此本文将考虑温度和湿度两种气象因素对负荷的影响。

1．日特征气象因素对负荷的影响分析

选取日特征气象因素中的平均温度和平均湿度，以收集到的京津唐电网2017年6月1日至2017年10月9日的数据为例，探究日平均负荷、平均温度及平均湿度随时间的变化趋势，并分析平均温度和平均湿度对日平均负荷的影响。

为方便绘图和比较，对各类数据进行标幺化处理，计算公式为

$$x^* = \frac{x}{x_{\max}} \tag{1}$$

式中，x^*为标幺值；x为各天的数据；$x_{\max}$为x的最大值。

分析日平均负荷与平均温度、平均湿度随时间变化呈现出来的规律，可以得到如下结论：

1）在夏季，日平均负荷与平均温度的变化基本一致，呈正相关特性，当温度升高/降低时，由于空调的大量使用/关闭，系统用电负荷将随之急剧增加/减小。日平均负荷与平均湿度的变化则相反，呈负相关特性，这是由于湿度增大/减小时，温度会相应地升高/降低。假如进行负荷预测时能够利用温度、湿度与负荷的这种相关性，将在很

大程度上提高预测准确度。

2）在曲线图上大约107天之后，即进入秋季时，平均温度、平均湿度与日平均负荷的相关性明显程度降低，温度及湿度的变化对负荷产生的影响变弱。这是由于空调等制冷设备使用率大大降低，系统负荷中的气象敏感负荷减少，即使温湿度有变化，系统负荷也不会有大幅的波动。

3）在曲线的某些部分温湿度与负荷的变化趋势也呈现出非相关的特性，这是由于除了温度和湿度之外，负荷还与其他的因素相关，但相比温度和湿度，这些因素对负荷的影响较小。

2．实时气象因素对负荷的影响分析

选取京津唐电网2017年7月1日当天的系统负荷分析实时温度、湿度对负荷变化的影响。为方便与实时温度、湿度进行比较，将负荷作如下变换为

$$L'_{\mathrm{p}}=\frac{L_{\mathrm{p}}}{L_{\max}}\times 100,(p=1,2,\ldots,96) \tag{2}$$

式中，P为时刻点；L_{p}为P对应的负荷；$L_{\max}$为一天96点负荷的最大值；L'_{p}为比例变换后的值。

绘制实时气象因素与负荷的变化曲线如图1所示。

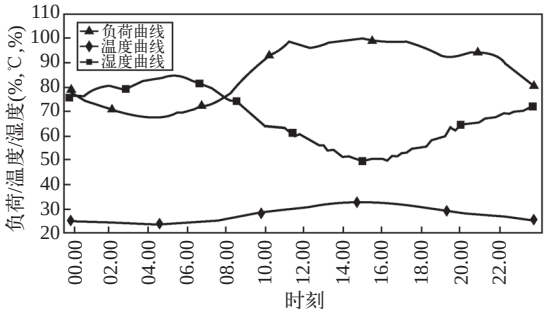

图1　实时气象因素与负荷的变化曲线图

分析图1中实时气象因素对负荷的影响，可以得到如下结论：

1）负荷与实时温度呈明显的正相关特性，一天当中，负荷随着温度的升高而增大，随着温度的降低而减小。

2）负荷与实时湿度呈明显的负相关特性，一天当中，负荷随着湿度的降低而增大，随着湿度的升高而减小。

3）在12时与19时左右，负荷有两个波谷存在，这是午休和下班时间工作用电负荷下降导致的。除此之外，还有部分时刻的负荷变化规律与以上分析存在差异.这是由于负荷还受到温湿度之外的因素的影响，如工厂的工作机制、用户的用电习惯等。但其他因素不仅数据较难获得，规律也很难把握。因此本文在进行短期负荷预测时，仍然只考虑温度和湿度这两个主要影响因素。

气象因素与负荷的相关性分析

相关性分析描述的是两个对象之间是否存在相互关联、相互影响的关系，实际应用当中可以用相关系数来对其进行表示。相关系数的计算公式为

$$R=\frac{\sum(x_{\mathrm{i}}-\overline{x})(y_{\mathrm{i}}-\overline{y})}{\sqrt{\sum(x_{\mathrm{i}}-\overline{x})^2(y_{\mathrm{i}}-\overline{y})^2}} \tag{3}$$

式中，R为相关系数；x_{i}和y_{i}为气象因素和负荷大小；$\overline{x}$和$\overline{y}$对应x_{i}和y_{i}的平均值。

选取京津唐电网2017年7月的系统负荷及温度、湿度数据，利用式（3）分别对日特征气象因素、实时气象因素与负荷的相关性进行分析。其中，在进行日特征气象因素与负荷的相关系数计算时，温度、湿度和负荷均采用平均值，用R_{11}和R_{12}分别表示温度、湿度与负荷间的相关系数；在进行实时气象因素与负荷的相关系数计算时，温度、湿度和负荷均采用实时值，先计算每天的相关系数，再取平均值，用R_{21}和R_{22}分别表示温度、湿度与负荷间的相关系数。所得结果如下表所示。

表　相关系数计算结果表　（%）

R_{11}	R_{12}	R_{21}	R_{22}
93.2	−41.5	88.3	−85.6

从相关系数计算结果可以看出，温度与负荷之间呈正相关，湿度与负荷之间呈负相关。总体上温度、湿度与负荷的相关性较强，这与上一小节的分析一致。但日特征湿度与负荷的相关系数绝对值为41.5%，远小于实时情况下二者的相关系数的绝对值85.6%；温度与负荷的相关系数虽有差异，但均大于88%，相关性较强。因此，基于实时气象因素进行短期负荷预测理论上可以得到更大的预测准确度，该方法从气象因素与负荷相关性的角度上分析是有一定可行性的。

LSSVM短期负荷预测模型

1．LSSVM原理

传统的支持向量机（SVM）采用了非线性优化的方法，在求解最优解方面有很大优势，但在样本数据规模较大的情况下，算法过于复杂导致

了计算时间太长。LSSVM算法对SVM算法进行了扩展，将等式约束作为条件而非不等式约束，从而将二次规划问题转变为一次线性问题来求解，简化了运算过程，提高了收敛速度。

2．基于实时气象因素和LSSVM的短期负荷预测模型

本文建立了基于实时气象因素和LSSVM的短期负荷预测模型，考虑了实时气象因素的影响，并采用LSSVM算法对待预测日的96点负荷进行预测。

1）针对收集到的京津唐电网的系统负荷及相应的实时温度和湿度数据，对异常数据进行预处理。

2）建立LSSVM负荷预测模型，选取处理后的负荷、温度及湿度数据作为样本数据构造训练集。其中，输入向量包含负荷时刻点、日类型、训练日一天前及上周同类型日的负荷、训练日当天、一天前及上周同类型日的实时温度和湿度，对应的输出为训练日的96点负荷。同时，选取合适的参数 和 ，利用LSSVM算法对模型进行训练。

3）选取待预测日的负荷时刻点、日类型、待预测日一天前及上周同类型日的负荷、待预测日当天、一天前及上周同类型日的实时温度和湿度作为输入向量，通过训练后的负荷预测模型计算得到待预测日的96点负荷。

4）计算负荷预测准确度值。

应用算例分析

本文提出了基于实时气象因素和LSSVM的短期负荷预测模型，为验证模型的可行性，下面通过两个方案进行探究。

1）基于日特征气象因素的LSSVM短期负荷预测。

2）基于实时气象因素的LSSVM短期负荷预测。

其中，方案1除温度和湿度数据为日平均值外，其余建模过程及步骤与方案2相同。在数据的选择方面，选取京津唐电网2017年7月5日至2017年8月10日的负荷、温度和湿度数据作为样本数据，用于构造LSSVM算法的训练集；选取2017年8月11日作为待预测日，对待预测日的96点负荷进行预测。

本文采用Mathworks公司开发的Matlab软件中的LSSVM工具包对两种方案进行建模。利用构造的训练集对LSSVM模型进行训练，再利用训练后的模型和待预测日的输入向量对待预测日进行负荷预测，分别得到两种方案下的负荷预测曲线，如图2所示。

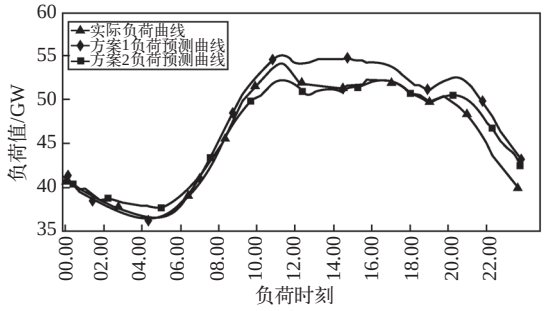

图2　负荷预测结果对比曲线

从图2分析可得，方案2所得负荷预测曲线与实际负荷曲线更加接近，方案1所得负荷预测曲线在后半段有较大误差。计算得到方案1的负荷预测准确度为95.67%，方案2的负荷预测准确度为97.15%，比方案1高出了1.48%。方案2的负荷预测误差曲线如图3所示。可以看到，负荷预测误差基本在零附近。模型预测结果说明LSSVM算法是有效的，同时也说明了考虑实时气象因素的影响能够提高短期负荷预测准确度，因此本文所提出的负荷预测方案具有可行性。

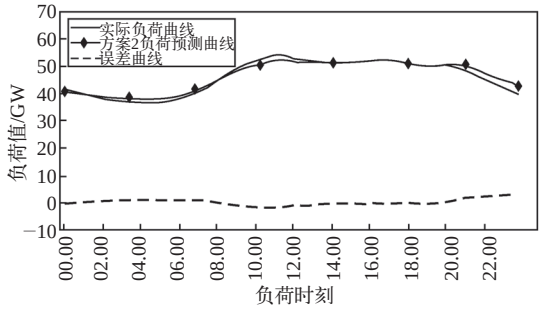

图3　方案2预测误差曲线

结束语

1）负荷与温度呈正相关特性，与湿度呈负相关特性；温度与负荷的相关性更强，对负荷产生的影响较大；日特征湿度与负荷的相关性远小于实时湿度与负荷的相关性。

2）LSSVM算法将非线性规划问题转变为一次线性问题来求解，简化了运算过程，提高了模型的效率。

3）相比基于日特征气象因素的LSSVM短期负荷预测方法，本文所提出的方法能够显著提高负荷预测准确度，说明选取精细化程度更高的实时气象因素能够改进预测模型，验证了所提方案的可行性。EA

（收稿日期：2018.12.20）
（编辑：朱金凤）