

DOI: 10.7667/PSPC162024

基于容量利用特征的行业售电量预测方法研究

董朝武¹, 白江红¹, 汪鸿², 韩俊杰³, 罗欣³

(1. 国家电网公司, 北京 100031; 2. 国网冀北电力有限公司, 北京 100053;
3. 北京清软创新科技股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 为了使电力企业能够从用电根源把握行业整体的用电趋势, 引入基于容量利用特征并且考虑了外界经济因素影响电量预测方法。首先, 通过对行业的运行容量进行分离, 采用行业不同业扩报装类型生长曲线还原真正的存量容量。再提取行业利用小时数, 应用相关系数法和 K-L 信息量法对影响行业利用特征的外在因素进行辨识, 确定主导因素指标。最后, 创建基于容量利用特征的电量预测方法, 基于存量产生电量和业扩增量产生电量形成对行业的预测模型。实证分析表明, 这种方法能有效地提高预测精度。

关键词: 业扩报装; 电量预测; 容量利用小时数; 上下游分析; 主导因素

Research of industry electricity sales forecasting method based on capacity utilization characteristics

DONG Chaowu¹, BAI Jianghong¹, WANG Hong², HAN Junjie³, LUO Xin³

(1. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China; 2. State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Beijing 100053, China; 3. Beijing Tsingsoft Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China)

Abstract: In order to enable power companies to grasp the trend of electricity consumption of the whole industry from the power source, this paper proposes a forecasting method of industry electricity sales based on capacity utilization characteristics and taking external economic factors. Firstly, it separates operation capacity of each industry and restores real memory capacity by using the growth curves of different types of business expansion. Then, it extracts industry capacity utilization hours, identifies the external factors which affect the industry utilization characters by correlation coefficient method and K-L information method to determine the dominant factor indexes. At last, it creates power prediction method based on capacity utilization characteristics. The prediction model of industry electricity sales is based on the generation of electricity generated from the stock and the industrial expansion. The results of the case study show that the prediction method can effectively improve the prediction accuracy.

Key words: business expansion report forms setting; load prediction; capacity utilization hours; upstream and downstream analysis; dominant factors

0 引言

售电市场分析预测是结合过去及现在已知的经济形势、社会发展和售电市场状况, 基于历史数据进行分析研究, 探索掌握各相关因素与电力市场的内在关联及发展变化规律, 从而根据对未来经济形势和外在因素的预测来科学地预测未来的售电市场需求状况^[1-3]。国内外学者对电力系统售电市场预测的方法进行了大量的研究, 纵观已有售电量预测方法: 一方面对全社会售电量进行整体预测, 整体变

化特点及影响因素的掌控是笼统的, 忽视了分行业的变化特性; 另一方面, 虽然已有大量研究对电量预测进行了讨论和分析, 但大多数研究者把重点放在算法的复杂性、算法优化^[4-11]或相关影响因素的精细化考量上^[12], 而较少从电力企业的角度从用电根源进行剖析。任何电力客户的用电必须基于一定的容量, 用电容量由存量容量和业扩容量两部分组成, 电力需求的变化由存量容量的利用变化和业扩容量的利用情况两部分构成。文献[13-14]给出了一种通过业扩容量对售电量进行预测的方法, 业扩容量仅仅能够在一定程度上体现出售电量变化的趋势, 在实际预测中应同时考虑存量容量。

本文研究了基于存量容量与业扩报装的新型

售电量预测方法，旨在从用电机理层次出发，分析电力市场不同行业的容量变化特征和业扩报装容量特征，并深入剖析外部经济环境中上下游产业发展对其产生的影响，从而揭示影响电力市场变化的内在因素和外部变化因素。该方法能够在国内外变化莫测的经济大环境下对未来的电力市场发展变化趋势提供较为科学的理论依据。

1 容量利用特征与售电量的关系

由图 1 可以看出，月度电量与容量曲线具有相似的形状和波动趋势，二者具有一定的相关性。研究容量的利用特征有利于从根本上掌握售电量的变化规律。容量利用特征包含存量容量的利用特征和业扩容量的利用特征。发生业扩报装业务的用户，由于其自身的客观原因，生产状态无法马上达到稳定，需要有一个过渡期，用户的用电量波动变化以生长曲线的变化趋势逐渐达到稳定^[15]。在实际工作中，无法直接获取存量容量数据，本文欲通过用电生长曲线从能够直接获取到的运行容量数据中还原出真正的存量容量。

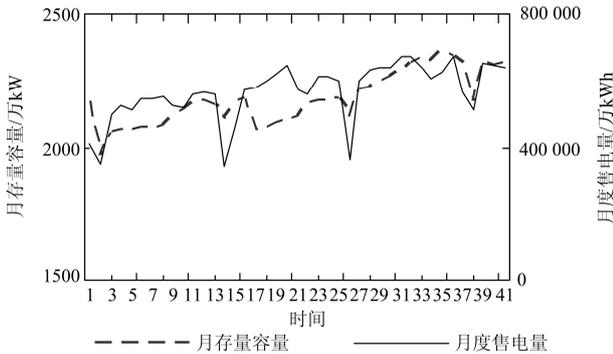


图 1 行业月电量与月存量容量关系图

Fig. 1 Relationship between monthly electricity consumption and capacity of one industry

2 基于容量利用特征的行业售电量预测方法

本文将容量与售电量间的关系研究作为切入点，提取存量容量用电特征，挖掘业扩报装容量转换为售电量的周期特征，研究基于存量容量与业扩报装特征的售电量预测方法，建立预测模型实现对售电量的预测分析。总体预测流程如图 2 所示。

在预测流程中，首先对行业电量容量进行综合分析，把握该行业的发展变化趋势。然后研究容量与售电量之间的关系，并对容量利用特征进行提取，通过分析行业典型用户发生不同业扩业务后电量的变化趋势，聚类行业的不同业扩类型用电生长曲线，从而获取发生业扩业务后用电稳定周期和逐月投运

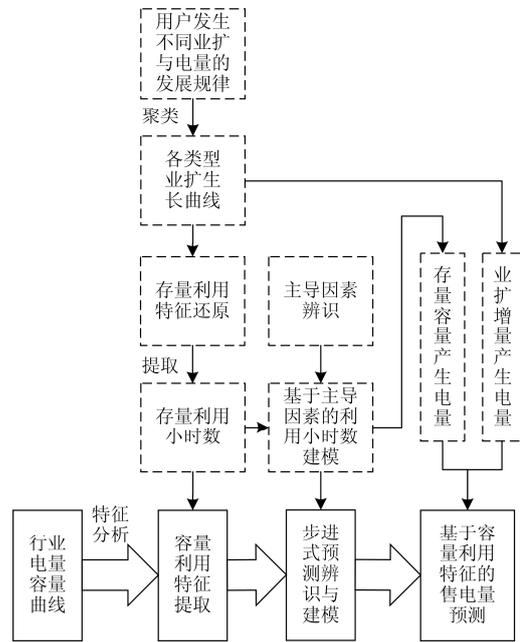


图 2 总体预测流程图

Fig. 2 Overall process of the forecast method

比例来对存量容量进行修正还原，提取出真正的行业存量利用小时数。在此基础上，本文通过经济学原理分析在产业链中该行业的上下游行业经济指标来确定影响本行业容量利用特征发展变化的外在因素，并采用“主导因素辨识—主导因素建模”的思想建立量化的容量利用特征发展规律预测模型。最后，利用存量容量与业扩增量产生电量之和形成对行业售电量的预测。

因此这里关键有三个环节，即容量利用特征提取、步进式预测辨识与建模及最后的行业售电量预测，将在下文逐一进行阐述。

2.1 容量利用特征提取

在现阶段的企业管理水平 and 收资条件下，可以直接获得运行容量值(即存量容量和业扩容量)的混合体，无法获取精确的存量容量值。在已知业扩容量和运行容量的情况下，为了对存量容量利用特征和业扩容量利用特征进行量化分析，本文设计了“业扩特征挖掘聚类—存量特征精细校正”的容量利用特征提取过程。这样可以得到较为精确的存量容量利用特征和业扩容量利用特征，为后续的电量预测工作做好充足的准备。

2.1.1 存量特征模糊提取

本文根据发电机组利用小时数的定义提出了行业的容量利用小时数概念，旨在表征该行业设备的利用效率和用电变化情况。利用小时数是售电量的体现，由于节假日、设备检修、不同行业的日用电

特性、申请用电容量与实际用电容量存在差异等因素, 各行业存量容量利用小时差别较大。准确地把握各行业的年、月利用小时数才能够准确地预测地区售电量。

容量利用小时数

$$T_{i,r} = Q_{i,r} / C_i \quad (1)$$

式中: $T_{i,r}$ 为各周期内的容量利用小时数; i 为周期序数, 取值 1, 2, 3, ...; r 为数据统计的周期属性, 取值月、季、年; $Q_{i,r}$ 为统计周期为 r 的条件下第 i 个周期内的用电量; C_i 为本周期末的用电容量。

负荷投运比例

$$R_{i,r} = T_{i,r} / T_{i+m,r} \quad (2)$$

式中: $R_{i,r}$ 为各周期内的负荷投运比例; 其中 i 、 r 、 $T_{i,r}$ 见公式(1); $T_{i+m,r}$ 为稳定后的容量利用小时数; m 为稳定过程的持续周期数。

稳定后的容量利用小时数

$$T_{i+m,r} = \sum_{j=1}^n T_{i+m+j,r} / n \quad (3)$$

由于业扩报装业务后用电量的稳定过程受一些相关因素的影响为有轻微波动的连续过程, 所以稳定后的月容量利用小时数可取稳定后 3 至 5 个月的月利用小时数平均值, 即式(3)中的 n 可取 3~5。

在稳定过程的判断中, 选择的判据有两种类型, 满足其中之一, 即认为该项业扩报装业务达到稳定过程。

判据 1: 利用用电量变化量 $\Delta Q_{i,r}$ 来进行判断。

$$\Delta Q_{i,r} = (Q_{i,r} - Q_{i-1,r}) / Q_{i-1,r} \quad (4)$$

对于用电量变化量 x , $\exists x \in D$, 其中 $D = [\Delta Q_{k+1,r}, \Delta Q_{k+2,r}, \Delta Q_{k+3,r}]$, $k = 0, 1, \dots, n-3$, 满足 $\forall x \leq 0.05$, 则判断第 k 个周期开始达到稳定状态。

判据 2: 利用用电量 $Q_{i,r}$ 来进行判断。

如果 $Q_{k,r} = f(Q_{i,r})$, 且 $Q_{i,r}$ 呈近似递减趋势(当业扩类型为增容型)或近似递增趋势(当业扩类型为减容型), $k < l \leq n$, 则认为第 k 个周期开始达到稳定状态。

$$f(Q_{i,r}) = \begin{cases} \max(Q_{i,r}) & \text{增容型业扩} \\ \min(Q_{i,r}) & \text{减容型业扩} \end{cases} \quad (5)$$

为了提取真正的存量容量, 首先需要对其进行模糊提取, 即在分析业扩容量占运行容量比重偏小的情况下, 认为运行容量即等价于存量容量, 直接利用运行容量测算容量利用小时数。

2.1.2 业扩特征挖掘聚类

业扩特征挖掘聚类即提取出发生业扩业务用

户的用电生长曲线。电力商品用户多、类型广、用电特性各异。如果以某一区域范围内的产业类型进行统计, 则结果必然粗略, 为了能够提取出业扩报装发生后具有代表性的用电生长曲线, 拟采用聚类方法来进行精细化分析。聚类分析中基于距离的划分法, 如 k-means 算法、k-medoids 算法、clarans 算法可以满足本节计算需要。

2.1.3 存量特征精细校正

精细校正即在业扩业务用电生长曲线的基础上, 分别利用负荷稳定月份和逐月负荷投运比例对运行负荷进行修正。假设负荷稳定周期数为 m , 业扩申请容量为 ΔC , 逐月负荷投运比例为 R_1, \dots, R_m , 原始运行容量为 $C_{\text{primary},1}, \dots, C_{\text{primary},m}$, 修正后的存量容量为 $C_{\text{final},1}, \dots, C_{\text{final},m}$, 则计算如下:

$$C_{\text{final},m} = F(C_{\text{primary},m}, R_m, \Delta C) = C_{\text{primary},m} - \Delta C + R_m \times \Delta C \quad (6)$$

校正后, 利用小时数能够更加贴切地反映实际存量负荷的用电发展变化情况。

2.2 步进式预测辨识与建模

2.2.1 基于产业链的经济影响分析

用电行为是经济活动中各环节的生产成本, 随着经济的波动而发生变化。经济波动是长期存在的经济现象, 在早期呈现较强的周期性, 故称之为经济周期, 用电量在很大程度上也受经济周期的影响。经济学家认为经济制度、气候变化、政府决策、投资和货币等因素均有可能成为经济周期波动产生的原因。因此, 工作人员在分析涉及到经济行为的用电量时应考虑以上多个方面因素的影响。

行业一般是指其按生产同类产品或具有相同工艺过程或提供同类劳动服务划分的经济活动类别。在国民经济的运行过程中, 任何一个行业都不是孤立存在的, 总是与其他行业存在着相互影响、相互依靠的联系。某一行业在生产过程中的任一变动, 都将通过行业间的关联关系对其他行业发生相应作用。所以在分析某一行业的生产用电情况时, 还应该考虑到产业链上相关行业对其产生的影响。

图 3 以纺织行业为例分析了该行业用电量受到上下游经济因素影响情况及体现。

为了突出主要相关行业与纺织业用电情况的关系, 本文从产业链的角度选取相关行业。纺织业的上游行业主要从供给角度选择与纺织业生产的原料和设备相关的行业; 下游行业主要从需求角度选择与纺织业的产品再加工和产品流通相关的行业, 具体行业名称如图 2 虚线框中所示。

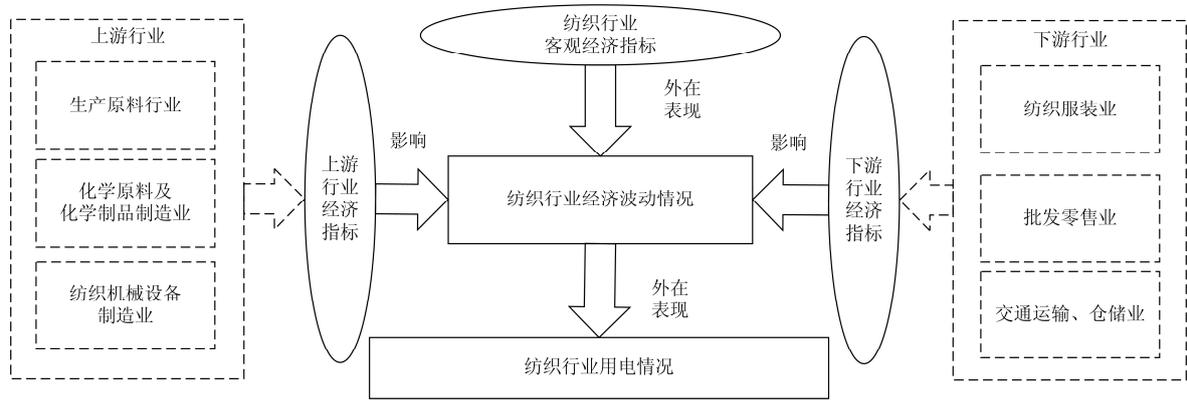


图3 纺织行业上下游分析图

Fig. 3 Analysis chart of the textile industry's upstream and downstream

在市场经济条件下，一个行业中企业决策者对生产活动的安排受到多个因素影响，并处在不断变化的过程中，由于任何经济变量与经济系统中的其他变量之间都会存在直接或间接的关联作用，这种变化往往表现为一个传导过程，例如某个行业的生产状况发生了变化，将对其他行业产生影响，从而影响了整个产业链的用电情况。这一传导过程包括产业链上游行业向下游行业的传导和下游行业向上游行业的传导，具体的影响度量可以通过各行业的主要经济指标进行衡量，这些经济指标即成为潜在影响行业电量发展的关键因素^[16]。

2.2.2 主导因素辨识

影响行业电量发展的经济因素众多。著名的“二八定律”证明：在大多数情况下，数据量庞杂是需要应对的主要问题，而解决问题的关键因素往往只在群体数据中占少数席位，实际处理过程中，只要能控制占少数席位的关键因素，便可以掌控整体局势。因此，本文建立主导因素辨识机制，旨在提取影响行业的关键特征指标，具体提取方法可考虑采用相关系数法或 K-L 信息量法。

1) 相关系数法

相关系数是描述两变量 x 与 y 之间相关程度的定量指标，相关系数 r_{xy} 无量纲，其值为 $[-1, 1]$ 。当 $r_{xy} = 0$ ， x 与 y 不存在相关关系，称 x 与 y 不相关；当 $r_{xy} > 0$ ， y 随 x 增加而增加，称 x 与 y 正相关；当 $r_{xy} < 0$ ， y 随 x 增加而减小，称 x 与 y 负相关；当 $|r_{xy}| = 1$ ， y 可以确切地用变量 x 的线性函数来表示。

Pearson(皮尔逊)相关系数是最常用的，本文中即采用 Pearson 相关系数进行行业容量利用小时数与各影响指标相关程度的定量化计算，其计算公式为

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (7)$$

值得注意的是，相关系数虽可描述两变量之间的相关程度，但考虑到不同变量发展之间可能存在不一致关系，即某些变量是先行变量，某些变量是一致变量，而某些变量是滞后变量。因此，在量化评价不一致变量关系时，可采用 K-L 信息量法。

2) K-L 信息量法

K-L 信息量是用来判定两个概率分布的接近程度，反映两组数据的超前或滞后关系的。首先假设一个基准随机变量，它的概率分布为 $p = [p_1, \dots, p_i, \dots, p_m]$ ，其中 p_i 为事件 r_i 发生的概率，设另一个随机变量的概率分布为 $q = [q_1, \dots, q_i, \dots, q_m]$ ，其中 q_i 为事件 r_i 发生的概率。然后对基准指标做标准化处理，使指标的和为单位 1，则

$$p_t = y_t / \sum_{j=1}^n y_j \quad t=1, 2, \dots, n \quad (\text{假定 } y_t > 0) \quad (8)$$

设 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为被选择指标，也做标准化处理，处理后的序列记为 q ，则

$$q_t = x_t / \sum_{j=1}^n x_j \quad t=1, 2, \dots, n \quad (\text{假定 } x_t > 0) \quad (9)$$

定义：分布列 q 关于分布列 p 的 K-L 信息量 k_l

$$k_l = \sum_{t=1}^n p_t \ln(p_t / q_{t+l}) \quad l=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm L \quad (10)$$

在实际应用中，计算的结果是要把 K-L 信息量扩大一万倍，K-L 信息量越小，表示真实概率分布与所选择的模型概率分布越接近，一般会选择 K-L 信息量在 50 以下的指标。式(10)中 l 代表超前或滞

后的时差, l 取负数时表示超前, 取正数时表示滞后。 L 表示最大延迟数, n_i 是数据取齐后的数据个数。最终, 所需要选择的指标是从 $2L+1$ 个 K-L 信息量结果中选一个最小值 k_i 作为被选指标 x 关于基准指标 y 的 K-L 信息量。

2.3 售电量预测方法建模

全面掌握影响容量利用特征变化的主导因素之后, 本文采用多元回归曲线模型, 基于主导因素对行业存量容量利用小时数 y_i 进行建模。

$$y_i = F_{\text{forecast}}(X_{N, \max}, t) \quad (11)$$

式中, y_i 为相关性最强的影响因素的集合。

本文提出基于容量利用特征的售电量预测方法如下所述。

1) 存量容量产生电量预测: 将存量容量利用小时数与存量负荷相乘, 得到预测值 $Q_{\text{forecast},1}$ 。

2) 业扩增量产生电量预测: 利用未来各项业扩报装容量, 按照业务发生月份, 结合业扩发生后剩余各月利用小时数占全年容量利用小时数的比重, 预测未来业扩业务发生后的剩余月份容量利用小时数, 并将每月新增业扩容量与剩余月份容量利用小时数相乘, 预测未来业扩报装容量产生的电量 $Q_{\text{forecast},2}$ 。

其中对于新装、增容、减容恢复和暂停恢复等业务的新增业扩容量, 结合行业不同业扩类型用电生长曲线, 测算次年新增负荷; 对于减容、暂停和销户容量, 可直接作为次年减少负荷。

3) 行业电量预测值。

$$Q_{\text{forecast,sum}} = Q_{\text{forecast},1} + Q_{\text{forecast},2} \quad (12)$$

3 算例分析

选取某地区纺织行业统计得到的 2009~2013 年的月度用电量和容量数据, 并进行算例分析。取 2009 年 1 月至 2012 年 12 月作为历史时段, 对 2013 年的售电量进行预测。

行业内选取了 2009~2012 年发生不同业扩业务的典型用户 160 户, 对不同用户的存量特征进行模糊提取后, 聚类分析该行业全体用户的业扩特征, 得到对于新装用户, 用电稳定时间发生频率最高的是 1 个月, 投运负荷比例为 56%; 对于增容用户, 用电稳定时间发生频率最高的是 1 个月, 投运负荷比例为 82%。之后对运行容量进行修正还原, 计算得到纺织业近 5 年的存量利用小时数变化情况, 如图 4、图 5 所示。

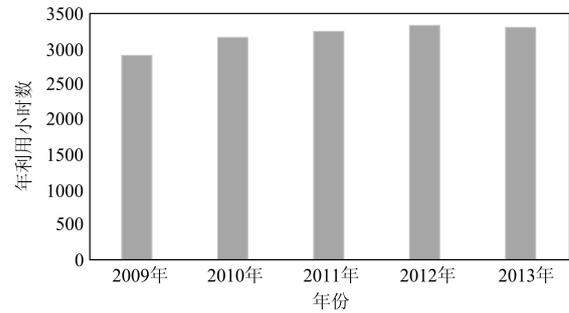


图 4 纺织业存量容量年利用小时数

Fig. 4 Annual utilization hours of the textile industry's stock capacity

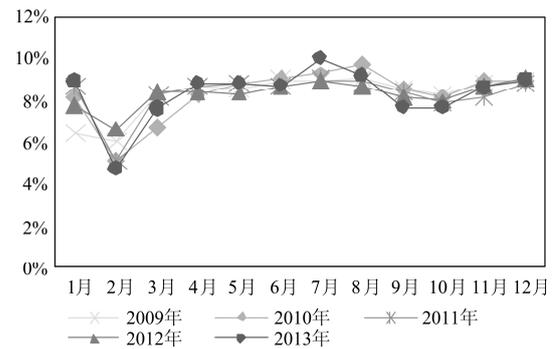


图 5 纺织业月利用小时数占全年比重

Fig. 5 Textile industry's monthly utilization hours accounted for the proportion of the year

从年度特性来看, 纺织业年利用小时数呈现逐年上升的发展趋势; 从月度特性来看, 历年月度发展特性具有高度的统一性, 并且不具有季节性, 每年 2 月的走低与春节假期有关。

通过 2.2.1 节对纺织行业上下游产业链和经济指标的分析, 根据 2.2.2 节所述方法和步骤, 找到影响纺织行业变化的主要因素, 结果如表 1 所示。

表 1 纺织业经济指标与电量关系

Table 1 Relationship of textile industry's economic indicators and electricity consumption

序号	指标	相关系数	时间维度	延迟月数	最小 K-L 信息量
1	统计局 PMI	0.0034	月度	5	567
2	汇丰 PMI	-0.0483	月度	6	865
3	固定资产投资总额 (纺织服装、服饰业)	0.5024	季度	4	367
4	纱产量	0.823	季度	0	48.4
5	布产量	0.818	季度	0	49.2
6	固定资产投资总额 (纺织业)	0.803	季度	0	45

以一段时间内纱产量、布产量和纺织业固定资产投资与纺织业容量利用小时数变化趋势对比为例,从图 6 可以看出这四个指标保持同步变化趋势。

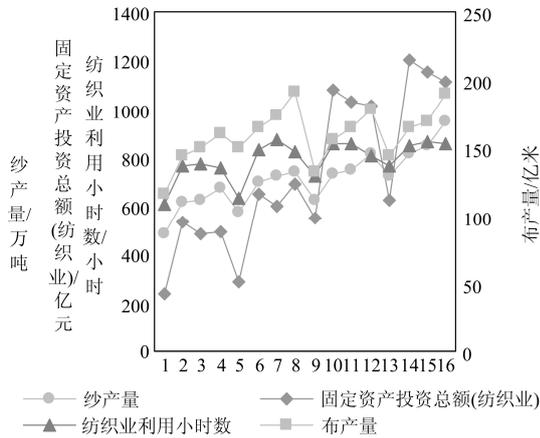


图 6 纺织业利用小时数及经济指标走势

Fig. 6 Trend of textile industry's utilization hours and economic indicators

之后建立纺织业利用小时数与纱产量 x_1 、布产量 x_2 和纺织业固定资产投资额 x_3 的多元函数为

$$y = -0.09x_1 + 1.882x_2 + 0.148x_3 + 420.329 \quad (13)$$

以 2013 年为例, 预测全年 12 个月的存量产生电量和增量产生电量如表 2 所示。

存量容量和增量容量产生电量相加, 得出 2013 年电量预测值为 299 亿 kWh, 预测误差 1.7%, 电量预测取得了较为准确的结果, 证明了本文所提预测方法的适用性和准确性。

表 2 2013 年纺织业电量预测表

Table 2 2013 forecast of textile industry electric power consumption

	万 kVA, 亿 kWh											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
新装增容	8.6	7.4	11.7	12.0	15.5	14.5	12.8	9.7	7.3	12.0	10.8	2.9
暂停	66.7	150.2	12.5	10.4	6.7	10.0	9.7	9.5	11.3	9.2	13.4	2.9
暂停恢复	9.2	117.6	63.9	13.6	11.0	9.3	15.3	10.3	18.0	13.5	9.3	1.5
销户	3.3	3.4	3.2	2.7	3.4	5.0	5.5	4.0	6.7	3.3	3.9	1.5
逐月比例	37%	26%	37%	33%	33%	34%	35%	34%	31%	31%	34%	35%
存量电量	23.8	15.6	21.3	24.4	25.0	26.0	27.0	27.1	24.7	25.4	27.8	28.9
增量电量	-1.4	-0.5	1.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0
电量和	22.4	15.1	22.9	24.8	25.4	26.2	27.4	27.3	25.0	25.7	27.9	29.0

4 结论

本文抛开了研究电力负荷预测方法的复杂算

法, 而是从电力市场本质层面进行研究, 提出了基于存量容量和业扩增量容量进行售电量预测的方法, 存量容量和业扩容量是电力企业可以很好掌握的运行数据, 故基于容量利用特征是一些其他不确定因素的体现, 一定程度上减小了售电量预测的难度, 基于容量利用特征的售电量预测方法是一种新的预测思路, 并得到了较高的预测精度。本文下一步将研究基于容量利用特征的售电量预测方法与其他人工智能算法的结合, 并对容量利用特征进行进一步挖掘。

参考文献

- [1] 曲正伟, 王云静, 贾清泉. 基于混沌理论的电网售电量预测研究[J]. 继电器, 2006, 34(17): 63-66.
QU Zhengwei, WANG Yunjing, JIA Qingquan. Study of electricity sales forecast based on chaos theory[J]. Relay, 2006, 34(17): 63-66.
- [2] 段树乔, 段方捷. 基于多项式回归函数的电网公司售电量预测方法[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(18): 76-81.
DUAN Shuqiao, DUAN Fangjie. The power grid corporation electricity sales forecast method based on polynomial regression function[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(18): 76-81.
- [3] 刘秋华, 陈洁, 甘海庆. 基于改进灰色模型的售电量预测分析[J]. 统计与信息论坛, 2009, 24(11): 17-21.
LIU Qiuhua, CHEN Jie, GAN Haiqing. Forecasting on the amount of sales of electric power based on improved grey model[J]. Statistics & Information Forum, 2009, 24(11): 17-21.
- [4] 王奕萱. 基于统计特征量和支持向量机的短期售电量预测研究[J]. 华北电力技术, 2013(12): 17-24.
WANG Yixuan. Research on short term electricity sales forecasting based on statistical characteristics and support vector machine[J]. North China Electric Power, 2013(12): 17-24.
- [5] 鲁宝春, 赵深, 田盈, 等. 优化系数的NGM(1,1,k)模型在中长期电量预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 98-103.
LU Baochun, ZHAO Shen, TIAN Ying, et al. Mid-long term electricity consumption forecasting based on improved NGM (1,1,k) gray model[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 98-103.
- [6] 潘小辉, 刘丽萍, 李扬. 提高月度售电量预测精度的一种新方法[J]. 电力需求侧管理, 2013, 15(3): 11-15.
PAN Xiaohui, LIU Liping, LI Yang. A new method to promote the forecasting accuracy of monthly electricity consumption[J]. Power Demand Side Management, 2013, 15(3): 11-15.

- [7] 孙伟, 常虹, 赵巧芝. 基于量子和声优化的改进DMSFE组合模型及在中长期电量预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 66-73.
SUN Wei, CHANG Hong, ZHAO Qiaozhi. Forecasting mid-long term electricity consumption using a quantum harmony search based improved DMSFE combination model[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 66-73.
- [8] 张栋梁, 严健, 李晓波. 基于马尔可夫链筛选组合预测模型的中长期负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 63-67.
ZHANG Dongliang, YAN Jian, LI Xiaobo. Mid-long term load forecasting based on Markov chain screening combination forecasting models[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(12): 63-67.
- [9] 吴杰, 宋国堂, 卢志刚, 等. 基于偏最小二乘回归与比重法的月售电量预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(3): 66-69.
WU Jie, SONG Guotang, LU Zhigang, et al. Forecasting for monthly electricity consumption using partial least-square regressive and proportion model[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2008, 20(3): 66-69.
- [10] 冷华, 陈鸿琳, 李欣然. 基于功率或电量预测的智能配电网统计线损同期化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 108-114.
LENG Hua, CHEN Honglin, LI Xinran. A method for synchronous line loss statistics of distribution network based on load or electricity consumption forecasting[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(18): 108-114.
- [11] 杨柳, 吴延琳, 张超, 等. 改进最小二乘支持向量机电量预测算法[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(3): 71-76.
YANG Liu, WU Yanlin, ZHANG Chao, et al. An improved electricity consumption prediction method of least squares support vector machine[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(3): 71-76.
- [12] 薛斌, 程超, 欧世其, 等. 考虑舒适温度区间和突变量的月售电量预测线性回归模型[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 15-20.
XUE Bin, CHENG Chao, OU Shiqi, et al. A linear regression model for forecasting monthly electricity sales considering comfortable temperature range and sudden variable[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(1): 15-20.
- [13] 周琪. 几种电量预测的实用方法[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(6): 52-54.
ZHOU Qi. Several practical methods of electricity sales prediction[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(6): 52-54.
- [14] 葛斐, 李周, 杨欣, 等. 基于业扩报装的全社会电量预测方法研究[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2014, 18(14): 31-34.
GE Fei, LI Zhou, YANG Xin, et al. Research on forecasting method of whole society electricity consumption based on business expansion[J]. Journal of Anhui Electrical Engineering Professional Technique College, 2014, 18(14): 31-34.
- [15] 余向前, 王林信, 张维静, 等. 基于生长曲线的行业业扩用电趋势研究[J]. 电力需求侧管理, 2014, 16(2): 21-25.
YU Xiangqian, WANG Linxin, ZHANG Weijing, et al. Research of business expanding electric consumption trend based on growth curves[J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(2): 21-25.
- [16] 李智勇, 陈志刚, 徐政, 等. 中国全社会用电量增长主导因素辨识[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(23): 30-35.
LI Zhiyong, CHEN Zhigang, XU Zheng, et al. Identification of dominant factors in China's power consumption growth[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(23): 30-35.

收稿日期: 2016-12-09; 修回日期: 2017-05-27

作者简介:

董朝武(1966—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电网规划; E-mail: zxdllx@126.com

白江红(1968—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电网规划; E-mail: 36486115@qq.com

罗欣(1983—), 女, 通信作者, 研究方向为负荷预测、电力市场与规划。E-mail: lx0213@163.com

(编辑 姜新丽)