

面向行业大数据特征挖掘的电力经理指数 指标体系的建立与应用

徐青山¹, 王文帝¹, 林章岁², 李喜兰², 丁茂生³

(1. 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 福建省电力有限公司电力经济技术研究院, 福建 福州 350012;
3. 国网宁夏电力公司, 宁夏 银川 750001)

摘要: 从大量的电力数据和行业数据中选取所需指标数据, 形成行业电力经理指数 EMI(Electricity Managers Index)指标体系。利用统计检验-粗糙集分析法筛选出关键指标, 优化行业电力经理指数指标体系, 并提出基于行业电量经理指数指标体系进行行业用电趋势预测的方法。运用所提方法对福建省典型行业的用电趋势进行分析和预测, 结果证实了方法的可行性和有效性。

关键词: 用电预测; 指标体系; 先行指标; 格兰杰检验; 粗糙集; 电力经理指数

中图分类号: TM 715

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.07.003

0 引言

随着信息技术的发展, 信息系统在各领域快速拓展, 电力行业的信息化促使电力数据迅速增长和不断融合, 电力大数据时代已经到来^[1-5]。电力行业数据量大、类型多、价值高, 贯穿电力工业生产及管理等环节。因此, 应当积极投入到数据挖掘与分析运用中, 挖掘数据价值, 实践大数据战略, 为电力企业决策与管理提供科学指导。

经济波动及形势变化对人民生活、企业生产和社会发展有着重要的影响。及时、准确地掌握经济变化信息, 对于政府政策的制定、企业生产的调整具有积极的作用。宏观监测指标体系及一些量化指数(如 CPI、PPI、PMI 等指数)的建立, 能够及时反映经济的变动情况和变动程度、监测经济的发展动态及预测经济的发展趋势^[6-8]。例如: 供需不平衡对市场经济运行的高效性、稳定性有着重要的影响, 所以提出 CPI、PPI 指数来判断供需平衡程度, 估算通货膨胀(或紧缩)风险; 为了能够监测经济的发展动态、反映商业活动的现实情况, 因此提出 PMI 指数作为一个先行指标监测经济运行、预测经济走势和转折点。

同样地, 电力市场中也存在与市场经济中相类似的一些问题。电力供求的矛盾是电力市场的基本矛盾之一, 对电力市场运行的高效性、稳定性有着重要的影响^[9-10]。企业作为电力市场的主要组成要素, 其经济效益的波动和变化会影响行业的电力需求数量, 导致电力市场的供需不平衡, 从而影响着电力部门的市场决策。因此, 需要运用科学的方法对电力市场供求变化进行研究, 监测其动态变化、分析其所处状态以及预见其发展趋势, 掌握电力市场供求

变化的规律, 为电力市场营销决策提供可靠的依据。

目前国内外已经提出很多负荷及用电预测的方法^[11-14], 如: 基于灰色理论的预测方法、基于进化机制的预测方法以及基于支持向量机的预测方法等。但这些方法理论性较强、建模复杂, 降低了其实用性, 而且需要大量的历史数据进行训练, 快速性、时效性较差, 没有先行作用。

本文将借鉴宏观经济监测指标体系建立和量化的方法, 建立一个监测行业用电情况及预测行业用电趋势的行业电力监测体系, 并对行业电力监测指标体系进行量化, 提出电力经理指数 EMI(Electricity Managers Index), 为监测行业用电动态、反映行业用电的现实情况和其整体的增长或衰退程度以及预测行业用电趋势提供参考和依据。该方法不仅简单、快捷, 还具有先行性和时效性。

1 行业 EMI 指标体系的构建

1.1 指标选取流程

为确保选取的行业电力经理指数关键指标具有全面性、合理性和易操作性, 需明晰指标选取的具体流程, 主要包括三大步骤。

步骤 1: 基于行业 EMI 的实现路径, 分别在电力统计数据侧和行业市场数据侧选出能够影响行业用电量的关键因素, 据此初步选出评价行业 EMI 的关键指标。

步骤 2: 将初选的关键指标以问卷调查的形式向行业内的专家征询意见。基于问卷调查结果, 对初选关键指标进行有效性检验和优化, 判断初选的关键指标的合理性, 删除不合理指标, 实现对初选指标的优化。

步骤 3: 根据关键指标优化的结果, 以行业 EMI 为评价对象, 以电力统计数据和行业市场数据为评

收稿日期: 2014-12-28; 修回日期: 2015-06-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAA01B00)

Project supported by the National Science and Technology Support Program(2013BAA01B00)

价维度,建立行业 EMI 关键指标体系。

关键指标选取的具体流程如图 1 所示。

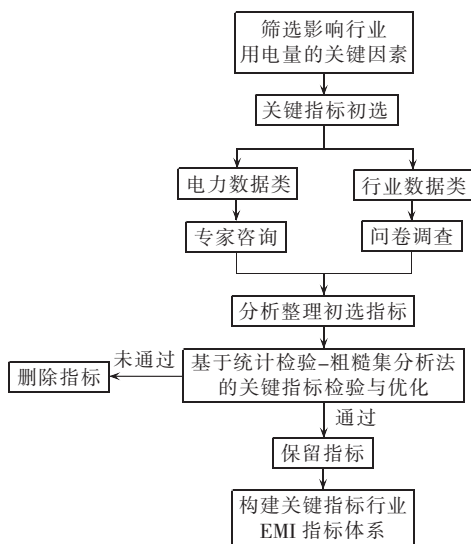


图 1 关键指标选取流程

Fig.1 Process of key index selection

1.2 指标初选

由于电力统计数据能够直接反映行业的用电情况;而行业市场数据则直接反映行业效益,从而间接反映出行业的用电情况。因此,行业的用电量主要来自于电力统计数据侧和行业市场数据侧。为此,将电力统计数据和行业市场数据作为评价维度,分别选取电力统计数据和行业市场数据中影响行业用电量的关键指标,以此全面反映行业用电趋势。

设计指标选取的调查问卷,确定评价者范围,向专家和评价者征询指标选取的意见。评价者判断给定指标对 EMI 的影响程度,并对指标进行排序。回收、整理调查问卷,形成初选关键指标。

a. 电力统计数据关键指标初选。

电力统计数据侧初选指标包括:申请和完成的扩容容量、申请和完成的减容销户容量、申请和完成的净扩容容量、申请和完成的扩容企业数、申请和完成的减容销户企业数、申请和完成的净扩容企业数。另外,考虑到用电量在时间上与其滞后项之间存在自相关关系,因此也把行业用电量作为一项指标。

b. 行业市场数据关键指标初选。

行业市场数据侧初选指标包括:订单量、产量、库存量、订单完成量、生产线规模、设备数量、产品价格、价格空间、本行业政策、上游行业政策、行业市场情况。

1.3 基于统计检验-粗糙集分析法的关键指标选取优化模型构建

本文基于统计检验-粗糙集分析法对初选的行业电力经理指数关键指标的合理性进行检验和优化,主要步骤如下。

步骤 1:将初选的指标分成连续型指标和离散型指标。连续型指标指具有确定数值的指标,离散型指标指具有大概范围、不具有确定数值的指标。

步骤 2:对于连续型指标,把指标看作时间序列,利用统计检验^[15-17]对连续性指标进行有效性检验和优化,具体步骤如下。

a. 首先利用各初选指标的历史数据进行回归分析,检验指标与用电量的相关性,剔除关联度小的指标。

b. 对各指标数据进行单位根(ADF)检验,检验指标的平稳性。ADF 检验模型 1、2、3 的回归方程分别如式(1)——(3)所示。

$$\Delta x_t = \delta x_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\Delta x_t = \alpha + \delta x_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\Delta x_t = \alpha + \rho t + \delta x_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

其中, ε_t 是随机误差项,是服从独立同分布的白噪声过程; $\Delta x = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_t, \dots\}$ 是时间序列 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_t, \dots\}$ 的差分项。

同时估计出上述 3 个模型的适当形式,然后通过 ADF 临界值表检验零假设 $H_0: \delta = 0$ 。只要其中有一个模型的检验结果拒绝了零假设,就可以认为时间序列是平稳的。当 3 个模型的检验结果都不能拒绝零假设时,则认为时间序列是非平稳的。

c. 对于非平稳的时间序列,则需要进行协整关系检验。把一系列指标历史数据看成一个时间序列,如果 k 个时间序列 $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_k$ 都是 d 阶单整的,存在一个非零向量 β , 使 $\beta y: I(d-b)$, 则称 y 是协整的,向量 β 为协整向量。如果 2 个向量都是单整向量,则只有它们的阶数相同时才可能协整。采用 Johansen 协整检验,滞后阶数根据 AIC 或 SC 最小原则确定,如果相应的迹统计量小于临界值则拒绝 H_0 。

d. 最后当变量之间存在协整关系时,则对变量进行格兰杰因果关系检验,得到最终的指标。其检验模型为:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

其中, q, p 分别是 x, y 的滞后阶数。

检验的零假设 H_0 为: x 是 y 的非格兰杰原因,即 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_q = 0$ 。若零假设 H_0 成立,则有:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_{t0} \quad (5)$$

令式(4)的残差平方和为 S_1 , 式(5)的残差平方和为 S_0 , 则: $F = \frac{(S_1 - S_0) / q}{S_0 / (T - q - p - 1)}$ 应服从自由度为 $(q, T - q - p - 1)$ 的 F 分布,其中 T 为样本容量。滞后阶数可根据赤池信息准则(AIC)来确定。比较 F 统

计量与临界值的大小即可得检验结果。如果 F 大于临界值就拒绝零假设 H_0 ; x 是 y 的格兰杰原因;如果 F 小于临界值,则不能拒绝零假设 H_0 ,这就意味着 x 不是 y 的格兰杰原因。

步骤 3:对于离散型指标,利用粗糙集理论^[18-19]对离散型指标进行有效性检验和优化,具体步骤如下。

- a. 建立综合评价信息系统和决策表。
- b. 确定离散各属性区间,根据各属性区间大小对指标数据进行离散化处理。
- c. 确定等类集合分别为: $U/\text{ind}(C)$ 、 $U/\text{ind}(D)$ 、 $U/\text{ind}(C-\{c_i\})$ 。
- d. 导出条件属性集合正域 $\text{pos}_C(D)$ 、 $\text{pos}_{C-\{c_i\}}(D)$,条件属性集合基数为 $\text{card}[\text{pos}_C(D)]$ 、 $\text{card}[\text{pos}_{C-\{c_i\}}(D)]$;
- e. 计算知识 D (决策属性指标)对知识 C (评价指标集合)的依赖程度 $r_C(D)$ 及知识 D 对知识 $C-\{c_i\}$ 的依赖程度 $r_{C-\{c_i\}}(D)$ 。即:

$$r_C(D)=\text{card}[\text{pos}_C(D)]/\text{card}(U)$$
$$r_{C-\{c_i\}}(D)=\text{card}[\text{pos}_{C-\{c_i\}}(D)]/\text{card}(U)$$

- f. 计算条件属性对决策属性的重要程度 $\sigma(c_i)$,即 $\sigma(c_i)=r_C(D)-r_{C-\{c_i\}}(D)$ 。如果某项指标的重要度很小,说明指标体系的评价对其依赖性很小。这项指标对指标体系的贡献度可以忽略,此指标可被剔除。

步骤 4:将基于统计检验-粗糙集分析法优化后的连续性指标和离散性指标综合,得到最终的行业 EMI 指标体系的关键指标。

基于统计检验-粗糙集分析法,对初选指标进行关键指标选取优化如下。

- a. 通过调研可知:电力数据具有确定数值,是连续型指标;而市场数据具有大概范围,不具有确定数值,是离散型指标。
- b. 对于连续型指标,通过 1.3 节中连续型指标的处理方法,利用调研数据对 1.2 节中初选的连续型指标进行有效性检验和格兰杰检验得到对行业用电量有先行性影响的指标,结果如表 1 所示。表中, A 为申请净扩容容量; B 为申请净扩容企业数; C 为完成净扩容容量; D 为完成净扩容企业数; E 为用电量。因为格兰杰检验得到的时间序列具有先行性,因

此优化得到的指标具有先行性。

- c. 对于离散型指标,通过 1.3 节中离散型指标的处理方法,利用调研数据对 1.2 节中初选的离散型指标进行检验和优化得出重要度较高的指标,结果如表 2 所示。表中,总基数为 168;决策属性基数为 119。

表 2 优化检验结果

Table 2 Results of optimization and test

一级指标	二级指标	条件属性基数	重要度
行业效益类	订单量	107	12
	产量	106	13
	库存量	102	17
	订单完成量	98	21
市场行情类	产品价格	99	20
	价格空间	103	16
	行业政策	109	10

1.4 指标权重确立

本文采用主客观相结合的组合赋权法,既体现出指标的价值量,又体现出指标的信息量。权重确立的具体步骤如下:

- a. 利用基于相容矩阵的层次分析法计算各指标的主观权重系数;
 - b. 利用粗糙集中的重要度计算各指标的客观权重系数;
 - c. 设定经验因子,将主客观权重进行合成,获得主客观的综合权重;
 - d. 根据指标权重和指标值,采用线性加权法对各个指标进行加权计算,得出综合评价结果,即 EMI。
- 通过上述指标体系优化构建,得到 12 个二级指标,再结合层次分析法和粗糙集法得到各指标的权值,最终形成一个完整的行业 EMI 指标体系,如表 3 所示。

表 3 行业 EMI 指标体系

Table 3 Industrial EMI indicator system

评价对象	一级指标	二级指标	权重系数
电力数据类		申请净扩容容量	0.266
		申请净扩容企业数	0.086
		完成净扩容容量	0.145
		完成净扩容企业数	0.052
		用电量	0.163
行业 EMI		订单量	0.056
		产量	0.043
		库存量	0.048
	行业数据类	订单完成量	0.054
		产品价格	0.035
		价格空间	0.030
		行业政策	0.022

从本文的实例验证的效果而言,这些指标已经可以较为准确地预测用电趋势,但不排除还可以新增一些指标。对于新增的指标,同样可以通过本文提出的方法先验证其有效性决定是否采用,再进行预测。

表 1 格兰杰检验结果

Table 1 Results of granger causality test

假设	F 统计量	概率	结论
A 不是 E 的格兰杰原因	10.89420	0.0017	拒绝
E 不是 A 的格兰杰原因	1.01794	0.3884	接受
B 不是 E 的格兰杰原因	20.27580	0.0001	拒绝
E 不是 B 的格兰杰原因	0.200830	0.8205	接受
C 不是 E 的格兰杰原因	4.253760	0.0379	拒绝
E 不是 C 的格兰杰原因	0.471850	0.6341	接受
D 不是 E 的格兰杰原因	5.326690	0.0204	拒绝
E 不是 D 的格兰杰原因	0.838100	0.4546	接受

2 基于行业 EMI 指标体系的评价方法

在确定的行业 EMI 体系的基础上,利用综合评价法得到 EMI 来预测行业用电趋势。

2.1 数据汇总

对行业中用电大户企业和典型企业按行业 EMI 指标体系中的指标进行电力数据和市场数据调研,将各项数据与上月相比的变化百分比按照表 4 进行区间离散化。考虑到变化百分比越大的企业数会越少,为了使每个区间包含等数量的对象,因此将离散区间按基本持平(−5%,5%)、增加或减少[5%,25%)、增加或减少[25%,75%)、增加或减少[75%,+∞)进行划分,本文将基本持平的离散化等级定为 50,作为一个基数,离散化等级以 10 作为一个梯度变化。

表 4 离散化区间
Table 4 Discrete intervals

离散区间	离散化等级
(−∞,−75%]	20
(−75%,−25%]	30
(−25%,−5%]	40
(−5%,5%)	50
[5%,25%)	60
[25%,75%)	70
[75%,+∞)	80

按照离散后的等级数,统计每个指标下各等级 20、30、⋯、80 所含有企业数。

2.2 单个指标等级数计算

a. 连续型指标等级数计算。

计算出指标的净变化量和总变化量,采用不加权的方法得出百分比并按照上述离散区间对计算出的百分比进行离散,得到离散等级数。计算方式如下:

$$C_{lj} = \frac{C_{HNj}}{C_{HSj}} \times 100\%$$

其中, C_{lj} 是第 j 个连续指标的等级数; C_{HNj} 是第 j 个指标的净变化量; C_{HSj} 是第 j 个指标的总变化量。如果 C_{lj} 为正数,说明本月用电量可能上升;如果 C_{lj} 为负数,说明本月用电量可能下降。

b. 对于离散型指标等级指数计算。

根据各项市场统计数据的离散等级数和统计出来的各属性中相应等级的企业数,采用加权的方法得出加权后的等级数,计算方式如下:

$$D_{lk} = \frac{\sum (N_{ki} C_{Oki})}{C_{Osum}}$$

其中, D_{lk} 是第 k 个离散指标的等级数,它所对应的百分比可以根据离散化区间表得到; N_{ki} 是第 k 个指标中第 i 个等级数; C_{Oki} 是第 k 个指标中第 i 个等级数所含有企业数; C_{Osum} 是参与调研的总企业数。

2.3 综合指数计算

a. 月环比指数的计算。

EMI 是一个综合指数,由各指数的离散等级数加权而成,即:

$$EMI = \sum w_j C_{lj} + \sum w'_k D_{lk}$$

其中, w_j 是第 j 个连续指标的权重系数; w'_k 是第 k 个离散指标的权重系数。

根据每月的统计数据,由此方式计算出的 EMI 即为月环比 EMI。

b. 定基指数的计算。

定基指数由各期月环比指数连乘计算,公式为:

$$\overline{EMI} = \sqrt[t]{EMI_1 \times EMI_2 \times \cdots \times EMI_t} \times 100\%$$

其中, $\overline{EMI}$ 是电力经理定基指数; EMI_1 、 EMI_2 、⋯、 EMI_t 是基期至报告期间各期的月环比指数。

c. 指数的换算方法如下:

$$EMI_{nm} = \frac{\overline{EMI}_m}{EMI_{lm}} \times 100\%$$

$$EMI_{ty} = \frac{\overline{EMI}_t}{EMI_{lym}} \times 100\%$$

$$EMI_y = \frac{\overline{EMI}_{ty}}{EMI_{ly}} \times 100\%$$

其中, $\overline{EMI}_m$ 是报告期(月)定基指数; EMI_{lm} 是上期(月)定基指数; $\overline{EMI}_{lym}$ 是上年同期(月)定基指数; $\overline{EMI}_{ty}$ 是本年累计的定基指数; EMI_{ly} 是上年累计的定基指数。

2.4 EMI 的含义

把 EMI 为 50 时定为基准线,称为荣枯分界线。EMI 大于 50 表示行业用电需求在增长;EMI 小于 50 表示行业用电需求在下降。EMI 偏离 50 的程度表示用电量变化的大小,朝大于 50 的方向偏离越大说明用电需求将大幅增加,朝小于 50 的方向偏离越大说明用电需求将大幅减小,如:EMI 略大于 50,说明用电需求在缓慢上升,EMI 略小于 50 说明用电需求缓慢下降。根据表 4 离散化区间可以得到 EMI 与离散等级化后的用电量变化趋势的对应关系,如表 5 所示。

表 5 EMI 与用电量变化关系
Table 5 Relationship between EMI and power usage variation

用电量变化区间	EMI
(−∞,−75%]	20
(−75%,−25%]	30
(−25%,−5%]	40
(−5%,5%)	50
[5%,25%)	60
[25%,75%)	70
[75%,+∞)	80

对于表 5 中的用电量变化区间,它是指通过 EMI 指数预测的本月用电量相对上月用电量的变化趋

势,而表 5 中的 EMI 指数是指通过上月相关指标值得出的 EMI 指数值。

本文提出的 EMI 指数预测方法是在当月初时利用本文指标体系中各指标的上月数据预测当月的用电变化趋势,这就是 EMI 指数先行性的体现。因为指标体系中的指标通过了格兰杰检验,即这些指标的变化会导致用电量的变化,且这种变化是一种滞后性的变化,所以可以在当月初通过指标的上月数据预测当月的用电变化趋势。一般上月的电力统计数据和行业市场数据在当月初就可以获得,因此利用 EMI 预测行业用电趋势不仅简单快速,还具有先行性和可行性。

3 应用评估

3.1 大工业各月用电趋势预测评估

通过所建立的行业 EMI 指标体系以及福建省 2012 年 1 月至 2013 年 8 月电力统计数据和市场统计数据的处理值,得到 EMI 预测结果与离散等级化的实际用电变化结果,如图 2 所示。

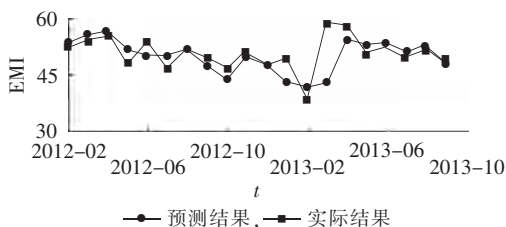


图 2 预测结果与实际用电变化结果比较

Fig.2 Comparison of predicted results and actual power usage variation

从图 2 中可以看出,通过 EMI 预测出的行业各月用电量变化趋势与离散等级化的实际变化趋势基本一致。

3.2 大工业年用电趋势预测评估

根据上述预测结果,利用 2.3 节中定基指数计算方法和指数换算方法可得 2012 年 1 月至 2013 年 9 月的 EMI:

$$\overline{EMI} = \sqrt[20]{EMI_1 \times \cdots \times EMI_{20}} \times 100\% = 42.56$$

其中, $EMI_1, \cdots, EMI_{20}$ 分别是 2012 年 2 月至 2013 年 9 月预测的月环比指数。

根据调研数据可知,2012 年全年的行业用电量为 7 721 632 kW·h,2013 年 1 月至 9 月的行业用电量为 6 157 444 kW·h,通过计算可得:

$$I = (6\,157\,444 / 7\,721\,632 - 1) \times 100\% = -20.26\%$$

即 2013 年 1 月至 9 月行业用电量与 2012 年全年行业用电量相比减少了 20.26%,将此变化区间根据表 5 离散等级化后约为 42。根据 EMI 与用电量变化关系,可知 EMI 的预测符合实际情况。

3.3 典型行业各月用电趋势预测评估

根据 2013 年 1 月至 9 月福建典型行业的电力及行业数据对用电趋势进行预测,并将预测结果与实际用电变化结果做比较。

3.3.1 高耗能行业

本例中的高耗能行业包括黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业和化学原料及化学制品制造业。高耗能行业 EMI 预测结果与离散等级化的实际用电变化结果如图 3 所示。

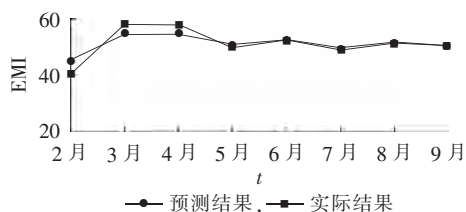


图 3 高耗能行业 2013 年 2—9 月的 EMI

Fig.3 EMI of high energy-consuming industries from February to September in 2013

3.3.2 出口型行业

本例中的出口型行业包括纺织行业、服装行业和食品行业。出口型行业 EMI 预测结果与离散等级化的实际用电变化结果如图 4 所示。

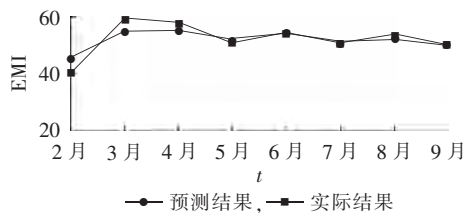


图 4 出口型行业 2013 年 2—9 月的 EMI

Fig.4 EMI of export-oriented industries from February to September in 2013

3.3.3 重点大型企业

本例中的重点大型企业包括机械行业、电子行业和化工行业。重点大型企业 EMI 预测结果与离散等级化的实际用电变化结果如图 5 所示。

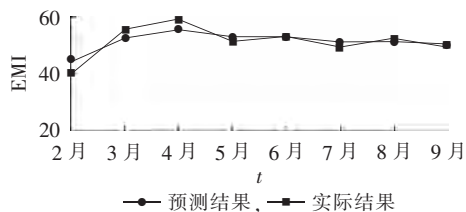


图 5 重点大型企业 2013 年 2—9 月的 EMI

Fig.5 EMI of large-scale industries from February to September in 2013

通过上述不同行业中 EMI 的预测结果与离散等级化的实际用电变化的比较可以得到以下结论。

a. 从整体上看,EMI 法能够较好地预测各月的

用电趋势。

b. 从各月的预测效果上看,3 月和 4 月的预测结果与实际用电量变化趋势基本一致但偏差较大,其他各月的预测结果与实际相符。其原因可能是:2 月正逢中国春节,大多企业处于停产或减产状态,而 3、4 月大量务工人员返城工作,企业逐渐恢复生产,从而与前一月相比会出现用电量大幅增长的情况;离散化区间划分不够精细和合理,在后续研究中会考虑利用模糊集的方法进行改进,通过隶属函数对数据进行离散。

4 结论

本文提出一种基于 EMI 预测行业用电趋势的新方法,该方法通过统计检验和粗糙集优化建立了覆盖行业电力数据和市场数据的行业 EMI 指标体系,通过 EMI 评估行业用电形势、预测用电变化趋势,为电力市场分析和预测提供新的指标参考。

从上述评估结果上看,本文提出的预测方法具有合理性、可行性、有效性和先行性,能够较好地预测各月份的行业用电量的变化趋势。此外,行业 EMI 与行业发展具有高度相关性,通过对行业 EMI 的分析,还可以对行业发展趋势进行分析,为政府相关调控部门进行相关决策提供依据。

参考文献:

- [1] KATAL A,WAZID M,GOUDAR R H. Big data:issues,challenges, tools and good practices[C]//2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing(IC3). [S.l.]:IEEE,2013:404-409.
- [2] WU X,ZHU X,WU G Q,et al. Data mining with big data[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2014, 26(1):97-107.
- [3] CAO L,ZHANG H,ZHAO Y,et al. Combined mining:discovering informative knowledge in complex data[J]. IEEE Transactions on Systems,Man,and Cybernetics,Part B:Cybernetics,2011,41(3): 699-712.
- [4] 闫龙川,李雅西,李斌臣,等. 电力大数据面临的机遇与挑战[J]. 电力信息化,2013,11(4):1-4.
YAN Longchuan,LI Yaxi,LI Binchen,et al. Opportunity and challenge of big data for the power industry[J]. Electric Power Information Technology,2013,11(4):1-4.
- [5] 刘军,吕俊峰. 大数据时代及数据挖掘的应用[N]. 国家电网报, 2012-05-15(010).
- [6] WEINHAGEN J. An empirical analysis of price transmission by stage of processing[J]. Monthly Lab Rev,2002,125(11):3-11.
- [7] 张利斌,冯益. 中国 PMI 与 GDP 关系的实证检验[J]. 统计与决策,2012(2):143-145.
- [8] 齐丽云,何跃. 基于 PMI 和 PPI 的 GDP 预测模型[J]. 统计与决策,2013(16):12-14.

- [9] 夏清,彭涛,周安石,等. 保证电力供需长期均衡的措施研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(6):1-5.
XIA Qing,PENG Tao,ZHOU Anshi,et al. Study on the measures for maintaining the electrical long-term equilibrium[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(6):1-5.
- [10] 张国新,王蓓蓓. 引入需求响应的电力市场运行研究及对我国电力市场改革的思考[J]. 电力自动化设备,2008,28(10):28-33.
ZHANG Guoxin,WANG Beibei. Study of power market operation with demand response and consideration of China's power market reform[J]. Electric Power Automation Equipment,2008, 28(10):28-33.
- [11] 廖旋焕,胡智宏,马莹莹,等. 电力系统短期负荷预测方法综述 [J]. 电力系统保护与控制,2011,39(1):147-152.
LIAO Nihuan,HU Zhihong,MA Yingying,et al. Review of the short-term load forecasting methods of electric power system[J]. Power System Protection and Control,2011,39(1):147-152.
- [12] HINOJOSA V H,HOESE A. Short-term load forecasting using fuzzy inductive reasoning and evolutionary algorithms[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2010,25(1):565-574.
- [13] 牛东晓,魏亚楠. 基于 FHNN 相似日聚类自适应权重的短期电力负荷组合预测[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):54-57.
NIU Dongxiao,WEI Yanan. Short-term power load combinatorial forecast adaptively weighted by FHNN similar-day clustering [J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(3):54-57.
- [14] 王奔,冷北雪,张喜海,等. 支持向量机在短期负荷预测中的应用概况[J]. 电力系统及其自动化学报,2011,23(4):115-121.
WANG Ben,LENG Beixue,ZHANG Xihai,et al. Application profiles of support vector machine in short-term load forecasting [J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2011,23(4):115-121.
- [15] JOHNSTON J,DINARDO J. Econometric methods[M]. New York, USA:McGraw-Hill,1997.
- [16] 张晓峒. 计量经济分析[M]. 北京:经济科学出版社,2000.
- [17] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模:EVIEWS 应用及实例[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [18] 王国胤. Rough 集理论与知识获取[M]. 西安:西安交通大学出版社,2001.
- [19] 刘宏杰,冯博琴,李文捷,等. 粗糙集属性约简判别分析方法及其应用[J]. 西安交通大学学报,2007,41(8):939-943.
LIU Hongjie,FENG Boqin,LI Wenjie,et al. Discrimination method of rough set attribute reduction and its applications[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2007,41(8):939-943.

作者简介:



徐青山

徐青山(1979—),男,江苏姜堰人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为智能配电网、电力大数据分析(E-mail:xuqingshan@seu.edu.cn);

王文帝(1990—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向为智能配电网(E-mail: wwdseu@163.com)。

基于故障电流幅值比较的有源配电网故障定位方法

高孟友¹,徐丙垠^{2,3},张新慧²

(1. 山东大学 电气工程学院,山东 济南 250061;2. 山东理工大学 智能电网研究中心,山东 淄博 255049;
3. 山东科汇电力自动化股份有限公司,山东 淄博 255087)

摘要:分析了分布式电源(DER)的短路电流特征和 DER 准入容量限制。通过分析有源配电网非故障区段与故障区段两侧开关短路电流的幅值关系,提出利用流过线路区段两侧的短路电流幅值比较进行有源配电网故障定位。MATLAB/Simulink 仿真结果表明,该方法在 DER 准入容量满足公共连接点处的电压变化量要求的情况下,可以实现有源配电网故障定位。

关键词:有源配电网;分布式电源;公共连接点;电压变化量;故障定位;幅值比较;短路电流

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.07.004

0 引言

馈线自动化实现配电线路故障定位、隔离与供电恢复,是提高供电可靠性的重要手段。在常规辐射式供电的配电网中,利用故障点上游开关处能够检测到故障电流而故障点下游开关处检测不到故障电流的现象实现故障区段的定位^[1-4]。而在分布式电源 DER(Distributed Energy Resource)高度渗透的有源配电网中^[5],DER 提供的短路电流可能使流过故障点下游开关的故障电流大于故障电流整定值,导致常规的故障定位方法失效,因此,需要研究适用于有源配电网的故障定位方法。

国内外针对 DER 对有源配电网故障区段定位的影响及相应解决方案的研究成果较少。通过比较故障区段两侧开关处的故障电流方向可以识别出故障区段^[6-7],但该方法要求在馈线开关处加装电压互感器或传感器。文献[8]提出根据馈线上 DER 可以

提供的最大短路电流来设定故障电流整定值,以克服 DER 的影响;文献[9]基于短路电流计算,对 DER 的最大接入容量进行限制,调整开关过电流整定值,将系统电源提供的最小短路电流及 DER 提供的最大短路电流区分开,然后采用传统故障区段定位方案进行故障定位。这些方法增加了计算工作量,而且会降低故障检测灵敏度。

本文根据 DER 引起的公共连接点 PCC(Point of Common Coupling)电压变化量的限制,推导出配电线路上任一点及其下游 DER 准入容量之和的极限值,得出了流过故障点下游开关由 DER 提供的最大短路电流与流过故障点上游开关由系统提供的短路电流的关系,并据此提出通过比较流过线路区段两侧的短路电流幅值进行有源配电网故障定位的方法。

1 考虑电压变化量约束的 DER 准入容量限值分析

DER 输出的电流会使线路电压发生变化,如果引起的电压变化量过大,会造成电压不合格,因此,需要对 DER 并网引起的电压变化量予以限制,如德国中

收稿日期:2014-12-06;修回日期:2015-05-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51177096)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51177096)

Establishment and application of EMI indicator system orienting to massive industrial data mining

XU Qingshan¹,WANG Wendi¹,LIN Zhangsui²,LI Xilan²,DING Maosheng³

(1. School of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China;

2. Fujian Electric Power Company Economic Research Institute,Fuzhou 350012,China;

3. State Grid Ningxia Electric Power Company,Yinchuan 750001,China)

Abstract: The required indicator data are selected from massive electrical power data and industrial data to form an EMI(Electricity Managers Index) indicator system. The statistical test-rough set theory is applied to select the key indicators and optimize the EMI indicator system. It is proposed to predict the industrial power usage trend based on the optimized EMI indicator system. The power usage trends of the typical industries in Fujian province are predicted by the proposed method and the results show its feasibility and effectiveness.

Key words: electricity forecasting; indicator system; leading indicators; Granger causality test; rough set; EMI