

[电力统计]

分行业业扩容量与电量增长关联性研究

文/ 国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司 陈黎军 陈国湘 陈秋寒 曹伟杰

国网江苏省电力有限公司江阴供电分公司 何益丰

不同行业用户的用电特征呈现出多样化的发展趋势，分行业电量增长速度和构成也不断变化。从宏观和微观两个角度出发，以江苏省南部某发达地区分行业业扩容量、电量等数据为基础，采用数理分析方法定量分析不同行业业扩容量与电量增长的关联关系，总结出不同行业业扩容量和电量增长的规律。

电网建设投资巨大，不同行业相同容量业扩报装带来的电量收益差别明显。目前，对于业扩增长对电量增长影响研究较少，研究成果不够丰富，主要体现在：以往研究对象以全社会或三次产业为主，缺少行业细分的研究，实际应用上指导性不强；常规的研究以定性的结论为主，缺少可供参考的定量结论；随着产业结构的调整，生产技术的提升，各行业用电特性呈现多样化发展趋势，以往研究成果已不再适应当前行业发展形势。

随着信息化系统的持续推广，电力公司积累了海量数据，数据质量不断提升，数据种类不断丰富，为大数据挖掘应用奠定了基础。本文以江苏省南部某城市历史容量、业扩报装和电量等大数据为基础，利用数理分析、数学模型等方法提炼出不同行业的用电特性及电量增长规律，评估不同业扩容量对电量增长的量化关系，构建基于分行业用电特性的近中期电量预测模型，以此来服务营销业扩报装业务以及企业生产经营分析等工作。

分行业经济与电量增长关联性分析

1. 相关性分析方法

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，其值在 $[-1, 1]$ 范围内。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。最常用的相关系数是 Pearson（皮尔逊）相关系数，本文采用 Pearson 相关系数进行定量化计算，其计算公式为

$$\text{Corr}(X, Y) = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (1)$$

$$\text{Corr}(X, Y) = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

公式可以看作将两组数据首先做 Z 分数处理之后，然后两组数据的乘积和除以样本数， Z 分数一般代表正

态分布中,数据偏离中心点的距离等于变量减掉平均数再除以标准差。标准差则等于变量减掉平均数的平方和,再除以样本数,最后再开方。

2. 重要行业分析结果

本文分别以江苏省南部某城市重要行业经济指标与行业用电量为算例,采用 Pearson 相关系数进行经济与电量增长相关性分析。其中第二产业重要行业选取规模以上总产值指标,第三产业重要行业选取行业增加值指标。分析结果分别见表 1 和表 2。

表 1 第二产业分行业用电量与总产值关联性分析结果

行业	相关系数	结论
食品、饮料和烟草制造业	0.99	高度正相关
金属制品业	0.93	高度正相关
文体用品制造业	0.92	高度正相关
医药制造业	0.91	高度正相关
通用及专用设备制造业	0.89	高度正相关
橡胶和塑料制品业	0.89	高度正相关
交通运输、电气和电子设备制造业	0.87	高度正相关
印刷业和记录媒介的复制	0.84	中度正相关
黑色金属冶炼及压延加工业	0.75	中度正相关
非金属矿物制品业	0.63	中度正相关
纺织业	0.51	不相关
化学纤维制造业	0.38	不相关
造纸及纸制品业	0.22	不相关
化学原料及化学制品制造业	-0.73	中度负相关
有色金属冶炼及压延加工业	-0.83	高度负相关

表 2 第三产业分行业用电量与产业增加值关联性分析结果

行业	相关系数	结论
住宿和餐饮业	0.75	中度正相关
交通运输、仓储和邮政业	0.72	中度正相关
水利、环境和公共设施管理业	0.69	中度正相关
公共管理和社会组织、国际组织	0.65	弱相关
信息传输、计算机服务和软件业	0.61	弱相关
教育、文化、体育和娱乐业	0.57	弱相关
金融业	0.33	不相关
卫生、社会保障和社会福利业	0.26	不相关
科学研究、技术服务和地质勘查业	0.26	不相关
批发和零售业	0.16	不相关
租赁和商务服务业、居民服务和其他服务业	0.09	不相关

根据分析结果可以得出不同行业经济发展与电

量增长的关联关系各不相同。总体来说,第二产业经济发展对于电能消耗依赖度较高,第三产业经济发展对于电能消耗依赖度较低,因此第二产业经济表现对电量增长的影响强度高于第三产业。在参与分析的 15 个第二产业中,中度正相关以上的行业有 10 个,占比 66.7%,而第三产业中度正相关以上的行业仅占 27.3%。在第二产业中,部分重工业(如化学原料及化学制品制造业、有色金属冶炼及压延加工业)经济增长与电量增长关联性较低。影响经济增长与电量增长偏离的主要因素,为高耗能产品库存导致用电量与经济发展增长时间不一致,另外节能减排、生产技术发展以及气候等因素也会影响经济增长与电量增长的关联性。

分行业业扩容量与电量增长关联性分析

1. 分析方法

研究数据之间的关联模型有许多,经典的计量学模型如一元线性回归模型、多元线性回归模型也经常会运用到电量或负荷的预测中,而无论是单方程模型还是联立方程模型,在其分析的背后有一个隐含的假设,即对分析的数据是平稳的,否则的话,通常的 t、F 等假设检验程序则不可信。涉及时间序列数据的另一个问题是虚假回归或伪回归,即如果有两列时间序列数据表现出一致的变化趋势(非平稳的),即使它们之间没有任何有意义的关系,但进行回归也可表现出较高的可决系数。分行业业扩容量与电量的时间序列大都是非平稳的,这样仍通过因果关系模型进行分析,一般不会得到有意义的结果。时间序列分析方法就是在这样的情况下,以通过揭示时间序列自身的变化规律为主线而发展起来的全新的计量学方法论。时间序列分析已组成现代计量学的重要内容,并广泛应用于经济分析和预测当中。

本文将协整检验理论应用到行业用电量相关性分析中,建立行业用电量模型(时间序列模型)判断无锡市业扩容量与电量增长的关联关系。所谓的协整是指若两个或多个非平稳的变量序列,其某个线性组合后的序列呈平稳性。此时称这些变量序列间有协整关系存在。为了给出协整关系的精确定义,需要先给出

单整的概念，如果一个时间序列 $\{Y_t\}$ 在成为稳定序列之前必须经过 d 次差分，则称该时间序列是 d 阶单整。记为 $Y_t \sim I(d)$ 。

协整检验和估计协整线性系统参数的统计理论，构成了协整理论的重要组成部分。常用的协整检验有两种，即 Engle-Granger 两步协整检验法和 Johansen 协整检验法。这两种方法的主要差别在于 Engle-Granger 两步协整检验法两步法采用的是一元方程技术，而 Johansen 协整检验法采用的是多元方程技术。本文主要采取的是 E-G 两步协整检验法。

Engle-Granger 两步协整检验法考虑了如何检验零假设为一组 $I(1)$ 变量的无协整关系问题。用普通最小二乘法估计这些变量之间的平稳关系系数，然后用单位根检验来检验残差。拒绝存在单位根的零假设是协整关系存在的证据。从最简单的情况开始讨论，设两个变量 Y_t 和 X_t 都是 $I(1)$ 序列，考虑下列长期静态回归模型

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

对于式 (3) 的模型参数，用最小二乘法给出其参数估计。利用 MacKinnon 给出的协整 ADF 检验统计量，检验在上述估计下得到的回归方程的残差 e_t 是否平稳（如果 Y_t 和 X_t 不是协整的，则他们的任意组合都是非平稳的，因此残差 e_t 是非平稳的）。也就是说，检验残差 e_t 的非平稳的假设，就是检验 Y_t 和 X_t 不是协整的假设。一般地，有以下具体方法：

1) 使用 ADF 检验长期静态模型中所有变量的单整阶数。协整回归要求所有的解释变量都是一阶单整的，因此，高阶单整变量需要进行差分，以获得 $I(1)$ 序列。

2) 用 OLS 法估计长期静态回归方程，然后用 ADF 统计量检验残差估计值的平稳性。

2. 典型案例分

以纺织业为案例，采用协整分析进行行业业扩与电量增长关联性分析。

(1) 相关性初步判断

通过图 1 可以初步看出，纺织业业扩容量与电量增量变化具有大致相同的变化趋势，可以初步判断纺织业业扩容量与电量增量变化具有明显相关关系。

(2) 数据平稳性检验

从图 1 可以看出，2011—2018 年纺织业业扩容量和用电量增量是随机波动的，不具有平稳性。当变量属于非平稳过程时，要从变量间的统计关系推断它们之间是否存在因果关系是相当困难的，为进一步检验纺织业业扩容量 X 和用电量增长量 Y 的平稳性，对其分别进行单位根检验。



图 1 纺织业业扩容量与电量变化示意图

由于分析得到的数据序列存在很强的随机误差项的自回归问题，因此不满足 Dickey-Fuller 检验认为模型中随机误差项不存在自相关的基本假设。为此采用扩展的狄克-富勒检验（称为 ADF 检验）进行单位根检验，从而保证检验结果的精确性。检验方程采取下列形式

$$\Delta y_t = u + \beta t + \delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \lambda_j \Delta y_{t-j} + u_t \quad (4)$$

利用软件 Eviews6.0 对 X 和 Y 的水平值进行单位根检验，计算结果见表 3。

表 3 纺织业业扩容量序列和用电量增量单位根检验结果

序列	水平			
	ADF	1%临界值	5%临界值	10%临界值
X	-2.645 39	-4.200 06	-3.175 35	-2.728 99
Y	-2.507 43	-4.297 07	-3.212 7	-2.747 68

由计算结果可知，纺织业业扩容量序列和用电量增量的单位根统计量 ADF 的值均大于显著性水平下的 ADF 临界值，因此不能拒绝原假设，即检验结果 X 和 Y 序列为非稳定序列。

考虑到时间序列数据的特点，因此需要对数据进行进一步处理。拟对数据进行差分化处理，得到两组新的序列，分别记为 DX 和 DY 。对新的两组序列进行平稳性检验，检验步骤同上，计算结果见表 4。

表 4 一阶差分纺织业业扩容量序列和用电量增量的 ADF 单位根检验结果

序列	水平			
	ADF	1%临界值	5%临界值	10%临界值
DX	-3.818 01	-4.297 07	-3.212 7	-2.747 68
DY	-3.680 01	-4.297 07	-3.212 7	-2.747 68

可知，一阶差分 X 的单位根统计量 ADF 值小于显著性水平 5% 的临界值，因此在显著性 5% 水平下可以拒绝原假设，即序列是稳定的；一阶差分 Y 的单位根统计量 ADF 值小于显著性水平 5% 的临界值，因此在显著性 5% 水平下可以拒绝原假设，即序列也是稳定的。

(3) 协整检验

由于纺织业业扩容量和用电量增量两个序列本身不平稳，而经过一阶差分后的 X 和 Y 序列平稳，因而 X 和 Y 均为一阶单整序列，表示为 $I(1)$ 。对于同阶的 X 和 Y 满足进行协整检验的条件。采用格兰杰两步法来检查 X 和 Y 之间是否存在协整关系。构建协整关系式

$$Y_t = c + \alpha X_t + \epsilon_t \tag{5}$$

利用 OLS 方法对式(5)进行估计，由软件 Eviews6.0 得到计算结果如下

$$\hat{Y}_t = 0.109818 - 0.3522X_t \tag{6}$$

由于 $\hat{Y}_t$ 是对 Y_t 的近似估计值，由此得到 u_t 的表达式

$$u_t = Y_t - 0.109818 - 0.3522X_t \tag{7}$$

接着对 u_t 进行 ADF 单位根检验。根据其数据性质， u_t 的检验方程采取下列形式

$$\Delta u_t = \beta u_{t-1} + \sum_{j=1}^m \alpha_j \Delta u_{t-j} + e_t \tag{8}$$

计算结果见表 5。

表 5 ADF 单位根检验结果

序列	水平			
	ADF	1%临界值	5%临界值	10%临界值
u_t	-4.343 51	-4.420 6	-3.259 81	-2.771 13

可知， u_t 的单位根统计量 ADF 的值小于 5% 显著性水平上的临界值，比较接近 1% 的临界值，因此在 5% 水平下，认为序列是平稳的。可以认为纺织业业扩容量和用电量增量存在相互协整关系，即在样本区间内，模型中的业扩容量与用电量增量之间存在长期的稳定均衡关系。具体表现为，纺织业业扩容量每调整 1%，纺织业用电量增量就调整 0.352 2%。

3. 分析结果

选用关联性分析方法对无锡市重要行业进行业扩容量与用电量增长关联性分析，分析结果见表 6。

表 6 无锡重要行业相关性分析结果统计

序号	行业	关联性	特性	关联程度/ (万 kW·h/ MV·A)
1	全行业	强	当年	90.4
2	交通运输、电气、电子设备制造业	强	当年	251.5
3	纺织业	强	次年	284.8
4	通用及专用设备制造	强	当年	266.1
5	金属制品业	强	当年	282.7
6	黑色金属冶炼及压延加工业	较强	当年	177.8
7	橡胶和塑料制品业	强	当年	292.3
8	化学原料及化学制品制造业	无		1 112.2
9	房地产业	强	当年	25.7
10	非金属矿物制品业	无		-775.2

不同行业容量与用电量变化的关联性不同。影响容量与用电量变化的关联性的主要因素为经济对行业用电量的影响，当行业经济发展平稳时行业容量与用电量变化的关联性较高，当行业经济发展波动较大时行业容量与用电量变化的关联性较低。以黑色金属冶炼及压延加工业为例，受政策影响无锡冶金行业经济发展波动较大，其行业容量与用电量变化无关联性表现。其次是容量增长占现有容量比重大小，当容量增量较现有容量比重较大时，行业容量与用电量变化的关联性较强；当容量增量较现有容量比重较小时，行业容量与用电量变化的关联性受经济影响较大。对于服务类行业，气候也是影响行业用电量的重要因素之一，会出现行业业扩容量有较大提升，但是用电量反而下降的现象。

在关联关系方面，通用及专用设备制造、橡胶和塑料制品业电量增长大于容量增长幅度，大多数行业电量增长小于容量增长幅度。

分行业用户业扩容量与电量增长关联性分析

本文引入业扩电量成长速度、业扩实用度和业扩实用度发展系数三个特性参数，分行业业扩容量与电量增长特性分析，研究不同行业业扩容量与电量增长的关系。

业扩电量成长速度是指不同行业用户业扩报装后，用电量增长达到饱和的时间，以年为单位。业扩实用度表示不同行业单位容量业扩在负荷发展达到稳定后每年

产生的电量，数学表达含义为饱和电量除以业扩容量。业扩实用度使用系数表示同行业在不同时期业扩实用度的变化情况，数学表达式为 2018 年行业业扩实用度与 2010 年的比值，当数值大于 1 时说明单位业扩容量带来

的电量在增加，数值越大表示增加幅度越大，当数值处于 0~1 之间表示单位业扩容量带来的电量在减小，数值越接近 0 表示减大幅度越大。
经统计，重要行业业扩容量与电量增长特性见表 7。

表 7 分行业用户业扩容量与电量增长特性值

行业	业扩电量成长速度/年	业扩实用度/（kW·h/kV·A）	业扩实用度发展系数
纺织业	2	3 268.5	1
化学原料及化学制品制造业	2	3 116.7	1
黑色金属冶炼及压延加工业	2	3 097.3	1
非金属矿物制品业	3	2 820.1	0.8
橡胶和塑料制品业	3	2 541.4	1.1
交通运输、电气和电子设备制造业	3	2 351.4	1.1
金属制品业	3	2 077.2	1
通用及专用设备制造	3	1 763.2	1.1
批发零售	2	696.4	0.7
租赁和商务服务业、居民服务和其他服务业	4	496.8	0.8
房地产业	4	384.1	0.7

在业扩电量成长速度方面，一般行业业扩容量产生的电量在 2~4 年达到饱和，其中纺织业、化学原料及化学制品制造业等重工业行业和批发零售业两年后达到饱和，非金属矿物制品业、橡胶和塑料制品业、交通运输、电气和电子设备制造业等 3 年后达到饱和，房地产业等服务业 4 年后达到饱和。

在业扩实用度方面，不同行业之间单位容量业扩拉动的电量增长差别较大。业扩实用度最大的行业是纺织业，化学原料及化学制品制造业等重工业行业，其业扩实用度达到 3 097.3 kW·h/kV·A，其次是轻工业，业扩实用度在 3 000~1 500 kW·h/kV·A 之间，服务业业扩实用度在 1 000 kW·h/kV·A 以下，房地产业业扩实用度最低。

在业扩实用度发展系数方面，橡胶和塑料制品业与交通运输、电气和电子设备制造业业扩实用度发展系数最高，达到 1.1，表明 2010—2018 年单位容量拉动电量增长的能力提升了 1.1 倍。业扩实用度发展系数大于 1，说明该行业用户电气化程度在提升，或者用户设备容量裕度在减小。纺织业、化学原料及化学制品制造业等行业业扩实用度发展系数为 1，单位容量拉动电量增长

的能力不变。非金属矿物制品业、房地产业业扩实用度发展系数小于 1，单位容量拉动电量增长的能力在变弱。业扩实用度发展系小于 1，说明用户设备容量裕度在变大，或者用电时间在减小。

业扩电量成长速度、业扩实用度综合体现了单位业扩容量拉动电量增长的能力，业扩实用度发展系数体现了业扩容量拉动电量增长的能力变化情况。在不计电价的情况下，业扩电量成长速度越快、业扩实用度越高，业扩实用度发展系数越高，用户业扩的投资效益越大。

结束语

本文从宏观和微观两个层面进行了分行业容量与电量关联性研究。宏观层面采用协整检验分析方法建立了分行业扩容量增长与电量增长关联关系的研究体系；微观层面引入业扩电量成长速度、业扩实用度和业扩实用度发展系数三个特性参数来进行分行业业扩与电量增长特性分析，研究不同行业用户业扩与电量增长的关系，用以指导电力企业相关经营决策和投资效益分析。EA

（收稿日期：2021.01.22）