

# 基于二次聚类的低压台区负荷特性分析

刘 忠<sup>1</sup>, 吴敏秀<sup>2</sup>, 尹 飞<sup>3</sup>

(1.江都供电公司, 江苏 江都 225200; 2.扬州供电公司, 江苏 扬州 225009;

3.江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘 要:** 配电系统是电网与用户用电设备联络的枢纽, 是电力系统的重要组成部分。随着近年来国家对配网投资力度的不断加大和对低压台区用电的重视, 如何对未来居民低压台区电网内负荷变化的趋势及负荷特性进行研究和预测, 准确把握区域配电网负荷增长的趋势, 从而有针对性的用好配网投资资金, 正确制定配网建设及低压台区改造方案, 实现投资效益最大化, 已经成为各级电力企业的主要研究方向。气温因素是影响台区负荷一个重要因素, 负荷与温度相关性的分析能够很好地帮助我们对台区负荷进行预测。本文将台区负荷在四个季节里进行聚类分析, 可以得到不同季节里负荷的分类情况, 能准确分析不同台区下小区居民的用电特性以及居民类型, 这样的分析能够很好地提高低压台区负荷预测的精度。

**关键词:** 聚类分析; 负荷特性; 气温因素; 相关性分析

## 0 引言

随着经济的发展和人民生活水平的提高, 空调负荷的比重逐步增加, 因此在夏冬两季, 气象因素对负荷的影响日渐明显, 再计及商场、宾馆、写字楼、娱乐场所、机关学校及企事业单位的空调容量, 降温取暖负荷在总的用电负荷中所占的比例越来越大。气温将成为影响电力负荷的重要因素, 在各项气象因素对负荷的影响中, 气温和天气类型(阴、晴等)是对负荷影响最显著的因素。已有较多文献研究了气温对电力负荷的影响。

文献<sup>[1]</sup>主要分析了高温下气温与负荷的敏感性、非气温敏感性负荷、夏季典型负荷与空调负荷; 文献<sup>[2]</sup>分析夏季温度与电网最大负荷的相关性分析方法, 并进行多元回归分析; 文献<sup>[3]</sup>给出结论在日平均气温大于 20℃时相关系数为正, 小于 20℃时为负, 在气温为 25℃-28℃时负荷对气温的变化最敏感; 文献<sup>[4]</sup>根据日最高负荷和气温的相互关系, 计算出南京夏季、冬季的空调负荷水平, 得出了最高负荷与气温的敏感性系数, 为提高南京电网负荷预测准确率提供了有效参考。

本文研究气温因素对扬州地区的用电负荷的影响, 分析了春夏秋冬四季日峰荷与温度因子的相关性, 给出负荷与温度变化关系。采用聚类方法, 分析台区负荷不同季节典型负荷特性, 总结负荷特性受气温影响情况, 以及台区居民或商铺用户数量对

负荷曲线的影响。

## 1 聚类分析法研究

聚类分析法是一种新兴的多元统计方法, 是当代分类学与多元统计分析的结合, 也是非监督模式识别的一个重要分支。它把一个杂乱无章的样本集按某种规则划分成若干个有明显特征区别的子类, 使特征量相似的样本尽可能归为一类, 而特征量不相似的样本尽量划分到不同的类别中<sup>[5]</sup>。

就聚类方法而言, 已经有很多成熟的数学方法。为了取得更好的聚类效果, 本文聚类采用二次聚类法, 即一次聚类采用系统聚类法(亦称离差平方和法)对负荷特性进行分类; 二次聚类采用模糊 C 均值法, 聚类中心由初次系统聚类提供。二次聚类流程图如图 1 所示。

步骤如下:

### 1) 对负荷数据进行极差归一化处理

由于不同用户负荷数据量纲有时差距过大, 在曲线形状相近时却无法聚成一类, 所以这里使用极差归一化法处理负荷数据, 使量纲统一。

### 2) 对负荷数据进行加权

为了考虑不同时段负荷的重要性, 使得在特定时段具有最接近负荷特性的用户划分到一类<sup>[6]</sup>, 采取了对负荷数据加权的方法, 本研究因横坐标只有 15 个点, 不需要进行加权运算。

### 3) 找出最优系统聚类法

使用不同的系统聚类方法对原有负荷数据进行聚类计算,并针对结果计算其相关系数,相关系数越接近 1,此种系统聚类法越有效<sup>[7]</sup>。

### 4) 找出最优 FCM 聚类数

使用最优系统聚类法对负荷数据循环聚类,每迭代一次,聚类数加一,直到类数小于等于  $2\ln(N)$ 。在上述循环过程中,若遇到单一用户负荷自成一类的,将此用户负荷数据记录后,从原数据中删除,得到新数据,用新数据从新进行系统聚类计算<sup>[8]</sup>。以系统聚类法算得的聚类中心进行FCM聚类,并计算有效性函数。再循环结束后,根据有效性函数结果找出FCM聚类的最优聚类数。

### 5) 进行二次聚类计算

使用最优系统聚类法和最优聚类数得到聚类中心,再通过 FCM 聚类计算隶属度矩阵,通过隶属度矩阵对用户负荷进行分类。

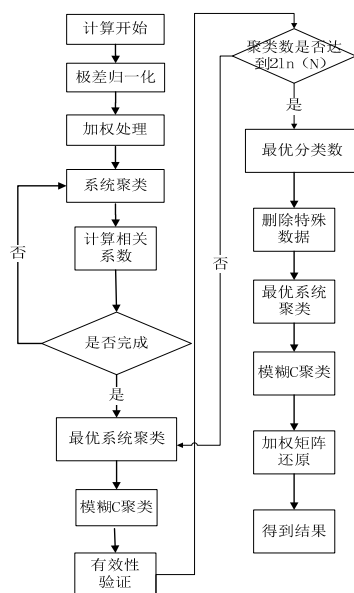


图 1 二次聚类流程图

## 3 全年日峰荷与气温相关性

通常所能得到的气象因子有:最高温度、最低温度、2 点、8 点、14 点和 20 点的温度和湿度、降雨总量、日照时间、风向、风速等。气温因素对负荷的影响最大,本节内容主要研究最大负荷与温度因子的关系<sup>[9]</sup>。

取扬州市某低压台区一年数据,分析 11 年 12 月到 12 年 11 月春、夏、秋、冬四季工作日日峰荷与最高温度、最低温度、平均温度三个温度因子的

关系。对四季不同情况,分别找出最相关温度因子,做相关性分析。

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量两个变量因素的相关密切程度。用每日的温度数据和负荷数据,求取相关性系数,公式如下:

$$Correl(P,T) = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}$$

式中,  $P_1, P_2 \dots P_n$  为一系列的日最大负荷数据;  $T_1, T_2 \dots T_n$  分别为对应日的温度;  $\bar{P}$ 、 $\bar{T}$  分别为对应负荷平均值、温度平均值。

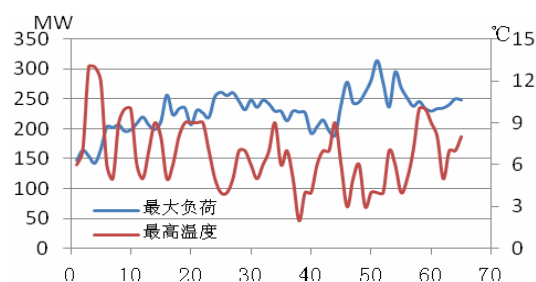
设置应用不同的温度数据,就可以得到日最大负荷分别于日最高温度、日最低温低、日平均温度的相关系数。

### 3.1 冬季负荷与气温相关性

#### 3.1.1 相关性分析

取 11 年 12 月到 12 年 2 月低压台区工作日数据,共 65 天。经过分析计算得出冬季日峰荷与最高温度相关系数为-0.5799,与最低温度相关系数为-0.39299,与平均温度相关系数为-0.49646,与最高温度负相关程度最高。

#### 3.1.2 变化趋势图



横坐标为天数,坐标左/右分别为负荷/温度坐标。

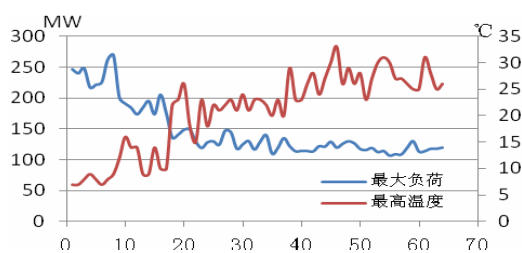
图 2 冬季日峰荷与最高温度的变化趋势图

### 3.2 春季负荷与气温相关性

#### 3.2.1 相关性分析

取 12 年 3 月到 5 月低压台区工作日数据,共 64 天。经过分析计算得出春季日峰荷与最高温度相关系数为-0.88532,与最低温度相关系数为0.81125,与平均温度相关系数为-0.86786,与最高温度负相关程度最高。

#### 3.2.2 变化趋势图



横坐标为天数, 纵坐标左/右分别为负荷/温度坐标。

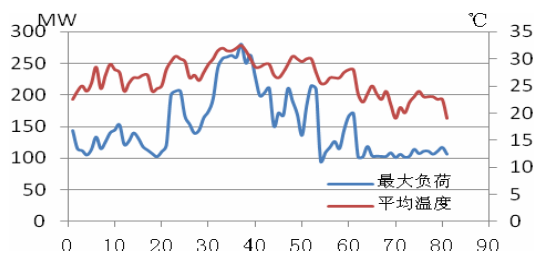
图 3 春季日峰荷与最高温度的变化趋势图

### 3.3 夏季负荷与气温相关性

#### 3.3.1 相关性分析

取 12 年 6 月到 9 月低压台区工作日数据, 共 81 天。经过分析计算得出夏季日峰荷与最高温度相关系数为 0.802047, 与最低温度相关系数为 0.808687, 与平均温度相关系数为 0.836565, 与平均温度相关系数最大。

#### 3.3.2 变化趋势图



横坐标为天数, 纵坐标左/右分别为负荷/温度坐标。

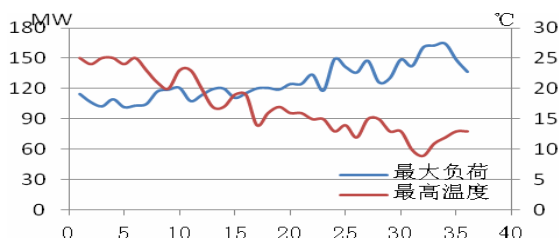
图 4 夏季日峰荷与最高温度的变化趋势图

### 3.4 秋季负荷与气温相关性

#### 3.4.1 相关性分析

取 12 年 10 月到 11 月低压台区工作日数据, 共 36 天。经过分析计算得出秋季日峰荷与最高温度相关系数为-0.85703, 与最低温度相关系数为-0.77072, 与平均温度相关系数为-0.83806, 与最高温度负相关程度最高。

#### 3.4.2 变化趋势图



横坐标为天数, 纵坐标左/右分别为负荷/温度坐标。

图 5 秋季日峰荷与最高温度的变化趋势图

总结分析: 取扬州市某低压台区一年数据, 分析春、夏、秋、冬四季工作日日峰荷与最高温度、最低温度、平均温度三个温度因子的关系。可以看出, 春季、秋季、冬季日峰荷都是与最高温度成负相关的; 春季日峰荷随温度升高逐渐降低, 秋季又因为天气降温日峰荷逐日升高; 冬季日峰荷值基本较大, 某一日日峰荷高于 300MW, 成为全年最大日负荷; 秋季日峰荷在全年日负荷最小; 夏季日峰荷与平均温度高度相关, 空调负荷在夏季日峰荷中占较高比例。

## 4 低压台区全年负荷聚类分析

为了进一步分析扬州各低压台区负荷在全年的变化特性, 而若将所有低压台区全年负荷都加以分析, 则数据量过大, 不仅难以从多而杂的数据中找出规律, 而且分析及计算都将产生困难。所以, 有必要选取各类别中典型台区进行聚类分析, 这样不仅大幅减少了数据量, 而且较易从代表性的台区数据中看出该台区类的总体特性。

### 4.1 典型台区的选取方法

目前选取典型负荷日的方法主要有以下 3 种:

(1) 选取日负荷率与抽取时间段内的平均日负荷率最接近、且负荷曲线无异常畸变的日负荷曲线作为该段时间内的典型负荷曲线;

(2) 选取抽取时间内最大负荷日负荷曲线作为典型负荷曲线;

(3) 选取某一固定时间, 将该段时间内的负荷认为是典型负荷。

但由于本文需要选取的是典型台区全年的负荷数据, 因此借鉴上述方法第二条并加以改进, 选取全年总用电量较多前 10 个台区为该年的典型低压台区, 分别为: 弘扬花园变电所 1#变、江阳苑变电所 1#变、金林新苑 1#变电所 1#主变、金林新苑 2#变电所 1#主变、莱茵苑 3#变电所 1#主变、名门都汇变电所 1#变、社教变电所 1#主变、西门小区、瘦西湖新苑 1#变电所 1#主变、瘦西湖新苑 1#变电所 2#主变。为了更有效的进行聚类并看清他们用电模式之间的差异而不是大小之间的差异, 必须将典型用户的量纲进行归一化处理, 即采取极差归一化的方法。

### 4.2 按季节聚类分析比较

由于负荷数据较多、涉及日期较广, 并含有

多个低压台区，若统一一次进行聚类，难免由于数据过多而造成分析和观察困难。因此本文将上述 10 个典型台区的负荷数据按季节（3~5 月为春季，6~8 月为夏季，9~11 月为秋季，12~2 月为冬季。）进行聚类：既可以观察聚类结果随时间的变化、又能找出 10 户典型台区负荷的相互关系。

#### 4.2.1 春季聚类

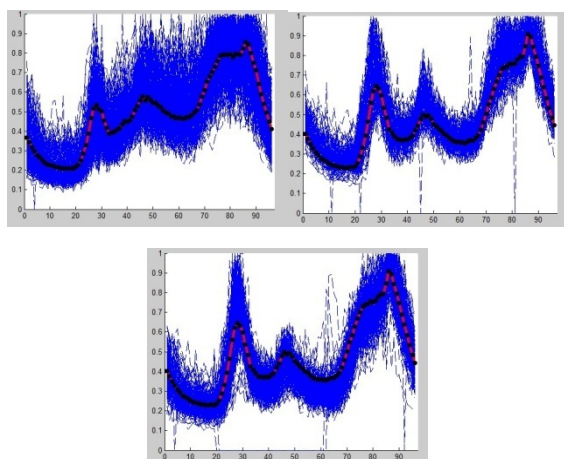


图 6 春季典型台区聚类结果

春季典型台区用户聚类见图 6，分为三类：第一类属于迎峰型负荷，早高峰较低，午间高峰比较高，晚高峰开始时间早，持续时间较长，此类台区居民白天在家时间比较长；第二类也同属于迎峰型负荷，早高峰略高于午间高峰；第三类和第二类形状很相似，只是晚间高峰持续时间较短。

在春天，居民可能是由于早间、正午和晚间使用炉灶等设备导致负荷增加，形成三个负荷峰，由于部分上班族中午可能不会回家，一些类型中早高峰略高于午间高峰；因为在晚间还会使用电视等娱乐设施以及会用到热水器，所以晚高峰高于早高峰。而且，从几个类型可以分析出各个小区老人、小孩、年轻人上班族所占比重。第一类型老人小孩所占比重较大；而第二、三类型则是年轻的上班族所占比重较大。由于在春季，气候适宜，故不会产生空调负荷，导致其他时段的负荷低于高峰时段。

#### 4.2.2 夏季聚类

夏季典型台区用户聚类见图 7。从数据中读取夏季负荷：10 个台区去除漏点及异常负荷日和休息日后剩余 602 个负荷日。对剩余负荷日运用二次聚类法进行聚类，聚类结果如下：

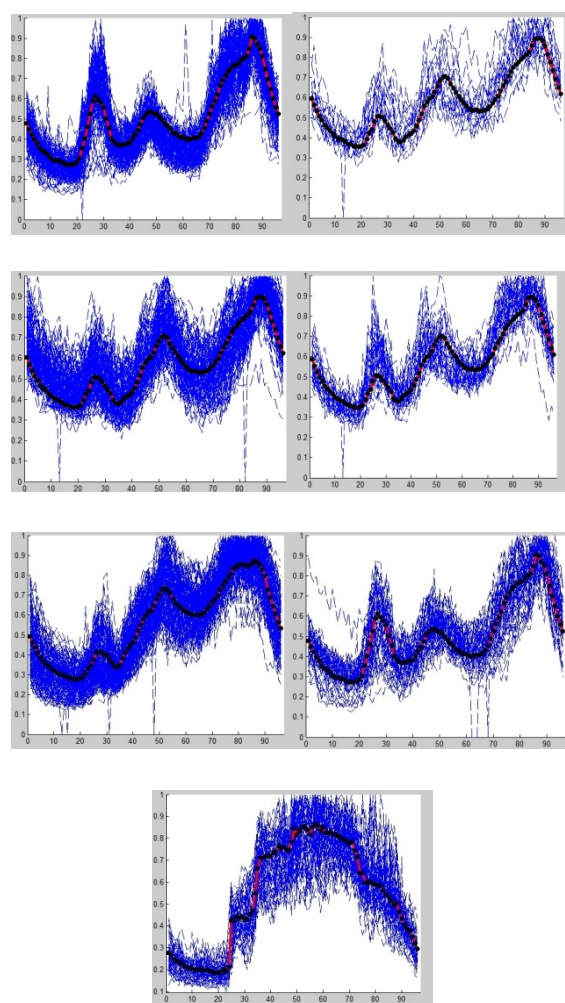


图 7 夏季典型台区聚类结果

从聚类的结果可以看出：类别一至类别七皆为迎峰型负荷。而第一类和第六类又可以归为一类，二者都是早高峰高于午间高峰，形状很相似；第二类至第五类又可归为一类，他们形状相似，而且午间高峰明显高于早间高峰；第七类则是在从早 8 点半开始到晚上 9 点形成一个持续高峰的时间段。

在夏季，可能是由于夏季气候炎热，大量空调负荷加入导致居民用户负荷在各时段都有所增加，特别是夜间居民用户在家中集中开启温控设备使负荷在午夜达到最高，而随着后半夜的来临，温度有所下降，而大部分用户处于休憩状态，导致负荷下降。而第七类型负荷则可能是台区接的商铺用户，营业时间需要开空调，所以呈现一个时间段的高峰负荷。

#### 4.2.3 秋季聚类

秋季典型台区用户聚类见图 8。从数据中读取



秋季负荷：10 个台区去除漏点及异常负荷日和休息日后剩余 551 个负荷日。对剩余负荷日进行聚类，聚类结果如下：

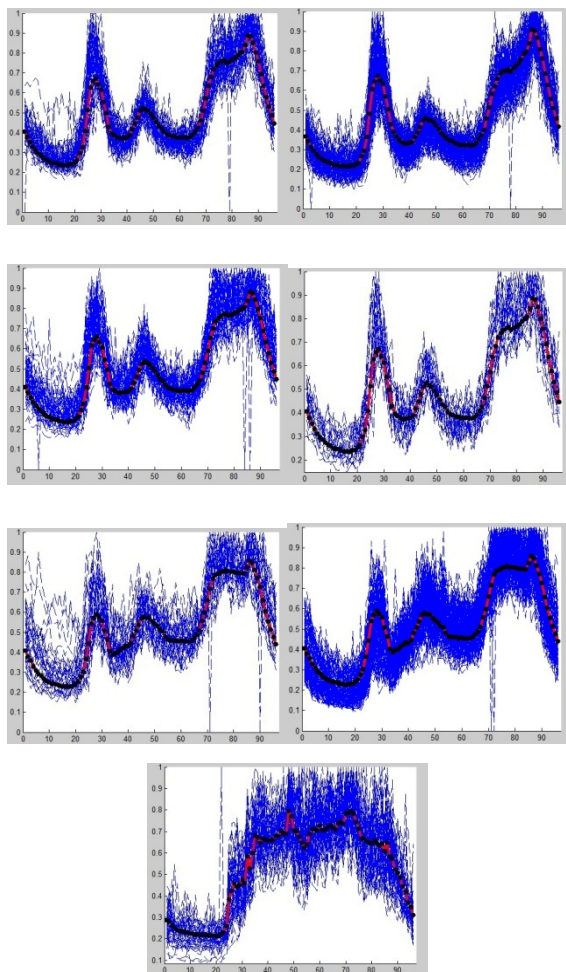


图 8 秋季典型台区聚类结果

从聚类的结果可以看出：类别一至类别七皆为迎峰型负荷。而且，第一类至第四类可以归为一类，因为其皆为三高峰负荷、三高峰峰值差异不大（早高峰高于午间高峰，晚间高峰最高）并且形状差异也不大；第五类和第六类又可以归为一类，因为他们形状相似，早高峰和午间高峰很接近，晚间高峰持续时间比较长；第七类出现了一个连续时间段的负荷高峰，从上午 8 点半至晚上 9 点。

秋季低压台区负荷基本与春季相同，除了第 7 类的台区负荷，可能是由于夏末秋初高温还在持续的时候某些包含商铺的台区，呈现出与夏季商铺台区相近似的负荷特性。

#### 4.2.4 冬季聚类

冬季典型台区用户聚类见图 9。从数据中读取秋季负荷：10 个台区去除漏点及异常负荷日和休

息日后剩余 568 个负荷日。对剩余负荷日进行聚类，聚类结果如下：

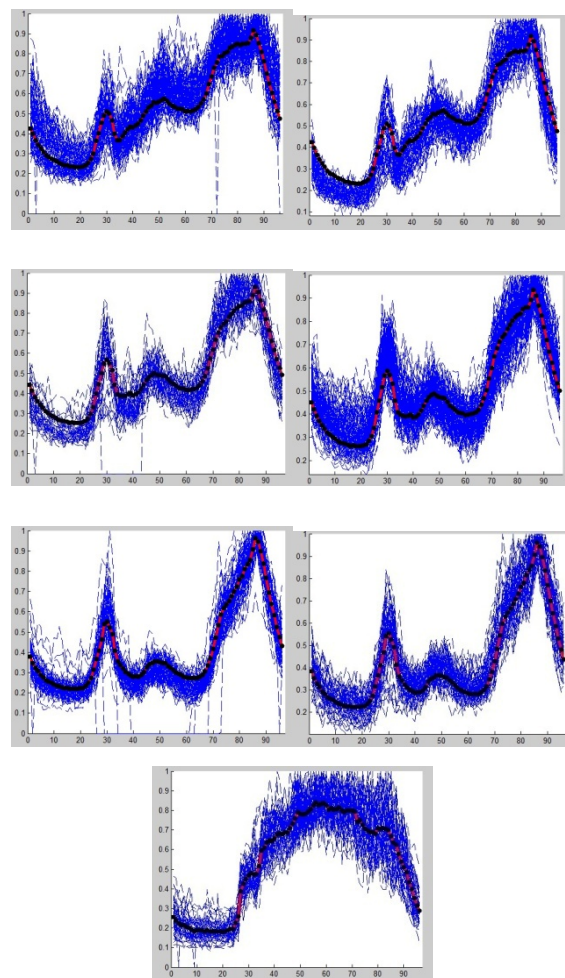


图 9 冬季典型台区聚类结果

从聚类的结果可以看出：类别一至类别七均为迎峰型负荷。而且，第一类和第二类可以归为一类，因为二者形状差异不大，都是具有三个负荷高峰，并且午间高峰略高于早间高峰，午间高峰和晚间高峰之间的负荷谷值持续时间较短；第三类和第四类又可以归为一类，因为二者形状差异很小，午间高峰略低于早高峰，最大负荷出现在晚间高峰；第五类和第六类也可以归为一类，因为它们形状相似，早高峰明显高于午间高峰，而且午间峰值相对较小；第七类则是出现一个较为平坦的高峰段，大概从上午 8 点半持续到晚上 9 点。

冬季低压台区负荷高峰多发生在晚上，因为冬天夜晚温度较低居民大都会启用取暖设备增大了负荷。而且，午间峰值都略低，可能因为中午温度较高，居民都尚未用到取暖设备，负荷较小。而部分台区包含商铺用户负荷变化就呈现一个平坦的负

荷峰值段，这个时间段也恰巧是商铺的营业时间。

#### 4.3 按季节聚类分析结论

1) 扬州地区春、秋季温度较为适宜，低压台区有电变化不大，类型较少。

2) 扬州地区夏季炎热而冬季温度也很低，所以居民用户在夏、冬两季用电量较大，而且不同台区呈现出不同的用电特性，所以分出来的类别较多。

3) 低压台区负荷基本属于迎峰型，而且最高峰多半出现在晚间。

4) 低压台区中住宅类型的不同在聚类分析中很明显的反应了出来，拥有商铺的小区负荷呈现出明显特征。

### 5 结论

本文分析了负荷与气温的相关性及敏感性，得出结论如下：

1) 春、秋、冬季日峰荷与最高温度成负的最相关，随着温度升高，用电负荷反而下降，季日峰荷与平均温度成正的最相关；

2) 台区负荷基本属于迎峰型，而且最高峰都出现在晚间；

3) 夏季、冬季负荷会有较大的波动，峰值和谷值相差很大；

4) 不同台区下的小区居民类型不同，有点习惯也不尽相同，有部分台区下有商铺用户。

通过对台区负荷的分析，可以得到不同台区的负荷特性以及负荷与温度的相关性。这些数据和特性可以有效的帮助我们台区负荷的变化趋势进行预测，准确把握扬州地区配电网负荷增长的趋势，从而优化配网投资资金分配，正确制定配网建设及低压台区改造方案，实现投资效益最大化。

#### 参考文献：

[1] 李扬, 王治华, 卢毅, 等. 南京市夏季气温一日峰荷特性分析[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 63-66.

[2] 杜彦巍, 林莉, 牟道槐, 等. 综合气象指数对电力负荷的影响分析[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(12): 56-59.

[3] 朱振伟. 气象因素对电网负荷特性影响的研究[D]. 浙江大学, 2008.

[4] 李培强, 李欣然, 陈辉华, 等. 基于模糊聚类的电力负荷特性的分类与综合[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(24): 73-78.

[5] Tuan L A, Bhattacharya K. Competitive framework for procurement of interruptible load services. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(2): 889-897.

[6] 廖向旗, 李欣然, 李培强, 等. 基于灰色关联聚类的负荷特性分类[J]. 电力科学与技术学报, 2007, 22(2): 28-33.

[7] 国家电力监管委员会“十二五”电力发展若干问题研究[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[8] Samarakoon K., Ekanayake J. Demand Side Primary Frequency Response Support through Smart Meter Control[C]. Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009, Proceedings of the 44th International: 1-5.

[9] 方鸽飞. 气象因素对电网负荷特性影响的研究[D]. 浙江大学, 2008.

[10] 国家发展和改革委员会, 国家电网公司电力需求侧管理工作指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[11] 王蓓蓓, 李扬, 金午桥, 等. 需求侧竞价对高峰电价影响的成本效益分析[J]. 中国电力, 2006, 39(1): 31-35.

#### 作者简介：

刘 忠 (1968-), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 研究方向为配电自动化、电力系统可靠性分析、智能配用电;

吴敏秀 (1970-), 女, 江苏扬州人, 高级工程师, 从事配电运检管理工作;

尹 飞 (1978-), 男, 江苏扬州人, 高级工程师, 从事电力系统应用软件开发工作。