

# 有序用电用户负荷特性分析方法研究

颜庆国<sup>1</sup>, 薛溟枫<sup>1</sup>, 范洁<sup>2</sup>, 陈霄<sup>2</sup>, 周玉<sup>2</sup>, 易永仙<sup>2</sup>

(1. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210024;

2. 江苏省电力公司电力科学研究院 国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏 南京 211103)

**摘要:**我国长期面临区域性、季节性、时段性、结构性的缺电现象,而有序用电工作可促进电力供需平衡,保障居民生活和重要用户的用电。但目前编制有序用电方案时,参与有序用电的用户选择主观性强,缺乏科学依据,有失合理与公正。本文提出了有序用电用户可中断负荷分析方法,通过对用户的历史负荷进行聚类,得到用户的几类典型日负荷曲线,并对典型负荷曲线按采样点进行聚类,综合分析得到用户的用电规律和用电时段等负荷信息,进一步可计算出用户的错峰、错时、轮休、检修价值,在此基础上制定用户参与有序用电的准则和策略,并可向社会公开,使得编制方案和有序用电的执行有标准可依,更加有序。

**关键词:**有序用电;负荷特性;用电规律;用电时段

**中图分类号:** TM73

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2014)06-0048-03

有序用电是需求侧管理的重要组成部分,指在电力供应不足、突发事件等情况下,通过行政措施、经济手段、技术方法,依法控制部分用电需求,维护供用电秩序平稳的管理工作。有序用电工作主要采取错峰、错峰、轮休、负控限电等一系列措施,避免无计划拉闸限电,在确保电网安全基础上,优化有序用电方案,确保居民生活、农业生产、重要用户、重要场所用电。改革开放以后,国家经济加快发展,电力供需紧张,有序用电发挥了重要作用。在经济转型期,电力设施的投资和建设使得电力供需总体平衡,但随着居民生活水平的提高,空调负荷急剧增长<sup>[1]</sup>,我国部分地区出现了季节性、时段性、结构性的缺电现象。有序用电重点限制高耗能行业用电,优先了保障居民生活和重要电力用户用电,确保电网安全运行。同时大容量远距离输电网络故障,大容量机组的单机故障,大型风电厂的不稳定性、都会对电网形成强烈冲击,有序用电也是应对电网突发事件的有效应急手段,一旦遇到紧急突发情况,利用有序用电可最快恢复重要用户和居民的用电,使事故影响降到最低。目前电网峰谷差越来越大,有序用电也是削峰填谷、提高负荷率、负荷曲线整形的手段。因此,有序用电将长期存在并发挥积极作用<sup>[2-4]</sup>。

目前编制有序用电方案时,电网在编制有序用电方案时,对用户的选择存在主观性,缺乏科学依据,有失合理与公正<sup>[5,6]</sup>。已有不少文献对有序用电工作开展了研究。文献[7]介绍了错峰预警信号系统模型及其实现,从技术上为有序用电管理工作提供了支撑。文献[8,9]讨论了有序用电指标在各地区的分配问题,但未给出精确到用户的有序用电方案编排方法。文献[10-12]以用户为出发点,分析了各种约束条件下安排

用户参与有序用电的方法,以将有序用电对用户的影响减少到最小。文献[13]研究了用户负荷特性的分析方法,但未结合有序用电的错峰、错峰等实现方式,不能有效指导有序用电。

## 1 基于精益化管理的用户负荷特性分析

电力系统负荷特性就是指用电负荷的特点和性质,不同类型的用户负荷表现出不同的负荷特性,他的负荷变化规律反映在负荷曲线上。对用户历史负荷曲线进行聚类,得到用户典型负荷曲线,根据典型负荷曲线间的差异,寻找负荷变化规律,分析用户的用电规律和用电特性,找出用户可以转移高峰电力的资源。选取用户一年中不同季度的历史负荷曲线进行聚类分析,可得用户的不同季节以及不同生产方式下的典型负荷曲线,分析季间典型负荷曲线差异,可得用户的空调负荷,分析日间典型负荷曲线差异,可得用户工作日、休息日、停产日负荷。分析用户的典型负荷曲线日内负荷差异,可得用户的峰、平、谷时段负荷。综合分析所得负荷信息,可得用户可中断、可削减的负荷及持续的时间跨度。

### 1.1 历史负荷曲线聚类

通过对历史负荷曲线进行聚类,分析聚类后的用户典型负荷曲线间的差异,识别用户的用电规律和用电特性。首先采用层次聚类法,分别形成日间负荷曲线之间以及日内负荷曲线之间的亲疏关系图谱,从关系图谱上判断曲线类型的数量,以此决定负荷曲线的类数。然后以此数量作为K均值聚类的聚类中心数量,对用户历史负荷曲线进行K均值聚类。

#### 1.1.1 层次聚类

设  $P_1, P_2, \dots, P_n$  为  $n$  个标准化后的采样点用户负

荷,初始时每个采样点负荷分为一类,即  $G_i(0)=\{P_i\}$ ,  $i=1,2,\dots,n$ 。计算各类间的距离  $D_{ij}$ ,由此生成一个对称的距离矩阵  $D^{(k)}=[D_{ij}]_{m \times m}$ ,其中  $m$  为类的个数(初始时,  $m=n$ ),  $k$  为聚类次数,  $k$  与  $m$  之间的关系为  $k=n-m$ 。找出前一步求得的矩阵  $D^{(k)}$  中最小元素,设它是  $G_i^{(k)}$  和  $G_j^{(k)}$  间的距离,将  $G_i^{(k)}$  和  $G_j^{(k)}$  两类合并成一类,于是产生新的聚类  $G_1^{(k+1)}, G_2^{(k+1)}, \dots, G_{m-1}^{(k+1)}$ 。令  $k=k+1$ ,  $m=m-1$ 。如此迭代聚类,直至所有采样点用户负荷聚为一类为止。聚类过程中,新类  $G_r$  与任一类  $G_m$  之间计算距离的递推公式:

$$D_{mr}^2 = \frac{n_m+n_p}{n_r+n_m} D_{mp}^2 + \frac{n_m+n_q}{n_r+n_m} D_{mq}^2 - \frac{n_m}{n_r+n_m} D_{pq}^2 \quad (1)$$

式(1)中:  $n_p, n_q, n_r, n_m$  分别为类  $G_p, G_q, G_r, G_k$  中所含的样品(子类)个数,  $n_r = n_p + n_q$ 。

初始时刻类之间的距离为各采样点用户负荷之差的绝对值:

$$D_{ij} = |P_i - P_j| \quad (2)$$

### 1.1.2 K 均值聚类

由 1.1.1 所得到的聚类结果选取  $K$  个初始质心,然后通过计算每个采样点负荷到质心的误差将采样点指派最近的质心,使目标函数最小,接着重新计算每一类的质心,如此反复直到仅有 0.5% 的点改变类。使用欧几里德距离作为误差,并使用误差的平方和  $E$  作为度量聚类质量的目标函数:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^K \sum_{P \in G_i} (c_i - P)^2} \quad (3)$$

其中  $G_i(1, 2, \dots, K)$  为  $K$  均值聚类中的一个类,  $P$  为  $G_i$  中的采样点负荷,  $c_i$  为  $G_i$  的均值。即:

$$c_i = \frac{1}{m_i} \sum_{P \in G_i} P \quad (4)$$

## 1.2 用户负荷特性分析

(1) 用户生产日、休息日判别。对一个月(非有序用电执行月)内的用户历史负荷曲线进行聚类,对于可以分出两类情况的用户,分别计算每一类的最大负荷平均值,若两类最大负荷平均值相差很大(大于 20%),则可确定一类为生产日负荷曲线,另一类为停产日负荷曲线。根据上面分析出来的生产日和停产日分别计算生产日最大负荷平均值、停产日最大负荷平均值。

进一步可分析停产日规律:若一个月的停产日小于 3 天,则无休息日;若一个月中相同周几至少 3 天停产,则判为周几休息;若依次循环工作几天休息几天,则轮班休息;政府规定的节假日为国家法定节假日;其

他为无规律。

(2) 气候敏感负荷判别。选取春季和夏季各一个月的历史负荷曲线进行聚类,提取生产日负荷的典型曲线。夏季生产日负荷典型曲线与春季生产日负荷典型曲线之差便可作为该企业的气候敏感负荷可中断容量。同理可判断用户冬季的气候敏感负荷可中断容量:

$$P_{\text{summer}} = P_{\text{Tsummer}} - P_{\text{Tspring}} \quad (5)$$

$$P_{\text{winter}} = P_{\text{Twinter}} - P_{\text{Tspring}} \quad (6)$$

式(5,6)中:  $P_{\text{summer}}$  为夏季敏感负荷;  $P_{\text{Tsummer}}$  为夏季典型日负荷曲线;  $P_{\text{Tspring}}$  为春季典型日负荷曲线;  $P_{\text{winter}}$  为冬季敏感负荷;  $P_{\text{Twinter}}$  为冬季典型日负荷曲线。

(3) 用户用电时段判别。计算用户典型日负荷曲线 3 个时段的最大负荷和平均负荷。根据用户 3 个时段的平均负荷大小分析用户主要的用电时段。

(4) 用户负荷计算。

① 安全保障负荷为保障用电场所人身与财产安全所需的电力负荷。作为衡量用户最低保障安全负荷,体现了对用户限电的限制。计算方法:

$$P_{sl} = \frac{\sum_{k=1}^X P_{\min_k}}{X} \quad (7)$$

$$X = \text{Int}\left(\frac{200M}{3}\right) \quad (8)$$

式(7,8)中:  $p_{\min_k}$  为第  $k$  个样本负荷日最小负荷;  $M$  为月份;  $X$  为样本数;  $\text{Int}\left(\frac{200M}{3}\right)$  为对  $\frac{200M}{3}$  进行取整(直接去除小数部分)。

② 经济生产保障负荷是保障用电场所人身与财产安全之外,满足一部分生产能力所需的电力负荷。可统计用户典型负荷曲线内 08:00~22:00 内负荷最小值,作为该客户经济生产保障负荷。其计算方法:

$$p_{\text{est}} = \text{Min}(p_{i-T_{10}}, \dots, p_{i-T_{44}}) \quad (9)$$

式(9)中: 1 天 24 小时内的时间轴(00:00~24:00)划分为 48 个时间段,分别为  $T_1, T_2, \dots, T_{48}$ ;  $\text{Min}(x_1, \dots, x_n)$  表示对集合  $X$  计算最小值。

③ 最大可限负荷表示在高峰时段时,用户仅保留保障负荷,关停设备“降低了”的负荷。选取离全省早、中、晚高峰时刻最近的 2 个时刻点。分别计算该时刻点的负荷平均值,作为客户该日早、腰、晚高峰负荷(当全省高峰时刻正好为半个小时整点时刻时,客户高峰负荷不需选取最近的 2 个时刻)。其计算方法:

$$P_{11-\text{mor}} = (P_{\text{pl-mor}} - P_{sl}) \times \delta_p \quad (10)$$

$$P_{11-\text{mid}} = (P_{\text{pl-mid}} - P_{sl}) \times \delta_p \quad (11)$$

$$P_{11-\text{eve}} = (P_{\text{pl-eve}} - P_{sl}) \times \delta_p \quad (12)$$

式(10—12)中:  $P_{11-\text{mor}}, P_{11-\text{mid}}, P_{11-\text{eve}}$  分别为早峰、腰峰、

晚峰时段的可限负荷; $P_{sl}$ 为安全保障负荷; $P_{pl-mor}$ ,  $P_{pl-mid}$ ,  $P_{pl-eve}$ 分别为早峰、腰峰、晚峰时段的高峰负荷; $\delta_p$ 为同时率,一般取 0.8。

## 2 算例

选取扬州市某电器生产企业 2009 年 1 月、4 月及 6 至 9 月的每日 48 点负荷数据作为聚类的特征向量,一共 183 组数据,剔除非正常数据后剩余 174 组,经层次聚类分析可将 174 组正常数据分为四类,再经 K 均值聚类后可得四类负荷曲线,且可提取出一组特殊数据。分类结果如图 1 所示。

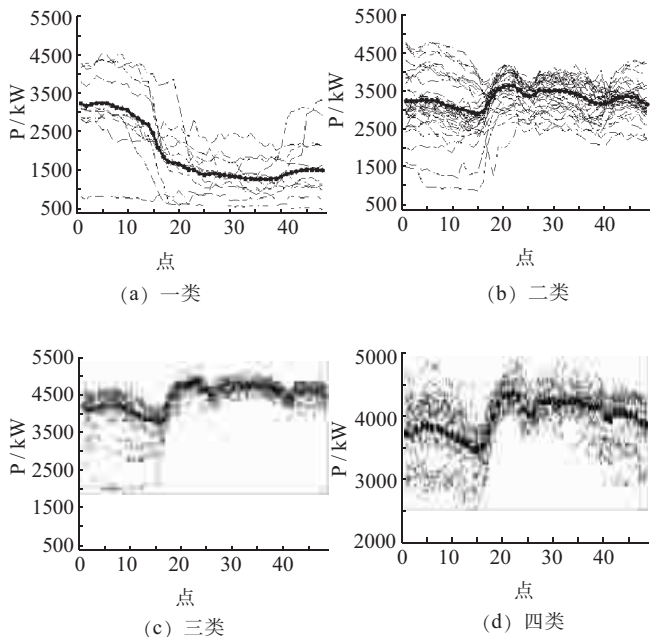


图 1 某电器生产企业负荷聚类

综合各类的负荷情况可以看出,该电器生产企业为三班制连续生产企业,但尤其是 00:00 到 07:00 的用电负荷一般都比白天低,说明安排在这段时间的生产量小,且 00:00 到 07:00 的负荷动荡比较大,从 1000 ~ 4800 kW 波动,除了与企业的生产安排有关,还与夜间温度适不适宜生产有关。但每日 09:00 至 20:00 的用电负荷比较平稳,为迎峰负荷。分析各分类负荷情况可以看出,第一类比较特殊,属于白天几乎停工类型,从所属的日期来看,可能是由于夏季高温限电造成,也可能是由于企业内部设备的停运检修等。其余各类表现出一定的季节性,由图 1 可得,三类属于夏季,负荷最高在 5400 kW 左右,最低在 3500 kW 左右;二类属于冬季,负荷最高在 4700 kW 左右,最低在 2000 kW 左右;四类属于春秋季节,负荷最高在 4800 kW 左右,最低在 3000 kW 左右,则夏季敏感负荷至少有 500 kW。而且通过安排生产流程,转移迎峰负荷,减产避峰等措施,至少可以转移高峰负荷 1500~2000 kW,负荷的特性分析结果如表 1 所示。

表 1 某电器生产企业精细用电特征挖掘分析 kW

| 企业类型    | 负荷特征                              | 峰值时刻        | 气候敏感   | 生产负荷的中断容量  |           |
|---------|-----------------------------------|-------------|--------|------------|-----------|
|         |                                   |             | 负荷中断容量 | 保障经济生产可限负荷 | 最大可限负荷    |
| 某电器生产企业 | 00:00~07:00 的用电负荷一般都比白天低,且纵向比较动荡大 | 09:00~20:00 | 500    | 200~300    | 1500~2000 |

## 3 结束语

本文提出的基于精益化管理的有序用电用户负荷特性分析方法实现了对用户负荷特性的深入挖掘,从大量历史负荷曲线之中分析提取出了用户的气候敏感负荷、安全保障负荷、经济生产保障负荷、最大可限负荷,为有序用电工作中制定科学合理的分级避峰方案提供了数据支撑。在此基础上制定用户参与有序用电的准则和策略,在电力紧缺时,合理安排用户进有序用电,使有序用电对用户的影响最小。并可向社会公开,使得编制方案和有序用电的执行有标准可依,更加有序。算例的结果表明,该方法是可靠有效的。

### 参考文献:

- [1] 中国江苏网. 江苏居民用电保持高速增长,今夏空调用电将突破 2400 万 kW [EB/OL]. [2012-07-03]. <http://news.jxgdw.com/gnxw/1806213.html>.
- [2] 曾 鸣. 电力需求侧管理的激励机制理论及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002:37-38.
- [3] 李啸宇,谈金晶,王蓓蓓. 智能园区需求响应项目实施效益研究[J]. 江苏电机工程,2013,32(4):20-23.
- [4] 史湘谊,李 颖,王春宁,等. 基于电力需求响应的负荷管理系统[J]. 江苏电机工程,2013,32(6):59-65.
- [5] 陈海燕,刘新才. 有序用电工作的精细化管理过程[J]. 电力需求侧管理,2010,12(3):30-33.
- [6] 李敬如,胡兆光,纪 洪,等. 北京地区用电需求侧管理及分析[J]. 电网技术,1999,23(2):21-23.
- [7] 刘 佳,施毅斌,李 扬,等. 错峰控制中多目标多地区限电分配的模糊群决策模型[J]. 西安电子科技大学学报,2007,34(S):124-127.
- [8] 徐志勇,曾 鸣. 有序用电的经济学分析及实施建议[J]. 电力需求侧管理,2009,11(1):35-37.
- [9] 区镜垣. 电力企业在错峰用电管理中负荷分配的探讨[J]. 工业技术,2006(25):16-20.
- [10] 沈 协,屠前萍. 有序用电管理到户的探索与实践[J]. 电力需求侧管理,2012,14(5):39-41.
- [11] 陆婷婷,高赐威,苏卫华,等. 有序用电管理下的最优错峰计划[J]. 电力需求侧管理,2013,15(6):15-22.
- [12] 刘 健,王双虎,明正峰. 需求侧负荷管理中最优错峰计划的生成[J]. 电力系统自动化,2006,30(8):15-22.
- [13] 吴 佳,张凯俊,王金跃,等. 基于精细化管理的有序用电辅助决策[J]. 浙江电力,2013(4):59-63.

- [2] 刘革辉,李 向,秦力军. IEC 60870-5-104 远动规约在 SCADA 系统中的应用[C]. 北京:2002 年全国电力系统自动化学术研讨会,2002:2-4.
- [3] DL/T 634.5101—2002,基本远动任务配套标准[S];30-32.
- [4] 徐立子. 变电站自动化系统 IEC 60870-5-103 和 IEC 60870-5-104 协议的分析和实施[J]. 电网技术,2002,26(4):1-3.
- [5] 黄云龙,郑 翔. IEC 60870-5-104 在调度自动化系统中的应用[J].上海电力学院学报,2005,21(4):326-328.
- [6] 何 松,李育林. IEC 60870-5-104 规约应用分析[J]. 山西电力,2007(4):18-21.
- [7] 李 晔,朱 江,吴 玲. 基于综合自动化系统的断路器遥控操作分析[J]. 江苏电机工程,2013,32(4):45-52.

作者简介:

朱海兵(1978),男,江苏张家港人,高级工程师,从事调度监控运行管理工作;

吴 奕(1968),男,重庆人,高级工程师,从事调度监控运行管理工作;

陈 宁(1973),男,广东大埔人,高级工程师,从事电网调度自动化系统研发工作;

朱志华(1971),男,江苏南通人,高级工程师,从事变电站自动化的工作;

刘 翌(1971),男,广东兴宁人,高级工程师,从事调度监控运行管理工作;

熊 浩(1982),男,江苏南京人,工程师,从事调度监控运行管理工作。

## Extension Research on IEC 60870-5-104 to Improve the Security of Remote Control

ZHU Haibing<sup>1</sup>, WU Yi<sup>1</sup>, CHEN Ning<sup>2</sup>, ZHU Zhihua<sup>2</sup>, LIU Yi<sup>1</sup>, XIONG Hao<sup>1</sup>

(1.Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2.NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The new operation mode in the State Grid requires the operator to control substation equipment remotely. In the current dispatching support system, the IEC 60870-5-104 protocol only checks control point number during remote control command transmission and verification process. This may result in mal-operation of remote control because wrong corresponding relation between control point number and device. By extending the IEC 60870-5-104 protocol, double check among device ID, control point number, and device IP is achieved. It greatly reduce the possibility of mal-operation of remote control caused by wrong corresponding relation between control point number and device.

**Key words:** remote control; IEC 60870-5-104; protocol; SCADA

(上接第 50 页)

作者简介:

颜庆国(1968),男,江苏扬州人,高级工程师,从事电力营销的管理工作;

薛溟枫(1976),男,江苏无锡人,助理工程师,从事有序用电的管理

工作;

范 洁(1977),女,江苏南通人,高级工程师,从事电力计量工作;

陈 霄(1985),男,江苏连云港人,工程师,从事电力计量工作;

周 玉(1982),男,江苏镇江人,工程师,从事电力计量工作;

易永仙(1988),男,浙江苍南人,工程师,从事电力计量工作。

## Load Property Analysis Method for Demanders Participating Orderly Power Utilization

YAN Qingguo<sup>1</sup>, XUE Mingfeng<sup>1</sup>, FAN Jie<sup>2</sup>, CHEN Xiao<sup>2</sup>, ZHOU Yu<sup>2</sup>, YI Yongxian<sup>2</sup>,

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute

State Grid Laboratory of Electric Energy Measurement, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** Our country has been long-term facing the regional, seasonal, periodical and structural shortage of power. Orderly power utilization is a tool to keep balance in supply and demand of power and so as to ensure the power supply to residential and important demanders. However, currently choosing demanders to participate into orderly power utilization program is mostly subjectively decided by the operator, which is lacking of scientific basis, unreasonable and injustice. This paper proposes a load characteristic analysis method for orderly power utilization demanders based on fine management object. Through clustering the historical load of the demanders, typical daily load curve of demanders are figured out. Then through combining the sampling points clusters of typical daily load curve, power utilization pattern and power utilization interval of demanders are obtained. The peak load shifting and holiday staggering plan value of the demanders are calculated. Rules and strategies for orderly power utilization demander selection are constituted based on the analysis of load property, which, is public to the community, makes the orderly power utilization work more scientifically and orderly.

**Key words:** orderly power utilization; load property; power utilization pattern; power utilization interval