

电力负荷按特性指标分类的研究

负荷分类对于电力负荷的研究有重要基础性意义，典型日负荷曲线是重要的负荷数据。目前应用最广的一种分类是对负荷按行业分类，但是低压负荷多样性特点显著，即使是同行业负荷，特性也可能有很大差别。以各负荷点典型日负荷曲线为基础，提出将负荷按其平均值、变化周期 T 和峰谷差率三项特性指标分类，可使同种类型负荷的日负荷曲线有较好的相似度，便于以后利用日负荷曲线的进一步研究。利用该方法，对上海市数千10 kV负荷点分类，得到八种类型负荷并进行了进一步分析，与传统的按负荷行业分类相比，该方法有一定启发意义。

邱文渊 王东海 张晓燕/国网上海浦东供电公司



邱文渊/工程师

关键词/Keywords

负荷分类 ·
日负荷曲线 ·
电力负荷 ·

0 引言

负荷分类是电力系统研究中重要的一部分，其在制定电价、负荷预测、系统规划与负荷管理中都有重要意义。一方面，随着社会经济与科技的发展，电力负荷也在不断变化，传统的按行业或按供电可靠性要求的分类方法已经很难满足目前负荷研究的需要。各种聚类法广泛应用到电力系统负荷的分类中^[1-2]，文献[3]提出了一种综合考虑日负荷曲线与负荷所属行业的分类方法；文献[4-5]提出了对综合负荷按其各行业比例分类的方法。各种分类方法的重要目的之一都是使同类型的负荷具有相似的负荷特性。另一方面，日负荷曲线表示负荷变化大小、趋势能较为全面地反映用户负荷特性，随着SCADA系统的广泛运用，可获得大量关于用户的负荷数据。典型日负荷曲线作为重要的负荷数据，在负荷预测^[6]、电量合约交易以及系统效益分析中起着基础性的重要作用^[7]。基于上述

两方面考虑，本文对负荷典型日负荷曲线进行分析，并依据分析所得的具体负荷特性指标对负荷进行分类，使同类型负荷在日负荷曲线以及具体特性指标上具有相对较好的相似性，为进一步的电力系统研究与分析打下基础。

1 日负荷曲线分解与分析

对系统实际负荷曲线的分析表明，系统负荷可看作是由变化幅度很小、周期较短；变化幅度较大、周期较长；缓慢持续变化的三种负荷分量构成^[8]。相应地可将典型日负荷曲线描述为周期分量、非周期分量和随机分量和的形式。周期分量一般以三角函数的形式体现，表示负荷变化的周期性；非周期分量可以一次函数、指数或者二次函数的形式体现，表示负荷的平均水平或者变化趋势（本文中采用一次函数形式），主要为上述第三种负荷分量以及第一种负荷的基值部分；随机分量体现了负荷的波动性，为上述各分量中剩余的部分。

由于已知负荷曲线上24个点的负荷值，可使用最小二乘法对日负荷曲线的函数表达式进行拟合。如图1所示，是某10 kV负荷的典型日负荷曲线及其分解拟合后的结果。

显然，在上述各分量中，随机分量是难以用解析式表述的一项。在本例中，非周期分量约在（-100 kW，100 kW）中无规律变化，其幅值达到了原峰值的1/6左右，相对较大。但是通过对图1的观察后，可发现在去除随机分量之后，负荷曲线的峰谷值，特别是峰值并没有发生太大改变，而且整个曲线变化的趋势也

与曲线十分吻合，随机变量较大的时刻一般是负荷处于快速上升或下降的时刻。另外由于随机变量在零值两边的变化基本平衡，也就是说随机变量的平均值几乎为零。故随机变量对整体负荷特性的影响并不明显，加之它很难描述的特点，可在分析负荷时将其忽略，主要依靠周期分量和非周期分量描述负荷特性。

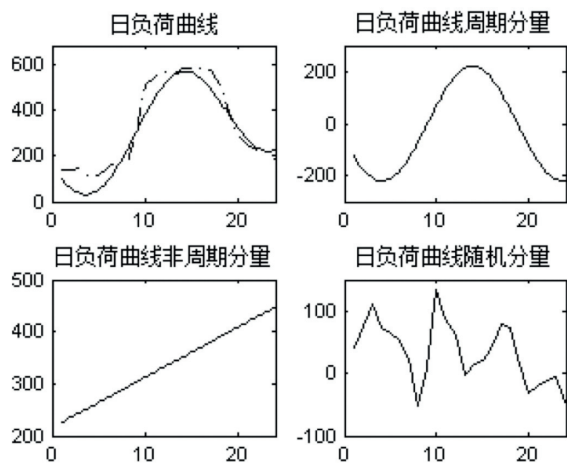


图1 某10 kV典型日负荷曲线分解示意图

注：日负荷曲线图中，点划线为原负荷曲线，实线为周期分量加非周期分量曲线。

2 基于负荷特性指标的负荷分类

2.1 分类特性指标的选取

负荷特性指标有多种^[9]，结合本文上述内容，可分为如下四类：①主要由负荷周期分量决定，如负荷周期。②主要由负荷非周期分量决定，如平均负荷。③主要由周期和非周期分量共同决定，如峰（谷）值、峰谷差率。④主要由随机分量决定，如最大（平均）变化率。

为了尽可能全面地考量负荷特性，同时提高分类效率，使同类型负荷的典型日负荷曲线最大程度相似，本文选择负荷周期 T 、峰谷差率和平均负荷三个特性指标作为分类指标。其中，负荷周期 T 反映负荷周期变化的快慢，峰谷差率反映负荷变化幅度的大小和容量利用率状况，平均负荷反映负荷整体的大小水平。这三个特性指标能较全面地描述负荷特性。

2.2 特性指标边界条件选取

一般情况，不同地区的气候、地理环境和经济发展状况不同，其负荷特性相对有所差异^[10]，

所以对其区域内负荷进行分类时，上述三项指标选取的边界值也不同。本文以上海市为例，对上海市若干10 kV负荷的典型日负荷曲线进行分解，利用分解后的周期函数、非周期函数表达式分别计算求得各负荷的周期、平均负荷值以及峰谷差率。以这三项负荷特性指标为坐标轴，建立三维坐标系，将各负荷点绘制在三维坐标系中，如图2所示。任何一个负荷点在图2所示的三维空间中都对应有个坐标点，可按这些坐标点位置所属区域的不同，对负荷进行分类。

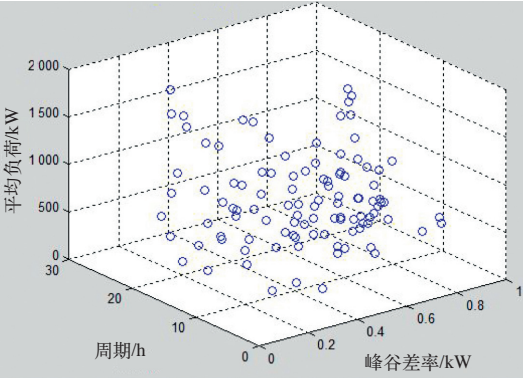


图2 负荷特性指标的三维坐标图

同时，对上海市包括上述负荷点在内的众多负荷点数据进行统计计算，分别得到相应的峰谷差率、变化周期和平均负荷指标数据与该特性指标数据下所拥有的负荷数量之间的对应关系如图3所示。在保证各类型负荷典型日曲线较高相似度的同时尽量平均给类型负荷数量，选取周期、峰谷差率、平均负荷分别为17 h、0.8、350 kW作为分类边界，按此边界条件，将负荷分为八大类，如下表所示。

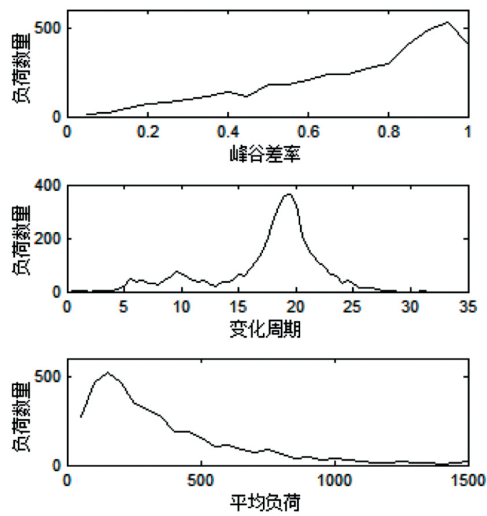


图3 负荷特性-负荷数量关系图

表 负荷类型表

分类区域编号	平均负荷			
	≤350		>350	
	峰谷差率		峰谷差率	
周期T/h	<0.8	>0.8	<0.8	>0.8
	I	II	V	VI
>17	III	IV	VII	VIII

3 分类结果分析

将各负荷点按上表分类后，每类负荷中都广泛分布有各行业用户，同类型下的负荷其典型日负荷曲线有较好的相似度。具体来说各类型负荷的特点为：

(1) I 类负荷

如图4所示。

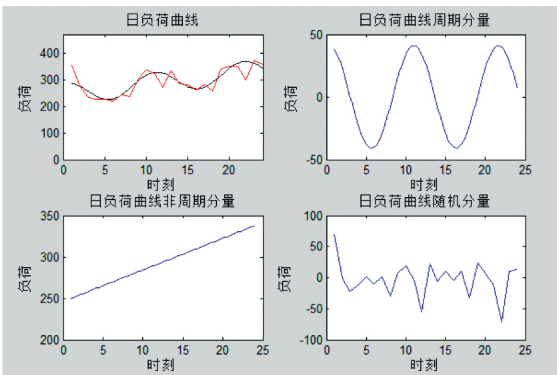


图4 第一类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷以各种轻工业、交通运输、邮政业、仓储物流业和教育科研业居多。这些用户的用电量不高，且工作时间较为灵活，在生产规律的基础上为追求电价优惠，其负荷一天中一般有两个高峰期，即凌晨和午后。由于其负荷量较小，不会引起较大的随机分量。这类负荷用电量小，波动频繁，但是波动能力不强，且负荷平均水平较小，对于整体的影响较小，往往作为基础负荷的组成部分。

(2) II 类负荷

如图5所示。

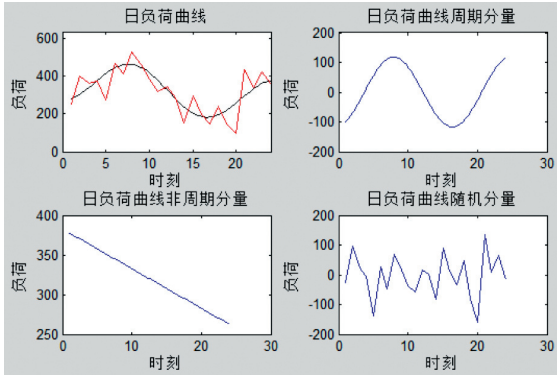


图5 第二类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷主要为各类轻工业负荷。事实上，轻工业由于其门类众多，生产规律各不相同，其负荷也广泛存在于各类型负荷中。同样，该类负荷用电量不高，一般有两个高峰期，符合轻工业的工作灵活的特点。由于自身生产规律或为寻求电价优惠，该类用户在某些时段负荷很小，甚至为零。这类负荷波动频繁剧烈，不易预测和控制，是造成区域用电多高峰的重要原因，应注意与其他负荷配合，实现优化。

(3) III类负荷

如图6所示。

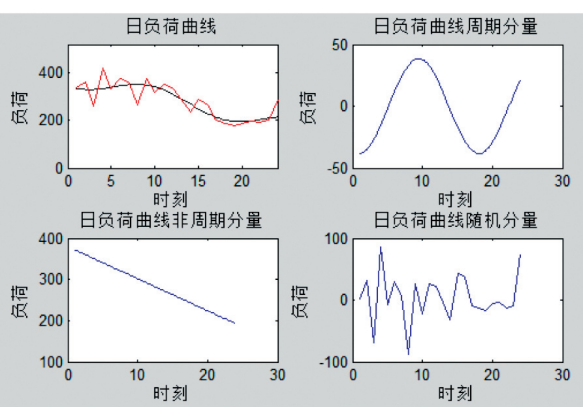


图6 第三类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷主要为信息传输及计算机服务软件业、部分制造业与教育科研业。上述行业的用电量不高，只有一个较小的高峰期，一般为下午或傍晚，其波动不会引起较大的随机分量。这类负荷用波动不频繁，且日负荷曲线较为平缓，往往可以作为基础负荷的组成部分。由于一天内变化频率小，具有易于预测和控制的特点。

(4) IV类负荷

如图7所示。

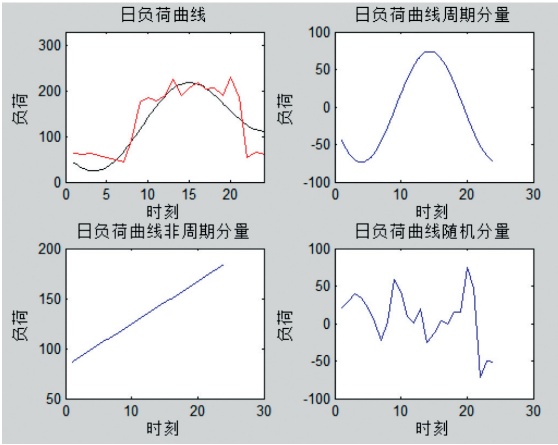


图7 第四类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷广泛包含了各种行业的负荷，配电网规划与运行具有重要影响。这类电力用户一般属于日工作型，每天仅白天工作时间生产时负荷较高，夜间非工作时间负荷很低，其负荷波动会引起较大的随机分量。虽然该类负荷用电量小，但通常属于地区综合日负荷曲线中的峰值负荷，不易预测和控制，同时其所包含的负荷数量较多，对系统综合负荷影响很大。

(5) V类负荷

如图8所示。

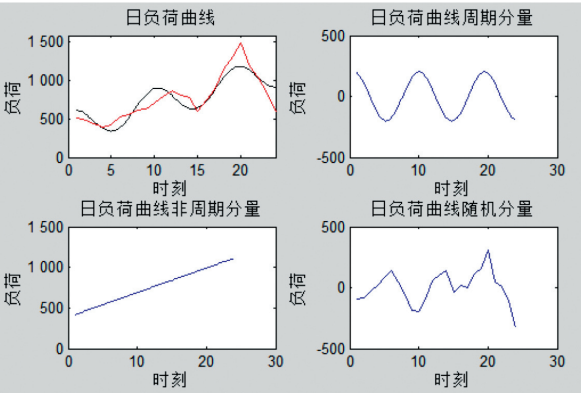


图8 第五类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷主要为居民生活用电以及信息传输计算机服务和软件业。一般对于居民生活用电如果负荷点涉及供电范围大，则其平均负荷较大。该类负荷在夜间出现高峰期，同时在午间存在一小高峰，与人们的日常生活规律基本吻合，同时其随机分量较小。这类负荷用电量大，属于重要基础负荷，特别是居民生活用电，虽然具有一定的波动性，但是其曲线波形相对稳定，变化较少利于预测，同时也是电力系统中需要重点保障的负荷。

(6) VI类负荷

如图9所示。

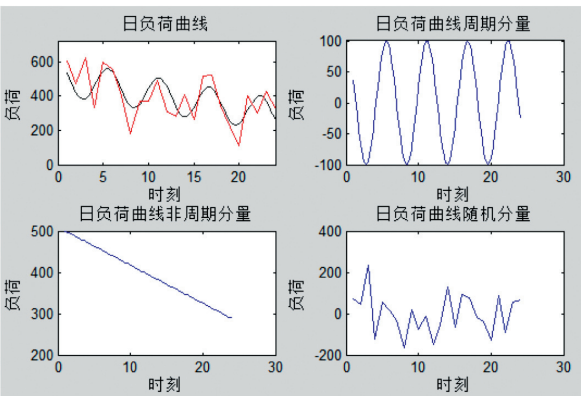


图9 第六类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷在总体负荷中存在的比例较小，因为大功率的负荷用电往往较为稳定，一般不会在一天中出现小周期、大峰谷差这样的反复振荡变化。该类电力用户以批发零售业、金属制品制造业和冶金业为主，由于其生产工艺需要定时起大功率机械，其平均负荷较大，有若干明显的工作高峰期，同时存在较大的随机分量。这类负荷用电量大且不易预测和控制，应作为重点考察负荷，着重与其他负荷相配合，实现优化。

(7) VII类负荷

如图10所示。

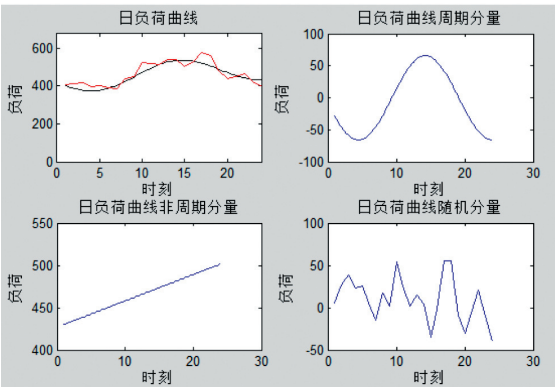


图10 第七类负荷典型日负荷曲线分析

这一类负荷以教育科研业、金融业以及各种轻工业为主，一般均为三班倒制的企业或需要持续稳定供电的单位。其平均负荷较大，典型日负荷曲线十分平缓，由于用电稳定，其负荷曲线的随机分量较小。这类负荷用电量大，波动不频繁，波动能力不强，负荷曲线十分理想，可作为重要的基础负荷，往往对该区域的负荷水平起决定性作用。

(8) VIII类负荷

如图11所示。

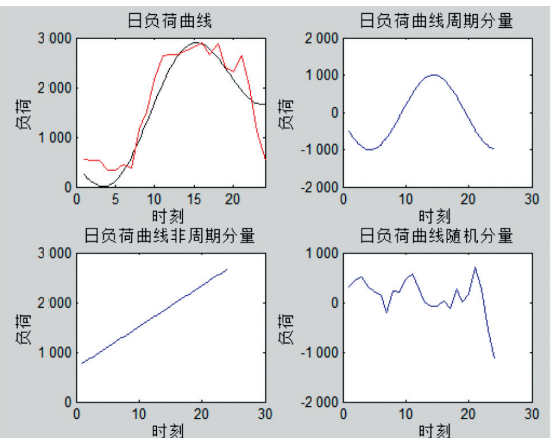


图11 第八类负荷典型日负荷曲线分析

这类负荷以批发零售业、房地产业为主。其平均负荷较大，只有一个高峰期，负荷变化与营业状况变化明显相关，在开始与停止营业时，其负荷迅速地增加与减少。该类电力用户用电需求变化速度快、幅度大，故其负荷曲线存在较大的随机分量。该类负荷一般峰谷差率很大，同时与第四类负荷一同作为引起日负荷曲线峰值的主要原因，通常不易于预测和控制，应作为重点考察负荷，为重点待优化的负荷。

4 结束语

负荷分类是分析研究负荷的重要环节，典型日负荷曲线是重要的负荷数据。按某几种由典型日负荷曲线得来的负荷特性指标对负荷进行分类，关键在于选择适当的负荷特性指标以及确定各类型负荷的边界值。平均负荷、负荷变化周期 T 和峰谷差率三项指标共同能很好地描绘出负荷曲线轮廓，是较为理想的分类指标。用该方法做出的负荷分类下，同类型负荷的典型日负荷曲线有相对很好的相似性，利于在进一步利用典型日负荷曲线研究分析各类型负荷时提高准确性。同时，各类负荷的边界值应视所研究地区负荷的总体情况而定，可使分类更为平均、准确。进一步，在确定各类型负荷边界值时可考虑使用聚类法，使各类型边界值的选择更为科学合理。

参考文献

[1] 朱晓清. 电力负荷的分类方法及其应用[D]. 广州：华南理工大学，2012.

[2] 黄梅，贺仁睦，杨少兵，等. 东北电网负荷模型

的分类与应用[J]. 电力系统自动化，2005，29(4): 85-87.

[3] 李欣然，姜学皎，钱军，等. 基于用户日负荷曲线的用电行业分类与综合方法[J]. 电力系统自动化，2010，34(10): 56-61.

[4] 鞠平，陈谦，熊传平，等. 基于日负荷曲线的负荷分类和综合建模[J]. 电力系统自动化，2006，30(16): 6-9.

[5] 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.

[6] 黎祚，周步祥，林楠. 基于模糊聚类与改进BP算法的日负荷特性曲线分类与短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制，2012，40(3): 56-60.

[7] 张忠华. 电力系统负荷分类研究[D]. 天津：天津大学，2007.

[8] 何仰赞，温增银. 电力系统分析（下册）[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2002: 110-111.

[9] 张英慧. 基于日负荷曲线分解的负荷预测[D]. 北京：华北电力大学，2009.

[10] 唐良艳. 电力系统负荷特性分析与负荷预测研究[D]. 广州：华南理工大学，2010.

作者简介

邱文渊（1983-），男，硕士，工程师、技师，从事调度图形维护工作。

（收稿日期：2015-12-10）**EA**
（编辑：崔文静）