

# 非侵入式负荷用电特性与识别方法研究综述

赵 林

宁夏理工学院 宁夏回族自治区 石嘴山 753000

**摘 要：**在电力物联网以及实现电网透明化成为电网未来发展方向的背景下，非侵入式负荷监测与分解，能深入分析用户内部的负荷成分，获取用户用电信息，这对用户、电力公司等都具有重大的意义。本文从研究现状入手，分析了典型负荷用电特性包括时域、频域、图形等的提取对象和方法，包括有功功率特性、用电电流特性、电压与电流构成的轨迹特性、瞬时特性及暂态特性。

**关键词：**非侵入式负荷监测；负荷识别；用电特性

**引言：**随着全球经济的快速发展，各个行业对能源的需求也随之增加，全社会用电量高速增长，因此造成的环境污染问题也日益严重。如何科学用电、引导用户侧提高用电效率成为研究的热点，非侵入式负荷分解和识别，提供智能用电的数据依据，合理制定用电方案，减少用电量，提高效率。

## 1 非侵入式负荷识别的研究背景

在我们工作及生活中，工业生产用电和家庭生活用电是主要的两个消耗电能的来源。对于研究家用用户如何节能来说，首先是通过测量家庭用户中单个入口点的总耗能情况，分析家庭用户用电及日常生活习惯，然后使用研究方法技术分解来确定单个设备的耗能情况，个性化地根据不同家庭用户指定负荷实际需求的输电配电、如何用电及参与调度的策略。如何能够准确的获取用户用电数据，让家中每一个用电电器均安装检测设备，安装复杂且投入经济成本大，不易实现。

非侵入式负荷监测可以看作计量基础设施的一个组件，通过非侵入式负荷监测技术可以将用户端口处测量收集的总用电数据，通过不同电器用电特性特征、模式识别、优化算法等技术手段，将对应时刻总用电数据分解为每一个参与用电电器的单个用电数据，从而将分析结果应用于指导用户如何用电达到节能管理，根据电器运行数据进行设备是否存在的故障诊断依据，参与电力需求响应等相关领域。<sup>[1]</sup>

## 2 非侵入式负荷识别的研究意义

根据研究的对象在数据获得方式的不同，负荷监测主要分为侵入式和非侵入式两类。侵入式负荷监测通过在用户的每个用电电器设备上安装传感器，通过传感器采集每一个电器的真实使用情况数据，然后经本地局域网收集和发送用电信息，如图1所示。该方法虽然可以进行高精度的监控过程，但是在实施过程中安装成本

较高，需要改变原有电路的结构，进入研究家庭用户内部。侵入式负荷监测的实现依赖于采集数据的传感器，因此容易受到外界的干扰，也容易产生误差，负荷运行是否可靠以及采集数据是否完整都不能确定。<sup>[2]</sup>

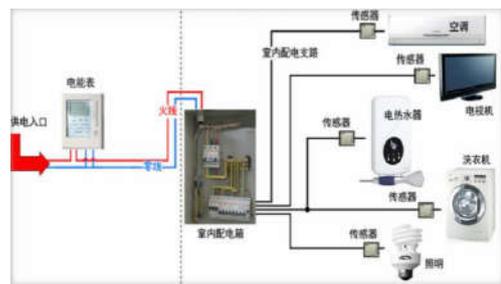


图1 侵入式电力负荷监测示意图

非侵入式负荷监测通过在每一个家庭用户供电入口处安装测量使用的监测装置，采集入口处总的电气数据，根据分析获取的有限负荷信息，深度解析用户内部负荷构成所包含的成分，从而来识别负荷内部涵盖不同类别用电设备的用电特性和工作模式。结构如图1.2所示。该方法根据入户处量测获得的数据，实现识别或者预测家用电器的运行状态目的，安装设备等投入成本较低，不用深入用户用电内部，不会打扰正常生产生活，干扰比较小，设备维护方便，应用灵活，但是对选取的负荷分解方法要求高，各类电器识别精度也存在一定的问题，想对比而言，实施比较困难。

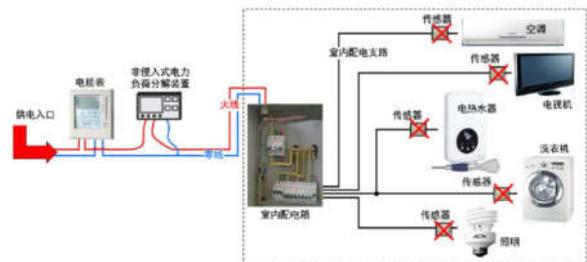


图2 非侵入式电力负荷监测示意图

### 3 非侵入式负荷识别的研究现状

各个行业负荷成分及特性均存在差别,负荷分解难度也有所不同,按行业性质可以将用户划分为工、商、居民等几大类,但是考虑数据获取的难易程度,目前大部分研究以家庭居民用户为主。实现非侵入式负荷识别需要三部分工作,如下图

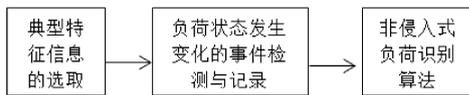


图3 非侵入式负荷识别框架图

#### 3.1 家庭负荷用电特性现状分析

麻省理工学院的Hart教授于1992年建立了第一个非侵入式负荷监测系统,采用电表入口处稳定状态下各电器的功率数据,通过功率数据的变化情况来监测内部负荷电器的使用过程,从而给电力公司提供依据,实现用电电能的有效分解。负荷用电特性可以分为稳态特征、瞬态特征和非传统特征三大类,稳态特征是对负荷电器在稳态运行时提取的负载特性,包括稳态功率、无功功率、均方根电流、均方根电压、功率因数和谐波特性,选择区分度高的负荷用电特性作为负荷识别的依据,是非侵入式负荷分解的关键一步。<sup>[3]</sup>

20世纪90年代,麻省理工学院的研究学者选择负荷的暂态特征作为负荷识别的关键特征,通过突变信号的监测方法,提取负荷投切时的暂态电流的变化规律作为识别的依据,同时设计功率谱包络线,计算负荷投切时的瞬时功率,丰富且区分度高的负荷特征组合为负荷辨识提供了保障。2003年C.Laughman等人,总结非侵入式负荷监测的研究过程,分析通过检测总功率的变化来进行负荷分解的实现,验证采用波形特征对识别方法的作用。2007年Hong-Tzer Yang等人,提出利用神经网络分类器来评价非侵入式负荷监测系统,通过计算机程序完成负荷电器开启时暂态能量的变化提取并作为负荷特征,以工业负荷为研究对象开展非侵入式负荷监测。2010年Steven R. Shaw等人,提出用于计算电力系统非侵入式负荷监测的电流相对于电压时变频率内容和相位的频谱包络线,通过卡尔曼滤波算法实现负荷电流包络线的提取,以此开展非侵入式负荷监测相关研究。同年Liang Jian等人,对所有研究人员选择的负荷特征和实现特征提取的方法总结,证实负荷特征的可加性的实际应用意义。2015年Liang Du等人,提取电器工作波形,将其转化为量化的状态序列,用均方根电流值和停留的时间值构成二维数值作为负荷特征。2017年Bouhouras A S等人,通过实例对稳态测量电流进行分解,选用1、3、5次谐波

电流值作为负荷特征,结论表明高次谐波电流有利于负荷识别性能的提高。2018年L. De Baets等人,提出将V-I轨迹解释为加权像素化的V-I图像,并将其作为卷积神经网络的输入,通过数据集进行测试。

国内非侵入式负荷监测的研究起步稍晚,随着实际应用需求的提升,越来越多的学者对负荷特征及识别算法开展全方面研究。2009年黎鹏等人提出利用用电设备稳定运行时的电流作为负荷特征,包括基波电流和谐波电流,实现非侵入式电力负荷在线分解,实验表明所提出的负荷分解方法便于在线实现,具有较高的精度和好的稳定性。2010年牛卢璐提出基于滑动窗的双边CUSUM暂态过程,完成负荷投切的自动监测,根据电压、电流、有功功率信号,检测负荷投切引起的暂态过程,用于非侵入式负荷监测呈现出较强的精度和抗干扰。2012年谢家宝选择对有功功率和无功功率进行模糊C均值聚类,以谐波分量为特征量,以单位时间内谐波面积的大小作为判别条件,实现非线性负荷识别。2014年郑小霞等人,提出以居民负荷的微观特性开展研究,基于实际测量的波形提取典型负荷的微观特征参数,给出包括V-I轨迹曲线的面积及中心线斜率、波峰系数、瞬时功率值及有效值等负荷特性特征值的计算方法。2015年朱德省等人,选择电力负荷瞬态和动态轨迹为负荷特征,通过Mallat小波变换的方法计算实时电压与电流、有功与无功功率的分层频谱轨迹特征图,利用此特征图进行非侵入式负荷辨识。2016年李如意等人,为解决家用电器投切状态识别问题,采用快速傅里叶变换,选用去有区分度的负荷的稳态电流谐波特性作为负荷印记,从而计算得到负荷各次谐波分量特点,建立用于负荷识别的用电设备特征标签,并提出以BP神经网络建立识别模型。

综上所述,根据研究者度和特征选取的不同,提出很多有效地提取方法,针对采集的负荷电流通过快速傅里叶变换方法、针对采集的功率计算变化量 $\Delta P$ 或各种聚类方法、波形的包络线或通过能量函数计算等。<sup>[4]</sup>

#### 3.2 非侵入式负荷识别方法的研究现状分析

近年来,国内外出现了很多应用于非侵入式负荷识别研究有效的算法,大体分为数学优化和模式识别。大多数的研究者选择不同的负荷特征通过不同识别算法来实现负荷分类,将获取到的家庭负荷特征数据,通过与已建立的负荷特征数据库样本特征通过技术手段进行比较,结合匹配程度的结果,从而识别出具体的负荷类型、工作状态是否正常。

2014年Hassan T等人,选择利用负荷电器工作时产生的电压与电流构成的V-I曲线特征作为负荷识别的依

据,通过和人工神经网络、支持向量机对比,实现负荷识别。2016年Li D等人,首先获取低采样频率下得到的时域负荷数据,然后映射到以统计学为基础的模型上,最后通过建立隐马尔可夫模型完成负荷识别。同年Biansoongnern S等人选择采用四种不同的负荷稳态特征中的有功功率及无功功率数据作为用电特性,通过人工神经网络的方法,实现负荷辨识,且得到较好效果。2017年Kim J等人,将采用长短期递归算法引入神经网络,从而构建负荷辨识模型,将这种算法嵌入到隐藏层,有效解决梯度消失等缺点,并且在更复杂的负荷设备组成环境中,显现出深度学习算法在非侵入式负荷监测网络中的应用优势。同年Gillis J M等人,提出使用决策树的方法进行负荷辨识,家庭负荷中每一类负荷看做决策树的叶节点,决策树分类模型通过负荷样本训练集数据实现,叶节点中的杂质利用基尼指数衡量,从而构建负荷小波特征与负荷类别的映射关系,在辨识过程中每个叶节点纯净视为完成负荷辨识的标志。2019年Dinaccio等人提出的序列对点学习用于非侵入式负荷识别,根据序列到点模式在同一数据域上进行迁移学习,结果表明多状态复杂家用电器学习的潜在功能,可以转移到简单的家用电器设备上,通过实验验证,迁移学习在序列对点模式下具有很好的分解效果。

国内对非侵入式负荷识别的研究起步较晚。2015年曲朝阳等人提出了编码粒子群算法E-PSO,该算法适用于离散变量,使传统粒子群算法的使用范围得到了扩展,实现基于叠加拟合的负荷识别方法。2016年孙毅等人提出在保证用户隐私的前提下,一种基于遗传优化的非侵入式家居负荷分解方法。同年祁兵,程媛等人基于Adaboost算法集成多个BP神经网络,从而提高识别率对电器的整体识别度。2018年宋旭帆等人提出将K最邻近算法(K-Nearest Neighbor, KNN)与核Fisher判别相结合的算法,该算法提高了对特征相近电器的识别准确率,同时又减低直接采用核Fisher算法的巨大计算量。2019年刘

耀先,孙毅等人构建了一种基于多序列到点与时间信息编码的深度学习网络,利用双向门控循环单元网络挖掘分解时间点,挖掘家庭设备状态与负荷时间信息间的深层潜在关系,在大功率设备器件上具有更高的分解准确性。2020年王慧娟,黄万方等人提出一种基于遗传优化的BP神经网络用于居民负荷分类,负荷特征提取简单,对常用电器识别分类准确性高。同年张玉天等人,将分解算法使用与对采集到的混合信号进行负荷分离,将负荷电流数据转换成卷积神经网络可识别的图片形式,通过卷积神经网络模型处理二维图像数据,从而通过对卷积神经网络模型训练达到负荷辨识的目的。

#### 4 结束语

现有研究采用不同识别方法进行非侵入式负荷分解,各种方法优势不同,通过建立一个覆盖广泛的数据库来建立一个泛化能力强的分类模型,随着家用电器数量和种类的迅速增加,维护这样的数据库也是一个难题。针对NILM的实际情况,如果从头训练一个复杂的设备识别模型需要足够的计算资源,成本高,耗时长,由此后续研究提出利用迁移学习,结合Alexnet卷积神经网络在解决一个问题时已经获得的知识,将其应用于另一个相关的问题,实现基于迁移深度学习实现非侵入式负荷识别。

#### 参考文献:

- [1]程祥,李林芝,吴浩等.非侵入式负荷监测与分解研究综述[J].电网技术,2016,40(10):3108-3117.
- [2]汪颖,杨维,肖先勇等.基于V-I轨迹曲线精细化识别的非侵入式居民负荷监测方法[J].电网技术,2020,44(24):1-9.
- [3]文武.混合神经网络和集成学习的非侵入式负荷识别[D].北京:华北电力大学,2017.
- [4]刘博.非侵入式电力负荷监测与分解技术[D].天津:天津大学,2013.