基于大数据的智能电能表关键组件技术的研究综述

韩春玲

（绍兴职业技术学院，浙江 绍兴 312000）

摘要：为了分析智能计量和智能电能表数据，对智能电能表关键组件和相关技术进行综述。从不同维度对智能电能表进行了分析，包括计量环境、智能电能表技术和过程以及各方利益相关者等。关注的焦点在于计量过程的关键环节，不同利益相关者的利益要求，以及满足这些利益要求所使用的技术。同时，识别了智能电能表分析构建模块，系统地阐述了智能电能表作为智能电网关键要素的特点和影响。因此，有助于识别智能计量在当前所受的限制，指明了发展方向。

关键词： 智能计量；智能电能表；利益相关者；智能电网

Research on key component technology of intelligent electric energy meter based on big data

HAN Chunling

（Shaoxing Vocational and Technical College, Shaoxing 312000, China）

Abstract: In order to analyze the data of intelligent metering and intelligent watt-hour meter, the key components and related technologies of intelligent watt-hour meter are summarized. Intelligent watt-hour meter is analyzed from different dimensions, including measurement environment, technology and process of intelligent watt-hour meter, and stakeholders. The focus is on the key links in the measurement process, the interests of different stakeholders and the technologies used to meet these interests. At the same time, the analysis and construction module of smart watt-hour meter is identified, and the characteristics and influence of smart watt-hour meter as a key element of smart grid are systematically expounded. Therefore, it helps to identify the limitations of intelligent measurement and indicates the direction of development.

Key words: intelligent metering; intelligent watt-hour meter; different stakeholders; smart grid

0 引言

智能电网[1]一直是智慧能源的关键推动因素，智能地整合与其相关的所有利益者。智能电网所面对的关键技术难题包括影响电能质量的可再生能源发电的间歇性、小型分布式发电机制的大规模网络等；另一个重要的问题是如何利用信息和通信技术，提高能效。对于未来社会和经济发展，如何更高效地利用能源是至关重要的[2]。

管理智能电网进行智能化的能源供应要求高级数据分析[3]，以获取准确的信息和自动化决策支持，并及时处理事件。迄今为止，关于电力网络操作方面，很多信息是从智能电能表中获得的，智能电能表使用极其广泛，其优点包括：计费处理、自动化抄表（AMR）与数据处理、能源丢失检测、停电预警、能源供应干扰的快速检测、实

国家自然科学基金资助项目(31100424)；国家自然科学基金资助项目(31760182)；绍兴市公益性技术应用研究计划项目(2017B70071)

时定价方案以及有助于电力的节约和高效利用的需求－响应机制。

近年来，关于智能电能表及其应用得到了快速发展，研究人员已经提出了很多的方法和技术，涵盖了电子和通信等领域。文献[4]研究了智能电网的不同应用，重点关注智能电能表融入电网的通信要求。文献[5]研究分析了智能电能表在通信技术方面的应用。文献[6]分析了智能电能表网络和数据服务。这些相关技术分析大多针对一个方面或几个方面，很少以系统角度分析智能电能表在智能电网中的地位和影响。

因此，本文将从整体数据分析的视角，对智能电能表进行综述分析，涉及的关键组件包括数据、技术和利益相关者的各个方面。同时，识别了智能电能表分析构建模块，系统地阐述了智能电能表作为智能电网关键要素的特点和影响，有助于更深层地理解智能电能表在未来整个电力物联网中的应用。

1 智能计量环境

智能电能表智能化的关键组件如图1所示。这三个关键组件包括了数据、技术和利益相关者的各个方面。为描述电能表数据智能化的组件，有必要理解其存在的环境。图2给出了主要的环境因素，包括提供基础设施的智能电网，以及产生智能计量需求的利益相关者。下面将介绍构成环境的关键要素。能源使用周期和利益相关者信息以NIST分类[7]为基础。相关研究表明[8]，多个系统和组件在组织、信息和技术方面的互操作性十分必要，一般可以通过对NIST引入的智能电网模型进行扩展，同时可以利用互操作性，以及独立系统和组件灵活性，将环境设置为从多个不同的源捕捉数据，从而实现数据智能化。

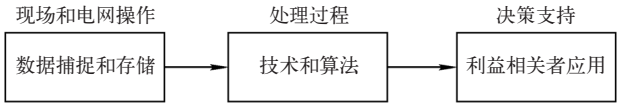

图1 电能表数据智能化的关键组件

Fig.1 Key components for data intelligence of electric energy meters

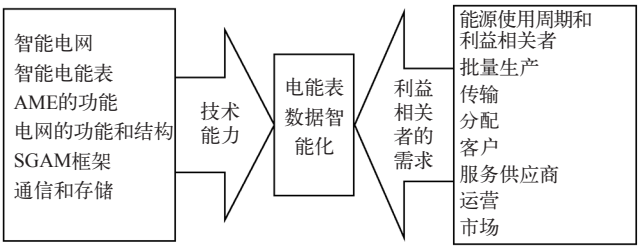

图2 智能电能表数据智能化的环境

Fig.2 Intelligent environment for data of smart

1.1 智能计量的框架

对图1的关键组件进行扩展，其结果如图3所示。图3给出了一个高层次框架，强调了该框架与环境和关键组件的关系。

图3中，数据类型被分为了消费、生产、电能质量和事件，例如电力故障和电能表状态等。可以对这些数据类型进行聚合，或将其与外部数据进行组合，以用于分析。及时地获取准确的

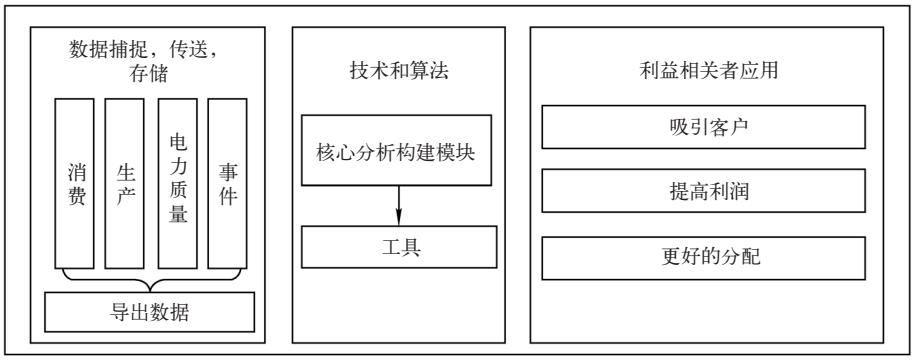

图3 智能电能表数据智能化框架

Fig. 3 Data intelligent framework of intelligent electric energy meter

相关信息对于智能计量来说至关重要，其中包括采集、传递和存储。智能电能表所生成和收集到的数据容量和数据类型已极大增长，并带来了很多潜在的利用价值。如消费数据具有较高的可预测性，这一类型的数据可以是时间间隔的消费数据，或者用于计费目标的合计数值。时间间隔数据能够给出更多粒度的数据，为趋势和周期分析带来好处。基于时间间隔的消费也可以对客户的日常行为建立起概况。这要求对智能电能表数据与外部数据（如天气、地理和客户信息）之间进行数据集成。

随着科学技术的不断进步，可用的数据类型越来越多，数据的容量和粒度也会越来越高。由于生活方式的变化等因素，利益相关者的要求也会越来越高，从而创建出新的应用，并对现有应用进行改变。

1.2 智能电能表

智能电能表可以对用电和发电情况进行测量，也可以在必要的时候远程控制供电和断电。其中，自动抄表[9]（AMR）使用单向通信，能够实现自动每月读表、单向断电以及简单的负荷分析。随着技术的发展，AMR的能力被扩展到短期间隔（每小时或更短）数据采集，按需读表，以及连接并读取其他商品（燃气、水等）的供应信息。电能表集成了双向通信技术后，迎来了功能上的重大升级，被称为高级集成式计量[10]（AMI）。在当前的计量环境中，智能电能表应该具备以下能力。

1）实时或接近实时捕捉电力使用情况，以及可能的分布式发电。

2）能够实现远程读表和本地读表。

3）远程控制能力，能够远程地控制甚至切断电力供应。

4）与其他商品供应相连接（燃气、水等）。

5）捕捉事件的能力，如设备状态和电能质量等。

6）在智能电网环境内部具备可操作性（如NIST和SGAM框架所规定的那样）。

智能电能表是计量和信息捕捉设备，在很多实例中与通信设备相连接，被称作智能电能表网关，以建立安全的能源－信息网络。该网关能够对来自供应商的实时信息进行接收和通信，作为设备的控制点，可以起动和终止能源供应等。其还可以配备家庭用电显示器（IHD）的用户界面，以展示实时能源消费、成本和资费等信息。智能电能表可被连接到智能电能表网关，而网关则与不同的设备进行通信，智能电能表捕获到的测量值和信息通过IHD来展示。因此，由智能电能表、网关和用电设备实时通信的IHD所组成的系统，成为未来智能家居基础设施的关键部分。网络的体系结构、数据传输的容量和速度以及通信技术，将决定智能电能表是否能够产生预期的价值。

在智能电网体系中，一个关键方面是实时的决策制定，这一点只有当能够对数据进行无延迟的利用时才可能实现，利用实时（主动式）数据及时地制定决策。例如，通过最后时刻的电能表数据进行自动故障检测，为客户提供主动式服务和实现电网的自我修复；对当前负荷和临界峰值条件进行检测，以启动自动的限电方案，减少相关用户前端的电力供应，或者对相关的少量家庭执行空调负荷限电。如有必要，智能电能表能够添加不间断通信，因此可以进行实时监控。

1.3 智能计量过程

智能计量被认为是智能电网运行的重要部分。图4给出了一般的智能计量过程，数据通常以千瓦时（kW·h）度量实际用电量，这些数据以常规间隔进行读数和传输，一般取决于特定的部署和区域，数据采集的频率在15～60 min之间进行变化。在数据处理方面，一些数据可以在本地采集点进行处理，但大多数情况下，通过广域网将数据传输到电力企业的中央采集中心进行处理。

1.4 利益相关者

利益相关者可以简单地分类为客户、电力公司（企业）和环境。也有一些方法通过对计量公司（配电公司）、电力企业和供应商（零售商）进行扩展，在电力公司分类中加入了更细的粒度[11]。

图4　智能计量过程

Fig.4 Intelligent metering process

然而，NIST则作出了更加全面的分类，对整体能源使用周期进行定义，包括批量发电、传输、配电、客户、服务供应商、业务和市场。

智能电能表为客户提供直接的用电信息，该信息可以细化到设备级，使客户可以通过调整行为习惯来降低能源支出。另一个对客户的利好是个性化的费率规划，智能电能表支持对客户的需求－响应机制，能够根据市场情况限制甚至切断电力供应。当所有的客户都意识到了能源的生产和消费情况，并根据需求、价格或供电量等信息调节其用电习惯，将实现更好的节能，提高能效。这些行为结合在一起被称为需求侧管理（DSM），将真正地使消费者受益。

对于电力零售商，其可以利用海量数据，了解客户的需求和行为习惯，并对其进行分析和归档，以提供更好的服务，建立更高的忠诚度。客户具备更好的用电意识后，则可以降低能耗，从而减轻用电需求，减少温室气体的排放。智能电能表中的负载控制功能，能够根据需求起动或关闭个体设备，零售商也可以在电力成本非常高时对客户提供此项服务，而电力分销商则可以在电力网络负荷接近极限时使用这一功能。每个主要的利益相关者群体的参与和收益情况如下表所示。对于运营和市场来说，从智能电能表中获取到的信息至关重要，能够用于运营规划，市场需求响应，以及对用电变化和终端情况进行预测，以降低风险，实现安全的能源供应。

表　利益相关者的参与和收益

Table Stakeholder participation and benefits

利益相关者	收益类型
电力分销商/电能表公司	准确、及时地消费概况； 捕捉可疑的用电和故障； 更好的网络维护
客户	直观的用电情况； 对电气设备和消费的监控带来更好的用电意识和用电规划； 个性化的费率计划
零售商	了解客户，制定有针对性的服务，获得更高的客户忠诚度； 削减峰值用电； 提供负荷控制功能

2　用于计量智能化的数据

文献[12]已经提出了一种智能计量框架，但其仅关注了消费者特征，而没有针对完整的智能计量过程和环境。本节将对所提框架进行扩展，如图5所示。其中包括两个关键组件。

1）图5上半部分描述了当前智能电能表计量方案。数据方面，基于利益相关者需求的应用，以及试图利用可用数据或导出数据支持应用需求的技术工具和算法。

2）图5下半部分描述了由于技术的进步，人们生活习惯和生活期望的变化等原因所带来的新要求。

通常，数据类型可被分解为（电力）消费和生产数据、电能质量度量以及事件数据。这些数据在智能计量活动中最广泛使用的度量数据是消费数据，包括基于时间（15～60 min）的电力消费读数。其他类型的消费数据列举如下。

1）计费间隔数据。在计费间隔开始和结束时进行读数，以实现可变定价。

2）汇总统计数据。每月消费、与邻居的用电比较以及用电历史等。

3）广播数据。向用户传达价格变动信息，峰值临界时间折扣等。

图5中的事件数据指的是在电能表的终端点生成的信息，包括实时设备状态、电能质量信息和电能表状态信息。这些信息可以由源、代理和严重级别等属性所组成。主要时间类别包括电能表状态、电能质量事件（电压骤降）、电能表篡改以及电能表硬件事件（电量低）。电能质量数据通常用于故障分析中，以帮助提高可靠性。故障前分析和故障后分析均被视为利用电能质量数据提高配电网络可靠性的有效技术。

当前，由于数据采集的时间间隔更短，有能力存储更大容量的数据，因此需要采集的数据容量剧增。智能电能表以频繁的时间间隔捕获数据，基础设施则高速传输此类数据，形成数据流。得益于智能电能表新的技术能力，以及利益相关者不断增长的需求，不同类型的数据正被大量收集，以向利益相关者提供更大的价值，这在分析学中被称为可变性问题。

由于新的技术能力也使得利益相关者的期望变得更高，因此，图5的右侧着重展示了不同的应用。这些不同的应用所带来的一些关键问题主要有：

1）延迟和带宽。不频发的低容量信息（例如广播）要求的带宽较低，可能还要求较低的延迟。另一方面，消费数据则要求较高的带宽，且能够容许较高的延迟。

2）批量或实时处理。很多用于房屋内的事件数据和信息会要求实时处理，而批量处理则适用于消费数据。

3）使用期限。数据需要留存的时间将取决其用途。例如，计费和统计数据可能会有需要留存一定期限的监管要求，而详细消费数据则仅需要保存较短的时间。

4）通信媒体。实时信息例如价格、统计数据和总额可以展示在主页上。

5）隐私和安全。价格属于公共信息，但消费数据则较为敏感，需要保密。

3 技术和算法

在智能计量活动中，技术和工具的使用有两

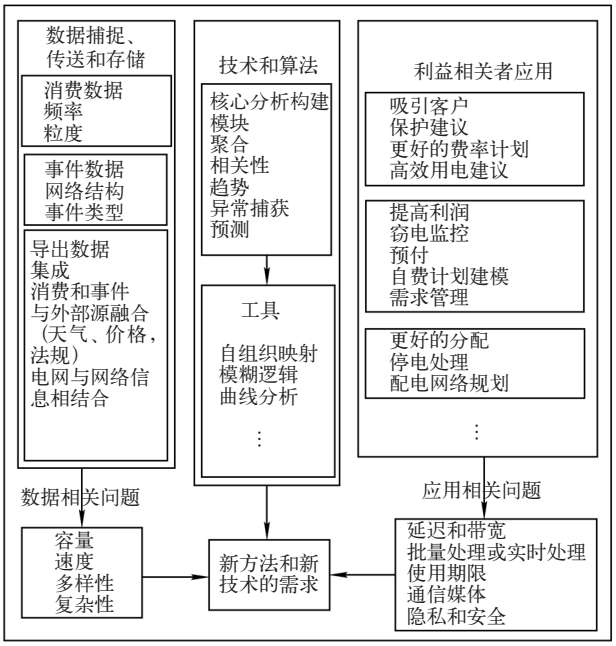

图5 智能计量框架和及其影响

Fig.5 Intelligent measurement framework and its impact

个主要的触发方向。基于AMI能力的智能计量活动，即数据驱动的探究型活动，这些能力包括捕获到更多新的数据，为电网带来更快和更可靠的传输，以及使用新的数据存储以及其他资源等。虽然需要将利益相关者纳入考量，但其并不是这些活动的驱动者。第二种类型是应用驱动的定向活动。与探究型方法相反，该类方法是基于利益相关者的需求直接触发的。与探究型方法相比，该类方法中发起的活动将存在一个已知目标。在数据挖掘和机器学习中，此类活动被称为定向活动，并使用监督式学习方法，例如分类、决策树和人工神经网络等。

3.1 核心分析构建模块

机器学习、数据挖掘和数据方法不但可被单独使用，还以不同的组合用于智能计量。相同的分析结果可以使用不同方法获得。图5中，聚合、相关性、趋势、异常捕获和预测等构建模块是智能计量过程中进行分析的重要基础。

连接到单个变压器的电能表可以被聚合在一起，以识别变压器的负载模式。由智能电能表所支持的另一种聚合是将家庭或企业合并到需

求－响应池内，以实现用电需求的降低。一般情况下，使用时间间隔消耗数据的统计相关分析可以构建算法，利用温度预测对需求飙升的规模进行预测。可以在分析中加入云覆盖量、湿度和时刻信息，以进行更精确的用电高峰预测。通过在时间、空间或其他属性上对齐数据，以生成相关性。此类数据被用于构建分析模型，以测量个体的能源效率。

另外，简单的消费数据趋势线能够帮助消费者将电力消费和家庭活动关联起来。将多个趋势线叠加在一起的能力也很有价值，可以用于对相似的季节和时刻的消费进行横向比较。对于异常事件，通过时间的推移对异常进行分析，可能会发现在通信和测量的基础设施以及配电网中存在的问题，也会捕获到组件退化或运行故障等信息。

3.2 智能计量工具

图5还给出了可以用于智能计量的多种统计技术、机器学习和数据挖掘工具。广泛使用的技术包括自组织映射（SOM）、支持向量机（SVM）、主成分分析（PCA）和模糊逻辑（FL）等。

SOM[13]是一种无监督式学习算法，广泛用于将高维数据向量投影到二维或三维空间。在探究型数据的分析中，SOM最可取的特征是能够总结输入空间，并提供用于解释的可视化结果。这使得对可能的模式和数据结构进行可视化检查，并在随后将其用于聚类和其他技术，以得出可用信息。

SVM以监督式学习与分析数据和识别模式的相关学习算法为基础，主要用于分类和回归分析。基于SVM的分析方法常被用于AMI数据[14]和窃电检测中的设备类型识别。

PCA通过将数据转换为新的坐标系，使得数据的任何投影的最大方差成为第一个主成分，第二大方差成为第二主成分，以此类推。PCA已被用于电力数据聚合[15]、消费分析中的数据约减技术以及网络数据的恶意修改所带来异常情况的检测。

FL是一种推理形式。FL可以在智能电网中创建一个自动化决策制定平台，文献[16]用其改善智能电能表的聚类可靠性，由于可扩展性问题，这一性能改善显得较为重要。

以上是如何使用现有技术的一些例子，除此之外，贝叶斯和隐马尔可夫模型也被用于各种智能计量应用，例如负载分解、电器识别以及供需分析等。未来的应用将带来更广泛的需求，会使得越来越多的方法针对智能计量而量身定制，从而带来更大的利益。

4 利益相关者的应用

4.1 客户概要分析，分割和聚类分析

聚类分析的目的是发现大型数据集中的结构。K-均值算法以及K-均值与人工神经网络等方法的结合是较为流行的聚类方法，并已经被用于负荷曲线分析。文献[17]针对电力客户进行了一项研究，强调了聚类分析在识别消费者群体、电力企业和电力零售商进行有针对性的服务创新方面的优势。还提出将聚类分析纳入电力企业的商业智能化系统中，对过程创新和客户组合管理具有指导意义。文献[18]使用聚类方法，对一个省的大型电力使用负荷曲线进行分析，并对K-均值、模糊C-均值和SOM共3种常用聚类方法进行了比较。

4.2 负荷预测

对于决定短期运营和中期调度来说，准确的预测非常重要，但对于长期规划来说，决策制定者需要对其供电的客户有一定程度的了解。以往文献中提出过很多关于负荷预测的应用，使用了一些统计和机器学习方法。文献[19]针对短期和中期预测，使用了时间序列分析和神经网络，短期预测模型缺乏在广度上的了解，因为其没有处理不同类别的客户信息。文献[20]分析使用变电站的逐时负荷数据进行短时预测，该研究强调了预测和客户分类分析是相互关联的，并提出了一个预测和客户分类分析的统一框架。

4.3 电价智能化

智能电能表支持设置动态的计费体系，通过更好地体现在不同时间的发电成本和供电成本，

提高了电力市场的效率。如果消费者选择了更好体现其用电成本的灵活计费协议，则其可以从中受益。为了确定电价资费，电力零售商需要考虑支付给分销商的服务费用、电力批发成本、零售服务成本以及其他任何法规要求的成本。智能电能表数据支持更深层次的分析，以更好地了解供应和需求动态，使得电力企业能够更好地预测电力需求，实现电价的智能化调节。为了使这个方案具备可操作性，需要对消费进行实时流分析。动态计价的优势在于减少需求、降低成本和增加经济效益。预付也是一种可能的智能计价技术，这样可以与客户更加熟悉，同时还能降低电力企业的信用风险。电力企业可以采用更多的选择性方法，其中由客户投票选出新的资费计划，例如动态计价等。

4.4 异常捕获

很多负荷曲线的研究使用了数据挖掘、模式识别以及相关统计方法，以从客户负荷记录中得到有用信息。消费行为的认知是非常重要的，因为其有助于制定费率和市场策略，并支持定制计费。从客户的负荷曲线中收集到的信息，还可用于识别、检测违规或异常行为。

4.5 支持实时操作的智能化计量

AMI有助于得到电力能源使用的实时信息，例如将可再生能源连接到电网、管理停电和快速恢复供电、故障检测以及事故预警等。

对于那些接近实时的关键应用（每隔5 min、15 min、30 min或1 h），例如中压和低压网络上的故障检测和定位，智能电能表有助于确保更快的干预、减少停电时间、监控电能质量以及预测网络情况等。例如，使用智能电能表数据对电压失真进行测量，推导出一个能够改善电压控制的动态模型[21]，以及在电力市场中控制输电阻塞和稳定性。计量数据还可被用于推断处于或接近配电网络的低压端的功率流，以更准确地了解网络的负荷和损耗。这有助于预防过载组件，避免电能质量偏差。

5 结束语

针对智能计量和智能电能表数据分析，从很多不同维度对智能电能表进行了研究，包括智能电能表技术和计量过程以及各方利益相关者等。本文还讨论了当前的智能计量空间，并建立起一个框架，关联了智能电能表数据、利益相关者和根据其需求所创建的应用，以及满足利益相关者需求所需的分析工具和技术。该框架将有助于识别智能计量在当前所受的限制。此外，本文识别了智能电能表分析构建模块，其能够关联用于智能计量的各种工具，并识别主要的分析活动。在未来，智能电网和智能电能表将是电力物联网的重要组成部分。

参考文献

[1] 李立涅，张勇军，陈泽兴，等．智能电网与能源网融合的模式及其发展前景[J]．电力系统自动化，2016，40(11)：1-9．
LI Linie，ZHANG Yongjun，CHEN Zexing，et al．Integration mode of smart grid and energy network and its development prospects[J]．Power System Automation，2016，40 (11)：1-9．

[2] 吴鹏．经济转型背景下能源效率与经济增长互动关系研究[D]．重庆：重庆大学，2015．
WU Peng．Interaction between energy efficiency and economic growth in the context of economic transformation[D]．Chongqing：Chongqing University，2015．

[3] 杨真华．智能电网数据处理与应用研究[D]．长沙：湖南大学，2011．
YANG Zhenhua．Data processing and application research of smart grid[D]．Changsha：Hunan University，2011．

[4] GUNGOR V C，SAHIN D，KOCAK T，et al．Smart grid technologies：communication technologies and standards[J]．IEEE Transactions on Industrial Informatics，2011，7(4)：529-539．

[5] 纪峰，穆小星，田正其，等．智能变电站数字化

电能表MMS通信技术研究与应用[J]．电测与仪表，2014，32(10)：134-141．
JI Feng，MU Xiaoxing，TIAN Zhengqi，et al．Research and application of MMS communication technology for digital watt-hour meter in intelligent substation[J]．Electrical measurement and Instrumentation，2014，32 (10)：134-141．

[6] 张东霞，苗新，刘丽平，等．智能电网大数据技术发展研究[J]．中国电机工程学报，2015，35(1)：2-12．
ZHANG Dongxia，MIAO xin，LIU Liping，et al．Research on the development of large data technology for smart grid[J]．China Journal of Electrical Engineering，2015，35 (1)：2-12．

[7] 刘军，胡泊，闫罡，等．走向成功的美国NIST的目标、定位和策略[J]．中国计量，2014(1)：47-51．
LIU Jun，HU Po，YAN Gang，et al．Goals，positioning and Strategies of NIST in the United States towards success[J]．China Metrology，2014 (1)：47-51．

[8] 美国国家标准技术研究院，等．美国国家标准技术研究院（NIST）智能电网互操作标准框架和技术路线图2.0版[M]．北京：中国电力出版社，2013．

[9] 傅松寅，王让定，姚灵，等．适用于多层住宅楼结构的无线智能水表抄表系统[J]．计算机应用，2017，37(1)：170-174．
FU Songyin，WANG Rangding，YAO Ling，et al．Wireless intelligent meter reading system for multi-storey residential buildings[J]．Computer Application，2017，37 (1)：170-174．

[10] 周恒俊．智能用电高级计量体系及其全景交互策略研究[D]．杭州：浙江大学，2011．
ZHOU Hengjun．Advanced intelligent electricity measurement system and its panoramic interaction strategy[D]．Hangzhou：Zhejiang University，2011．

[11] 杨启京，石俊杰，孟勇亮，等．以厂站为粒度的电网模型中心构建方法[J]．电力系统自动化，2017，41(3)：76-82．
YANG Qijing，SHI Junjie，MENG Yongliang，et al．Coustruction method for power grid model center with particle size of power plant/substation[J]．Automation of Power System，2017，41 (3)：76-82．

[12] GRANELL R，AXON C J，WALLOM D C H，et al．Power-use profile analysis of non-domestic consumers for electricity tariff switching[J]．Energy Efficiency，2016，9(3)：825-841．

[13] 陈晓辉，张银银，付云霞，等．自组织映射节点定位算法中邻域函数的优化方法研究[J]．小型微型计算机系统，2017，38(2)：213-216．
CHEN Xiaohui，ZHANG Yinyin，FU Yunxia，et al．Study on the optimization method of neighborhood function in self-organizing mapping node localization algorithm[J]．Minicomputer System，2017，38 (2)：213-216．

[14] WANG Z，NIU Y．Regional electricity consumption based on least squares support vector machine[C]．International Conference on Machine Vision，International Society for Optics and Photonics，2013：151-158．

[15] LI D，AUNG Z，WILLIAMS J R，et al．Efficient authentication scheme for data aggregation in smart grid with fault tolerance and fault diagnosis[C]．IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies，IEEE Computer Society，2012：1-8．

[16] 李鹏，李存斌，牛利霞．考虑信息风险元不确定性的智能电网调度决策风险传递模型[J]．华北电力大学学报(自然科学版)，2015，42(2)：43-49．
LI Peng，LI Cunbin，NIU Lixia．Risk transfer model for smart grid dispatching decision-making considering uncertainty of information risk element[J]．Journal of North China Electric Power University：Natural Science Edition，2015，42 (2)：43-49．

[17] FLATH C，NICOLAY D，CONTE T，et al．Cluster analysis of smart metering data[J]．Business and Information Systems Engineering，2012，

(下转第71页)

aggregation technology and its applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(6): 159-166.

[8] 孙毅，贾孟杨，陆俊，等. 需求侧管理中面向居民用电的互动化评价模型[J]. 电力系统自动化，2017，41(13)：62-68.
SUN Yi, JIA Mengyang, LU Jun, et al. Interactive evaluation model for residential electricity in demand side management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(13): 62-68.

[9] 丁一，惠红勋，林振智，等. 面向电力需求侧主动响应的商业模式及市场框架设计[J]. 电力系统自动化，2017，41(14)：2-9.
DING Yi, HUI Hongxun, LIN Zhenzhi, et al. Design of business model and market framework oriented to active demand response of power demand side[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(14): 2-9.

[10] 史俊祎，文福拴，崔鹏程，等. 参与需求响应的工业用户智能用电管理[J]. 电力系统自动化，2017，41(14)：45-53.
SHI Junyi, WEN Fushuan, CUI Pengcheng, et al. Intelligent energy management of industrial loads considering participation in demand response program[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(14): 45-53.

作者简介

郑庆荣

郑庆荣（1977－），男，高级工程师，主要研究方向为智能用电技术。

(收稿日期：2018－09－26)EA

(上接第63页)

4(1): 31-39.

[18] ZHANG T, ZHANG G, LU J, et al. A new index and classification approach for load pattern analysis of large electricity customers[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(1): 153-160.

[19] 施羽展，谢开贵，胡博. 基于人工神经网络的电力市场输电阻塞预测模型[J]. 电网技术，2011，35(3)：195-199.
SHI Yuzhan, XIE Kaigui, HU Bo. Transmission congestion prediction model of power market based on artificial neural network[J]. Power Grid Technology, 2011, 35 (3): 195-199.

[20] 张超. 基于时间序列法超短期负荷预测改进方法的研究[D]. 锦州：辽宁工业大学，2015.
ZHANG Chao. Research on the improved method of ultra-short term load forecasting based on time series method[D]. Jinzhou: Liaoning University of Technology, 2015.

[21] MAK S T. Dynamic modeling of the distribution feeder using smart meters data to support feeder VOLT-VAR control[C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE, 2012: 1-7.

作者简介

韩春玲

韩春玲，女，讲师，主要研究方向为计算机应用技术。

(收稿日期：2018－10－16)EA