

# 现代供应链中面向智能电表质量的大数据分析技术研究\*

陈 广<sup>1</sup>, 陈少兵<sup>1</sup>, 李泽坤<sup>2,\*</sup>, 崔晓昱<sup>2</sup>

(1. 国家电网有限公司物资部, 北京 100031;

2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

**摘 要:** 现代供应链逐渐发展, 电网企业电表数据全面采集汇入中台, 数据量激增, 对电表质量研究提出挑战。从电表误差、故障、可靠性、质量评价等方面归纳总结了现阶段电表质量的典型研究范畴, 讨论其侧重点、优缺点及适用性; 分析了大数据技术用于处理电表质量信息的关键技术及应用思路, 提出一种基于大数据技术与典型研究相结合的智能电表质量分析框架, 以便供应链各环节生成数据得以充分应用。

**关键词:** 供应链; 智能电表; 大数据; 质量分析

**中图分类号:** TP274; TM73

**文献标识码:** A

**DOI 编码:** 10. 14016/j. cnki. 1001-9227. 2021. 05. 180

## Research on big data analysis technology for smart meter quality in modern supply chain

CHEN Guang<sup>1</sup>, CHEN Shaobing<sup>1</sup>, LI Zekun<sup>2</sup>, CUI Xiaoyu<sup>2</sup>

(1. Material Department of State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The gradual development of modern supply chain, the comprehensive collection of electricity meter data of power grid enterprises and the integration of data into the middle station, the amount of data is increasing sharply, posing challenges to the quality of electricity meters. The current research methods is summarized of meter quality from the aspects of meter error, failure, reliability, and quality evaluation, discusses its emphasis, advantages, disadvantages and applicability; the key technology and application ideas of big data technology is analyzed for processing meter quality information, a smart meter quality analysis framework is proposed based on the combination of big data technology and typical research, so that the data generated by each link of the supply chain can be fully applied.

**Key words:** supply chain; smart meter; big data; quality analysis

### 0 引言

智能电表是电能信息采集系统中的基础组成部分, 在电网中起到了实时采样、精确计量、信息反馈等作用。随着我国大电网与智能用电建设进程的不断推进, 电能信息全采集系统正在不断完善, 对电表的质量和性能提出了更高的要求, 电表质量好坏直接关系到用户侧供电可靠性与安全性, 影响整个电网的经济运行。因此, 国内外学者对电表质量进行了多样化研究, 并提出了多种评价方法, 旨在降低电表的故障率, 提高电表寿命, 找出电表生产质量提升潜力。

智能电表质量研究很多, 研究方法各有优点, 评价体系也相对完善, 本文将大多数研究归为四类: 一是以研究电表误差为目的的误差影响因素分析, 二是以探索电表故障形成机理为目的的故障分析, 三是以预测电表

元器件和整机寿命为目的的可靠性评估, 四是利用层次模型针对电表不同阶段质量指标建立的全生命周期评价体系。

随着信息化时代到来, 数据信息量日益膨胀, 现阶段部分研究方法在面对数量庞大、内容杂乱的数据时显得乏力, 取而代之的是大数据分析技术。目前, 大数据技术在商业营销、医学、金融等诸多领域得到较多应用, 在电气领域的应用刚刚崭露头角。因此, 将在分析、总结现阶段典型电表质量研究的基础上, 提出大数据技术在电表的质量研究中的应用思路。

### 1 智能电表质量研究典型分类范畴

#### 1.1 误差影响因素分析方面

误差分析以研究误差原因并缩小误差范围为目的, 主要讨论了包括负载电压电流、环境温湿度、线路谐波等的外在因素和包括电表内部结构、软硬件质量缺陷等的内在因素, 以及人员安装、使用不规范等人为因素对计量性能的影响。文献[1]利用BP神经网络, 根据电表运行中的电压、电流、温度和功率因数等影响量, 对多维影响下运行电表计量性能进行评估, 具备较好的准确性和稳定性。文献[2]通过实验分析了电表温升影响因

收稿日期: 2020-09-16

\* 基金项目: 国家电网管理咨询项目(No. SCTYHT/19-WT-245)

作者简介: 陈广(1979-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力物资管理、供应链数据管理。

\* 通讯作者: 李泽坤(1994-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大数据应用、电力系统自动化。

素、谐波对计量性能的影响、功耗影响因素,并提出了提高计量准确性的措施。文献[3-6]指出了影响计量误差的硬件因素和人为因素,并对硬件提出改进措施,对人员提出严格操作要求。文献[7]从提升智能电表运行误差检定算法的计算准确度入手,提出通过数据预处理和改进正则化方法解决模型病态性。文献[8]分析了电压、电流和温度变化、电压不对称、谐波等因素对电表计量误差的影响,探讨了现场校验电表计量误差的具体措施。

## 1.2 故障分析方面

故障分析以找出电表故障原因、研究故障影响、排除故障点为目的。文献[9]基于 FMECA 相关理论与风险优先数方法,对智能电能表的关键元器件开展风险评估工作。文献[10]对单相电表故障表现形式、故障成因、故障影响等进行分析,总结归类了电表的故障模式并提出了增加电表可靠性、降低故障率的措施。文献[11]介绍了故障电表的数据统计方法,利用功能统计的直方图法对电表常见的故障进行统计,并分析了故障原因。文献[12]在进行故障统计与电表结构分析的基础上,对电表黑屏的原因分类,定位电表故障单元部位,建立电表黑屏故障树。文献[13-18]对归纳总结了电表的电池、通信、烧表、费控、显示、超差、继电器等故障类型,从电表内部软硬件结构及质量出发,提出元件配置要求和质量改进措施。文献[19]对电能表故障类型与故障影响因素进行关联性分析,针对电能表型号改进与故障预警提出建议。文献[20]针对采集的电表历史故障数据信息,利用数据统计等多种大数据分析技术,提出了一种多分类算法融合的智能电表故障类型预测模型。

## 1.3 可靠性评估方面

可靠性评估以评价电表元器件和整机的可靠寿命、预测电表可靠程度、预防投入劣质电表导致故障为目的。文献[21]文献[10]采用 GJB/Z 299C 标准对智能电能表中的关键元器件进行了可靠性预计。文献[22]求取了在多参数的伪寿命基础上的加速应力,将可靠性功能参数建立集成加速度模型,建立了全面的可靠性功能评估体系,提出了评估智能电表的可靠性和使用寿命方法。文献[23]基于到期电能表抽检数据,构建了母函数退化模型和温湿综合加速模型,推导出高应力下产品的伪寿命分布,对可靠性进行评估。文献[24-25]利用元器件应力法对电表的元器件的应力分析,构建了电表的可靠性评估模型。文献[26]分析了电表可靠性评估技术的发展现状及存在的问题,讨论了可靠性预计与可靠性加速试验两类可靠性评估技术的特点和局限性,提出了一种基于元器件应力法的可靠性预计与基于加速寿命试验和加速退化试验相结合的可靠性评估方法。文献[27]结合电能表自身的技术特点及可靠性评估技术要求,提出了加速寿命试验和元器件应力法两种预测方法,对电子式电能表可靠性进行预测。文献[28]和[29]分别对运行中的电表提出可靠性预计模型、对电表运行状态建立评估体系。文献[30]将电压影响、电流影响、频率影响、温度影响列入智能电表计量可信性指标,并建立了可信性评估模型,提出一种基于高斯正态分布理

论分析电表误差分布概率的电表计量准确性和可信性的评价方法。

## 1.4 全生命周期质量评价体系方面

全生命周期质量评价是根据电表不同阶段设定指标,构建指标评价体系,以跟踪单个电表全生命周期的性能表现或者用于单位批次的电表整体质量评估为目的。文献[31]根据首检、抽检、型式试验、质量跟踪、运行、厂家质量等统计数据,建立电表的层次分析模型,并对两批电表做了质量对比评价。文献[32]利用 AHP 层次分析法对电表软件建立模型,对计量、通信、冻结及事件记录、负荷曲线、可靠性等功能指标的重要度进行了分析对比,根据对比结果设定指标权重,进而评价电表软件整体的质量。文献[33-36]利用缺陷扣分法与三角模糊多层次分析法结合的方法,对电表全生命周期的监造、供货前、到货后、运行等阶段划分指标,建立了多层次、多阶段的指标体系及质量评价模型。文献[37]根据全生命周期不同阶段的指标体系以及各阶段提炼的数据,建立了包含智能电表设计、型式试验、生产、到货前全性能试验、到货后抽检、到货后全检、运行、报废鉴定整个生命周期的质量评价模型,提出了针对单个电表、单位批次、不同类型电表、供应商等的多目标、多层次、多角度质量评价方法。

## 1.5 智能电表典型研究对比

智能电表质量研究需要根据数据及信息类型进行典型的方法选取,方法的优缺点及适用情况对比如表 1 所示。

表 1 现阶段典型研究侧重及适用性对比

| 研究分类范畴      | 目的                    | 优缺点  | 适用环境                     |
|-------------|-----------------------|--|--------------------------|
| 误差影响因素分析方面  | 找出影响计量性能的因素,提高准确性。    | 优点: 针对性强,可定位到细微的影响因素及计量模块缺陷。<br>缺点: 对误差信息的描述要求较高,对电表流水数据的处理能力较弱。 | 适用于实物试验或有详细实例描述的报告中。     |
| 故障分析方面      | 找出故障原因、研究故障影响,提出防范措施。 | 优点: 针对性强,可定位到具体故障点。<br>缺点: 只能处理线下信息; 对故障信息的描述要求高,对流水数据的处理能力较弱。   | 适用于电表故障现场或有详细故障描述报告中的分析。 |
| 可靠性评估方面     | 预测元器件或整机的可靠程度。        | 优点: 具有事先分析能力,有防作用。<br>缺点: 很难考虑现场运行环境因素,准确性欠缺。                    | 适用于有详细的电表元件参数的情况。        |
| 全生命周期质量评价方面 | 跟踪不同环节的质量缺陷。          | 优点: 具备在线分析和线下分析的能力。<br>缺点: 对数据信息的全面性要求较高,评价指标越多,要求的数据种类及数据量就越大。  | 适用于流水型数据分析,多时段信息的统计分析。   |

2 智能电表信息采集及数据特点

2.1 多源异构型数据特征

目前,智能电表运行状态及故障信息主要集中在用户用电信息采集系统、计量生产调度平台、营销业务应用系统中,但不同的系统所侧重采集的智能电表数据存在特征、形式、内容等多方面的差异性。智能电表信息采集系统构成及各平台的数据类型如图 1 所示。



图 1 智能电表信息采集系统

2.2 智能电表质量研究面临挑战

智能电表质量研究范畴所需的数据及信息类型各不相同,误差及故障分析需要有电表试验或者详细案例支撑,可靠性评估需要获得详细的电表元件参数,全生命周期质量评价需要不同阶段的数据信息。

随着电网规模及用电采集系统的规模的不断扩大,投入使用的电表数量不断增多且数量庞大,电表的生产、检定、运行、维护、检修、报废等数据呈现数据规模大、种类多、采集速度快、价值密度低的特点,满足大数据的 4V( Volume、Variety、Velocity、Value) 特点,在这些庞大的信息中包含着日志、参数、运行状态、流水记录等多种类型的数据。

面对数据量极大且内容杂乱的电表信息,如何将这此数据有效融合,进行全面、多维度多角度的质量研究,是亟待探讨的问题。大数据技术能够融合多方数据源,对不同数据特征的信息进行聚类、关联等多维度的分析,能有效解决各范畴典型研究面临的数据难题。

3 基于大数据技术的智能电表质量分析

3.1 大数据应用背景与现状

目前大数据技术在电力领域已经得到较为广泛地应用,主要集中在电信数据和电网数据信息的处理方面,如文献[38]在分析电能信息的特点及面临的难题的基础上,利用大数据融合技术与电能信息采集关系,提出了一个电能信息聚合方案。文献[39]阐述了电力大数据的特点和大数据应用的关键技术,概括了大数据技术在电网中的典型应用场景,指出了大数据技术在处理电力大数据的优势。文献[40]通过监测、提取各种负载特征,建立电力负荷模型,对智能电表的采集数据进行分析,得到用电负载的使用情况。文献[41]利用大数据

技术对电表运行状态数据进行处理,构建了电表运行状态分析系统模型。文献[42]论证了博弈论模型下如何利用电表大数据并保护隐私的问题。

以上研究表明,大数据技术在电力领域的应用的可行性,并为海量智能电表数据做质量分析提供了思路与参考。

3.2 大数据关键技术应用

大数据处理的关键技术一般包括:大数据采集、大数据预处理、大数据存储与管理、大数据分析与挖掘、大数据展现与应用,对于电表大数据的处理流程如图 2 所示。



图 2 电表大数据处理流程

对电表大数据的具体处理方法如下:

(1) 大数据采集: 电表大数据信息来源于用户信息采集系统、计量生产调度平台、营销业务应用系统,具体的信息类别如表 2 所示。

表 2 电表大数据来源

| 序号 | 数据来源     | 信息种类  |
|----|----------|---|
| 1  | 用户信息采集系统 | (1) 用户、电表、计量点等档案信息;<br>(2) 负荷、电量、电表示值和终端事件等用电信息;<br>(3) 电表各类异常事件记录。 |
| 2  | 计量生产调度平台 | (1) 电表厂商、批次、检定、到货等信息。   |
| 3  | 营销业务应用系统 | (1) 电表厂商、批次、检定、到货等信息;<br>(2) 计量故障、换表处理信息;<br>(3) 电表轮换、现场校表等信息。      |

(2) 大数据处理: 主要包括辨析、抽取、清洗、整理等过程。在电表大数据中存在很多无关项和错误记录项,经过辨析,抽取出所需要的单一数据以达到快速分析的目的。大数据中存在很多没有价值的数据,例如空值、无效值 nulls,奇异值、干扰值等,这些数据需要经过清洗去噪,最终提炼整理出有效数据。

(3) 大数据存储与管理: 大数据存储与管理要用存储器把采集到的数据存储起来,根据大数据的结构特点建立相应类型的数据库,保证数据可存储、可处理、可靠及有效传输,目前计量生产调度平台使用较多的是 SQL 数据库存储技术。

(4) 大数据分析与挖掘: 大数据分析与挖掘是大数据关键技术的核心,通过借助数据挖掘工具,结合各类数据挖掘算法的优点及适用性,不断改进现有数据挖掘

和机器学习技术,从“多、杂、乱、模糊”的庞大数据中,提取隐含的有价值的信息。通过这个过程,电表的到货情况统计、检定质量评定、全周期质量跟踪、误差故障以及功能异常等信息会被挖出提供给决策者。

(5) 大数据展现: 大数据展现应用主要是将挖掘的隐含信息和知识整理成图、表、评估报告等形式,展现给决策者。经过挖掘的电表质量信息会被提供给厂家、用户、供电部门,确保信息的透明度,也为电表生产链提供潜力提升策略。

### 3.3 智能电表质量数据分析框架

根据大数据技术的在电表数据上的处理应用方法,智能电表质量数据分析模型如图2所示。图2中采用了大数据挖掘方法与现阶段研究相结合的思路,利用了大数据技术在处理复杂海量信息的优势,将数据分类处理,解决了现阶段部分研究方法无法直接应用的难点。同时,考虑到智能电表的复杂特征数据,采用大数据挖掘方法进行分析能够实现现阶段典型电表质量研究在大数据环境下的延伸。最后以宏观统计、误差及故障分析、可靠性评估、在线监测、全周期质量分析等结果展现出来,实现有价值的信息共享。

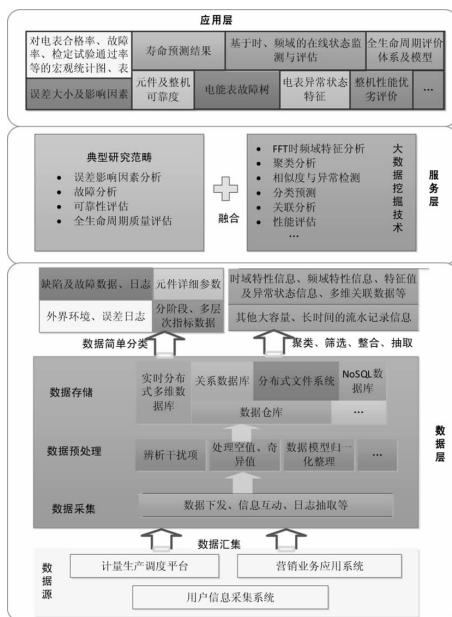


图3 智能电表大数据分析技术框架

## 4 结论

电表质量是保证电能计量的关键因素,国内外学者对电表质量的方法研究颇多,主要聚焦于误差影响因素分析、故障分析、可靠性评估和全生命周期质量评价等方面的研究范畴。在现代供应链大环境下,分析了电表大数据特点,讨论了典型研究范畴的侧重点和适用性,并根据大数据技术在电力领域的应用背景,提出了一种基于大数据技术和智能电表质量典型研究范畴相结合的电表质量分析技术框架,能够实现现阶段电表质量研究在大数据背景下的延伸,实现电表质量多角度、多方面、多层次的分析,为电表质量研究提供完整的、系统性的技术路线。

## 参考文献

- [1] 李贺龙,刘佳,陈伟,等.一种多维影响下运行电表计量性能评估方法[J].电测与仪表,2016,53(8):69-74.
- [2] 冯守超.单相智能电表电气性能评价方法的研究[D].河北:华北电力大学(保定),2013.
- [3] 陆敏.标准电表影响周检合格率的原因及对策[J].内蒙古电业,2016,26(8):45-45.
- [4] 高东洋,曾凡超,于仁宗,等.电子式交流电表在计量检定中的误差分析[J].中外企业家,2016,(6):.
- [5] 翟杰,翟艳军.浅析影响智能电表采集质量因素及改进措施[J].电子制作,2015,(9):12-15.
- [6] 黄劲.智能电表误差异常情况分析及防范措施[J].科技与创新,2016,(2):149-149.
- [7] 陈昊,乔亚男,刘婧,等.考虑模型病态性的智能电表运行误差分析方法[J].电力建设,2020,41(2):94-100.
- [8] 侯忠海.电表计量误差影响因素的分析[J].科技与创新,2016,(8):80-80.
- [9] 胡珊珊,王保帅,尹家悦,等.基于FMECA的智能电表表关键元器件风险评估[J/OL].电测与仪表:1-7[2020-09-15].
- [10] 杨慧.单相智能电表故障模式及影响[J].大科技,2016,(13):27-30.
- [11] 张鹏.故障电表数据统计与分析[J].华北电力技术,2011,(4):47-48.
- [12] 罗冉冉,龙磊,张垠,等.基于故障树理论的单相智能电表黑屏故障分析方法研究[J].电测与仪表,2014,(23):6-10.
- [13] 蒋辉.单相智能电表运行质量分析[J].仪器仪表用户,2015,(6):30-32.
- [14] 江岚.电子式电表的可靠性及改善措施研究[D].北京:华北电力大学,2014.
- [15] 计晓怡.智能电表常见故障的研究和分析[D].北京:华北电力大学,2012.
- [16] 宁芙蓉.单相智能电表的影响因素及故障分析[J].中国市场,2016,(6):69-69.
- [17] 巩大江.探究智能电表常见故障的研究和分析[J].山东工业技术,2016,(11):32-35.
- [18] 张玉巧,贾玉玲.智能电表常见故障处理措施研究[J].低碳世界,2016,(1):22-23.
- [19] 朱逸群,杨霖,曹国瑞,等.基于自适应FP\_Growth算法的电表故障分析[J].科学技术与工程,2019,19(28):172-178.
- [20] 陈叶,韩彤,魏龄,等.基于多分类融合模型的智能电表故障预测[J].电测与仪表,2020,(9):1-9.
- [21] 李蕊,姜慧竹,韩柳,等.基于GJB/Z 299C的智能电表表关键元器件可靠性预计[J].电测与仪表,2019,56(4):147-152.
- [22] Zhou H, Chang S, Gan L, et al. Reliability and life assessment of smart meter based on pseudo life of multiple parameters[C]// International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering. IEEE, 2012: 169-172.

(下转第188页)

- [2] 刘自华,车向北,刘卫波,等. 基于安全连接网络的远程运维系统方案设计[J]. 自动化技术与应用,2019,38(04):177-180.
- [3] 周小娟. 高压带电作业机器人视觉伺服控制系统[J]. 自动化与仪器仪表,2019,(7):95-97+101.
- [4] 苗宇,邹晓松,袁旭峰,等. 面向中压配电网的电力电子变压器控制策略研究[J]. 电测与仪表,2019,56(12):129-134.
- [5] 袁忠华,袁衡龙. 面向中高压智能配电网的电力电子均衡控制器研究[J]. 科技通报,2018,34(07):104-109.
- [6] 孙利强,耿少博,常风然,等. 促进主动配电网高效运维的虚拟微网分区划分方法研究[J]. 现代电力,2019,36(05):10-16.
- [7] 孙健,袁晓冬,刘建坤,等. 智能配电网无功电压控制系统研究及应用[J]. 电网与清洁能源,2019,35(05):1-9.
- [8] 张冀川,陈蕾,张明宇,等. 配电物联网智能终端的概念及应用[J]. 高电压技术,2019,45(06):1729-1736.
- [9] 杜家兵. 基于 ITIL 的电力信息自动化运维体系研究[J]. 自动化与仪器仪表,2019,(7):178-181.
- [10] 张茂松,池帮秀,李家旺,等. 有源电力滤波器基于准比例谐振的电流协调控制策略研究[J]. 电网技术,2019,43(05):1614-1623.
- [11] 陆凌芝,耿光飞,季玉琦,等. 基于电气距离矩阵特征根分析的主动配电网电压控制分区方法[J]. 电力建设,2018,39(01):83-89.
- [12] 杜家兵,陈衍鹏,梁满发. 基于分布式实时调度策略的智能电网控制系统的设计与实现[J]. 电子设计工程,2018,26(07):119-122+127.
- [13] 杨振铨,项基,李艳君. 配合主网调度的配电网分布式电源主动控制策略[J]. 中国电机工程学报,2019,39(11):3176-3186.
- [14] 张瑞东,邓卫,张学,等. 面向不间断供电的多端交直流混合配电网控制策略[J]. 电力科学与技术学报,2019,34(02):33-39.
- [15] 涂春鸣,黄红,兰征,等. 微电网中电力电子变压器与储能的协调控制策略[J]. 电工技术学报,2019,34(12):2627-2636.

(上接第183页)

- [23] 于海波,李贺龙,何娇兰. 基于加速退化试验的智能电表服役抽检试验和剩余寿命预测方法[J]. 电测与仪表,2019,56(17).
- [24] 严峻. 智能电表器件可靠性的评价方法研究[J]. 电子技术与软件工程,2014,(7):129-129.
- [25] 袁金灿,马进,王思彤,等. 智能电表可靠性预计技术[J]. 电力自动化设备,2013,33(07):161-166.
- [26] 罗冉冉,左嘉,田成明,等. 电子式电表的可靠性评估方法研究[J]. 电测与仪表,2013,(S1):1-6.
- [27] 张俊玮. 电子式电能表可靠性预测方法的研究[J]. 电力大数据,2018,021(001):71-74.
- [28] 范小飞,王波,于浩,等. 电子式电表可靠性分析及质量保障体系的建立[J]. 电测与仪表,2015,(18):118-122.
- [29] Cheng Y, Yang H, Xiao J, et al. Running state evaluation of electric energy meter [C] // IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications. 2014: 43-46.
- [30] 黄友朋,赵山,陈红芳,等. 智能电表计量可信性分析方法研究[J]. 电测与仪表,2015,52(S1):12-15.
- [31] 戴敬文,李俊英,陈叶萍. 基于 AHP 的电表质量分析与应用选型决策研究[J]. 中国计量,2008,35(10):29-31.
- [32] 纪静,侯兴哲,陈红芳,等. 基于层次分析法的智能电表软件质量评价[J]. 电测与仪表,2015,52(08):5-9.
- [33] 孟明,舒展. 基于缺陷扣分法和三角模糊数层次分析法的智能电表全生命周期质量评价[J]. 电力系统保护与控制,2012,(22):88-93.
- [34] 姚明哲,李鹏程,彭道刚,等. 智能电表全生命周期质量评价研究及系统设计[J]. 贵州电力技术,2015,(10):5-9.
- [35] 郭丽娟. 智能电表全生命周期质量评价方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2014.
- [36] 舒展,王思彤,贾超. 智能电表基于缺陷扣分法和三角模糊层次分析法的综合评价的建立[J]. 华北电力技术,2012,(8):26-29.
- [37] 巨汉基,袁瑞铭,丁恒春,等. 智能电表全生命周期质量评价方法研究[J]. 电测与仪表,2015,52(S1):23-25.
- [38] 陈俐冰,王颖,袁安庆. 大数据信息聚合技术在电能信息采集中的应用[J]. 电气应用,2015,(S2):41-43.
- [39] Zhang P, Yang H, Xu Y. Power big data and its application scenarios in power grid [J]. Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 2014, 34: 85-92.
- [40] Barker S, Kalra S, Irwin D, et al. Empirical Characterization, Modeling, and Analysis of Smart Meter Data [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(32):1312-1327.
- [41] 常青,严小文,陶晓峰,等. 基于大数据技术的智能电表运行状态分析系统研究[J]. 自动化与仪器仪表,2015,(12):37-40.
- [42] Yassine A, Nazari Shirehjini A A, Shirmohammadi S. Smart Meters Big Data: Game Theoretic Model for Fair Data Sharing in Deregulated Smart Grids [J]. Access IEEE, 2015, 3: 2743-2754.