

# Research on Flexible Detection Technology of Power Equipment Based on Internet of Things

Chuanhui Li<sup>1</sup>, Yanning Ma<sup>1</sup>, Kan Xu<sup>2</sup>, Li Huang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Henan Pinggao General Electric Co., Pingdingshan Henan

<sup>2</sup>State Grid Shanghai Electric Power Company Electric Power Research Institute, Shanghai

<sup>3</sup>State Grid Shanghai Electric Power Company Material Company, Shanghai

Email: irenesea@126.com

Received: May 4<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 19<sup>th</sup>, 2020; published: May 26<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Virtual instrument is a powerful tool to solve the problem of flexible detection of power equipment. Based on the research of flexible detection technology with virtual instrument technology as the core, this paper proposes a comprehensive flexible detection platform with intelligent perception, flexible detection and data management integration based on the Internet of things. It not only uses virtual instrument to replace the traditional testing hardware, but also optimizes the flexible testing system from the whole system, including the timely feedback of data processing, data analysis and analysis results. RFID technology is applied to associate the detection object ID with data collection, data storage and data processing. Compared with the traditional detection system, the power equipment flexible detection system based on the Internet of things can realize remote online detection, output detection report quickly, save a lot of time, facilitate data query, and realize data integration and sharing.

## Keywords

Internet of Things, Virtual Instrument, Flexible Detection, Data Management

---

# 基于物联网的电力设备柔性检测技术研究

李传辉<sup>1</sup>, 马彦宁<sup>1</sup>, 许侃<sup>2</sup>, 黄丽<sup>3</sup>

<sup>1</sup>河南平高通用电气有限公司, 河南 平顶山

<sup>2</sup>国网上海市电力公司电力科学研究院, 上海

<sup>3</sup>国网上海市电力公司物资公司, 上海

Email: irenesea@126.com

收稿日期: 2020年5月4日; 录用日期: 2020年5月19日; 发布日期: 2020年5月26日

## 摘要

虚拟仪器是解决电力设备柔性检测的有力工具。本文在研究以虚拟仪器技术为核心的柔性检测技术的基础上, 提出基于物联网的具有智能感知、柔性检测、数据管理一体化的综合柔性检测平台。不仅应用虚拟仪器替代传统检测硬件, 而且从整体系统上去优化柔性检测系统, 包括对于数据处理、数据分析、分析结果的及时反馈。应用RFID技术, 将检测对象ID与数据采集、数据存储、数据处理进行关联。基于物联网的电力设备柔性检测系统相比传统检测系统可以实现远程在线检测, 快速输出检测报告, 节省大量时间, 方便数据查询, 实现数据集成和共享。

## 关键词

物联网, 虚拟仪器, 柔性检测, 数据管理

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着国网配电自动化的建设, 确保电力设备安全、稳定、可靠运行, 国网在“关于做好‘十三五’配电自动化建设应用工作的通知”中要求配电终端供货前抽检及供货后全检。目前电力设备种类繁多, 电压等级和试验项目覆盖面广, 另外还需兼容不同生产厂家、不同制造工艺、不同规格型号和不同重量尺寸等各种差异, 测试多品类多规格电力设备物资。但是现有人工检测的工作模式, 总体效率低下, 检测能力已经满足不了数量众多的故障指示器检测需求, 而柔性检测技术具有适用性, 灵活性, 扩展性三个特性[1]。它能够满足多种测试环境要求, 提供多种测试性能, 并可以根据需求的变化, 重构测试系统的功能以满足测试要求, 而且还能伴随相关技术的发展, 使原有系统的能力得到扩展, 保证应用系统的先进性, 实现测试能力的不断提升。

柔性测试技术构建的自动测试系统能够很好地解决现有物资检测手段存在的流程复杂、灵活性差、扩展性差、升级困难等问题现状, 很好地满足物资抽检环节中检测应用的各项目标[2]。目前基于虚拟仪器技术的柔性检测系统解决了检测仪器的总线技术、仪器互换技术、可重配置技术等传统硬件检测仪器的的问题。本文在研究以虚拟仪器技术为核心的柔性检测技术的基础上, 提出基于物联网的具有智能感知、柔性检测、数据管理一体化的综合柔性检测平台。不仅应用虚拟仪器替代传统检测硬件, 而且从整体系统上去优化柔性检测系统, 包括对于数据处理、数据分析、分析结果的及时反馈。应用 RFID 技术, 将检测对象实物 ID 与数据采集、数据存储、数据处理进行关联。广泛应用具有计算能力的智能传感器, 在采集数据的同时具有实时处理数据的能力, 及时将问题反馈给用户。

## 2. 电力设备检测现状

目前国网公司电力设备检测存在以下问题:

#### 1) 物资质量检测能力水平有待提升。

电力设备种类多,电压等级和试验项目覆盖面广,另外还需兼容不同生产厂家、不同制造工艺、不同规格型号和不同重量尺寸等各种差异,公司抽检物资数量逐年增加,无法满足“抽检百分百”的数量要求。

#### 2) 物资质量检测效率低耗时较长。

现有电气试验设备集成度较低,设备功能较为单一,单台试验设备只能开展特定的试验项目,试验过程中需多次人工手动更换试验设备、变更接线等工作,无法实现多个检测项目的依次自动检测,严重影响了试验检测效率。同时由于电力设备体积较大、质量较重,当完成某项试验需要更换位置进行下一项试验时,试品的转场需要多人配合,采用行吊或叉车才能将试品放置到位,试品转场耗时较长,在降低效率的同时还极大的增加了高空作业、人员触电、试验设备损坏等安全隐患。

#### 3) 物资质量检测报告完成周期较长。

现有电力设备质量检测模式下,试验结果的记录、分析、查询以及试验报告的编制均需人工手动完成,无法实现试验数据的自动采集、分析、查询、以及试验报告的自动生成等,在耗费大量人力和时间的同时还提高了报告出错几率。

#### 4) 电力设备维护检修水平需要提升,由事后检修、计划检修,向状态检修提升。

电力设备的维护检修主要经历了事后检修、计划检修及状态检修。建立一种预测性检修策略势在必行。状态检修就是电力运行管理单位根据电力设备实际运行工况、巡检历史记录以及设备出厂状况等基本信息,对电力设备进行运行状态进行综合评估以及风险预测评估,以评估结果为依据,制定合理有效的设备检修计划,达到确保设备可靠运行以及降低维修成本的一种设备维修方法[3]。

### 3. 基于物联网的柔性检测技术及系统构建

#### 3.1. 柔性检测技术研究现状

柔性测试技术是多种技术的集大成者,偏重于满足不同生产应用的需求。基于柔性测试技术的传感器测试系统集中体现了结构模块化、电气接口标准化及软件组件化的设计思想,并把机电一体化技术、虚拟仪器技术、软件技术等多种技术有机融合,使测试技术的灵活性、适应性、可扩展性三大优点得到充分体现[4]。

随着技术的不断发展,检测系统经历了三个阶段的不断演变和发展。1) 专用测试系统,其测试能力是固定的,当被测设备变化导致测试需求变化时,只能再新建一个专用测试系统来适应,其费用将成倍增加。2) 通用测试系统,为了实现其通用性,会不管实际应用是否需要而将尽可能多的功能包含在系统之中而造成大量的功能冗余,虽然随着并行测试系统的发展,测试资源利用率得到了提高,但是并行测试改造并没有改变通用测试系统固有的缺点,而且并行测试系统的运行机制复杂,测试软件需要全部重新编制,系统成本很高。3) 柔性检测系统,它综合了专用测试系统和通用测试系统二者的优点,又克服了它们的不足之处。柔性检测系统融合了专用测试系统和通用测试系统中存在的测试能力和测试效率之间的矛盾,既具有专用测试系统的特性,又具有通用测试系统的特性。

1986年,美国国家仪器公司NI(National Instruments)提出的虚拟测量仪器(VI)概念,引发了传统仪器领域的一场重大变革,使得计算机和网络技术得以长驱直入仪器领域,和仪器技术结合起来,从而开创了“软件即是仪器”的先河。虚拟仪器的产生极大地推动柔性检测系统发展,传统仪器是硬件作为仪器核心;虚拟仪器是软件作为仪器核心,虚拟仪器用编程+电脑+采集信号的装置。国内方面,柔性测试是于2008年提出的。目前,柔性测试技术已经在航空航天、汽车、船舶、电子、电力等领域有了初步的应用,并取得了较好的效果。LabVIEW是美国国家仪器公司(National Instruments)推出的图形化软件编程平台,它是一种基于图形的程序设计语言G语言构成的,它可用来进行数据采集和控制、数据分析和数据表达。它是一种结构化解释型开发平台。

### 3.2. 基于物联网的柔性检测系统架构

虚拟仪器技术解决了检测仪器的总线技术、仪器互换技术、可重配置技术等传统硬件检测仪器的问題，使柔性检测技术有了大幅提升。随着物联网、大数据、人工智能、传感器等技术的发展，时代需要基于物联网的新一代智能柔性检测技术。本文提出的基于物联网的柔性检测系统具有以下特点：

- 1) 在应用虚拟仪器技术的基础上，将柔性检测系统作为一个整体系统来考虑，即建设基于物联网的智能感知、柔性检测、数据管理一体化的综合柔性检测平台。
- 2) 应用 RFID 技术，将检测对象 ID 与数据采集、数据存储、数据处理进行关联。
- 3) 在采集数据的同时具有实时处理数据的能力，及时将问题反馈给用户。
- 4) 广泛应用具有计算能力的智能传感器，设置问题点以后，智能传感器能在本地进行数据分析处理，然后将问题数据上传到服务器。

基于物联网的柔性检测系统架构由四层组成：智能传感器层、网络通信层、虚拟仪器和平台层/应用层。其架构如图 1 所示。

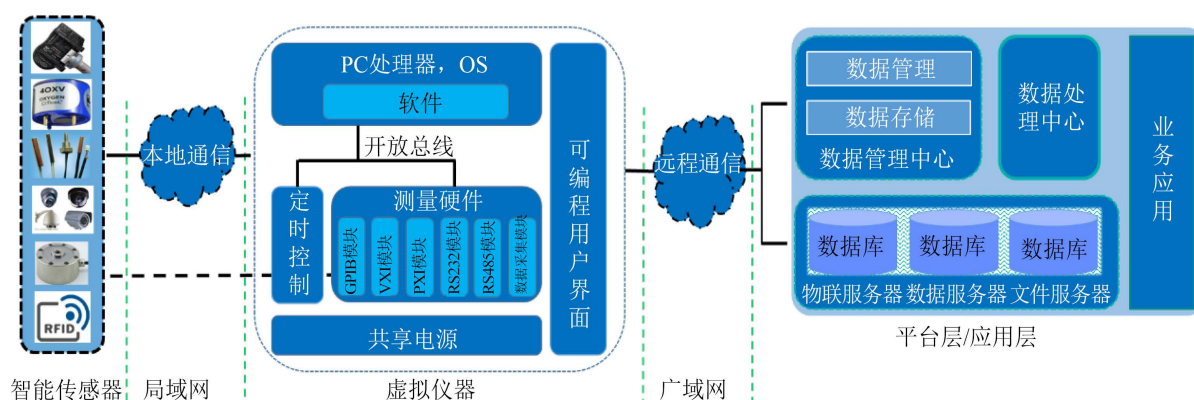


Figure 1. Architecture of flexible detection system based on Internet of things  
图 1. 基于物联网的柔性检测系统架构

智能感知层：智能摄像头、RFID、温度传感器、湿度传感器、拉力/压力传感器、气体传感器、应变传感器、位移传感器等等。

网络通信层：局域网络层：Intranet、WiFi、蓝牙；广域网络层：Internet、卫星网、3G/4G/5G 网。

虚拟仪器层：虚拟仪器系统可以包含所有的可编程的测试仪器，其中最优秀的仪器硬件平台是 VXI 和 PXI。虚拟仪器具有智能化、多样化、模块化、网络化等优点，且开放性好，可扩展性强，购置、维护、升级成本低。

软件开发是 LabVIEW，是一种图形化的编程语言的开发环境，它被广泛地应用于工业界和研究实验室，被视为一个标准的数据采集和仪器控制软件。LabVIEW 集成了满足 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据采集卡通讯的全部功能。虚拟仪器结构如图 2 所示。

平台层/应用层：包括主要物联服务器、数据服务器和文件服务器，用于检测数据的数据存储、数据管理、数据处理，以及业务数据应用。

## 4. 柔性检测技术在变压器在线检测的应用

鉴于虚拟仪器的数据管理能力较弱，我们开发了基于物联网的柔性检测数据管理系统，主要用于控制综合检测装置单元和辅助设备的协调工作，可实现试验过程中的转运系统调度、试验过程监控、试验

数据在线监测、试验结果自动分析、试验报告自动出具等功能。系统主要模块：用户管理模块、试验检测模块、数据处理模块、业务应用模块等。如图 3 所示。

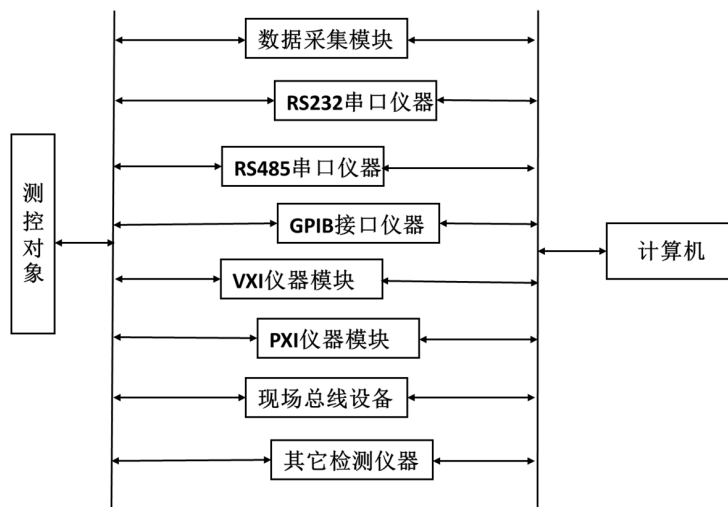


Figure 2. Structure of virtual instrument  
图 2. 虚拟仪器结构

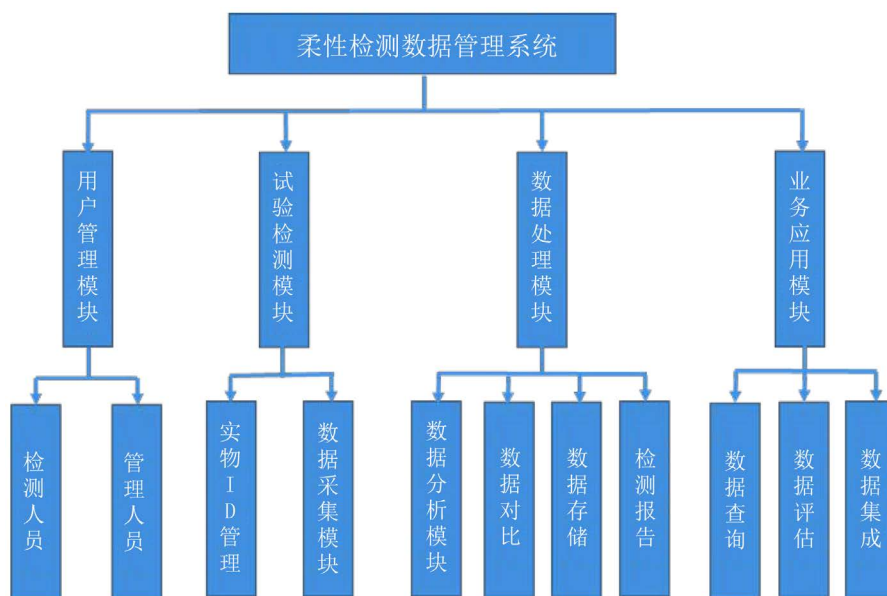


Figure 3. Flexible test data management system  
图 3. 柔性检测数据管理系统

其中，试验检测模块包括实物 ID 管理和数据采集模块。实物 ID 为电网资产统一身份编码，实物 ID 编码遵循统一的编码规则，由公司代码、系统生产识别码、流水号、校验码构成，是推进资产全寿命周期全阶段应用的关键环节，在实物 ID 实际应用阶段，可根据资产不同的物理特性、安装环节等因素，实物 ID 使用二维码作为载体[5]。数据采集模块主要通过虚拟仪器连接温度、压力、电压、电流等智能传感器进行数据采集和存储。

数据处理模块包括：数据分析模块、数据对比、数据存储和检测报告。业务应用模块包括：数据查

询、数据评估和数据集成。每一座变压器都有唯一实物 ID 码，通过 RFID 扫描获取 ID，检测数据与变压器 ID 自动绑定并保存于数据库中。通过虚拟仪器实现智能试验流程控制、智能切换线、智能数据处理、智能数据上传、智能报告生成的所有功能。检测人员通过控制界面设置检测参数阈值范围，一旦数值超过阈值则报警，并自动生成可视化图形发送给问题处理中心。检测人员通过操作“控制单元”，可一键式完成检测任务单的全部检测项目，检测完成后自动记录并上传数据。常规检测项目只需一次接线，缩短检测时间，减少人力成本，提高检测效率，同时避免重复接线可能导致的错误，提高安全性。系统自动生成的统一、全面、明细的数据检测报告，细化了工作流程，使得抽样、监督、收样、检测人员能够从以“数据”说话，从而使物资质量抽检工作更加规范高效。

对于最基本的变压器智能组件，国网公司在《高压设备智能化技术导则》中关于变压器智能测量单元包括温度、分接开关温度等项目。智能检测单元包括局部放电、油中溶解气体、光线测温、铁心接地电流等项目。当前变压器检测项目主要包括：油中溶解气体分析在线检测、铁芯接地电流测试、套管介损及电容量测试等。

油浸式电力变压器是最重要的设备之一，事故率较高、故障影响较大对电网可靠性有较大影响。油浸式电力变压器也是结构最复杂、故障原因最复杂的电网设备。油浸式电力变压器在运行中有不少需要测量的参量：如油温、油位、分接位置。也有需要控制的部件：如冷却系统、有载调压系统。下图是油浸式电力变压器传感器智能组件部署位置，如图 4 所示。

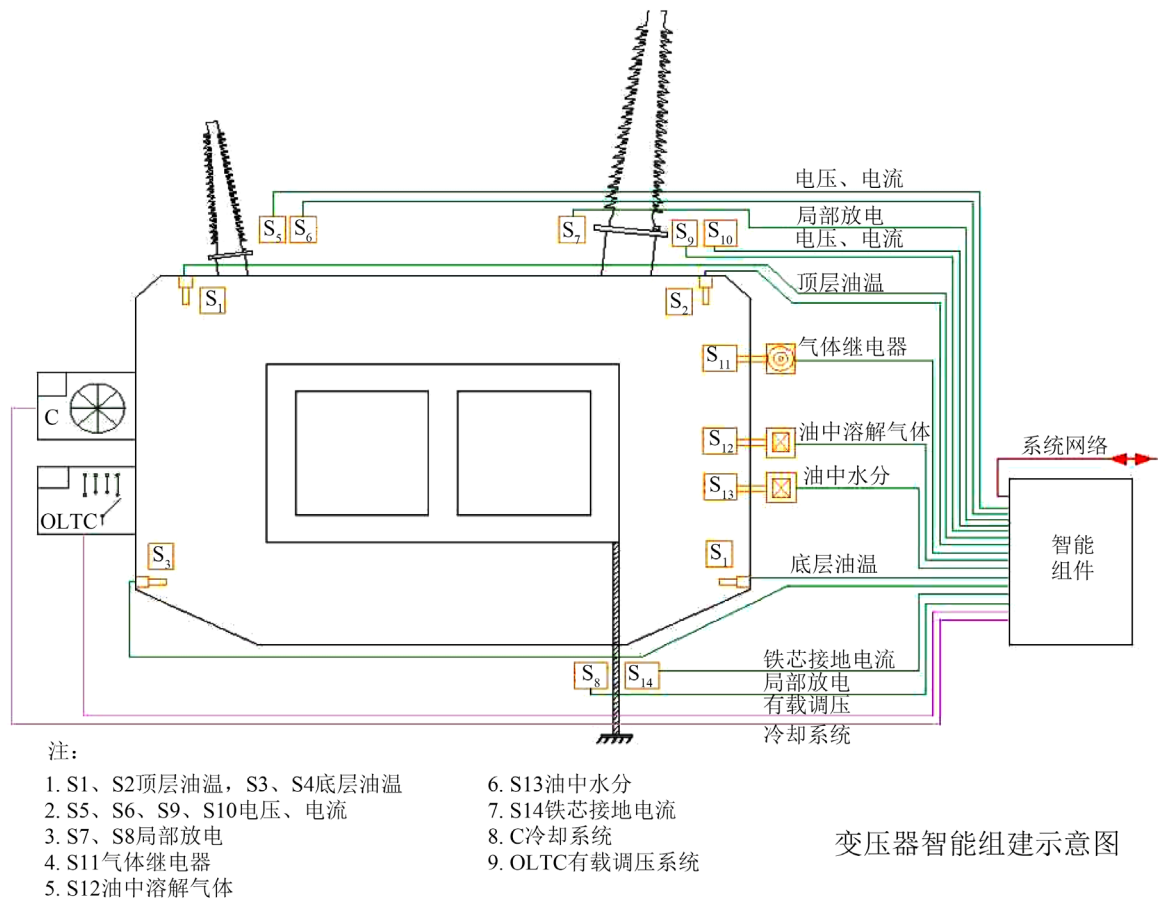


Figure 4. Schematic diagram of transformer sensor intelligent component

图 4. 变压器传感器智能组件示意图

柔性检测系统通过美国 NI 公司 LabView 开发虚拟仪器, 集成上述所有智能传感器。柔性检测系统可根据试验品特点与试验项目的差异, 统筹优化试验流程, 迅速调节检测功能, 提高物资检测效率 [6]。对油浸式电力变压器进行检测, 将柔性检测系统与传统检测模式检测效率进行对比, 测试结果, 见表 1。

**Table 1.** Comparison of detection efficiency between flexible detection system and traditional detection mode  
**表 1.** 柔性检测系统与传统检测模式检测效率对比

检测项目	传统检测	柔性检测系统
	时间(分钟)	时间(分钟)
检测设备搬运安装	110	10
接线	120	30
电压检测	30	5
电流检测	30	5
局部放电检测	40	40
油中溶解气体检测	25	5
油中水分检测	20	5
顶层油温检测	20	5
底层油温检测	20	5
铁芯接地电流检测	10	5
冷却系统检测	120	120
检测数据记录	60	3
检测数据录入数据库	120	5
出具检测报告	30	5
完成所有项目	755	248

将上面测试结果进行对比, 显然基于物联网的电力设备柔性检测系统比传统检测系统可以节省大量时间。另外, 柔性检测系统可以实现远程在线检测, 快速输出检测报告, 方便数据查询; 同时通过应用实物 ID 和 RFID 技术, 将检测数据与产品 ID 编码绑定, 从而实现检测数据与其它信息系统进行集成和共享, 例如, 与采购系统中的供应商评价管理进行数据共享。

## 5. 结束语

本文提出基于物联网的具有智能感知、柔性检测、数据管理一体化的综合柔性检测平台。应用虚拟仪器实现电力设备柔性检测功能。应用 RFID 技术, 将检测对象 ID 与数据采集、数据存储、数据处理进行关联。广泛应用具有计算能力的智能传感器, 在采集数据的同时具有实时处理数据的能力, 并在油浸式变压器监测中得到较好应用。基于物联网的电力设备柔性检测系统比传统检测系统可以实现远程在线检测, 快速输出检测报告, 节省大量时间, 方便数据查询, 实现数据集成和共享。

## 参考文献

- [1] 窦赛, 陈国顺, 贾彪. 柔性测试技术在复杂装备测试中的应用[J]. 现代电子技术, 2011, 34(9): 141-144.
- [2] 阚宏伟. 基于柔性测试技术的系统设计[J]. 航空制造技术, 2008(9): 54-56.
- [3] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(12): 1-7.

- [4] 阚宏伟. 基于柔性测试技术的系统设计[J]. 航空制造技术, 2008(9): 54-56.
- [5] 沈维捷, 倪浩, 张行建, 肖锋, 董凤娜, 徐旻欣, 王丽珺. 基于物联网技术的抽检封样方法与应用[J]. 计算机科学与应用, 2019, 9(11): 2174-2181.
- [6] 孙鹏, 张卫东, 付刚, 等. 入网设备仓储配送及质量抽检集约化平台关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(11): 75-81.