

## 基于本体和云模型的电能质量信息状态监测平台

陈国伟<sup>1</sup>, 刘景远<sup>1</sup>, 滕海刚<sup>1</sup>, 刘长树<sup>2</sup>, 吴兰旭<sup>2</sup>

(1. 内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010000;

2. 珠海泰坦科技股份有限公司, 广东 珠海 519015)

**摘要:** 提出了一种适用于智能电网的电能质量信息状态监测平台。将本体技术引入到该平台建设中, 建立了电能质量信息状态监测领域的领域本体, 借助该领域本体可以实现电能质量信息的快速检索。建立的电能质量信息状态监测检索引擎可以在领域本体的指导下从电能质量数据库中提取出符合条件的数据集, 再将定制处理后的检索结果返回给用户。平台引入了云模型技术, 基于云模型完成对电能质量信息的诊断, 以实现电能质量信息的状态诊断和实时监测。实例展示介绍了平台的操作界面和具体实现界面, 可见该平台具有一定的工程实用价值。

**关键词:** 电能质量信息; 状态监测; 检索; 本体; 云模型

### Power quality information status monitoring platform based on ontology and cloud model

CHEN Guowei<sup>1</sup>, LIU Jingyuan<sup>1</sup>, TENG Haigang<sup>1</sup>, LIU Changshu<sup>2</sup>, WU Lanxu<sup>2</sup>

(1. Electric Power Research Institute of Inner Mongolia Eastern Power Corporation, Hohhot 010000, China;

2. China Titans Energy Technology Group Co., Ltd., Zhuhai 519015, China)

**Abstract:** This paper puts forward a power quality information condition monitoring platform suitable for smart grid. It introduces the ontology technology into the construction of the platform and sets up domain ontology in the field of power quality condition monitoring. With the aid of the domain ontology, it can realize fast power quality information retrieval. The power quality information condition monitoring retrieval engine established under the guidance of domain ontology can extract eligible data set from the power quality database, and then return the result to the user. The platform introduces the technology of cloud model to complete the diagnosis of power quality information, in order to realize condition diagnosis and real-time monitoring of power quality information based on cloud model. Examples exhibition introduces the operation interface of the platform and implementation interface, and it can be found the platform has a certain engineering practicability.

**Key words:** power quality information; condition monitoring; retrieval; ontology; cloud model

中图分类号: TM76

文章编号: 1674-3415(2015)18-0055-07

## 0 引言

随着智能电网的提出, 电能质量问题显得越来越重要<sup>[1-3]</sup>。电能质量信息状态监测平台是智能电网状态监测系统框架下的重要组成部分<sup>[4-5]</sup>。当前智能电网需要全景实时信息的获取能力, 状态信息是智能电网状态监测的基础支撑<sup>[6-7]</sup>; 通过加强对电网实时、动态状态信息的分析、诊断和优化, 可以为电网运行和管理人员提供更为全面、精细的电网运行状态展现, 并给出相应的控制方案、备用预案及辅助决策策略, 最大程度地实现电网运行的安全、可靠、经济、高效、环保。

目前, 国内外关于电力设备的状态监测已经有

很多研究成果<sup>[8-9]</sup>, 而关于电能质量信息状态监测系统的研究几乎没有报道。电能质量监测网的实际测量数据的变化可以反映电网运行状态的变化, 由于影响电网运行状态的因素很多, 如天气状况、用户需求、自然灾害等, 这些因素都充满着模糊性与随机性, 因此采用数据的高阶矩量<sup>[10]</sup>来评估数据的好坏, 难以判断数据总体的变化情况, 更难以满足各种指标组合关系下的一段时间内的数据变化趋势的要求。因此, 本文提出基于云模型对电能质量信息进行诊断。

本文提出了电能质量信息状态监测平台, 该平台主要实现电能质量监测信息状态诊断和实时监测两大功能。详细介绍了该平台的系统架构和引用的

关键技术。建立起的电能质量信息状态监测领域本体可以实现电能质量信息的快速检索；建立起的电能质量信息状态监测检索引擎可以从电能质量数据库中提取出符合条件的数据集返回给用户；检索引擎基于云模型实现对电能质量信息的诊断。最后介绍了电能质量信息状态监测平台的界面。

## 1 本体技术和云模型技术

### 1.1 本体技术

本体在计算机科学中被定义为“共享概念模型的明确的形式化规范说明”<sup>[11]</sup>。具有以下四层含义。

- 1) 概念模型：通过抽象客观世界中一些现象的相关概念而得到的模型，概念模型表现的含义独立于具体的环境状态；
- 2) 明确：概念和概念的约束都有明确的和无歧义的定义；
- 3) 形式化：本体能通过本体语言编码，使得计算机可读，并可以被计算机处理；
- 4) 共享：本体体现的是共同认可的知识，反映的是相关领域内公认的概念集。

本体可以作为一种建模工具，在知识层面上对信息进行建模，因其具有的良好概念层次和语义推理功能，可以作为知识模型被检索系统使用<sup>[12-13]</sup>。本文引入了本体技术，建立了电能质量信息状态监测本体，即电能质量信息状态监测知识模型。可以快速实现电能质量监测信息的检索功能。

### 1.2 云模型技术

云模型是由李德毅院士等人提出的定性定量不确定性转换模型，用于反映客观世界中事物或人类知识中概念的模糊性和随机性<sup>[14-15]</sup>，具有普遍的实用性。

云用期望  $E_x$ (Expected value)、熵  $E_n$ (Entropy)和超熵  $H_e$ (Hyper entropy)三个数字特征来整体表征一个概念。云发生器分为逆向云发生器和正向云发生器。逆向云发生器可根据各项电能质量指标的特征量，计算出正态云的  $E_x$ 、 $E_n$  和  $H_e$  三个数字特征。正向云发生器可根据云的数字特征( $E_x$ 、 $E_n$ 、 $H_e$ )产生云滴，生成不确定概念的随机量化值，并给出随机量化值代表的确定度。

本文引入云模型技术<sup>[16]</sup>可实现电能质量监测信息的状态诊断和实时监测。

## 2 系统平台构架

### 2.1 系统平台功能

电能质量信息状态监测平台主要实现以下两大基本功能：

1) 电能质量信息状态诊断。根据电能质量信息状态监测检索本体快速诊断出历史数据运行状态异常的电能质量监测点及对应的各项电能质量指标；可以实现按行业类型、负荷类型、地区和电压等级分类进行状态诊断，也可以按行业类型、负荷类型、地区和电压等级的任意组合关系进行状态诊断。

2) 电能质量信息实时监测。根据电能质量信息状态监测检索本体对某个监测点的某项电能质量指标的运行状态进行实时监测并发出异常警告；实时监测的结果采用实时监测图、颜色和声音的形式提醒用户。

### 2.2 系统平台架构

电能质量信息状态监测平台架构如图1所示。包括以下几个模块：数据采集模块、通信模块、数据管理服务器模块、PQ数据库、PQ信息状态监测检索本体、特征量提取模块、PQ信息状态监测检索引擎、人机交互界面。

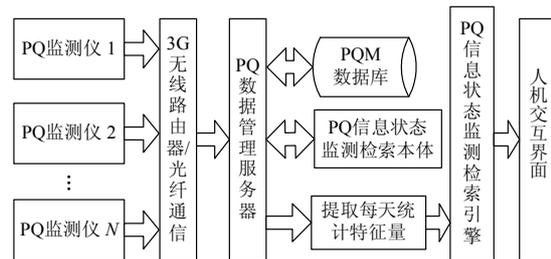


图1 电能质量信息状态监测平台构架

Fig. 1 Power quality information condition monitoring platform structure

电能质量信息状态监测检索平台工作原理如下：将电能质量监测仪在监测点采集的各项指标数据通过3G无线网络或者光纤通信发送到数据管理服务器，计算出每天监测数据的统计特征值，构建电能质量信息状态监测检索本体，再根据各种检索条件组合关系在检索本体的指导下检索出每天样本的均值和方差计算总体样本的均值和方差，根据总体样本建立正态云模型，确定异常边界，以此作为各项电能质量指标参考模型来进行状态诊断和实时监测。

#### 1) 数据采集模块

电能质量信息状态监测系统的实现首先需要电能质量监测的原始数据，本状态监测系统在电能质量监测网的基础上，将电能质量监测仪终端安装在各变电站线路上，用于采集并计算电能质量各项指标所需要的原始数据，如谐波电压等指标的3s有效值。

#### 2) 通信模块

电能质量监测仪终端采集的数据通过3G无线网络/光纤通信网络发送到数据管理服务器,以二进制文件发送,包括实时数据和历史数据。

### 3) 数据管理服务器

将采集的数据按照一定的格式分层分指标构建历史数据库,便于快速检索历史数据,同时,提取每天的统计特征量,建立历史数据统计特征量简表,形成电能质量信息状态监测检索本体,便于实现状态监测的功能。

### 4) PQ数据库

用于存储电能质量监测的历史数据。存储结构为按电能质量指标和日期分类建表;在每张数据表中分相、分统计周期类型等结构存储每天的1 min值数据。

### 5) PQ信息状态监测检索本体

电能质量信息状态监测检索本体的具体构建方法见3.1节。可以利用电能质量信息状态监测检索本体最小单元里面的元素及元素组合关系进行电能质量信息状态监测,通过时间特征量和空间特征量的组合关系得到所有监测点、一个行业类型、一个负荷类型、一个地区和一个电压等级下的任意一段日期的状态监测结果。

### 6) PQ信息状态监测检索引擎

电能质量信息状态监测检索引擎是状态监测系统的核心所在,其具体介绍见3.2节,主要实现两大基本功能:

(1) 快速诊断出历史数据中各项电能质量指标发生异常的监测点和指标详细信息;

(2) 对各项电能质量指标进行实时监测并发出异常警告,提前预测当天实时监测的数据是否发生异常,避免当天数据采集完之后才能判断其运行状态。

### 7) 特征量提取模块

在数据管理服务器中计算每天数据文件的统计特征量,每天的数据文件有1 min最大值文件、1 min最小值文件、1 min Cp95文件、1 min平均值文件和1 min最后一个3s值文件;将以上文件按监测点编号,将相应电能质量指标的最大值、最小值、Cp95值、平均值和方差等进行统计。

### 8) 人机交互界面

用于展示电能质量信息状态监测系统的结果,采用可视化的方法使结果更加直观、易于理解。

## 3 平台核心技术

### 3.1 电能质量信息状态监测检索本体

#### 3.1.1 状态监测检索本体的构建流程

本体的构建工程是一项复杂而繁琐的工作。在

明确了需求计划后,我们应先建立核心本体,整理出电能质量领域内最基本和最重要的概念及关系,在此基础上演化和完善。图2给出了电能质量信息状态监测检索本体的构建流程。

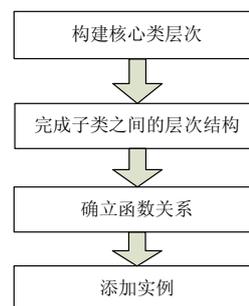


图2 本体构建流程

Fig. 2 Flow of building ontology

本状态监测系统在此采用时空特征量、电能质量五大指标、电能质量信息状态监测评估指标和统计特征量建立起电能质量信息状态监测检索本体的核心类层次。

#### 3.1.2 状态监测检索本体核心类层次的构建

电能质量信息状态监测检索本体的构建结构如图3所示,分四层结构,其核心类层次由时空特征量、电能质量五大指标、状态监测评估指标、统计特征量组成。图3所示为电能质量信息状态监测的最小本体单元,其余本体结构均由任意多个最小本体单元的组合关系构成。

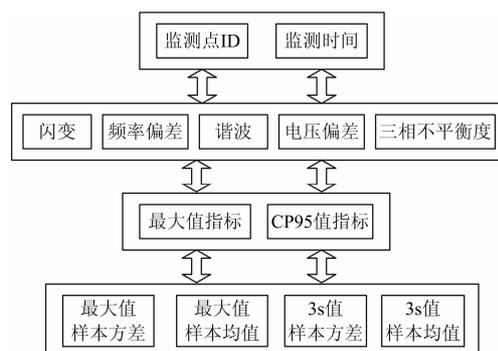


图3 电能质量信息状态监测检索本体

Fig. 3 Power quality information condition monitoring retrieval ontology

#### 1) 时空特征量

时空特征量分为时间特征量和空间特征量,前者指监测的具体时间或者日期;后者指监测点ID号,即监测点在电能质量监测网的空间分布位置。监测点ID由行业类型、负荷类型、地区和电压等级的任意组合关系可以得到,其结果要么为一个,要么为任意多个。

### 2) 电能质量五大指标

电能质量五大指标分别为闪变、频率偏差、谐波、电压偏差、三相不平衡，具体细分指标为短时闪变、频率偏差、谐波电压总畸变率、各次谐波电压含有率、各次谐波电流有效值、电压负序不平衡度。

### 3) 状态监测评估指标

状态监测评估指标分为最大值指标和Cp95值指标，闪变和频率偏差指标采用最大值指标来判断运行状态；谐波、电压偏差和三相不平衡采用Cp95值和最大值指标来判断运行状态。

### 4) 统计特征量

上述五大电能质量指标对应特定监测点的每天数据样本统计特征量，包括最大值样本均值、最大值样本方差、3s值样本均值、3s值样本方差。将电能质量指标分为两大类来进行状态监测，一类是只评估最大值的闪变和频率偏差指标，对应的统计特征量只需要最大值样本均值和最大值样本方差；另一类是最大值和Cp95值均要评估的谐波、电压偏差和三相不平衡指标，对应的统计特征量需要最大值样本均值、最大值样本方差、3s值样本均值、3s值样本方差。

## 3.2 电能质量信息状态监测检索引擎

电能质量信息状态监测检索引擎框架如图4所示，其工作原理可以阐述为：在领域专家的帮助下，建立基于电能质量信息状态监测领域的领域本体。对用户检索界面获取的查询请求，查询预处理模块按照领域本体把查询请求转换成规定的格式，检索模块在领域本体的帮助下从PQM数据库中匹配出符合条件的数据集合，将定制处理后的检索结果返回给用户。

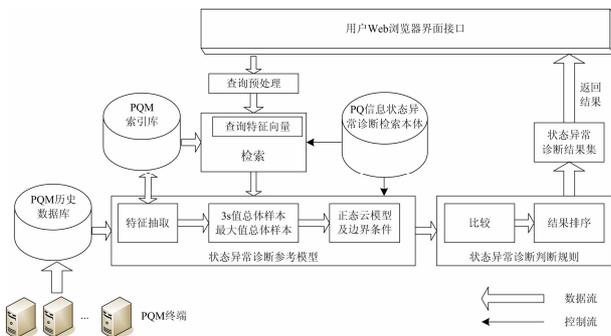


图4 电能质量信息状态监测检索引擎

Fig. 4 Power quality information condition monitoring retrieval engine

电能质量信息状态监测检索引擎的工作原理与文本信息和视频信息检索引擎有很大区别，在此的

检索引擎属于纯数据内容检索范畴，其工作流程如下：

1) 利用数据引擎程序将PQM终端监测仪的监测数据存入PQM历史数据库。

2) 对PQM历史数据库进行特征抽取，计算每天样本统计特征量，形成3s值样本和最大值样本；同时以监测点ID、电能质量指标类型、统计周期类型和日期建立PQM索引数据库。

3) 用户提交检索条件后，通过PQM索引库和PQM参数信息表得到监测点ID和日期，提取状态监测参考模型相关参数，以每天3s值和最大值样本建立3s值和最大值总体样本，并建立正态云模型及对应的异常边界条件，这一过程由PQ信息状态监测检索本体指导完成。

4) 将被诊断数据或者实时数据与参考模型的边界条件比较，得到状态监测结果，具体诊断过程见3.3节。

5) 将状态监测结果返回到用户Web浏览器界面，进行可视化显示。

## 3.3 电能质量信息状态诊断工作原理

电能质量信息状态诊断工作原理如下：根据历史数据每天监测到的3s值和最大值样本建立3s值和最大值的总体样本，并依据此总体样本建立正态云模型。然后以99.74%的云滴所在区间的最大外边界来确定日95%概率值和日最大值的异常边界，将某天3s值统计样本中的Cp95值和最大值样本中的最大值同异常边界比较，得到诊断结果。异常边界的确定参见文献[17]，算法流程图如图5所示。

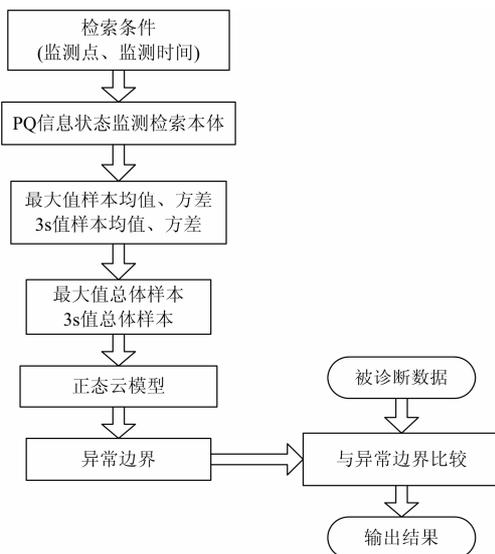


图5 状态诊断流程图

Fig. 5 Flow chart of status diagnosis

### 3.3.1 云模型的建立

采用逆向云发生器根据3s值和最大值的总体样本可计算出正态云的  $Ex$ 、 $En$  和  $He$  三个数字特征, 具体算法步骤见文献[18]。

正态云模型可以由正向云发生器生成。正向云发生器是从定性到定量的映射, 根据云的数字特征 ( $Ex, En, He$ ) 产生云滴, 可以生成不确定概念的随机量化值, 并且给出随机的量化值代表该概念的确定度, 一维正向云发生器的算法步骤见文献[18]。

### 3.3.2 异常边界的确定

基于云模型建模, 云滴能够体现样本波动产生的变化范围, 样本的波动范围可由云模型的厚度体现出来, 而云模型的厚度可由超熵的大小反应出来, 因此云模型的超熵能衡量数据的波动范围。

在正态云中, 我们根据外隶属曲线的外边界确定异常边界比较合理, 由此确定出正态云的异常边界<sup>[17]</sup>为

$$\xi = Ex + 3(En + 3He)$$

## 4 实例展示

电能质量信息状态监测平台可以实现电能质量信息状态诊断和实时监测功能。

### 4.1 电能质量信息状态诊断

电能质量信息状态诊断可以实现按监测点、行业类型、负荷类型、地区和电压等级分类进行状态诊断。也可以实现按行业、负荷、地区和电压等级的任意组合关系进行状态诊断。

页面左侧的诊断选择区块包括了参考时间、诊断时间、视图选择和检索条件分类。通过选择检索条件、参考日期、诊断日期和视图, 可得到如图 6 所示的视图。

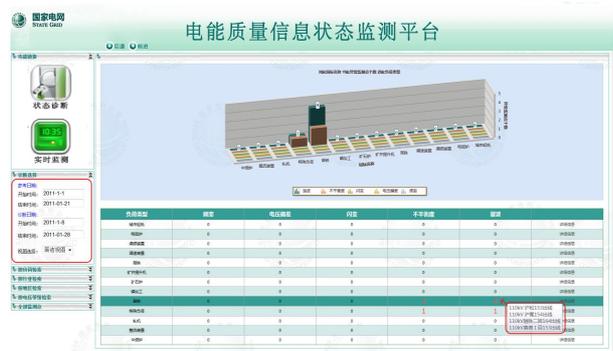


图 6 状态诊断简洁视图

Fig. 6 Status diagnosis concise view

1) 选择检索条件, 即选择所有监测点或者某一种类型的监测点。

2) 输入参考日期, 即选择某一段日期作为被诊断历史数据的参考模型, 与之相比诊断出异常的监测点及对应电能质量指标详细信息。

3) 输入诊断日期, 即被诊断数据的日期。

4) 视图选择包括简洁视图和详细视图。简洁视图又分为频率、谐波、电压偏差、不平衡度、闪变五大电能质量指标进行展示, 统计各种分类组合结果条件下状态诊断监测点的正常、异常的比例, 图 6 所示为简洁视图。详细视图可以知道具体每一个监测点的电能质量指标偏高和异常的具体信息, 如哪些日期的哪些相的什么指标发生异常等。

页面左侧的检索条件分类中, 包括了按负荷分类、按行业分类、按地区分类、按电压等级分类和全部监测点。检索分类说明如图 7 所示。



图 7 检索分类说明

Fig. 7 Instruction of retrieval classification

点击结果列表中的详细信息一栏, 页面将跳转至详细视图页面, 如图 8。



图 8 状态诊断详细视图

Fig. 8 Status diagnosis detailed view

图中显示了各监测点的详细诊断结果, 包括指标类型、谐波次数、诊断结果和日期, 表中的红色信息表示有异常指标, 各监测点的结果列表有分页, 可点击下面的 1、2、3 进行跳转选择。列表下面有

详细信息的六种链接图标。

### 4.2 电能质量信息实时监测

用户从系统首页左上角的功能链接区中点击“实时监测”图标即可进入实时监测子系统。进入实时监测页面，同状态诊断一样，通过选择参考时间、诊断时间和检索条件分类，可得到实时监测的界面。

图 9、图 10 所示分别为实时监测 30 min 视图和 1 h 视图。

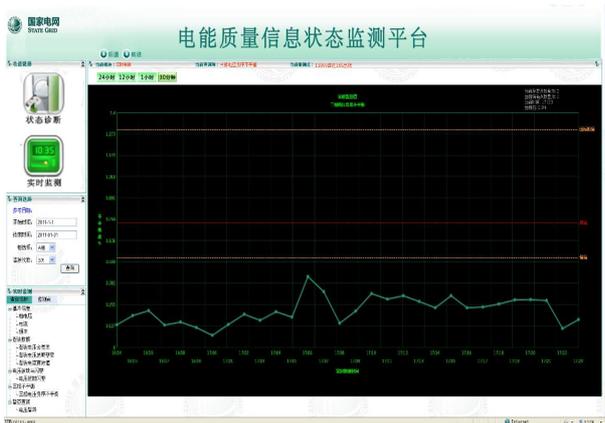


图 9 30 min 视图  
Fig. 9 30 minutes view

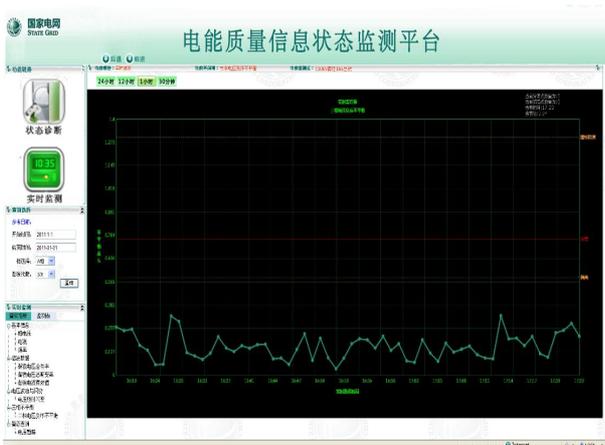


图 10 1 h 视图  
Fig. 10 1 hour view

## 5 结论

本文提出的电能质量信息状态监测平台可以实现电能质量监测信息的快速检索，可以对监测到的电能质量信息进行状态诊断，对电能质量各项指标的评估以及采取对电能质量问题的治理措施很有作用。同时通过对电能质量信息进行实时监测，能够快速挖掘出隐藏的电能质量问题，提供有利于电网运行的决策信息。

## 参考文献

[1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 林海雪. 现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5-12.  
LIN Haixue. The basic problem of current power quality[J]. Power System Technology, 2001, 25(10): 5-12.

[3] 林焱, 吴丹岳, 章雪萌, 等. 电压暂降指标的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 31(3): 84-88.  
LIN Yan, WU Danyue, ZHANG Xueming, et al. An exploration on index about voltage sags[J]. Power System Protection and Control, 2010, 31(3): 84-88.

[4] 刘骥, 黄国方, 徐石明. 智能电网状态监测的发展[J]. 电力建设, 2009, 30(7): 1-3.  
LIU Ji, HUANG Guofang, XU Shiming. Development of smart grid condition monitoring[J]. Electric Power Construction, 2009, 30(7): 1-3.

[5] 王明渝, 周延静, 赵俊晖, 等. 网络化的电能质量综合监测系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 87-90.  
WANG Mingyu, ZHOU Yanjing, ZHAO Junhui, et al. Research of the networked integrated monitoring system for power quality[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 87-90.

[6] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.  
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.

[7] 聂晶晶, 许晓芳, 夏安邦, 等. 电能质量监测及管理系统[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10): 75-77.  
NIE Jingjing, XU Xiaofang, XIA Anbang, et al. Study on power quality monitoring and management system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 75-77.

[8] 李盛盛. 输电设备状态监测主站系统的设计开发[J]. 电力信息化, 2011, 8(11): 14-18.  
LI Shengsheng. Design and development of transmission equipment state monitoring master station system[J]. Electric Power IT, 2011, 8(11): 14-18.

[9] 伍星, 毛剑琳, 迟毅林. 设备状态监测与诊断系统的概念模型[J]. 计算机工程, 2009, 35(12): 229-232.

- WU Xing, MAO Jianlin, CHI Yilin. Conceptual model for equipment condition monitoring and diagnosis system[J]. Computer Engineering, 2009, 35(12): 229-232.
- [10] 刘晓石, 陈鸿建, 何腊梅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [11] 陆建江, 张亚非, 徐伟光, 等. 智能检索技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [12] 李衍淼. 基于本体的智能信息检索系统研究[D]. 泰安: 山东科技大学, 2006.
- LI Yanmiao. The intelligent information retrieval system based on ontology research[D]. Taian: Shandong University of Science and Technology, 2006.
- [13] 郑任儿. 基于本体的语义检索技术研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- ZHENG Rener. Semantic retrieval technology research based on ontology[D]. Shanghai: East China Normal University, 2006.
- [14] 李德毅, 杜鹞. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [15] 李德毅. 知识表示中的不确定性[J]. 中国工程科学, 2000, 2(10): 73-79.
- LI Deyi. Uncertainty in knowledge representation[J]. Engineering Science, 2000, 2(10): 73-79.
- [16] 孙晓璐, 马静, 李渊博, 等. 基于云模型的电压暂降设备敏感度评估[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 100-104.
- SUN Xiaolu, MA Jing, LI Yuanbo, et al. Equipment sensitivity evaluation based on cloud model due to voltage sags[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(4): 100-104.
- [17] 余南华, 李兰芳, 王玲, 等. 基于云模型的谐波电流异常检测[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(25): 4395-4401.
- YU Nanhua, LI Lanfang, WANG Ling, et al. Harmonic current anomaly detection based on cloud model[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(25): 4395-4401.
- [18] 李德毅, 杜鹞. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- 
- 收稿日期: 2014-11-25; 修回日期: 2015-02-10
- 作者简介:
- 陈国伟(1981-), 男, 硕士研究生, 高工, 主要研究方向为配电网节能技术研究; E-mail: 453786800@qq.com
- 刘景远(1970-), 男, 硕士研究生, 高工, 主要研究方向为电力电子在电力系统中的应用;
- 腾海刚(1971-), 男, 高工, 主要研究方向为电力工程建设。
- (编辑 魏小丽)