

封之聪, 黄宗彬, 何厚都, 等. 基于专家库的二次措施单智能校验系统研究[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(1): 46-51.
DOI: 10. 20169/j. issn. 2095-2163. 250107

基于专家库的二次措施单智能校验系统研究

封之聪, 黄宗彬, 何厚都, 刘健宏, 李 运

(广西电网有限责任公司 玉林供电局, 广西 玉林 537000)

摘要: 在继电保护、安全自动装置及其二次回路上或相关一次设备上工作时, 为防范人身、电网或设备安全事故事件应采取隔离措施, 二次措施单作为二次安全措施执行的书面依据, 对保证电气二次回路上工作的正确性有着十分重要的作用。目前, 二次措施单的规范性和正确性只能通过人工排查, 难以发现二次措施单的错误。如果人工未能查出有问题的二次措施单, 按照错误的二次措施单执行二次安全措施, 可能造成电力事故的发生。本文采用二次措施单语义识别和校验专家库, 设计开发了基于专家库的二次措施单智能校验系统。引入二次措施单语义校核功能, 利用专家库的方法, 通过设定的规则与专家库进行比对, 完成二次措施单的语义校验。经实验验证, 基于专家库的二次措施单智能校验系统大大提高了二次措施单的规范性和准确性, 解决了现有的人工校核二次措施单容易出错且效率低下的问题。

关键词: 二次措施单; 专家库; 智能校验

中图分类号: TP319

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)01-0046-06

Research on a secondary measure single intelligent verification system based on expert database

FENG Zhicong, HUANG Zongbin, HE Houdu, LIU Jianhong, LI Yun

(Yulin Power Supply Bureau of Guangxi Power Grid Co., Ltd, Yulin 537000, Guangxi, China)

Abstract: The isolation measures that should be taken to prevent personal, power grid, or equipment safety accidents when working on relay protection, safety automatic devices, and their secondary circuits or related primary equipment. As a written basis for the implementation of secondary safety measures, the secondary measure sheet plays a crucial role in ensuring the correctness of work on the electrical secondary circuit. At present, the standardization and correctness of the secondary measure list can only be manually checked, making it difficult to detect errors in the secondary measure list. If manual labor fails to identify the problematic secondary measure sheet and executes secondary safety measures according to the incorrect secondary measure sheet, it may lead to the occurrence of power accidents. This article adopts a secondary measure single semantic recognition and verification expert database, and designs and develops a secondary measure single intelligent verification system based on the expert database. Introduce the function of semantic verification for secondary measure lists, and use the method of expert database to compare the set rules with the expert database to complete semantic verification for secondary measure lists. Through experimental verification, the intelligent verification system for secondary measure orders based on expert databases has greatly improved the standardization and accuracy of secondary measure orders, solving the problem of error prone and low efficiency in existing manual verification of secondary measure orders.

Key words: secondary measures list; expert databases; intelligent verification

0 引言

中国于2009年开始布局智能电网的建设, 综合考量了经济与政治, 一方面为了应对金融危机, 推动新的经济需求, 刺激经济的发展; 另一方面是为了响

应国家号召, 发展低碳经济、推动节能环保, 利用新技术, 加强强电与弱电之间的集约发展, 使宏大的智能电网系统能够为国计民生和提升国家的综合实力提供服务。智能电网可称之为“未来电网”, 是利用先进的科学技术融合于电网基础, 构建现代化电网。

作者简介: 封之聪(1996—), 男, 硕士, 主要研究方向: 电力系统及其自动化, 电力系统继电保护。Email: 1287406159@qq.com。

收稿日期: 2023-08-20

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

在智能电网中,融合了传感器技术、制动控制、分析决策等核心技术,实现了电网的智能化管理和监控^[1]。

近年来,随着智能电网的快速发展,对于电网的智能化工作要求也越来越高。二次措施单作为在继电保护、安全自动装置及其二次回路上或相关一次设备上隔离措施的书面依据,对保证电气二次回路上工作的正确性有着十分重要的作用。目前,二次措施单的规范性和正确性只能通过人工排查,难以满足智能电网的要求。

随着科技的发展,已有学者利用人工智能等相关技术,对电网操作票的校核进行了研究。如:郑俊翔等^[2]利用双向 GRU(门控循环单元)神经网络和多种校验规则,实现了调度操作票的智能审核,提高了审核的安全性和工作效率。周达明等^[3]提出了一种基于深度学习理论构造具有 CNN 和双向门控循环单元(BiGRU)神经网络结构的操作票正误校验模型,较为准确地实现了操作票正误判断,有效提高了校验效率。陈俊全等^[4]提出了一种基于规则学习的调度操作票智能校验方法,通过对照规则库进行匹配,得到调度操作票的校核结果和错误改进意见。胡东林等^[5]设计了一种基于 LSTM(长短期记忆网络)的调度操作票审核系统,通过训练后的审核模型,实现了调度操作票的智能审核。徐浩等^[6]提出了一种基于遍历树的自动校核方法,通过人工审核逻辑作为逻辑判定边界,提升了配网调度指令票的校核效率。

上述研究都是基于操作票智能校核方面,对于二次措施单智能校核的研究寥寥无几,因此急需寻求一种高效率的二次措施单校验方法。如:尹昭舜等^[7]提出了一种基于 KMP 算法的电力信息智能决策专家库系统,在新(改/扩)建的信号审核中以及在运站梳理的信号处置中运用了 KMP 算法,极大地增加了信号匹配通过率,提高了系统的实用性。方刚等^[8]提出了基于模糊专家库的核电 LOCA 试验温度控制,采用模糊专家 PID 联合控制的温控系统比经典 PID 控制响应速度更快、鲁棒性更高、超调量更小,误差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内,符合 DBA 曲线的温控要求,能够满足 LOCA 温控系统的自动化测试需要。郝佳音等^[9]提出了一种基于专家库技术的远动数据治理工具,应用基于专家库技术的远动数据治理工具能够大幅减少数据运维时间,并有效规避因数据运维质量问题导致的误监视、漏监视、误控制风险。李春慧等^[10]提出了一种基于智能专家库混合

模型自动化测试系统,根据专家型数据库自主实现测试程序在案例失效后退出继续后续的案例执行和问题原因分析,该系统提高了测试效率,为青藏铁路的货物运输提供更加有力保障。鲍春宇^[11]把基于规则引擎的专家知识库应用于电力智能分析中,多个变电站的运行实例验证了基于规则引擎的专家系统对配置描述文件的校验及对二次设备缺陷分析的准确性。王雄伟等^[12]提出了基于稳定限额专家库的输电断面监控与辅助决策系统,有效提高调度人员驾驭大电网能力,提高事故处理效率,使电网调度由目前的人工分析型上升为智能管理型。

在上述背景下,本文采用二次措施单语义识别和校验专家库,设计开发基于专家库的二次措施单智能校验系统。引入二次措施单语义校核功能,通过建立专家库,导入新建的二次措施单与设定的规则和专家库进行比对,完成二次措施单的语义校验,得出新建二次措施单存在错误的地方;二次措施单编写人可以根据得到的错误信息进行修改,最终得到无误的措施单,执行二次安全措施。此功能在保障操作安全的同时,大大地提高了开票的规范性和准确性,解决了现有人工校核二次措施票容易出错且效率低下的问题。

1 相关技术

1.1 语义识别技术

语义识别技术是一种自然语言处理技术,通过自然语言处理技术和机器学习,实现在计算机中模拟人类语言理解效果。该技术可以有效识别文本语言中每句话的含义,剖析语句,深入了解语句中的内容,分析用户的真实意图。语义识别技术根据用户的文本输入,从每一个句子中解析出字符或者语法等,使得文本内容更具可读性。在实际场景当中,语义识别技术主要应用于机器翻译、语音识别、交互式服务等。通过语义识别技术,计算机可以更好地了解用户语言,并做出相应的理解。语义识别技术主要包括语义文法和本体论两种方法。

语义文法是一种与上下文无关的文法概念。区别于普通句法文法,语义文法对非终结符赋予了领域语义,其非终结符既可以只包含语义层次,也可以包含句法和语言层次。语义文法不仅包含了句法信息,还包含了语义结构。在使用语义文法描述文本时,首先需要定义各种文法规则,然后把文法规则赋予语义,文本经过语义文法处理后,可以简单地被计算机分析处理,以供用户使用^[13]。

本体论起源于哲学,目前已广泛应用于知识工程、数据库设计和集成、自然语言处理、信息检索与获取等领域。尤其是本体论应用于网络后,诞生了语义网,语义网的诞生有望解决网络信息共享时的语义问题,实现世界范围的知识级信息集成。本体是用来描述某个领域甚至更广范围的概念或者概念之间的关系,通过共享使得这些概念和关系具有大家认可的、唯一的、明确的定义,由此实现了机器间或者人机间的交流。

1.2 专家库

专家库从技术或系统层面来看,也可称为专家管理系统,可以分为两大类:一类是专家知识库,用于储存辅助决策的专家知识,包括判断规则、逻辑推理等,专家知识库更接近于人们熟悉的人工智能系统或专家系统。另一类是专家人才库,用于储存专家人才信息,为决策咨询过程提供所需的相关专家的检索和查找。如为了项目招标与同行评议中的科技咨询提供相关专家,形成了评标专家库、学科或项目评审专家库^[14]。

目前,专家知识库已广泛应用于电力系统,也是成果最丰富、技术最成熟的一个领域。专家知识库作为程序系统,拥有着丰富的专业知识和经验,在推理过程中结合专家经验以及相关知识,模拟专家决策过程。在运用专家知识库时,可以充分结合专家的知识积累,通过模拟完成具体实践问题的处理,能够高效准确地完成工作,不受外界环境的影响^[15]。在故障诊断或运行具体规定流程时,常常会使用到专家知识库,但是从具体的实践应用来说,专家知识库采用的规则或逻辑会随着具体的应用实践的变化而变化^[16]。因此,为了确保专家知识库更好地满足业务规则要求,规则引擎应运而生。规则引擎作为应用程序的组成之一,可以运用对应的规则语言编写专家知识库模块,然后通过专家库剖析用户的业务规则,根据解析好的业务规则进行校验,达到诊断分析的目的^[17]。专家库包括通用逻辑库、专用逻辑库、动词库、二次回路库,在校核的过程中,对二次措施单规范性、准确性进行校核,实现二次措施单的自动审核。

2 二次措施单智能校验系统设计

2.1 专家库设计

按照二次措施单标准,设计了二次措施单专家库,如图 1 所示。二次措施单专家库包括二次措施单读取模块、自动校验模块、错误输出模块。其中,

自动校验模块包括数据更新模块、通用逻辑库、专用逻辑库、动词库、二次回路库等 5 个部分。

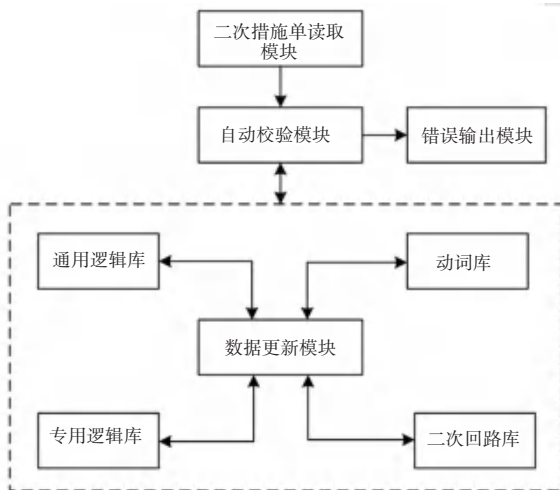


图 1 二次措施单专家库

Fig. 1 Expert database for secondary measure list

动词库用于储存执行二次措施单规范中的动词,二次措施单动词表见表 1。动词表的动词来源于二次措施单标准,如空开的操作动词为密封/断开/合上,压板的操作动词为密封/投入/合上。

表 1 动词表
Table 1 Verb table

序号	设备	动词
1	空开	密封/断开/合上
2	压板	密封/投入/退出
3	把手	密封/切换至
4	熔断器	密封/取下/装上
5	二次电流回路端子连接片	打开/连上
6	二次电压回路端子连接片	打开/连上
……	……	……

二次回路库用于储存变电站内二次回路信息,某变电站二次回路见表 2。二次回路表的逻辑来源于变电站二次回路名称,如某 220 kV 变电站 11 P 220 kV 莞双甲线主一保护屏的二次电流回路为 1ID1(A2111)、1ID2(B2111)、1ID3(C2111)、1ID4(N2111),二次回路应该包括端子号和回路号。

专用逻辑库用于存储不同二次回路、电气设备专用的逻辑规则,表 3 为二次措施单专用逻辑表。专用逻辑表的逻辑来源于二次措施单标准,如单一间隔设备停电,且工作设备二次电流回路有串接其他运行设备时,需要打开工作设备所在屏柜上的二次电流输入、输出回路端子连接片,短接二次电流输出回路装置侧端子,并密封非工作侧电流端子。

表 2 二次回路表
Table 2 Secondary circuit table

序号	屏柜	二次回路
1	11 P 220 kV 莞双甲线主二保护屏	二次电流回路:1ID1(A2111)、1ID2(B2111)、1ID3(C2111)、1ID4(N2111)
2	11 P 220 kV 莞双甲线主二保护屏	切换后母线二次电压回路:1UD1(1ZKK-2)、1UD2(1ZKK-4)、UD3(1ZKK-6)、1UD4(N600)
3	11 P 220 kV 莞双甲线主二保护屏	线路二次电压回路:1UD6(1ZKK1-2)、1UD5(7UD29)
4	11 P 220 kV 莞双甲线主一保护屏	二次电流回路:1ID1(A2111)、1ID2(B2111)、1ID3(C2111)、1ID4(N2111)
5	11 P 220 kV 莞双甲线主一保护屏	切换后母线二次电压回路:1UD1(1ZKK-2)、1UD2(1ZKK-4)、UD3(1ZKK-6)、1UD4(N600)
6	11P 220kV 莞双甲线主一保护屏	线路二次电压回路:1UD6(1ZKK1-2)、1UD5(7UD29)
.....

表 3 专用逻辑表
Table 3 Dedicated logic table

序号	逻辑库	专用逻辑
1	单一间隔设备停电,且工作设备二次电流回路有串接其他运行设备	打开工作设备所在屏柜上的二次电流输入、输出回路端子连接片,短接二次电流输出回路装置侧端子,并密封非工作侧电流端子
2	单一间隔设备不停电,且工作设备二次电流回路有串接其他运行设备	在二次电流输入、输出端子外侧将同一相别分别进行跨接,打开工作设备所在屏柜上的二次电流输入、输出回路端子连接片,短接二次电流输出回路装置侧端子
3	电流互感器进行预试检修	在最靠近检修 CT 的汇控箱或端子箱端子排处,打开检修 CT 对应的二次电流回路端子连接片,端子连接片靠近保护侧禁止短接密封
4	安自装置、母差(失灵)保护定检	当设备的二次电流回路后面无串接其他运行设备时,二次安全措施应遵循先短接后断开的原则;当上述设备的二次电流回路后面有串接其他运行设备时,二次安全措施应遵循先跨接后断开的原则
.....

通用逻辑库用于存储二次措施单通用的逻辑规则,二次措施单通用逻辑表见表 4。通用逻辑表的逻辑来源于二次措施单标准,如工作票号、措施单编号、地点、负责人签名、监护人签名、执行人签名、恢

复人签名、时间、序号不得空缺,序号顺序正确,操作地点的通用逻辑为在 XP XX 屏柜,必须包括屏柜编号和名称。

表 4 通用逻辑表
Table 4 General logic table

序号	逻辑库	通用逻辑
1	工作票号、措施单编号、地点、负责人签名、监护人签名、执行人签名、恢复人签名、时间、序号	不得空缺,序号顺序正确
2	执行人、恢复人签字	不能为工作负责人
3	操作地点	在 XP XX 屏柜(编号和名称)
4	直流电源空气开关	断开 XX 装置(名称)直流电源空气开关:XX(编号)XX(名称)
5	直流电源二次线	拆除 XX 装置(名称)直流电源二次线:XX(XX)(端子号+回路编号)并用绝缘胶布包好
6	二次电压回路	打开 XXPT(名称)二次电压回路端子连接片:XX(端子号),并密封非工作侧端子
.....

二次措施单读取模块用于读取编辑好的二次措施单,写入校验系统。

自动校验模块用于写入校验系统的二次措施单与专家库进行语义校验,通过调用动词库与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中所涉及的动词进行校核,得到二次措施单中存在的动词错误。

数据更新模块用于更新专家库中的动词库、二次回路库、专用逻辑库和通用逻辑库的数据。

错误输出模块用于把自动校验模块得到的二次措施单错误输出给二次措施单编写人。二次措施单编写人可依据错误提醒,修改得到正确的二次措施单,并根据正确的二次措施单执行二次安全措施。

2.2 系统校验流程

继电保护工作负责人在某一变电站开展某项工作填写二次措施单时,需要从其它变电站同一电压等级、同一工作任务中导出已完成的二次措施单,进而对照任务、根据变电站的实际接线做出相应的修改后,最终完成一张二次措施单的填写。在二次措施单填写完成后,利用基于专家库的二次措施单校验系统对二次措施单初稿进行错误校验,根据系统提示的错误进行修改,得到无误的二次措施单执行二次安全措施。

(1) 读取编写完成的二次措施单初稿。

(2) 调用动词库与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中所涉及的动词进行校核,当二次措施单上面的操作动词与动词库不对应时输出错误,二次措施单编写人依据错误对二次措施单进行修改。

(3) 调用通用逻辑库与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中所涉及的通用逻辑进行校核,当二次措施单上面的通用逻辑与通用逻辑库

不对应时输出错误,二次措施单编写人依据错误对二次措施单进行修改。

(4) 调用专用逻辑库与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中所涉及的专用逻辑进行校核,当二次措施单上面的专用逻辑与专用逻辑库不对应时输出错误,二次措施单编写人依据错误对二次措施单进行修改。

(5) 通过调用二次回路库与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中所涉及的二次回路名称进行校核,校验时与二次措施单的二次安全措施操作任务和操作步骤中涉及的二次回路进行对比匹配,发现不对应时输出错误,二次措施单编写人依据错误对二次措施单进行修改。

(6) 通过数据更新模块更新专家库中的动词库、二次回路库、专用逻辑库和通用逻辑库的数据。

(7) 根据校核得到的二次措施单错误,利用人机交互界面提醒二次措施单编写人,二次措施单编写人根据错误进行修改得到无误的二次措施单。

3 基于专家库的二次措施单智能检验系统

在二次措施单校验系统中,首先读取二次措施单初稿,将读取的初稿存储进二次措施单专用数据库,二次措施单编写人可以通过校验系统查看历史二次措施单,以获得参考。

在完成二次措施单的读取后,需要建立二次措施单专家库,如图2所示。二次措施单专家库包括通用规则、专用规则、二次回路库和动词库。在校验系统中,可以对这些规则进行查询、导入、导出,同时还提供了对应规则的编辑和删除功能。这些建好的专家库以供检验功能的使用。

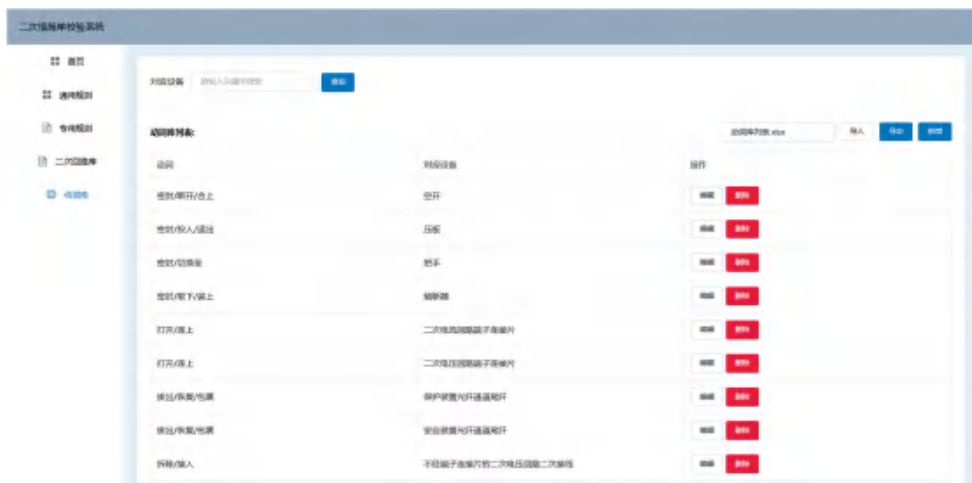


图2 二次措施单校验系统专家库

Fig. 2 Expert database for secondary measure list verification system

最后将读取的二次措施单初稿和设定的规则与专家库进行比对, 完成语义校验的功能, 得出新建二次措施单存在错误的地方, 如图 3 所示。二次措施

单编写人可以根据得到的错误信息进行修改, 最终得到无误的措施单执行二次安全措施。

工作票编号	措施单编号	工作地点	工作内容	操作序号	操作步骤	校验状态
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验	2	打开二次柜门取出端子箱封印: 1E01、1E02、1E03、1E04	通过校验: 通过校验, 交编号缺少自动编号
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验	3	打开柜门取出二次柜内封印取出封印: 1E01、1E02、1E03、1E04、1E05、1E06、1E07、1E08、1E09、1E10、1E11、1E12、1E13、1E14、1E15、1E16、1E17、1E18、1E19、1E20	通过校验: 通过校验, 缺少校验码
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验	4	退出主一保护空气开关	通过校验: 通过校验
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验			通过校验: 通过校验, 操作缺少上一步号
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验	4	退出主二保护空气开关	通过校验: 通过校验
2025-06-C1-001	001	塘沙变电站	220kV 主母线保护校验			通过校验: 通过校验, 缺少一行缺少以下空号

图 3 二次措施单校验系统校验界面

Fig. 3 Verification interface of the secondary measure list verification system

4 结束语

本文采用二次措施单语义识别和校验专家库, 设计开发了基于专家库的二次措施单智能校验系统。引入二次措施单语义校核功能, 通过建立专家库, 导入新建的二次措施单与设定的规则和专家库进行比对, 完成二次措施单的语义校验, 得出新建二次措施单存在错误的地方, 二次措施单编写人可以根据得到的错误信息进行修改, 最终得到无误的措施单执行二次安全措施。在校核过程中, 对二次措施单规范性、准确性进行校核, 实现二次措施单的自动智能审核。此功能在保障操作安全的同时大大地提高了二次措施单的规范性和准确性, 解决了现有的人工校核二次措施票容易出错且效率低下的问题。

参考文献

- [1] 李杨. 智能电网在电力技术及电力系统规划中的运用研究[J]. 电工材料, 2023, 186(3): 46-48.
- [2] 郑俊翔, 刘辉乐, 黄达铁, 等. 基于语义分析的电网调度操作票智能校核方法[J]. 浙江电力, 2022, 41(10): 42-49.
- [3] 周达明, 李黎. 基于 CNN-BiGRU 模型的操作票自动化校验方法[J]. 广东电力, 2020, 33(9): 58-65.
- [4] 陈俊全, 黄晓旭, 伍仕红, 等. 基于规则学习的调度操作智能校

核方法[J]. 电气自动化, 2020, 42(2): 80-83.

- [5] 胡东林, 钟少军, 刘东尧, 等. 基于深度学习的调度操作票审核系统[J]. 农村电气化, 2020, 403(12): 51-52.
- [6] 徐浩, 刘晟, 李扬, 等. 基于遍历树的配网调度指令票安全校核方法[J]. 电工技术, 2021, 543(9): 145-147.
- [7] 尹昭舜, 钱秋明, 郭坤, 等. 基于 KMP 算法在电力信息智能决策专家库系统中的应用分析[J]. 价值工程, 2020, 39(17): 225-228.
- [8] 方刚, 杨海马, 丁大民, 等. 基于模糊专家库的核电 LOCA 试验温度控制[J]. 控制工程, 2023, 30(11): 2058-2065.
- [9] 郝佳音, 陈曼露, 何清泉. 基于专家库技术的远动数据治理工具设计与应用[J]. 机电信息, 2020, 642(36): 36-37.
- [10] 李春慧, 夏明. 基于智能专家库混合模型自动化测试在青藏铁路 RBC 系统的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 19-23.
- [11] 鲍春宇. 基于规则引擎的专家知识库在电力智能分析中的应用[D]. 淄博: 山东理工大学, 2020.
- [12] 王雄伟, 汪旻, 周超凡, 等. 基于稳定限额专家库的输电断面监控与辅助决策系统设计[J]. 湖北电力, 2019, 43(1): 50-55.
- [13] 张耀之. 网络舆情语义识别的技术分析及识别流程构建[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [14] 王雪芬. 基于社交网络的科技咨询专家库构建及其可视化研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [15] 蔡园园. 电力行业流程管理中规则引擎的设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2013.
- [16] 苗丹, 严中华, 张志伟. 规则引擎在电网操作票系统中的应用研究[J]. 华北电力技术, 2011, 375(5): 34-36.
- [17] 李穆, 文正其, 向冬冬, 等. 基于 Drools 的变压器故障诊断专家系统[J]. 水电能源科学, 2015, 33(9): 188-191.