

文章编号:1671-251X(2018)07-0011-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010023

综采装备三机配套概念设计系统

段琦^{1,2}, 丁华^{1,2}, 王义亮^{1,2}, 邓金涛^{1,2}

(1. 太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024;

2. 煤矿综采装备山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:针对现有综采装备智能设计方法大多未考虑三机配套设计参数之间的复杂耦合关系,导致系统的适用性较差、设计知识孤立等问题,研究了基于知识推理的综采装备概念设计方法和综采装备三机配套原则,将实例推理、规则推理和模型推理的混合推理机制应用于综采装备三机配套的概念设计中,建立了基于知识推理的综采装备三机配套概念设计推理模型,开发了基于知识推理的综采装备三机配套概念设计系统。该系统利用知识推理方法对用户输入的初始参数进行实例推理,并在实例库中检索相似实例,得到符合要求的设计方案;如没有相似实例,则进行模型推理完成三机配套参数设计,得到参数设计方案。应用实例表明,该系统设计结果准确、推理速度快,实现了综采装备的智能设计,缩短了产品设计周期。

关键词:煤炭开采;采煤机;刮板输送机;液压支架;三机配套;知识推理;实例推理;模型推理;概念设计

中图分类号:TD421.6

文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180615.0909.004.html>

Conceptual design system of three machines matching of fully mechanized coal mining equipment

DUAN Qi^{1,2}, DING Hua^{1,2}, WANG Yiliang^{1,2}, DENG Jintao^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Shanxi Key Laboratory of Fully Mechanized Coal Mining Equipment, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problems that most of existing intelligent design methods of fully mechanized coal mining equipment are not considered complex coupling relationship among design parameters of three machines matching, which leading to poor applicability of the system and isolated design knowledge, a conceptual design method and matching principle of three machines of fully mechanized coal mining equipment based on knowledge reasoning were studied, the hybrid reasoning mechanism including case reasoning, rule reasoning and model reasoning was applied to the conceptual design of three machines matching of fully mechanized coal mining equipment, reasoning model of conceptual design of three machines matching of fully mechanized coal mining equipment based on the knowledge reasoning was established, conceptual design system of three machines matching of fully mechanized coal mining equipment based on knowledge reasoning was developed. The system uses knowledge reasoning method to

收稿日期:2018-01-09;修回日期:2018-05-29;责任编辑:张强。

基金项目:山西省煤机重点科技攻关项目(MJ2014-05-02);山西省自然科学基金项目(201601D011050);山西省研究生联合培养基地人才培养项目(2016JD13)。

作者简介:段琦(1992—),男,山西临汾人,硕士研究生,研究方向为现代机械设计,E-mail:543236126@qq.com。通信作者:丁华(1979—),女,山西太原人,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为现代机械设计,E-mail:dinghua2002@163.com。

引用格式:段琦,丁华,王义亮,等.综采装备三机配套概念设计系统[J].工矿自动化,2018,44(7):11-16.

DUAN Qi, DING Hua, WANG Yiliang, et al. Conceptual design system of three machines matching of fully mechanized coal mining equipment[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(7): 11-16.

do case reasoning of input initial parameters for user, and search similar case in the case database, so as to obtain satisfactory design scheme, if there is no similar case in the case database, parameter design of three machines matching was completed by model reasoning, so as to get parameter design scheme. The application example shows that the system has accurate design result and fast reasoning speed, which realizes intelligent design of fully mechanized coal mining equipment and shorten design cycle of products.

Key words: coal mining; shearer; scraper conveyer; hydraulic support; three machines matching; knowledge reasoning; case reasoning; model reasoning; conceptual design

0 引言

采煤机、刮板输送机、液压支架作为综合机械化采煤工作面的核心配套设备,在实现高产、高效、安全生产的过程中起到了非常重要的作用。综采装备三机之间的配套关系更是直接影响到综合机械化采煤工作能否顺利进行。综采装备三机的设计方法也正由传统阶段的以设计人员的经验及已有的生产数据为依据,借助类别、试凑的方式,逐步转变为依靠计算机等先进技术手段进行综采装备的设计。近年来,国内外现代设计方法已应用于采煤机的设计中,丁华等^[1-2]提出了基于粗糙集、支持向量机等理论的融合推理模型,并基于 UG 平台开发了采煤机概念设计原型系统和数字化设计系统;罗京伟等^[3]开发了基于 Web 的采掘运装备零部件参数化设计系统。上述研究为综采装备的智能化设计奠定了坚实的基础,但已开发的采煤机智能设计系统大多未考虑三机配套设计参数之间复杂的耦合关系,导致系统的适用性差、采煤机设计知识孤立、未形成综采装备产品设计联盟等弊端。曾庆良等^[4]开发了综放工作面设备配套选型专家系统,孟照宏等^[5]开发了基于数据库的“三机”配套选型系统。以上研究在三机配套选型方面做出了贡献,但缺点在于依赖数据库进行检索,不能满足智能设计的要求。

针对上述问题,在研究三机配套原则的基础上,运用知识推理方法、ASP.NET 和数据库等技术开发了基于知识推理的综采装备三机配套概念设计系统,该系统改进了传统设计方法,可以缩短产品设计周期,有利于设计知识的共享与重用,具有重要的理论和现实意义。

1 三机配套概念设计中的知识推理

1.1 综采工作面三机配套原则

综采工作面三机配套的目的是使综采设备能够适应特定的煤层地质条件,在采煤、支护及运输 3 个环节中保证最佳的配合效果,保证工作面生产安全、

高产、高效进行^[6]。三机配套原则:① 三机空间几何尺寸配套,要求采煤机、液压支架及刮板输送机工作时在空间结构上不发生干涉,横向尺寸配套要求无立柱支撑距离 F (F 为梁端距 D 、截深 B 与支架前柱到梁端距的距离 L 的和)不得过大,纵向配套尺寸要求过机高度 C (C 为液压支架最小结构高度 H 与顶梁厚度 t 和机面高度 A 的差)满足观测距离与通风断面要求,三机横断面配套尺寸如图 1 所示。② 三机性能配套,要求三机能够正常工作,包括采煤机底托架与输送机中部槽匹配、液压支架性能与采煤机牵引速度匹配等。③ 三机生产能力配套,要求刮板输送机运输能力大于采煤机落煤能力、液压支架移架速度大于采煤机工作牵引速度。④ 三机寿命配套,要求综采工作面单机的大修周期应相近,以保证高效生产^[7]。

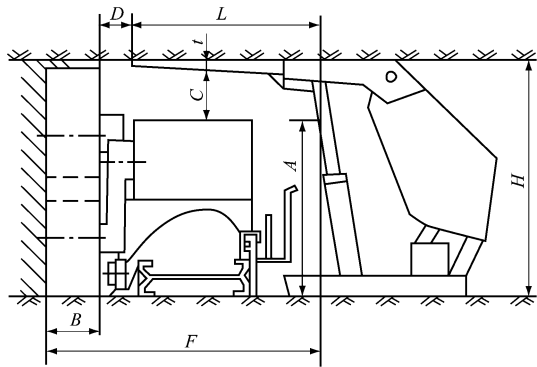


图 1 三机横断面配套尺寸

Fig. 1 Matching dimension drawing of cross section of three machines

1.2 基于知识推理的三机配套概念设计

知识推理指的是按某种策略由已知判断推理出未知判断的思维过程。在推理过程中,系统需要不断地用已知条件与知识库中的知识进行匹配,得到问题的解或给出无解的提示^[8-9]。在基于知识推理的三机配套概念设计中采用基于实例推理和基于模型推理与规则推理的混合推理模式,推理过程主要由成熟的配套实例、专家经验及新型机器学习模型作为支撑,充分发挥 2 种推理技术的优势。首先进

行实例推理,为新问题寻求一个先前已成功的相似实例,若没有相似实例则可利用模型推理进行参数设计,最后由设计人员调整参数得到最终方案^[10]。

2 三机配套概念设计知识推理模型

2.1 实例推理方法

实例推理中的关键问题是输入的设计特征参数与实例特征参数的匹配问题^[11],三机配套概念设计实例库中包括采煤机、刮板输送机和液压支架型号的总体信息,如三机型号、采高、截深、煤层倾角、煤质硬度、牵引速度、装机功率等,采用灰关联分析方法计算实例间的加权关联度 $\gamma(X_0, X_i)$ 。

在实例推理系统中,设置阈值 $\delta_0 = 0.9$,当 $\gamma(X_0, X_i) \geq 0.9$ 时,系统判定实例与设计要求相近,对输出的采煤机、刮板输送机及液压支架的型号在系统中进行生产能力、性能和空间尺寸配套验算,如验算合格可直接输出推理结果,不合格则重新匹配;当 $\gamma(X_0, X_i) < 0.9$ 时,系统判定实例不符合设计要求,提示无相似实例^[12]。

2.2 规则推理方法

规则推理是指把相关领域的专家知识形式化地描述出来,形成系统规则^[13]。在概念设计系统中体现为数学表达式,通过查阅书籍等资料及收集煤机设计领域专家的设计经验,建立设计生产率、截割功率、输送机运量、支架结构高度等设计参数的数学模型。以理论生产率、截割功率为例介绍推理规则。

采煤机理论生产率 Q_c 由式(1)计算得出:

$$Q_c = 60MBv_{\max}\mu \tag{1}$$

式中: M 为平均采高; $v_{\max}$ 为采煤机最大工作牵引速度; μ 为煤的实体密度。

采煤机截割功率 P_c 计算步骤如下:

(1) 首先对比能耗 $H_{\omega b}$ 进行线性拟合,比能耗与牵引速度对应关系见表1。

$$H_{\omega b} = 0.46 - 0.02(v_c - 2) \tag{2}$$

式中 v_c 为采煤机平均牵引速度。

表1 比能耗与牵引速度对应关系

Table 1 Correspondence relation between energy consumption and traction speed

牵引速度/ (m·min ⁻¹)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$H_{\omega b}/(\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{T}^{-1})$	0.48	0.44	0.42	0.40	0.38

(2) 通过式(3)、式(4)求解截割功率。

$$H_{\omega x} = \frac{RH_{\omega b}}{R_x} \tag{3}$$

$$P_c = \frac{Q_c H_{\omega x}}{K_2 K_3} (0.6 + 0.4K_1) \tag{4}$$

式中: $H_{\omega x}$ 为煤层对应比能耗; R 为煤层截割阻抗; R_x 为标准截割阻抗; K_1 为后滚筒工作系数; K_2 为功率水平系数; K_3 为功率利用系数。

2.3 模型推理方法

模型推理部分采用极限学习机(Extreme Learning Machine, ELM)模型进行推理^[14]。ELM是从单隐层反馈神经网络(Single-hidden Layer Feedforward Neural Network, SLFNs)发展而来的,并且相较于传统的基于梯度求解的SLFNs算法具有以下几个特征:ELM的学习速度非常快,只需求出输出权重 β 即可;在绝大多数的应用中,ELM的泛化能力大于误差反向传播算法这类基于梯度的算法;传统的基于梯度的算法会面临局部最小、过拟合等问题,而ELM可以直接构建单隐层反馈神经网络,避免了许多棘手的问题^[15]。

ELM模型的运算流程如下:

(1) 确定隐含层神经元个数 I 和激励函数 $g(x)$,设定输入层连接权值 τ 和隐含层神经元阈值 k 。

(2) 选择一个无限可微的函数 $g(x)$ 作为激励函数,计算隐含层输出矩阵 J 。

(3) 计算输出层权值 $\hat{\beta}, \hat{\beta} = J^{+T}$ 。 J^{+} 为 J 的广义逆矩阵。

在Matlab中运用极限学习机算法将从某煤矿收集的采煤机和刮板输送机型号参数作为训练样本,建立牵引功率、牵引力、刮板输送机中部槽宽度等参数的极限学习机模型,并将这些ELM模型应用于设计系统的模型推理部分。

3 基于知识推理的三机配套概念设计系统

3.1 系统结构

系统包含平台简介、概念设计、支持服务、系统帮助4个模块。平台简介模板主要用于介绍三机配套概念设计系统的开发背景及意义;概念设计模块为系统的核心部分,包括实例推理、模型推理2个子系统;支持服务模块主要包括一些三机配套相关技术规程、文献资料等;系统帮助模块包括“用户帮助”和“联系我们”2个部分,主要用于为用户提供系统的使用帮助。

3.2 系统设计流程

基于知识推理的概念设计流程如图2所示。首先在实例推理系统界面输入煤层条件、生产能力要

求等初始参数,然后系统选取特征参数分别进行采煤机、刮板输送机与液压支架的实例推理,如有相似实例则进行输出,若没有相似实例则提示“无相似实例”,需利用模型推理系统进行推理。模型推理步骤开始由用户在模型推理系统界面输入煤层条件、生产能力等参数,系统推理得到采煤机、刮板输送机和液压支架设计参数,设计参数经过用户调整后,系统可输出最终的三机配套概念设计方案。

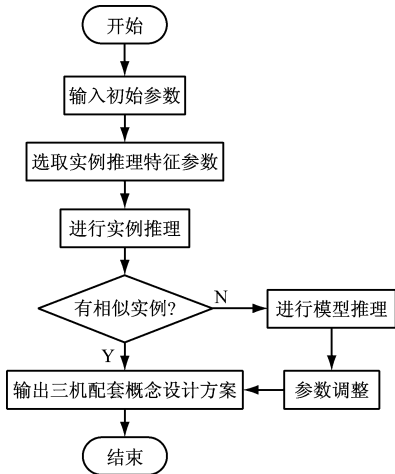


图 2 基于知识推理的概念设计流程
Fig. 2 Conceptual design flow based on knowledge reasoning

3.3 系统开发工具

系统开发的主要工作在 Visual Studio 内进行,利用编程语言 C# 编写程序代码,同时利用 SQL Server 建立系统数据库,利用 Matlab 实现推理模型的构建。

Visual Studio 是一套完整的开发工具集,可用于生成 ASP.NET Web 应用程序,它包括了整个软件生命周期所需要的大部分工具,所写的目标代码适用于微软支持的所有平台。

SQL Server 是一种关系型数据库管理系统,具有良好的软件伸缩性及高集成度等优点。并且 SQL Server 2008 允许 Microsoft .NET 和 Visual Studio 开发的自定义应用程序使用其数据,本系统以此作为系统数据服务器。

Matlab 是一种商业数学软件,可用于算法开发、数据可视化、数据分析及数值计算等,为科学研究、工程设计及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案。该系统中所用模型通过 Matlab 编译得到。

3.4 系统应用实例

以某煤矿的 MG1000/2660-WD 型采煤机、

SGZ1250 型刮板输送机和 ZZ13000/28/60 型液压支架构成的配套三机型号对系统进行验证实验。

实例推理系统。首先在网页导航栏概念设计的下拉列表中单击“实例推理”进入实例推理系统;然后在界面对应位置输入最大采高为 5.8 m、煤层倾角为 16°、牵引速度为 10 m/min、煤质硬度为 3、截深为 0.85 m、直接顶类别为 3 和基本顶类别为 III 7 个参数;最后点击“实例推理”按钮,由系统在文本框中输出符合条件的三机型号及部分设计参数,如图 3 所示。实例推理系统的输出结果符合输入条件的要求。在系统中进行多组数据的测试,均能输出满足条件的结果。

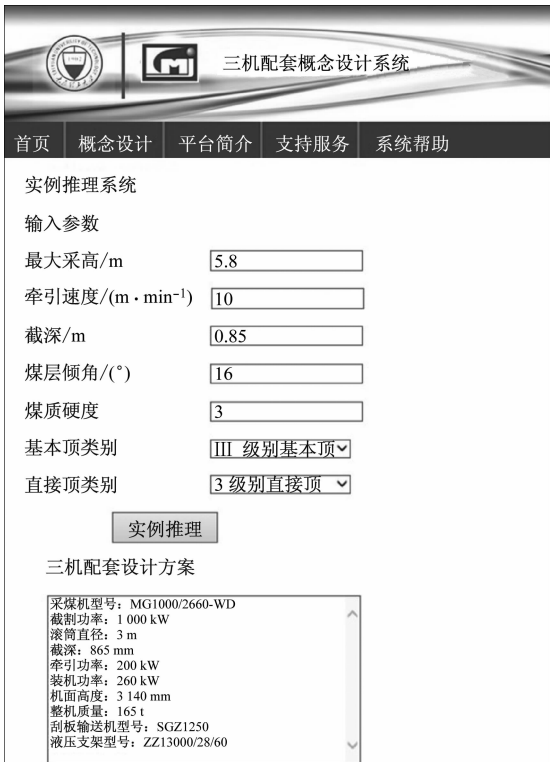


图 3 概念设计系统实例推理界面
Fig. 3 Case reasoning interface of conceptual design system

模型推理系统。在实例推理系统输入参数后,如提示无相似实例,则需进行模型推理。模型推理步骤如下:

第 1 步:在网页导航栏概念设计下拉列表单击“模型推理”进入模型推理系统。

第 2 步:在界面对应位置输入最大采高为 5.4 m、最小采高为 3 m、平均采高为 5 m、煤层倾角为 16°、截深为 0.8 m、截割阻抗为 280 N/mm、设计产量为 600 万 t/a、工作面长度为 250 m 和刮板输送机链速为 1.4 m/s 九个参数,之后点击“初步推理”按钮,由

系统计算得到平均牵引速度为 6.87 m/min,然后输入最大工作牵引速度为 10 m/min。

第 3 步:点击“模型推理”按钮,由系统计算推理得到采煤机参数,包括截割功率(900 kW)、牵引功率(120 kW)、装机功率(2 240 kW)、牵引力(1 232 N)、滚筒直径(2.8 m)、机面高度(2 201.9 mm);刮板输送机参数,包括输送能力(2 721.6 t/h)、中部槽宽度(1 100 mm)、输送机功率(1 891.7 kW);液压支架参数,包括最大结构高度(5.9 m)、最小结构高度(2.8 m)、移架步距(0.92 m)、移架速度(7.7 m/min),如图 4 所示。在数据库中对符合输入条件的输出设计参数与对应三机的技术参数,各参数误差值均在合理范围内。

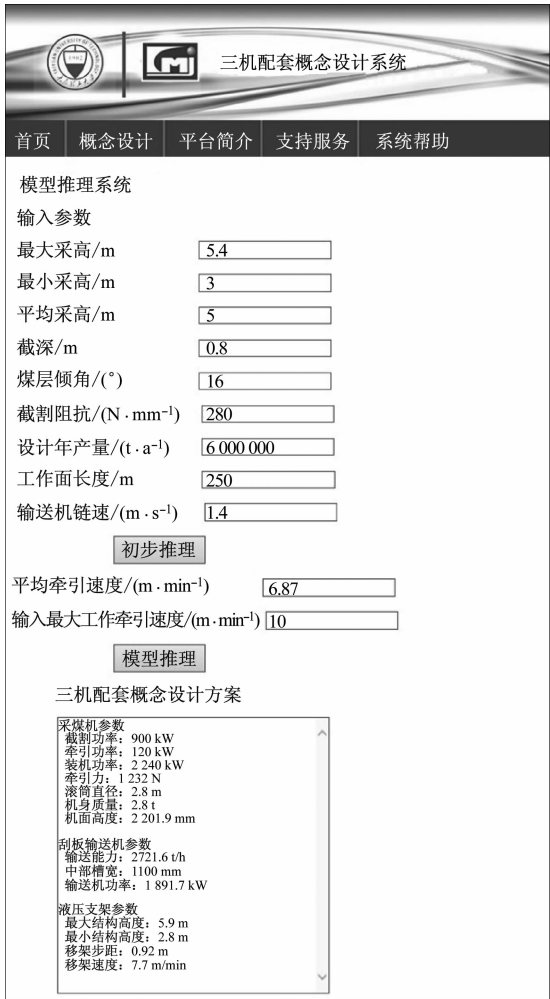


图 4 概念设计系统模型推理界面
Fig. 4 Model reasoning interface of conceptual design system

4 结论

(1) 针对煤机领域目前已开发的智能设计系统对综采三机配套关系考虑不足的问题,研究了基于

知识推理的综采装备概念设计方法和综采装备三机配套原则,开发了三机配套概念设计系统。测试结果表明,该系统推理结果基本符合实际设计要求,改进了现有采煤机设计系统设计知识孤立的不足,有利于设计经验与知识的共享与重用。

(2) 由于实例推理系统中实例库收集的三机配套型号数据有限,下一步将继续完善与改进系统。

参考文献(References):

[1] 丁华,杨兆建.采煤机概念设计融合推理模型研究与实践[J].煤炭学报,2010,35(10):1748-1753.
DING Hua,YANG Zhaojian. Research and practice of shearer conceptual design fusion reasoning model[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35 (10): 1748-1753.

[2] 丁华,杨兆建,王义亮.基于知识工程的采煤机数字化设计系统研究[J].机械设计,2011,28(4):15-19.
DING Hua, YANG Zhaojian, WANG Yiliang. Research on digital design system for coal mining machine based on KBE [J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(4): 15-19.

[3] 罗京伟,任芳,杨兆建.基于 Web 的采掘运装备零部件参数化设计系统[J].工矿自动化,2017,43(12): 82-85.
LUO Jingwei, REN Fang, YANG Zhaojian. Parametric design system of mining and conveying equipment parts based on Web[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(12): 82-85.

[4] 曾庆良,方春慧,刘志海.综放工作面设备配套选型专家系统[J].煤矿机械,2009,30(1):120-122.
ZENG Qingliang, FANG Chunhui, LIU Zhihai. Expert system of matching selection of equipments of top-coal caving fully-mechanized face [J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(1): 120-122.

[5] 孟照宏,姚贵英,高添.基于数据库的“三机”配套选型系统[J].煤矿机械,2013,34(4):239-241.
MENG Zhaohong, YAO Guiying, GAO Tian. Three-machine supporting and selection system based on database[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34 (4): 239-241.

[6] 桑根洪,孙传旗.综采工作面“三机”配套以及设备选型原则[J].科技视界,2013,14(11):312-313.
SANG Genhong, SUN Chuanqi. The "three machines" supporting and equipment selection principle of fully-mechanized working face[J]. Science & Technology Vision, 2013, 14(11): 312-313.

[7] 王海兵.综采工作面设备的选型与配套[J].煤炭技

- 术,2010,29(10):72-74.
- WANG Haibing. Equipments selection and matching at fully mechanized coal face[J]. Coal Technology, 2010,29(10):72-74.
- [8] 钟诗胜,张艳. 可拓知识表示及知识库系统的开发[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(11):2184-2190.
- ZHONG Shisheng, ZHANG Yan. Extension-based knowledge representation and development of knowledge base system [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems,2008,14(11):2184-2190.
- [9] 黄春雷,王峰,王建军. 基于知识推理的水电智能化在线调度技术[J]. 电力系统自动化,2010,34(21):50-54.
- HUANG Chunlei, WANG Feng, WANG Jianjun. Intelligent online hydropower dispatching based on knowledge reasoning [J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(21):50-54.
- [10] 姚惠萍. 采煤机概念设计推理模型改进与实现[J]. 煤炭工程,2016,48(7):134-137.
- YAO Huiping. Improvement and implementation of reasoning model for coal cutter conceptual design[J]. Coal Engineering,2016,48(7):134-137.
- [11] 赵淑霞,孙慧桢,王同珍. 基于实例推理的机械产品模块化设计[J]. 机械设计,2009,26(6):68-70.
- ZHAO Shuxia, SUN Huizhen, WANG Tongzhen. Modularized design of mechanical products based on case reasoning[J]. Mechanical Design, 2009, 26(6): 68-70.
- [12] 胡中豫,申涛,李高峰,等. 基于案例与规则推理的干扰查找专家系统[J]. 计算机工程,2009,35(18):185-187.
- HU Zhongyu, SHEN Tao, LI Gaofeng, et al. Interference finding expert system based on case reasoning and rule reasoning [J]. Computer Engineering,2009,35(18):185-187.
- [13] 张代胜,王悦,陈朝阳. 融合实例与规则推理的车辆故障诊断专家系统[J]. 机械工程学报,2002,38(7):91-95.
- ZHANG Daisheng, WANG Yue, CHEN Chaoyang. Vehicle-fault diagnosis expert system based on integration of case-based and rule-based reasoning [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002,38(7):91-95.
- [14] 韩越,李志华. 基于 ELM 网络的模拟电路故障诊断[J]. 电子设计工程,2014(19):93-95.
- HAN Yue, LI Zhihua. The study of fault diagnosis in analog circuit based on ELM network[J]. Electronic Design Engineering,2014(19):93-95.
- [15] 高相铭,刘付斌,杨世凤. 基于极限学习机的供水管网故障智能诊断方法[J]. 计算机工程与设计,2013,34(8):2887-2891.
- GAO Xiangming, LIU Fubin, YANG Shifeng. Intelligent fault diagnosis of water supply network based on ELM [J]. Computer Engineering and Design,2013,34(8):2887-2891.