

转向架基础制动装置的故障诊断专家系统研究

洪磊, 王玉国

(南京工程学院 汽车与轨道交通学院, 江苏 南京 211167)

摘要:基础制动装置是转向架的重要组成部分,其机械性能直接影响列车运行的安全性。针对转向架基础制动装置故障形式多样,引起轨道车辆运行安全隐患的问题,设计并开发了基于CLIPS的基础制动装置故障诊断专家系统。该专家系统对制动装置的故障形式和失效原因进行收集整理,并建立了对应的故障树模型,结合专家系统框架知识与产生式规则,采用正向推理模式构建了专家系统的基本结构,形成了以CLIPS为内核、以VC++为交互平台的基础制动装置故障诊断系统,弥补了传统CLIPS开发环境交互性的不足。运行结果表明,设计构建的专家系统对基础制动装置的故障诊断具有良好的可行性和有效性,为机务人员迅速找到故障并采取相应措施提供了依据,对转向架其他部件故障诊断系统的开发也具有一定的参考意义。

关键词:基础制动装置;故障诊断;专家系统;CLIPS

中图分类号:TP391.9;U270.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)08-0200-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.08.042

Investigation on Fault Diagnosis Expert System of Bogie Foundation Brake Rigging

HONG Lei, WANG Yu-guo

(School of Automotive and Rail Transit, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: The foundation brake rigging is an important component of the bogie and its mechanical properties directly affect the safety of the vehicle running. With regard to the problem that the various failure mode of bogie foundation brake rigging may cause the hidden trouble of the rail vehicle running safety, the fault diagnosis expert system of the brake rigging in bogie is designed and developed based on CLIPS, in which the fault modes and failure causes of the brake rigging is collected and sorted before the corresponding fault tree model is established. Then the basic structure of expert system is constructed by using the forward reasoning model in combination with the expert system frame knowledge and production rules and eventually the fault diagnosis system of brake rigging is implemented based on CLIPS as the core and VC++ as the interactive platform. It has made up the deficiency of traditional CLIPS development environment and its operation results prove that the expert system has favorable feasibility and validity for the fault diagnosis of the basic brake rigging, which provide a basis for the crew to find the faults and take corresponding measures and that it has reference significance to the development of fault diagnosis for other parts of bogie.

Key words: basic brake rigging; fault diagnosis; expert system; CLIPS

0 引言

转向架是承载车体重量和传递走行动力的导向部件,是大型养路机械的重要组成部分^[1]。基础制动装置是转向架非常重要的组成部件,它承担着列车的常用制动、紧急制动、停放制动及保持制动等功能;满足列车按一定运营速度每站停车等条件正常运行一个往返的要求,其机械性能直接影响到列车运行的安全性,基础制动装置上关键部件的故障会导致车辆制动性能

下降、甚至脱轨翻车等严重事故,因此开展转向架基础制动装置的故障诊断在实际应用中具有重要的意义^[2]。

迄今为止,国内外铁路科研工作者以不同方法相继对转向架故障诊断问题展开了研究^[3-8],并取得了一系列成果,但因算法自身的局限会对诊断结果造成一定的偏差,实用化研究和应用不足。基础制动装置作为动态系统,形式多样、结构复杂,其故障形式具有

收稿日期:2016-09-19

修回日期:2016-12-23

网络出版时间:2017-07-05

基金项目:江苏省产学研联合创新基金——前瞻性联合项目(13Y2014005-09);南京工程学院科研基金项目(YKJ201333)

作者简介:洪磊(1982-),男,博士,讲师,研究方向为故障诊断与专家系统技术;王玉国,博士,副教授,研究方向为检测与故障诊断技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170705.1652.064.html>

多样性、复杂性和隐蔽性的特点,同时,产生的故障还与使用条件具有密切关系,使得基础制动装置的故障形式多样,主要有机械振动、零部件的裂损和磨耗等问题。目前,对基础制动装置的故障诊断和维护工作主要由机务人员根据故障失效后特征,依据维修规程进行故障排查。这种方法很大程度上依赖于个人维护经验,往往需要具备专业知识和丰富实践经验的专家才能胜任,缺乏专家知识会导致故障定位的盲目和错误,甚至引发其他故障。因此,如何对基础制动装置的故障做出有效快速的诊断并恢复系统,是当前亟待解决的主要问题。

为解决上述问题,提出采用专家系统的诊断方法。该专家系统可视为一种具有专业知识和经验的计算机智能诊断系统,采用人工智能和知识推理技术解决复杂问题,达到具有与专家同等解决问题能力的水平。对于诊断基础制动装置故障问题,可以解决经验分析方法的不足,提高诊断的准确性。

1 基础制动装置的专家系统设计

根据专家系统的原理,基础自动装置的故障诊断专家系统的总体结构如图1所示。包括三大部分:

- (1)接口部分:故障诊断的人机接口;
- (2)知识库部分:含知识获取器和知识库;
- (3)推理机部分:推理机、解释器和动态数据库。

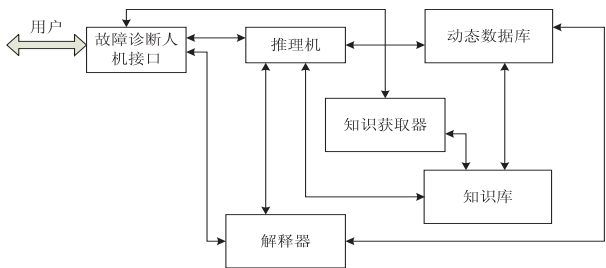


图1 故障诊断专家系统总体结构图

故障诊断专家系统的工作流程为:根据基础制动装置出现的故障现象,通过人机接口,用户将制动装置的相关故障信息表达成事实,形成故障事实库。依据相关事实和一定的推理搜索策略,推理机判定提供的故障事实与知识库中的规则是否匹配,以此来激活规则,被规则激活的事实放入到动态数据库中,并采用冲突消解策略来解决所选规则的优先级问题,激活的规则由解释器执行,最终形成故障诊断的执行结果,该结果通过人机接口将专家意见反馈给用户,以供用户在实际应用中参考。

2 基础制动装置故障诊断知识的获取

知识获取是建立一个故障诊断专家系统首先面临的问题,也就是怎样从知识源中提炼出用于解决相关

问题的专业知识。这一过程需要通过广泛的专家咨询、资料整理,抽取领域知识,并形成知识库。

转向架制动形式多种多样,包括踏面闸瓦制动、盘形制动、磁轨制动、涡流制动等。基础制动装置的组成包括带停放制动缸、手柄、闸线等一系列结构,磨耗和裂损是其主要故障形式,制动装置中制动梁、推杆或拉杆、闸瓦、闸瓦托等部件一旦发生磨耗和裂损,可能会引发多种事故^[9-10]。以下具体来分析基础制动装置的主要故障原因。

2.1 基础制动装置主要故障分析

2.1.1 制动梁发生脱落

制动梁发生脱落对行车安全性会产生严重威胁,该故障发生的可能原因包括:

- (1)制动梁闸瓦托的安装轴在其焊接处出现裂纹,在列车制动时受交变应力的影响,易发生安装轴折断;
- (2)两端闸瓦的厚度差超出范围,闸瓦托安装轴由于同轴度偏差,不在同一直线,这些可能造成一端制动梁产生局部增大的负荷,导致裂损出现在安装轴的根部;
- (3)过度磨耗或不良材质的轴头导致折损;
- (4)裂损与脱落出现在闸瓦托的开口销或吊圆销等易损部件处,造成整个制动梁发生脱落。

2.1.2 推杆或拉杆的折断

拉杆头发生裂损脱落,或圆销磨损后发生折断脱落,是拉杆头与推杆折断的主要故障形式。造成该故障的可能原因包括:

- (1)因焊接质量较差,造成拉杆和拉杆头在其焊接处出现裂损;
- (2)因拉杆头处的圆销孔存在加工偏差,使圆销受偏心力的影响,造成圆销出现折断;
- (3)拉杆头的开度加工偏差,或开口销存在过小的开度、或因材质疲劳而折损,造成圆销的脱落。

2.1.3 闸瓦的偏磨

在使用过程中,闸瓦会产生磨耗,使闸瓦偏磨成为一种常见的故障。引起该故障的可能原因有:

- (1)车轮踏面与闸瓦托两者的弧度存在偏差,使两面之间的各点不处于等距离的位置;
- (2)不合适的传动杠杆位置,使制动梁在制动时不处于正位,在一端闸瓦轮缘及另一端车轮踏面外侧出现磨耗,甚至出现闸瓦与车轮踏面不发生摩擦的情况;
- (3)闸瓦托仰头或低头,闸瓦上、下两端与车轮踏面不等距,造成闸瓦上、下头部偏磨。

2.1.4 闸瓦托的裂损

在运用过程中,由于闸瓦托需承受高温、高压,使

其易于发生裂损。引起该故障的可能原因有:

(1)在制动时,闸瓦承受的冲击力过大,使闸瓦托出现裂损;

(2)由于长时间下坡道行驶,或分配阀非正常工作,导致长时间抱闸而形成高温,使得闸瓦托出现裂损;

(3)质量不良的闸瓦托的材质及铸造过程导致裂损。

2.2 故障诊断知识故障树的建立

由于基础制动装置故障原因复杂多样,而故障事实表需要清晰的知识表达和明确的因果关系对照,因此使用故障树的分析方法来分析基础制动装置的故障原因。

故障树分析(Fault Tree Analysis,FTA),也称为事故树分析,是故障诊断中最为重要的分析方法之一^[11]。故障树分析通常以一个可能的事故(称为顶事件)为起点,采用自上而下、层次化的搜索方式查找直接或间接导致顶事件的中间事件,直到搜索到基本原因事件为止,然后用逻辑图的形式表达所有事件间的逻辑关系。

依据上述建立故障树的一般方法,结合整理的故障数据,基础制动装置的故障树如图 2 所示。

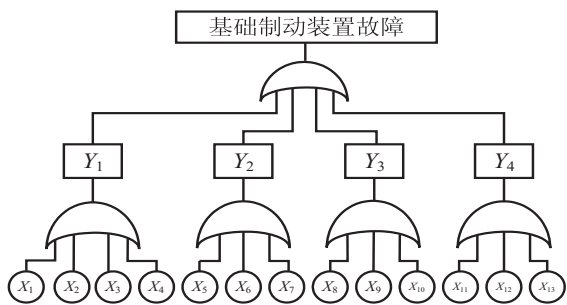


图 2 基础制动装置的故障树示意图

针对图 2,表 1 列出了其中各故障事件所代表的具体含义。

虽然基础制动装置故障形式复杂多样,但各种故障之间逻辑关系紧密,采用故障树建立基础制动装置故障信息,具有层次鲜明的特点。

2.3 故障诊断专家经验知识的获取

故障诊断专家知识是由知识工程师通过认知理解,结合技术保障一线的机务工作者的经验,进而确认并表达出来的某领域专业化故障诊断知识。这些知识主要包括:发生故障现象或迹象,能形成对系统故障影响的设计或制造的原因;工作维护对系统故障产生的影响;实施故障诊断时的思路、方法或步骤等^[12-13]。

由上述专家知识构建的故障树成为专家系统知识库的基础,下面将以此为基础,构建以 CLIPS 为内核的专家系统程序数据

表 1 基础制动装置故障树事件的含义

事件种类	事件代号	事件名称
顶事件	T	转向架基础制动装置故障
	Y_1	制动梁脱落
中间事件	Y_2	拉杆及推杆折断
	Y_3	闸瓦偏磨
	Y_4	闸瓦托裂损
	X_1	制动梁两端闸瓦托安装轴焊接处产生裂纹
底事件	X_2	两端闸瓦托安装轴不在一直线上厚度差超过规定
	X_3	轴头材质不良或磨损超限
	X_4	闸瓦托圆销及开口销裂损或脱落
	X_5	拉杆头开度不对或加工偏差过大
	X_6	拉杆头与拉杆焊接部焊接不良
	X_7	开口销开度过小,材质疲劳
	X_8	闸瓦上下两端与车轮踏面不等距
	X_9	闸瓦托与车轮踏面弧度不一致
	X_{10}	传动杆装置不合适
	X_{11}	材质及铸造质量不良
	X_{12}	分配阀作用不正常
	X_{13}	闸瓦承受压力过大

3 故障诊断专家系统程序设计

3.1 知识库构建

对于基础制动装置的故障诊断,采用“基于框架的产生式规则”来表达故障信息,构建专家系统知识库。

对于图 2 所示的基础制动装置故障树,故障事实均由各个节点知识表达。采用“框架+产生式规则”的方式来表达事实,首先要通过自定义模板表示事实框架,该自定义模板可用来表示各层的顶事件、中间事件和底事件。CLIPS 的事实由关系名(node)和槽(slot)组成,符合专家系统中框架的知识表示方式^[14]。利用 CLIPS 表达的故障事实自定义模板如下:

```
(deftemplate node
  (slot name) (slot type) (slot node1) (slot node2) (slot node3) (slot...))
```

其中,deftemplate 表示故障事实自定义模板;node 为关系名;槽 name 表示该节点的内容;槽 type 表示该节点的类型,当 type 的值为 decision 时,表示该节点为中间事件或顶事件节点,当 type 的值为 answer 时,表示该节点为底事件节点;槽 node1、node2 分别表示第 1、2 个子节点,以此类推。

根据上述自定义模板,可以把故障信息中间事件“闸瓦偏磨”(事件代号 Y_3)表示为如下事实:

```
(node (name  $Y_3$ )
      (type decision)
      (node1  $X_8$ ) (node2  $X_9$ ) (node3  $X_{10}$ ))
```

该事实表示“闸瓦偏磨”的原因有“闸瓦上下两端

与车轮踏面不等距”、“闸瓦托与车轮踏面弧度不一致”、“传动杆装置不合适”等。前者是果,后者是因,且后者之间为或关系,即后者中任意一种或一种以上的现象发生了,那么就会产生“闸瓦偏磨”,符合产生式规则关系。

同样,底事件故障节点“闸瓦上下两端与车轮踏面不等距”(事件代号 X_8)可表示为事实:

```
(node (name  $X_8$ )  
      (type answer)  
      (node1 “调节左右制动横拉杆间距,确保闸瓦与踏面  
              接触位置正确”)  
      (node2 “调节闸瓦仰角调节螺栓,确保闸瓦与踏面间  
              隙均匀”))
```

该事实表示,如果出现故障 X_8 ,可采取 node1 或 node2 提供的措施进行维护。

按上述方法完成其他各节点的事实表示,这些事实组成了基础制动装置的知识库,把这些事实存入文件“BrakeRigging_Facts. DAT”以用于推理。

3.2 推理机设计

基础制动装置产生的故障是多个原因的综合,对其故障树进行推理,需采用合理的推理机制,以提高效率和准确性。对于以该专家系统来说,是根据观察到的故障现象进行分析推理,同时对故障树进行逐层搜索,可靠性较强。因此,在专家系统中,采用正向推理方法,广度优先搜索的推理策略,该推理过程如图3所示。

在推理机运行过程中,current、layer 和 compare 为产生的事实表,并存储在动态数据库中。其中,current 用于存放正在或即将进行匹配判定的节点;layer 用于存放在当前执行层将要进行推理判定的所有节点;compare 用于存放节点与故障匹配的最终结果。采用 CLIPS 表达上述数据结构为:

```
(current “节点”)  
(layer “节点” “父节点”)  
(compare “节点” yes / no)
```

推理流程如下:

(1)在 current 中放入故障特征,同时生成全部子节点。如果没有子节点,将 current 中的节点清除,并得出结果;反之,在 layer 中载入所有的子节点,并清除已生成子节点的父节点。

(2)当 current 中无节点时,说明 layer 中已存放当前层全部节点。利用广度优先搜索方法,匹配 layer 中的节点与故障特征,当成功匹配时,该节点将放入 compare 中,以 yes 为标记,反之记为 no,再将上述故障特征清除,对 layer 中每个节点都依次完成上述匹配,并清空 layer。

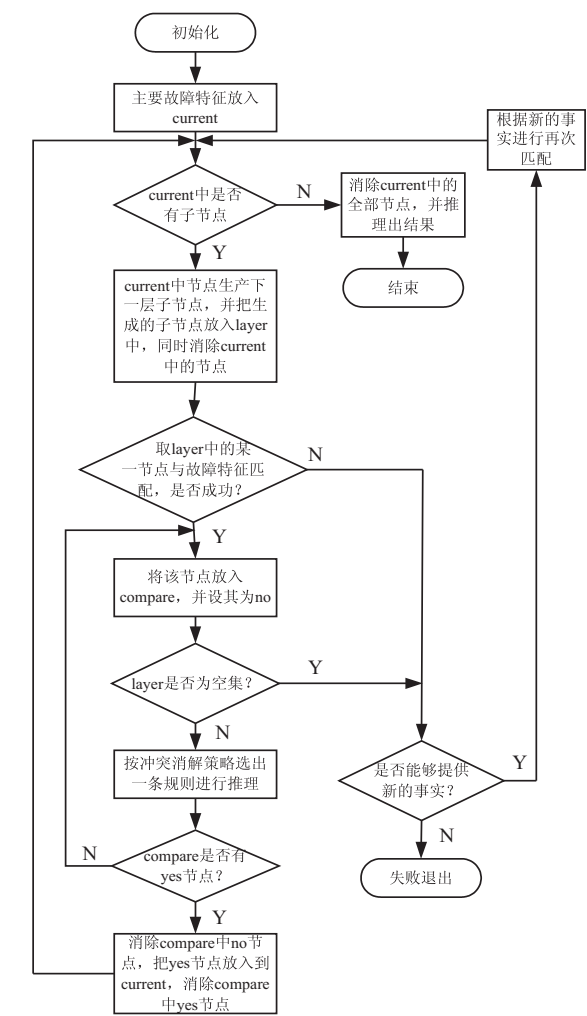


图3 故障树的推理流程图

(3)如果 compare 中有匹配成功的节点,则在 current 中载入这些节点,再清空 compare;如果没有,则将所有节点载入 current,再清空 compare。

(4)当 compare 和 current 中都无节点时,表明故障树的底部已经到达,从而推理出结果,反之继续返回步骤(1)执行。

(5)如果故障特征与 layer 中的所有节点都不能匹配,说明采集了不完整故障特征,需重新判断,否则系统推理失败而退出。

3.3 人机交互接口设计

由于 CLIPS 只能在控制台下以命令行的形式与用户进行交互,不便于进行输入和读取,因此系统采用 VC++和 CLIPS 混合编程的方式,充分发挥 CLIPS 的推理能力和 VC++在用户人机交互方面的优势。

3.3.1 CLIPS 与 VC++交互环境的构建

CLIPS 与 VC++有两种基本的交互模式:一种是基于 VC++环境,另一种是基于 CLIPS 环境。第一种模式的特点是,推理功能由 CLIPS 实现,而其他功能由 VC++实现,如人机界面、数据读写等,这里 CLIPS 作为函数被 VC++调用,由此推理功能得以实现。该方式

使用较多,但不足之处是 VC++需替代 CLIPS 完成许多功能,无法充分利用 CLIPS 本身的强大功能,同时 VC++开发的工作量也相应增加,而且调试需在 VC++环境下进行,无法获取 CLIPS 的必要调试信息;后一种模式的特点是,人机界面功能由 VC++实现,而其他功能由 CLIPS 实现,在 CLIPS 环境完成调试,这种方式适合于调试程序,移植较为方便。这种交互的基本组成构架如图 4 所示。



图 4 CLIPS 与 VC++交互示意图

3.3.2 人机交互界面设计

为便于 VC++界面开发和 CLIPS 专家系统开发可以独立进行,该专家系统采用动态链接库(DLL)方式使 CLIPS 嵌入 VC++。该方式有利于专家系统的开发、维护和扩充^[15]。具体方法为:首先在所建 VC 工程中加入动态库文件 clips.dll 和包装类文件 clipwrap。为使 VC++可以调用 CLIPS 中的类,需在 VC++的 include 文件夹下,添加 clipwrap 文件夹中的 dynclips.h 和 dyaload.h,并在 VC++的工程目录下放入 clips.dll、clips.lib、rsvarcol.cpp 和 revarcol.h,由此,VC++可调用 clips 的所有函数。在以 CLIPS 为内核建立知识库和推理机的基础上,开发的基于 VC++的专家系统界面如图 5 所示。



图 5 转向架基础制动装置故障诊断主界面

4 结束语

利用 CLIPS 专家系统开发工具创建了转向架基础

制动装置故障诊断专家系统,分析了该系统的基本结构和故障形式,建立了基础制动装置的故障树模型。在此基础上,构建了 CLIPS 专家系统知识库和推理机,并最终开发了基于 VC++平台的交互式故障诊断系统。该系统能够帮助机务人员迅速找到故障并采取相应措施加以解决,该系统的设计方法对转向架其他部件的故障诊断系统的开发也具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 吴 锬.城市轨道交通车辆转向架综述[J].铁道机车车辆工人,2010(6):1-7.
- [2] 李笑梅,贺德强,邓建新,等.城市轨道交通车辆转向架故障诊断方法综述[J].装备制造技术,2015(12):81-85.
- [3] 秦 娜,金炜东,黄 进,等.基于 EEMD 的高速列车转向架故障诊断[J].计算机工程,2013,39(12):1-4.
- [4] 杨 磊.基于 LabVIEW 的动车组转向架状态监测及故障诊断[D].石家庄:石家庄铁道大学,2013.
- [5] 段旺旺,金炜东.基于 AR 功率谱的高速列车转向架故障信号分析[J].噪声与振动控制,2015,35(2):51-56.
- [6] 李 潭,谭献海.高速列车转向架振动信号多重分形特征提取与故障诊断[J].工业控制计算机,2015(7):68-69.
- [7] Jeon K W, Shin K B, Kim J S. A study on evaluation of fatigue strength of a GFRP composite bogie frame for urban subway vehicles[J]. Advances Composite Materials, 2013, 22(4): 213-225.
- [8] 刘建强,赵治博,章国平,等.地铁车辆转向架轴承故障诊断方法研究[J].铁道学报,2015,37(1):30-36.
- [9] 冯文梅,张养亮.转向架基础制动装置故障探讨[J].铁道车辆,2009,47(1):34-36.
- [10] 王刚强. GK1C 型机车闸瓦偏磨的原因分析及处理[J].铁道机车与动车,2015(2):45-46.
- [11] Ginarratano J C. Expert systems: principles and programming [M]. 4th ed. [s. l.]: [s. n.], 2004: 78-90.
- [12] Nalepa G J, Mach M A. Business rules design method for business process management [C]//Proceedings of the international multi conference on computer science and information technology. [s. l.]: [s. n.], 2009: 165-170.
- [13] Forgy C L. Rete: a fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem [J]. Artificial Intelligence, 1982, 19(1): 17-37.
- [14] 沈大伟,庄 诚,王学雷.基于 CLIPS 的故障诊断专家系统开发[J].化工自动化及仪表,2012,39(4):450-453.
- [15] 常 静,吴琼雁,任 戈.基于 CLIPS 的机载光电跟踪设备故障诊断专家系统研究[J].计算机测量与控制,2015,23(3):749-751.