

高速重载铁路货车轮轴智能检测系统的研究^①

王 兴^{②*} 郑颺默^{③*} 张晋源^{***} 高 菲^{***} 王雨竹^{***}

(* 中国科学院沈阳计算技术研究所自动化装备事业部 沈阳 110168)

(** 中国科学院大学计算机科学与技术学院 北京 100049)

(*** 太原科技大学计算机科学与技术学院 太原 030024)

摘 要 针对铁路货车在高速重载行车状态下的轮轴智能检测和轴承故障难以诊断问题,研究设计了一种高速重载铁路货车轮轴智能检测系统。通过构建系统的软件和硬件结构模型,制定通信指令集的编码和解码规则,设计智能化指令调度策略,编写专家控制产生式规则。同时采用基于有限脉冲响应-经验模态分解(FIR-EMD)和改进支持向量机(SVM)的铁路轴承故障诊断方法,实现铁路轴承故障有效分类。提出一种高速重载轮轴检测领域中可编程的智能化测控方法,能够对现场设备的控制程序进行重构和功能扩展。实验测试及结果表明,该系统设备的设计满足铁路货车轮轴高速度、大重载、智能化检测的需求。

关键词 高速;重载;铁路货车;轮轴;智能检测

0 引 言

铁路作为国民经济大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具,在我国经济社会发展中的地位和作用至关重要。随着中国铁路工业的不断发展,铁路货车高速重载是目前我国的重要发展战略^[1]。货车运行速度已由过去的 40~60 km/h 大幅度提升到目前的 80~120 km/h,每节车厢载重量也提升到 70~80 t。铁路货车的轮轴是货车走行部的重要组成部分,在实际行车中,轮轴的轴承“热轴”的现象时有发生。因轴承“热轴”原因导致故障及事故的事件多有发生。2018 年四季度全路联网铁路车辆轴温智能探测系统(trace hotbox detection system, THDS)探测货物列车 13 761 972 列 726 251 883 辆,预报热轴故障总计 11 233 件,其中激热 4 件、强热 16 件、微热 11 213 件^[2]。2019 年下半年 THDS 探测

货物列车 2853 万列 14.9 亿辆,预报热轴故障总计 11 325 件,其中激热 17 件、强热 47 件、微热 11 261 件^[3]。2020 年上半年 THDS 探测货物列车 2642 万列 13.7 亿辆,预报热轴故障总计 14 513 件,其中激热 7 件、强热 54 件、微热 14 452 件^[4]。从近几年统计的数据来看,我国铁路货车年运输辆次呈现上升趋势的同时,热轴故障也随之增加,给铁路货运带来了极大的不安全因素。目前,国内针对铁路货车轮轴及转向架检测的设备,都是模拟直线行车状态下,进行轮轴高速加载磨合试验和转向架综合加载性能试验,但不能仿真铁路货车在直行、转弯等各种实际路况下的高速重载行车状态,且整个检测过程也不接近于实际路况,存在检测结果数据不准确的问题。另外,铁路轮对轴承运行具干扰源多、载荷大、冲击负荷大、时变工况等特殊性和存在加工误差、装配误差、摩擦力、阻尼等多种因素,这些也为轮对轴承故障诊断带来了挑战。针对这些问题,同时考虑

① 山西省专利推广实施资助专项(20210521),国家自然科学基金面上项目(41372350)和山西省重点实验室项目(202204010931026)资助。

② 男,1981 年生,博士生,副教授;研究方向:物联网工程,计算机技术;E-mail: 17904856@qq.com。

③ 通信作者,E-mail: zhengliao@sic.ac.cn。

(收稿日期:2021-11-11)

轮轴检测的工艺要求,本文将研究一种高速重载铁路货车轮轴智能检测系统,可用于对 RE2B、RD2、RE2A 等型号轮轴进行智能检测。

1 轮轴检测系统的设计

根据高速重载铁路货车轮轴检测工艺要求以及智能检测技术需求,研究设计了高速重载铁路货车轮轴智能检测设备,设备实物设计如图 1 所示。



图 1 高速重载铁路货车轮轴智能检测设备

1.1 硬件部分设计

高速重载铁路货车轮轴智能检测设备硬件部分主要由电气控制系统、液压加载系统、传感器检测系统和机械结构系统 4 个子系统组成。通过液压加载系统产生纵向和横向液压加载。纵向加载可垂直加载在转向架并作用于轮轴之上,实现 0 ~ 50 t 的压力,可模拟单节车辆载重 0 ~ 80 t 的状态。横向加载可水平轴向加载在转向架侧面并作用于轮轴之上,实现 0 ~ 20 t 的压力,可模拟车辆以 0 ~ 140 km/h 速度转弯的离心状态。通过电气控制系统,采用变频调速方式可以实现轮轴 0 ~ 160 km/h 的行驶速度。通过传感器检测系统,可实时采集轮轴轴承的温度、温升、振动、受力等信息。整个检测设备硬件能够仿真铁路货车轮轴在直行、转弯、过岔道等多种实际路况下的高速重载行车状态,将使整个检测过程更加接近于实际路况。

1.2 软件部分设计

系统的软件部分主要由上位机计算机智能检测

软件和下位机可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)辅助程序组成。在设备的控制方式上采用以计算机软件为主、PLC 程序为辅的模式。计算机软件主要完成设备控制、画面组态、程序编程、智能检测、指令下发、逻辑判断、数据归档、故障诊断、用户管理等功能。PLC 控制器的主要作用变为实时反馈输入设备的数字量和模拟量信息,接收并执行计算机下发指令动作和手都输入信号动作,控制输出设备动作。PLC 在本系统设计中,由传统的主控制器模式变为传输器模式。设备的结构示意图如图 2 所示。

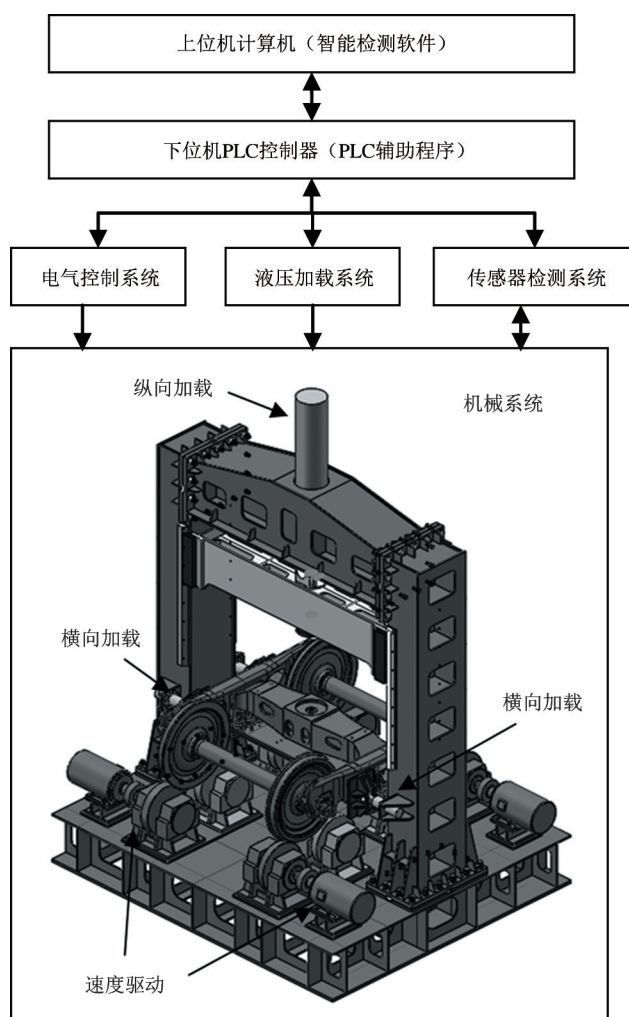


图 2 高速重载铁路货车轮轴智能检测系统结构图

1.3 创新技术

为使铁路货车轮轴的整个检测过程更加接近于实际路况,提高检测数据的准确性,本文研究出一种轮轴轴向加载技术,可实现轮轴高速重载运行状态

下轴向的加载,模拟实现在转弯时所受的离心力,从而进一步能够模拟检测铁路货车在直行、转弯、过道岔等多种实际路况下的高速重载行车状态,实现高速重载铁路货车轮轴多工况智能仿真检测。

2 智能检测软件的设计

上位机计算机智能检测软件,是高速重载铁路货车轮轴智能检测系统的关键核心部分。软件主要功能是一方面完成对铁路货车轮轴的智能检测及故障诊断,另一方面完成对 RE2B、RD2、RE2A 等型号轮轴检测程序的快速编程。因此,在设计上软件的结构主要由“算法模块”和“人机接口模块”组成。其中,算法模块包括专家控制算法、轴承故障诊断算法、多种型号的轮轴检测程序算法库以及设备功能指令集调度算法。人机接口模块包括软件登录、数据记录查询打印、设备监控画面组态、程序指令运行模块、程序指令编程模块、帮助信息、用户管理、数据库、指令集、设备参数设置、软件升级接口、设备管理维修设置、系统硬件设备自检、故障报警以及指令队列输出模块等功能模块。智能检测软件体系结构示意图如图 3 所示。

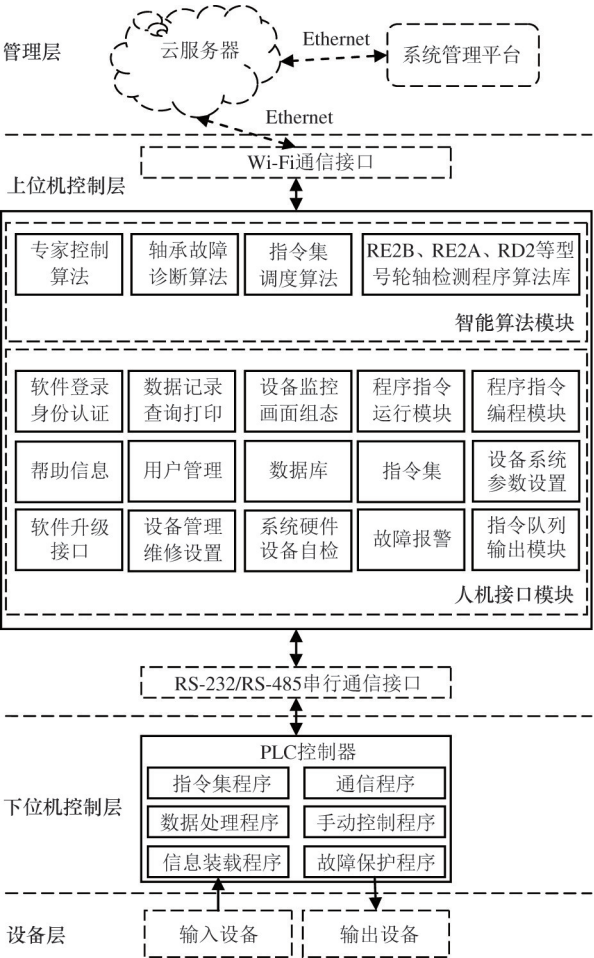


图 3 智能检测软件体系结构示意图

3 软件算法模块设计

3.1 专家控制算法

上位机计算机软件在设计上采用专家系统结构,特别是表现在对功能指令的查找、调用、判断,对系统设备故障的实时诊断报警,对程序编程的检测,以及对设备的控制操作等方面。

专家系统是一组具有智能特点的计算机程序,它的智能化主要表现为能够在特定的领域内模仿人类专家思维来求解复杂问题。高速重载铁路货车轮轴智能检测软件在设计上按照专家控制系统结构,由知识库、人机交互界面、推理机、知识获取、综合数据库、解释器等几部分构成。

软件代码采用产生式规则进行知识表示,知识库由大量产生式规则组成^[5],其规则表示形式为

(1) If <条件 1> Then <结论或动作>

(2) If <条件 1> And <条件 2> ... And <条件 n> Then <结论或动作>

Else <结论或动作>

(3) If <条件 1> And <条件 2> ... And <条件 n> Then <结论或动作>

Elseif <条件 1> And <条件 2> ... And <条件 n> Then <结论或动作>

.....

根据上述设计思想和知识表示方法,可以设计出一系列专家控制规则策略,具体如下所示:

R1: If <接收到“Q1.0 = 1”指令> Then <启动 1 号转速电机>

.....

R7: If <大于等于设定载荷> And <1 号变频器启动> And <2 号变频器启动> Then <启动 1 号工位 PID 调节速度>, <启动 2 号工位 PID 调节速度>

速度 > , < 启动, PID 调节液压载荷 >

Else < 执行增加载荷过程 >

.....

Ri: If < 接收到“Q3.0 = 1”指令 > Then < 启动
1 号工位横向加载 >

ElseIf < 接收到“Q3.0 = 0”指令 > Then
< 关闭 1 号工位横向加载 >

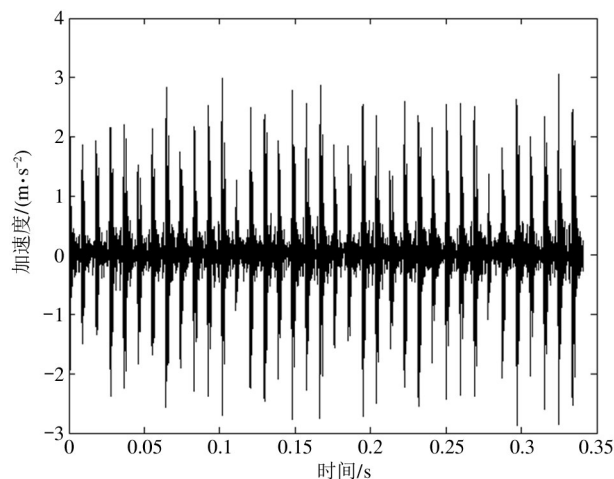
.....

3.2 故障诊断算法

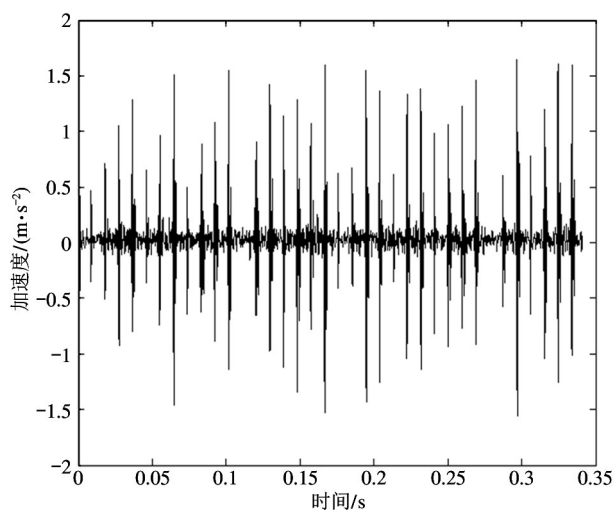
高度铁路货车轴承故障主要有轴承内圈故障、轴承外圈故障、轴承滚动体故障^[6]。但是轴承由于加工误差、装配误差、摩擦力、阻尼等多种因素影响而产生的振动信号一般是非线性非平稳的随机信号,在运行检测过程中存在干扰源多、载荷大、冲击负荷大、时变工况等,这些影响因素为轴承故障诊断带来了很大的检测难度^[7]。针对轴承故障类型难以有效识别问题,在故障类型检测方面采用基于有限脉冲响应-经验模态分解^[8] (finite impulse response-empirical mode decomposition, FIR-EMD) 和改进支持向量机^[9] (support vector machine, SVM) 的铁路轴承故障诊断方法。

首先对采集到的振动信号进行 FIR 降噪,再对降噪后的信号进行 EMD 分解,接着对分解后的信号构造固有模态函数 (intrinsic mode function, IMF) 能量矩,最后将能量矩作为改进 SVM 的输入实现铁路轴承故障分类。轴承外圈故障分类过程如图 4 所示。

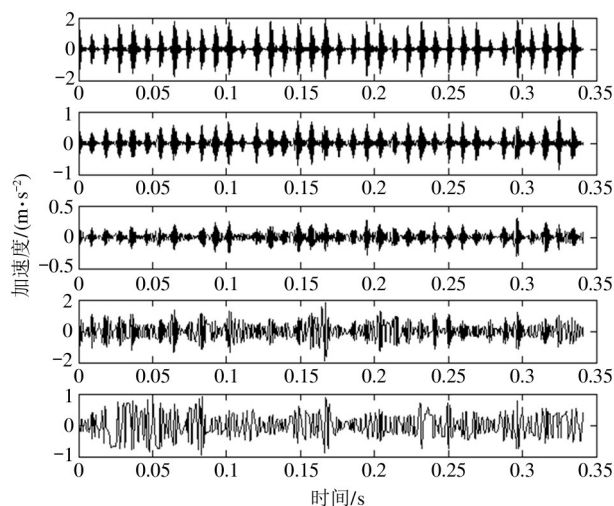
对 EMD 分解后的信号提取 IMF 能量矩特征向量,并归一化得到训练样本数据和测试样本数据,表 1 为部分归一化的 IMF 能量矩训练特征样本,表 2 为部分归一化的 IMF 能量矩测试特征样本。用训练样本数据对改进 SVM 分类器进行训练,训练结束后,用得到的模型对测试样本进行预测,最后得到改进 SVM 分类器的准确率为 100%。图 5 为改进 SVM 分类结果。在图 5 中,1 为正常轴承,2 为轴承内圈故障,3 为轴承外圈故障,4 为轴承滚动体故障。通过改进 SVM 分类器的输出结果,可以看出此种方法能有效地识别出铁路轴承故障类型,同时为智能故障诊断提供有效理论依据。



(a) 轴承外圈故障时域波形图



(b) FIR 降噪后的轴承外圈故障时域波形



(c) 轴承外圈故障信号 EMD 分解波形图

图 4 轴承外圈故障诊断的波形图

表 1 轴承部分训练样本数据

序号	E_0	E_1	E_2	E_3	E_4	轴承状态
1	0.9662	0.1387	0.0722	0.1649	0.1216	正常
2	0.9656	0.1114	0.1735	0.1502	0.0509	正常
3	0.9772	0.1131	0.1109	0.1171	0.0790	正常
4	0.8573	0.4434	0.1022	0.0474	0.2361	内圈故障
5	0.8930	0.4033	0.1238	0.0672	0.1416	内圈故障
6	0.8771	0.4210	0.1522	0.1472	0.0926	内圈故障
7	0.9615	0.1404	0.1721	0.0331	0.1518	外圈故障
8	0.9492	0.2174	0.1958	0.0285	0.1126	外圈故障
9	0.9352	0.3296	0.1147	0.0231	0.0555	外圈故障
10	0.1673	0.6107	0.6930	0.3195	0.1296	滚动体故障
11	0.0772	0.8000	0.5555	0.2022	0.0678	滚动体故障
12	0.1698	0.7512	0.5979	0.2169	0.0485	滚动体故障

表 2 轴承部分测试样本数据

序号	E_0	E_1	E_2	E_3	E_4	轴承状态
1	0.9745	0.1355	0.0859	0.1415	0.0670	正常
2	0.9682	0.1313	0.1311	0.1566	0.0605	正常
3	0.9799	0.1416	0.0892	0.0991	0.0451	正常
4	0.9034	0.3704	0.1352	0.1479	0.0806	内圈故障
5	0.7942	0.5615	0.1654	0.0990	0.1296	内圈故障
6	0.8381	0.5077	0.1588	0.0929	0.0770	内圈故障
7	0.9476	0.1171	0.2720	0.0159	0.1190	外圈故障
8	0.9446	0.2831	0.0192	0.0163	0.1642	外圈故障
9	0.9443	0.1283	0.2912	0.0493	0.0680	外圈故障
10	0.2601	0.4927	0.8029	0.1923	0.0894	滚动体故障
11	0.2154	0.6279	0.7039	0.2419	0.0733	滚动体故障
12	0.2235	0.5632	0.7586	0.2066	0.0826	滚动体故障

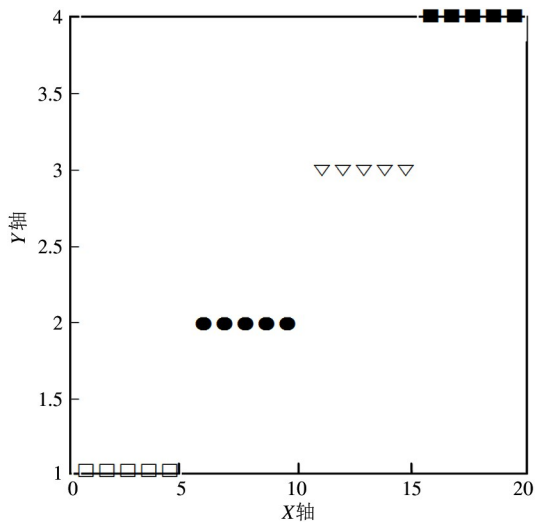


图 5 改进 SVM 分类结果

3.3 指令集调度算法

上位机计算机智能检测软件对整个系统的软件控制,是通过执行指令集中各种指令来完成的。这些指令由设备动作指令、逻辑判断指令、系统函数指令、辅助功能指令、外部通信指令 5 种指令类组成,这些指令类型繁多、结构复杂。系统目前的指令数量为 400 多条,每条指令在调度执行过程中都需要快速地进行查找指令、解析指令、发送动作信息 3 个步骤。指令查找算法就是指令集调度算法的核心。

由于指令集中的指令是按照类型进行分类的调用,同时需要考虑指令集中的指令动态增减,因此指令查找算法在设计上采用分块查找算法较为优异。

分块查找是顺序查找和折半查找的一种改进方法,分块查找由于只要求索引表是有序的,对块内节点没有排序要求,因此特别适合于节点动态变化的情况,该特性也满足指令集动态调整的需求。

由于分块查找是2次查找过程,因此整个算法的平均查找长度是2次查找的平均查找长度之和,如式(1)所示。

$$ASL = ASL_1 + ASL_2 \quad (1)$$

指令集 $C[1:n]$ 被分成了5大块,设5大类中的指令数量为 a_i , 每条指令的查找概率相同即 $P_i = 1/n$, 则应该满足:

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = n \quad (2)$$

平均查找长度为

$$\begin{aligned} ASL &= ASL_1 + ASL_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 \\ &= \frac{1}{n} [2(a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + 3a_5] \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 \\ &= 3 + \frac{a_5}{n} \end{aligned} \quad (3)$$

式中, ASL 为索引查找法的平均查找长度, ASL_1 为分块查找的平均查找长度, ASL_2 为直接定址法的平均查找长度。

由结果可知 $0 < a_5/n < 1$, 所以平均查找长度 $3 < ASL < 4$, 时间复杂度为 $O(1)$ 。不难看出该指令集的设计在兼顾可读性和扩展性的同时,大幅缩短了指令查找时间,提高了系统整体的运行速度。

3.4 轮轴检测程序算法库

新(轮规)要求对于压装合格的轮轴轴承不仅要“左右旋转3~5圈,转动灵活,不得有卡阻”,还要求轮轴磨合测试转速不低于200 r/min,时间不少于5 min,模拟载荷范围为0~21 t,自动检测各个轴承8个测温点温升,轮轴磨合结束后能够实现制动轮轴,轴承转动时不宜有异音,磨合过程中轴承温升不高于40℃等参数要求。目前,我国根据车型主要使用的轮轴型号为RE2B、RD2、RE2A等多种型号。针对不同用途不同型号的轮轴,检测工艺具体也不相同。因此,在检测软件设计上需要考虑通用性以及可扩展性,不仅要满足目前检测需求,而且还要满足新型轮轴的检测需求。

高速重载铁路货车轮轴智能检测系统软硬件在

设计上其检测能力都高于新(轮规)技术要求。其中软件部分设计有轮轴检测程序算法库。该算法库根据测试技术要求,针对RE2B、RD2、RE2A等型号轮轴制定不同的检测工艺,按照检测工艺建立各种型号轮轴的检测程序,这些程序采用指令表的编程方式构建而成,可通过软件中程序指令编程模块实现快速地调用、修改、新建、保存等功能。具体的程序编程可以参考之后有关检测程序编程设计部分的论述。

4 检测程序编程设计

高速重载铁路货车轮轴检测程序控制过程属于过程控制,具有一步一步顺序控制功能及动作的输出。按照过程控制理念,将整个系统的每个功能及动作进行指令化。因此,对RE2B、RD2、RE2A等型号轮轴的智能检测程序,可以按照检测工艺,由多个指令顺序组合而构成线性表^[10]。程序的编程过程,可通过软件设计的程序指令编程模块界面,选择点击相应功能指令按钮,采用非编码方式快速插入、删除、编辑程序^[11]。程序编程过程示意图如图6所示。

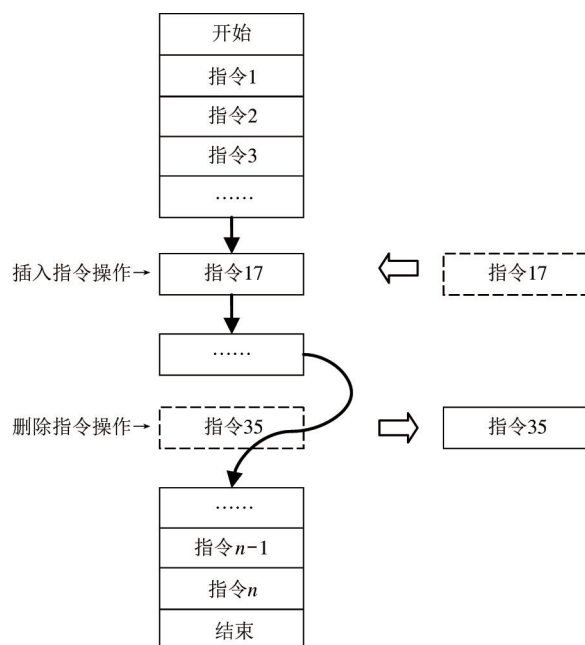


图6 程序编程过程示意图

检测程序由序号、指令和说明3部分组成。序

号项目用于显示程序中指令的顺序编号。指令项目用于显示所选指令的代码,这些代码是按照通信指令集的编码及解码规则构建的,并由计算机指令集调度算法从上至下顺序调用执行。说明项目用于对应指令代码的说明注释,增加用户的可读性。

5 指令通信设计

5.1 指令通信结构

在整个系统中,指令扮演着“信使”的角色,来传递系统中各种对象之间的信息,上位机计算机智能检测软件是控制层的核心,同时也是整个系统信息交流的中心,与其交流的对象较多,软件会对收到的指令类型进行判断,从而做出相应的“动作”,系统指令传递的路线如图 7 所示。

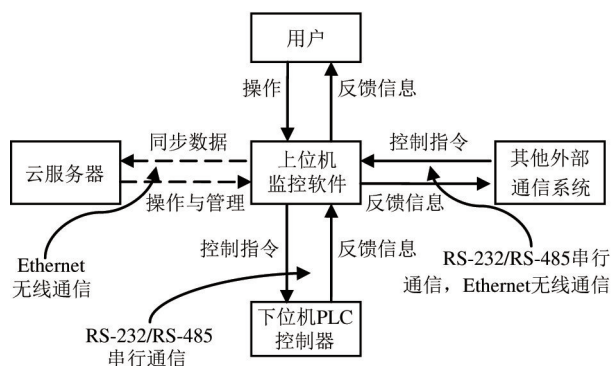


图 7 指令传递路线图

(1)用户与上位机监控软件的指令传递:用户通过计算机软件指令编程窗口,按照设备检测工艺,采用非编码的方式选择相应指令完成指令程序的快速编写。

(2)上位机监控软件与下位机 PLC 控制器指令传递:上位机监控软件向下位机发送控制指令,同时下位机将测控对象的状态反馈给上位机。

(3)上位机监控软件与云服务器指令传递:云服务器对上位机监控软件进行操作与管理,同时上位机将会将程序以及指令集同步到云服务器上。

(4)上位机监控软件与其他外部通信系统指令传递:其他外部通信系统根据本系统开放的指令集,可对本系统进行控制,本系统对其他外部通信系统进行控制是需要遵循对方的指令集规则。

(5)上位机监控软件与自身指令传递:上位机监控软件执行逻辑判断指令、系统函数指令、辅助功能指令时,自身完成指令判断和解析。

5.2 指令格式

系统中各个对象之间的通信指令需要采用统一格式。在设计上重点考虑两方面:一方面考虑用户对指令的可读性,指令格式应具有一定规律,使用户能够容易看懂。另一方面考虑计算机软件对指令的快速检索,指令格式应利于快速分类分块查找^[12]。部分指令集指令说明见表 3。

5.2.1 设备动作指令

设备动作指令是上位机计算机软件发送给下位机 PLC 控制器的控制指令。主要由数字量输出指令和模拟量输出指令组成。数字量输出指令长度为 6 位,格式为“指令符(1 位) + 地址(3 位) + 功能码(1 位) + 取值(1 位)”,例如令 PLC 的 Q0.1 输出为高电平,则指令是“Q0.1 = 1”。模拟量输出指令长度为 18 位,格式为“指令符(2 位) + 地址(3 位) + 功能码(1 位) + 取值(12 位)”,例如令 PLC 的第一个模拟量输出寄存器 AO 为 6400,则指令是“>> AO1 = 6400”。

5.2.2 逻辑判断指令

逻辑判断指令是上位机计算机软件内部进行逻辑比较运算的指令,具体包含数字量输入逻辑判断指令、数字量输出逻辑判断指令、模拟量输入逻辑判断指令、模拟量输入最大值逻辑判断指令、模拟量输入最小值逻辑判断指令、运算器逻辑判断指令、累加器逻辑判断指令、高速计数器逻辑判断指令。逻辑判断指令长度为 13 位/18 位,格式为“指令符(1 位) + 变量(5 位) + 功能码(2 位) + 变量(5 位)/数值(12 位)”,其中功能码为“= =:等于,> =:大于等于,< =:小于等于,< >:不等于,>>:大于,<<:小于”6 种判断码。例如判断 PLC 模拟量输入寄存器 AIW0 是否大于等于 6400,则指令是“? AIW0 > = 6400”。

5.2.3 系统函数指令

系统函数指令是软件系统内部功能指令,主要包括用户编程时提供代码逻辑和进行相关程序操作的指令,注释指令、计时器指令、循环指令、逻辑

“或”指令、跳转指令、否跳转指令、提示指令、保存指令、导出数据指令、发送指令、打开程序指令、PID指令、程序进程控制指令等。系统函数指令长度为6位/18位,格式为“指令符(6位)”或“指令符(6位)+数值(12位)”。例如设定计时时间为300 s,则指令是“* Time = 300”。

5.2.4 辅助功能指令

辅助功能指令是辅助用户编程及运算指令。具体包括曲线图指令、运算器指令、累加器指令、高速计数器指令、报警指令。辅助功能指令长度为6位/18

位,格式为“指令符(6位)”或“指令符(6位)+表达式(12位)”。例如将运算器 TC1 与模拟量输出 AO1 相加赋值给运算器 TC3,则指令是“>> TC3 = TC1 + AO1”。

5.2.5 外部通信指令

外部通信指令是本地上位机计算机软件通过串口或以太网接口,接收的由外部计算机设备发送的指令。格式为“CD: + 本地指令集指令”,例如远程控制本地计算机中断程序,则指令是“CD: * Abort”。

表 3 部分指令集指令说明表

编号	说明	类别	长度
Q1.0 = 1	令 Q1.0 为高电平	数字量输出指令	6
Q1.0 = 0	令 Q1.0 为低电平	数字量输出指令	6
>> AO1 = Value	令 AO1 = 设定值	模拟量输出指令	18
? AIW00 > = 6400	判断 PLC 模拟量输入 AIW0 是否大于等于 6400	逻辑判断指令	18
? AIW00 << AIW06	判断 PLC 模拟量输入 AIW0 是否小于 AIW6	逻辑判断指令	13
? AIW06 < = _ TC1 _	判断 PLC 模拟量输入 AIW0 是否小于等于运算器 TC1	逻辑判断指令	13
? IO.0 _ = 1	判断 PLC 数字量输入 IO.0 是否为高电平输入	逻辑判断指令	18
* Time = Value	设定计时时间	系统函数指令	18
* DoLP = Value	循环开始及设定循环次数	系统函数指令	18
* EndLP	结束循环	系统函数指令	6
* Run * *	运行程序指令	系统函数指令	6
* Pause	暂停程序指令	系统函数指令	6
Map1 = 1	图 1 号趋势曲线图开启,开始绘制曲线	辅助功能指令	6
ClsTC1	清零运算器 TC1	辅助功能指令	6
CD: * Abort	远程中断程序	外部通信指令	9
CD: Q0.0 = 1	远程令 Q0.0 为高电平	外部通信指令	9
CD: * Time = Value	远程设定计时时间	外部通信指令	21
...	...	...	

6 结 论

目前,国内外铁路货车转向架系统主要研究方向为高速度、大载重、智能化和安全化。轮轴作为转向架系统中关键部件,起着重要作用。本文针对铁

路货车在高速重载行车状态下的轮轴智能检测和轴承故障诊断内容进行了研究。通过研究,解决了智能化控制检测技术在轮轴检测中的应用科学问题,以及轮轴轴承故障难以有效识别的技术问题,探索研究了轴承智能化故障诊断技术。一方面,在铁路货车轮轴轴承智能检测方面取得具有一定规律性、

实用性、有指导性的成果;另一方面,通过系统设备推广应用,可提高轮轴轴承的检测技术水平,以便更好地保障铁路货车高速重载运输的安全。

参考文献

- [1] 周广林. 我国铁路重载货车转向架技术及发展趋势分析[J]. 科技创新导报, 2018,15(17):77,79.
- [2] 中国铁路总公司机辆部. 中国铁路总公司机辆部关于印发《2018 年四季度货车安全防范系统运用情况通报》的通知[R]. 北京:中国国家铁路集团有限公司, 2019.
- [3] 中国国家铁路集团有限公司机辆部. 国铁集团机辆部货车事业部关于 2019 年下半年货车运行安全监控系统运用情况的通报[R]. 北京:中国国家铁路集团有限公司,2020.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司机辆部. 国铁集团机辆部货车事业部关于 2020 年上半年货车运行安全监控系统运用情况的通报[R]. 北京:中国国家铁路集团有限公司,2020.
- [5] WANG X, TANG X W, DONG Z S, et al. Research on rapid development platform of PLC control system[J]. High Technology Letters, 2021,27(2):210-217.
- [6] 姚德臣,杨建伟,程晓卿,等. 基于多尺度本征模态排列熵和 SA-SVM 的轴承故障诊断研究[J]. 机械工程学报,2018,54(2):66-74.
- [7] XIEW D. Rolling bearing fault diagnosis based on fine composite multi-scale fuzzy retroty and particle group optimization support vector machine[J]. Journal of Central South University (English Version), 2019, 26 (9): 2404-2417.
- [8] ZHANG X F, JIANG H. Research on the rapid diagnosis method of bearing faults based on FIR decomposition[J]. Machine Tool and Hydraulic Pressure, 2018,46 (23): 180-183.
- [9] 贺志晶,王兴,李凯,等. 基于 FIR-EMD 和改进 SVM 的铁路轴承故障诊断[J]. 噪声与振动控制, 2017,37 (2):143-147.
- [10] 张薇,吴毅坚,沈立伟,等. 代码变更驱动的软件产品线演化方法[J]. 小型微型计算机系统, 2017,38(5):919-924.
- [11] 张迪,李增扬,李兵,等. 面向开源软件的自承认代码重构现象研究[J]. 小型微型计算机系统, 2018,39 (11):2473-2479.
- [12] GUOG. Design and implementation of smart campus automatic settlement PLC control system for internet of things [J]. IEEE Access, 2018,6:62601-62611.

Research on intelligent detection system of wheels on high speed and heavy railway wagons

WANG Xing^{* ** ***}, ZHEN Liaomo^{*}, ZHANG Jinyuan^{***}, GAO Fei^{***}, WANG Yuzhu^{***}

(^{*} School of Electronic Information Engineering, Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168)

(^{**} School of Computer Science and Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

(^{***} School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024)

Abstract

Aiming at the problem of intelligent detection about axle and bearing fault diagnosis of railway wagons under high-speed and heavy-duty driving condition, this paper designs an intelligent detection system for wheel and axle of railway heavy trucks with high speed. The effective classification of railway bearing faults is realized by constructing the software and hardware structure model of the system, formulating coding and decoding rules of communication instruction set, designing intelligent scheduling strategy of instruction, writing expert control generation rules and using the fault diagnosis method of railway bearing based on finite impulse response-empirical mode decomposition (FIR-EMD) and improved support vector machine (SVM). This paper presents a programmable intelligent measurement and control method in the field of detection on axle with high speed and heavy load, which can reconstruct the controlled program of field equipment and implement functional extensions. The experimental results show that the design of the system realizes intelligent detection of truck axles with high speed and heavy load.

Key words: high speed, heavy load, railway wagon, wheel and axle, intelligent detection