

张成名, 刘瑞起, 刘宁, 等. 基于 LabVIEW 的防化装备故障诊断软件设计[J]. 防化研究, 2023, 2(5): 39–45.

ZHANG Chengming, LIU Ruiqi, LIU Ning, et al. Design of Fault Diagnosis Software for Chemical Defense Equipment Based on LabVIEW[J]. CBRN Defense, 2023, 2(5): 39–45.

基于 LabVIEW 的防化装备故障诊断软件设计

张成名, 刘瑞起, 刘 宁*, 田旭光

国民核生化灾害防护国家重点实验室, 北京 102205

摘 要: 故障诊断是装备保障的重要环节, 也是开展装备维修的前提。当前针对防化装备的故障诊断多以传统测试仪器结合人工经验的方式进行, 诊断效率低, 准确性差。为提高防化装备故障诊断的自动化、快速化能力, 本文提出了一种基于 LabVIEW 的防化装备故障诊断软件设计方法, 并将其应用于某型淋浴车潜水泵典型故障诊断过程中。软件集成于 PXI 总线测试仪器平台, 采用生产者/消费者主体结构, 可根据装备故障现象实现装备故障诊断流程的编辑和自动执行, 快速定位故障部位, 为开展防化装备维修保障提供技术支撑。

关键词: 防化装备; LabVIEW; 故障诊断; 软件

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 2097-1877(2023)05-0039-07

Design of Fault Diagnosis Software for Chemical Defense Equipment Based on LabVIEW

ZHANG Chengming, LIU Ruiqi, LIU Ning*, TIAN Xuguang

State Key Laboratory of NBC Protection for Civilian, Beijing 102205, China

Abstract: Fault diagnosis is an important process in equipment support and a precondition for conducting equipment maintenance. Currently, the fault diagnosis for chemical defense equipment is mostly carried out through traditional testing instruments combined with manual experience, resulting in low diagnostic efficiency and poor accuracy. In order to improve the automation and efficiency of fault diagnosis for chemical defense equipment, a design method for chemical defense equipment fault diagnosis software based on LabVIEW was proposed in this paper, and was applied to the typical fault diagnosis process of a certain type of shower vehicle submersible pump. The software is integrated into the PXI bus testing instrument platform, with a producer/consumer main structure, which can edit and automatically execute the equipment fault diagnosis process according to the equipment fault phenomenon. Also, the software can quickly locate the fault location and provide a technical foundation for the maintenance of chemical defense equipment.

Key words: chemical defense equipment; LabVIEW; fault diagnosis; software

防化装备是用于避免和减轻核、化学、生物武器毁伤的防护装备, 用于及时发现敌核、化学、生物武器的袭击, 查明危害范围、程度, 实施防护、洗消和预防急救。防化装备具有结构复杂、激励信号难以模拟、故障诊断难度大等特点, 特别是随着

科技的不断发展, 智能化、自动化程度高的防化装备不断列装部队, 亟需发展自动化、智能化、通用化的故障诊断设备及配套软件^[1]。

针对装备故障诊断, 目前国内外大都采用基于总线的自动测试技术, 其特点是通用性强、测试软

收稿日期: 2023-07-10 修回日期: 2023-09-29

第一作者: 张成名(1981—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事防化装备保障、建模与仿真等研究。E-mail: 461644634@qq.com

*通信作者: 刘 宁(1984—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事防化装备保障研究。E-mail: liuning@126.com

件可移植,同时具有良好的扩展能力。如美军联合军种电子作战系统测试设备(JSECST)的测试对象有A10“雷电II”、F-15“鹰”、F-16“战隼”等十几型装备,配套软件除了包含航线测试程序外,还增加了信号模拟和测量程序,使其符合装备修理机构的使用要求^[2]。

本文在构建PXI总线的诊断设备硬件基础上,完成了基于LabVIEW的自动化故障诊断软件设计。该软件根据防化装备故障诊断流程特点,采用先进的工作流引擎机制,在保证业务功能实现的同时,达到了灵活配置、松散耦合的目的。软件采用行业通用的LabVIEW图形化语言^[3]开发,设计了扩展能力强大、界面简洁易用的分层模式架构,可满足按防化装备故障诊断流程执行测试的需求。

1 故障诊断设备硬件组成及原理

防化装备故障诊断设备能够根据防化装备的损伤状态,通过运行诊断程序,快速定位故障部位,并实现对损伤测试信号的快速采集、分析和处理,为后续开展装备维修提供技术支撑^[4]。

1.1 系统组成

防化装备故障诊断设备由主机、携行箱、检测电缆、防化侦察装备信号激励装置和附件组成(图1)。其中主机由便携一体式机箱(含显示器、键盘、鼠标)、锂电池、PXI总线背板、PXI主控计算机、数字多用表模块、多功能AD采集卡模块、通用开关模块、CAN总线通信模块、信号接口面板、携行箱、检测电缆、防化侦察装备信号激励装置、外置锂电池组、电源适配器等集成。根据被测对象的需求,防化侦察装备信号激励装置可配置模拟剂、氨水等,用于为防化侦察装备提供信号激励。附件主要包括外置锂电池组、电源适配器等。

1.2 工作原理

诊断设备的硬件系统基于PXI总线构建,主控计算机通过PXI总线实现对各功能板卡模块的通信和控制。待测装备通过与之适配的检测电缆实现与诊断设备的连接,待检信号、通信信号以及控制信息都是通过信号接口面板合理地分配给各检测板卡;在主控计算机的控制下,各功能板卡按照既定流程完成工作,再由主控计算机计算、分析、存储数据,并在显示器上展示检测信息^[5]。防化装备诊断设备工作原理框图如图2所示。

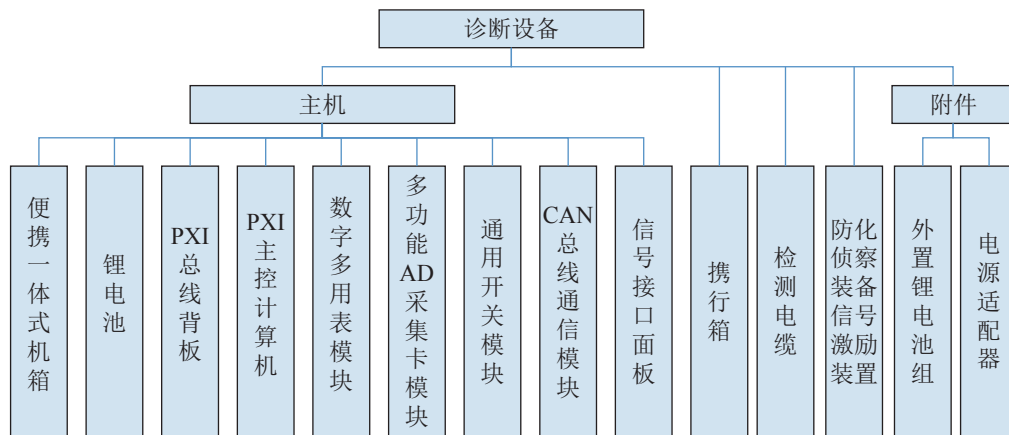


图1 诊断设备组成框图

Fig.1 Composition diagram of diagnostic equipment

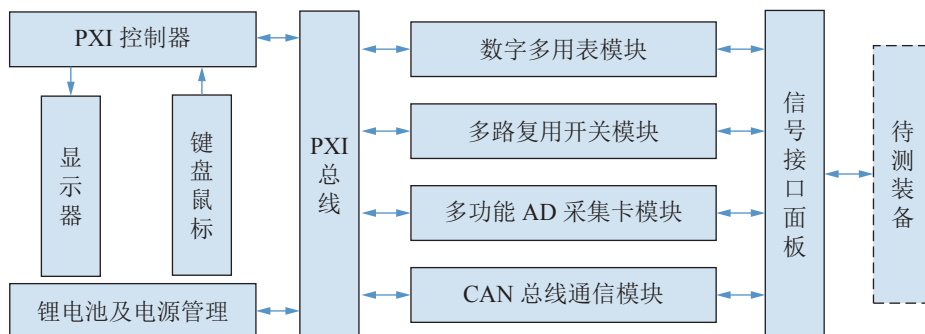


图2 防化装备诊断设备工作原理框图

Fig.2 Working principle block diagram of diagnostic device for chemical defense equipment

为了准确可靠地从待测防化装备上采集信号，需要针对部分测试性设计不全面的防化装备研制专用的信号采集装置。如针对某型淋浴车压力、流量的测试，配置了专用卡具和传感器(图 3)。



图 3 某型淋浴车专用信号采集装置
Fig.3 Special signal acquisition device for a certain type of shower equipment

2 软件需求

2.1 需求的状态和方式

诊断设备应有管理员和操作员两种使用方式，管理员可以操作系统管理、故障诊断流程管理、配置文件管理等，操作员只具有故障诊断流程操作的权限。在工作过程中，管理员负责前期装备故障诊断流程的开发、调试和维护，操作员负责运行集成好的故障诊断流程，实现对装备的故障诊断^[6-7]。软件用例见图 4。

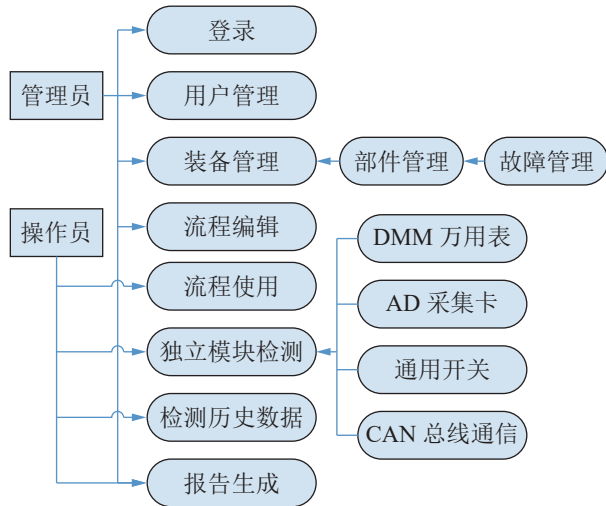


图 4 防化装备故障诊断软件用例图
Fig.4 Use case diagram of fault diagnostic software for chemical defense equipment

2.2 软件故障诊断流程设计需求

用户应能根据装备部件的故障现象，通过对“提示节点”“询问节点”等 6 类节点的选择、编辑、组合等，完成故障诊断。故障诊断流程见图 5。

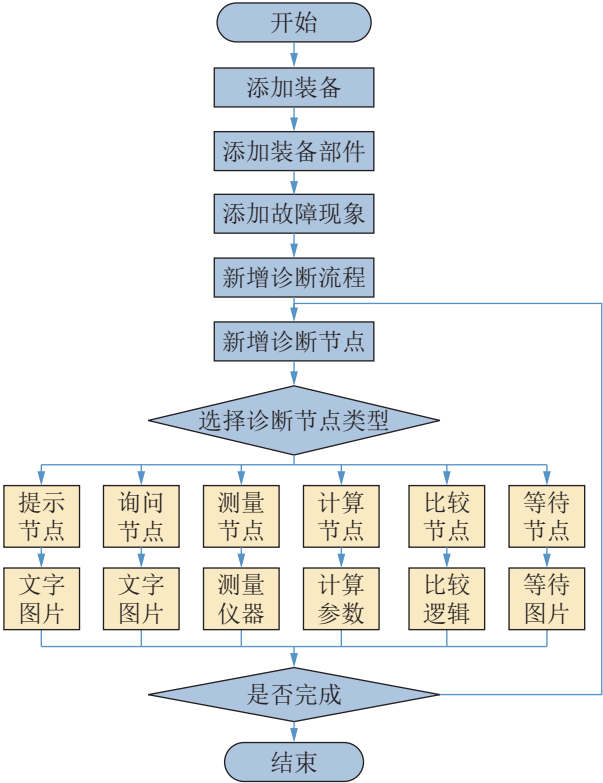


图 5 防化装备故障诊断软件流程图
Fig.5 Flow chart of fault diagnostic software for chemical defense equipment

2.3 软件功能需求

该软件的核心功能应为仪器控制、数据采集和数据处理。在进行装备故障诊断时，软件能够根据预先设定的诊断流程自动控制 DMM 等数字仪器的启动、工作和停止，实现装备故障信号的采集、分析、处理和比较，进而对装备故障进行定位。

3 软件层次结构

3.1 生产者/消费者主体结构

本软件作为防化装备故障检测系统的核心之一，需要具有较高的执行效率、完备的报表输出能力以及良好的人机交互性。若采用普通 LabVIEW 顺序结构、事件结构和循环结构相结合的方式设计软件架构，会导致程序执行效率较低，且不利于后期升级维护。因此，本软件采用生产者/消费者的程序设计模式，利用消息队列和数据队列完成对数据流的连接和控制，避免了数据流之间的竞争，保证同时执行的两个过程互不影响执行速度；此外，还融入多线程处理架构，提高了软件模块的独立性，避免了数据阻塞等问题。

3.2 软件层次设计

整个软件主要分为界面事件层、用户界面(UI)

消息层、硬件设备层和数据采集层,包括硬件设备测试线程和远程通信与调试线程。防化装备故障诊断软件框架如图6所示。

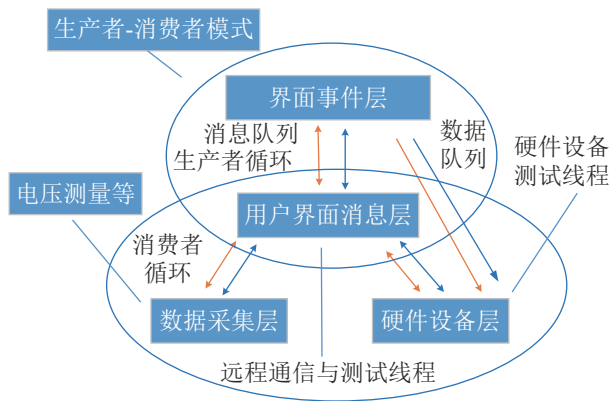


图6 防化装备故障诊断软件框架

Fig.6 Fault diagnostic software framework for chemical defense equipment

3.2.1 界面事件层

界面事件层是消息的生产者,负责监控故障诊断软件主界面中的控件(如“载入”“退出”按钮)是否动作,并生成对应功能的消息指令。该层同时负责接收来自UI消息层的指令,如“刷新装备故障列表”“系统管理模块下的刷新数据”等,将实时测量的数据和录入后的数据结果更新到相应界面的列表等控件上。

3.2.2 UI消息层

UI消息层兼具消息生产和消费的能力,其内部的消息指令环环相扣,一方面负责响应界面事件层的消息指令(如“用户注册”),并触发与之相联系的多个消息指令,如注册信息填好后点击“确认”按钮弹出“注册成功”界面;另一方面,根据所触发消息指令对应的不同功能需求再次生成次级测控指令并向本级或后级传递,如消息指令“编辑用户”生成次级消息指令“确认修改”并向下传递,构成消息指令的循环。

3.2.3 硬件设备层

硬件设备层主要响应UI消息层下发的控制命令,并返回回执消息指令。该层主要负责控制系统内的DMM数字电表、继电器板卡、ADC板卡、DAC板卡以及CAN通信板卡,用于完成对不同设备的自检、参数配置以及数据采集等动作,并将实时测量结果与配置参数等一起打包存入单独的数据队列中。

3.2.4 数据处理层

数据处理层是数据的消费者,主要对采集到的数据进行处理、分析与判断,并将处理后的数据返回给UI消息层,同时存入指定路径的文件以生成标准报表。

3.2.5 远程通信层

远程通信层主要利用DataSocket通信技术接收外部远程操控设备下发的控制、查询等指令。在翻译这些指令后,执行相应命令动作。动作指令完成后,在DataSocket通信线程中写入回复信息,以便与远程控制设备实现交互通信。

4 软件功能

4.1 用户管理功能模块

用户可在初始登录管理界面进行注册、登录和找回密码。用户权限分为管理员与操作员两个等级。如果登录的账户是管理者账户,则有权操作系统管理模块,对已录入系统的用户信息进行管理。其中用户信息包括:序号、姓名、登录密码、工作证号、身份类别、数字签名、备注等。上述所有用户信息均存储在本地Microsoft Office Access数据库中;管理功能包括新增、修改、删除等。

4.2 装备故障管理模块

装备故障管理模块下包含装备管理、装备部件管理和部件故障管理3个子模块,用户可根据3个子模块的对应关系来管理系统、录入数据。

用户可根据“装备管理”界面下方提示进行刷新数据、增加装备、删除装备、编辑装备、退出等操作;可根据“增加装备”界面下方的提示录入新增加的装备信息。

在“装备管理”列表中选中某个装备后点击“编辑装备”,用户可根据实际变动修改装备的录入信息。

用户可根据“装备部件管理”界面下方提示进行刷新数据、增加部件、删除部件、编辑部件、退出等操作。其中点击“增加部件”后,可根据界面下方的提示录入新增加的装备部件信息。

在“装备部件管理”列表中选中某个装备部件后点击“编辑部件”,即可根据实际变动修改装备部件的录入信息。

用户可根据“故障管理”界面下方的提示进行刷新数据、增加故障、删除故障、编辑故障、退出

等操作。其中点击“增加故障”后，即可根据弹出界面下方的提示录入新增加的部件故障信息。

在部件故障管理列表中选中某个部件故障后点击“编辑故障”，即可根据实际变动修改部件故障的录入信息。

3 个子模块的录入或更新的信息均保存至 Access 数据库中，方便故障诊断时使用。

4.3 独立硬件功能模块

硬件测试模块下包含 DMM Board、AD Board、DA Board、Switch Board 和 CAN Comm. Board 5 个测试子模块。这 5 个子模块分别独立控制 DMM 数字电表(PXI-4070)、继电器通道板卡(PXI-2604)、模拟信号发生板卡(PXI-6225)、模拟信号采集板卡(PXI-6225)和 CAN 通信板卡(PXI-4002A)，实现相应功能。

(1)DMM Board 模块：可控制 PXI-4070 设备，实现对防化装备电子信号测量(包括交/直流电压、交直流电流、2 线及 4 线电阻)功能。同时，可对量程、分辨率、自动清零、数字滤波等关键参数进行配置。

(2)AD Board 模块：可控制 PXI-6225 设备，实现模拟信号单点、有限点、连续采集等功能。同时，用户可以选择不同的物理通道、接线模式、采样模式和记录模式，可以设置最大电压、最小电压、采样率、采样时间等参数，右侧还会显示该模式和参数设置下的 AD 采样图。最后的计算结果包含平

均值、最大值、最小值、峰峰值、频率等。

(3)DA Board 模块：可控制 PXI-6225 设备，实现模拟信号单点、有限点、连续输出功能。同时，用户可进行物理通道、刷新频率、输出波形(正弦波、方波、三角波和矩形波)、输出频率、输出幅值、输出偏置、输出相位等参数的设置。

(4)Switch Board 模块：可控制 PXI-2604 设备，实现各个独立通道的闭合与关断。同时，该功能板块也支持批量控制。

(5)CAN Comm. Board 模块：可控制 PXI-4002A 设备，实现与配置 CAN 总线的防化装备信号交互，完成 2 通道 CAN 总线通信功能。同时，支持波特率录入、发送的命令数据录入等功能，可根据具体的 CAN 总线卡要求进行内容配置。

4.4 诊断流程管理模块

4.4.1 故障诊断流程管理界面

图 7 是用户登录成功后弹出的故障诊断界面。该界面上方的工具栏包含前述 3 大模块：系统管理、硬件测试和数据库操作。下方是装备故障列表，用户点击“刷新装备故障列表”，可以在下方显示出故障装备名称、部件名称和故障名称，用户可以点击左侧具体的故障名，然后点击“故障诊断流程配置”查看具体诊断流程，从而进行故障诊断流程维护等相关操作^[8-9]。如果点击的是装备名或部件名而不是具体故障名，则会跳出“请定位至具体故障”提示框。

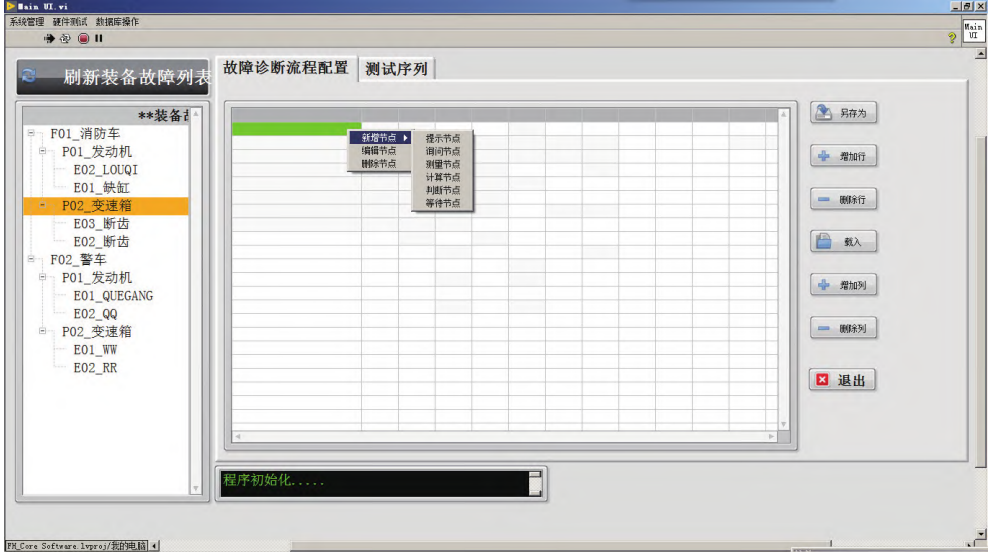


图 7 故障诊断界面
Fig.7 Fault diagnosis interface

4.4.2 功能节点

故障诊断流程配置过程中包含 6 种节点：提示

节点、询问节点、测量节点、计算节点、判断节点、等待节点，用户可以在列表中点击右键进行新增节

点并进行编辑等操作。各节点的作用如下:

(1)提示节点:可对故障诊断过程中需要提示的文字、图片地址等内容进行维护。如在侦察车测试过程中提示打开采样设备开关。

(2)询问节点:可对故障诊断过程中需要询问判断的相关信息设置,包括:标题、判断描述、判断为真/假的提示信息、图片提示等内容,如在淋浴车测试过程中询问燃烧机风机是否工作。

(3)测量节点:可选择不同的选项页,对DMM数字电表、继电器通道板卡、模拟信号发生板卡、模拟信号采集板卡、CAN通信板卡等测量功能涉及的相关参数进行配置,如利用万用表测量淋浴车控制箱水位电极信号。

(4)计算节点:可对DMM数字电表或模拟信号采集板卡获取到的数据进行分析处理。其中,对于数字电表测得的单一测量结果,支持自定义公式的加减乘除等基本计算;对于模拟信号的测量结果,支持平均值、最大值、最小值、峰峰值、频率等计算^[10-11],如在侦察车采样设备方向控制电压的测量过程中,为提高测试准确性,可连续采集多个点,并计算求取平均值。

(5)比较判断节点:可对计算结果进行判断,能判断出大于某值、小于某值、在某两个值之间、

小于小的值或大于大的值等。运行程序根据判断节点的范围自动进行“是”或“否”的跳转。

(6)等待节点:可录入需要等待的时间,单位为s。

4.5 防化装备信号处理单元

信号处理单元是装备故障诊断的重要环节,是上节中计算节点的核心。在本软件中,根据防化装备故障诊断对信号处理的需求,在通用的信号处理基础上,设计了专用的信号处理单元,用于处理相对复杂的信号。如针对某型淋浴车锅炉的检测诊断,判断该锅炉正常与否的一个核心指标是锅炉热效率,其可通过供给能量、有效能量或损失能量的测量计算来确定。有效能量等于供给能量与损失能量之差。在能量转换、传递过程中总有一部分损失,有效能量总是小于供给能量,因此设备热效率的数值总小于1。锅炉的换热效率计算公式为:

$$\eta = [L \times (T_{\text{出}} - T_{\text{进}}) \times 1] \div (10\,250 \times G) \times 100\% \quad (1)$$

式中, L 为流量(L/h), $T_{\text{出}}$ 为出口温度(°C), $T_{\text{进}}$ 为进口温度(°C), G 为耗油量(kg/h)。

5 故障诊断软件应用实例

将本文开发的装备故障诊断软件应用于某型淋浴车的故障诊断(图8)。首先将装备工程师开发的

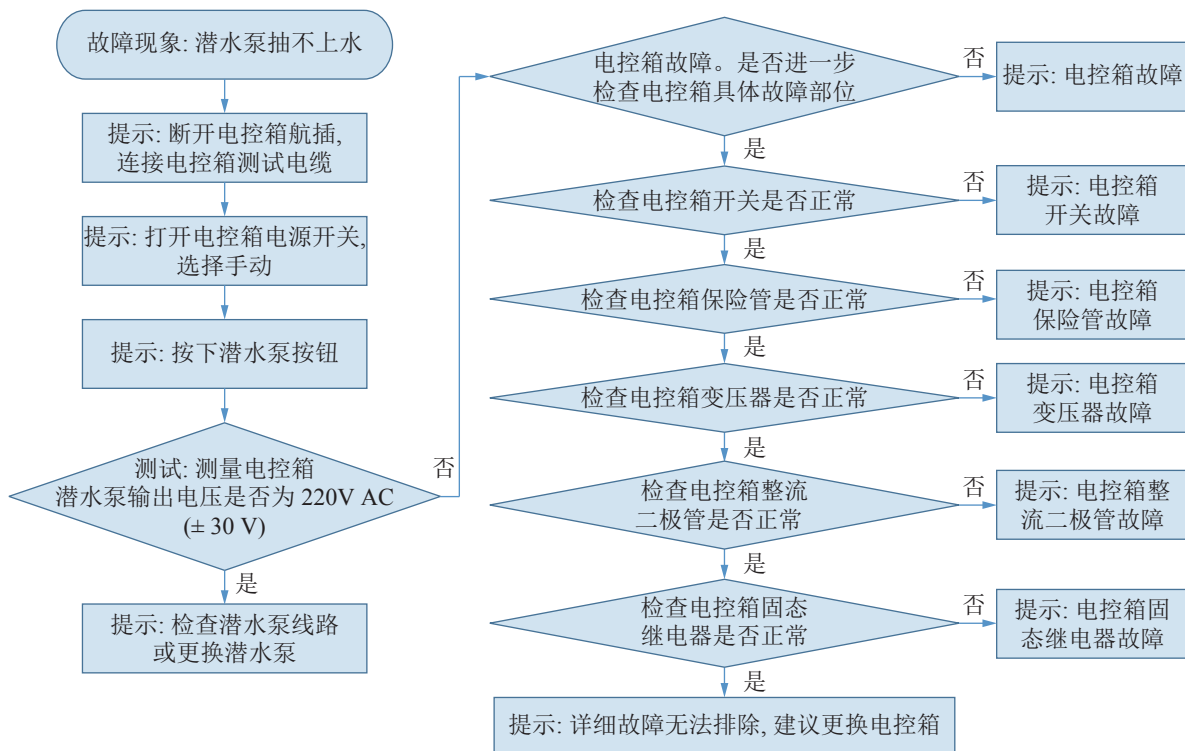


图8 某型淋浴车潜水泵故障诊断流程

Fig.8 Fault diagnosis process for submersible pump of a certain type of shower equipment

淋浴车故障诊断流程描述利用软件故障诊断流程管理功能进行配置,之后启动诊断程序,诊断对象选择“某型淋浴车”,进一步选择该装备故障现象(假设该淋浴车故障现象为“潜水泵抽不上水”),软件启动后将按事先配置的流程自动运行,操作人员只需按照软件提示进行简单的操作即可快速定位故障部位。根据整个诊断过程可以看出,所开发的软件自动化程度高、诊断速度快、操作简单、对操作人员要求低。此外,该软件采用通用性设计,将新装备的配置流程快速集成于本软件中,因而在对新研制防化装备进行故障诊断时,无需再开发新的软件。软件设计充分考虑了防化装备检测的全流程、全要素,具有覆盖全面、功能性强、诊断速度快等特点,下一步可应用于防化装备固定式及便携式诊断设备中。

6 结论

本文从提高防化装备故障诊断效率的目的出发,在集成 PXI 总线硬件测试仪器的基础上,进行了基于 LabVIEW 的自动化故障诊断软件设计,分析了软件开发需求,构建了软件层次结构,提出了软件功能要求。在此基础上,以某型淋浴车潜水泵典型故障为例,完成了防化装备故障诊断流程开发和应用。诊断软件采用模块化设计理念,能够实现面向用户的装备故障诊断流程编辑和按步骤自动运行,

可用于防化装备的自动诊断与测试。

参考文献

- [1] 王长利,全厚德.基于数据库的通信设备自动测试系统设计[J].微计算机信息,2005,21(1):69-70.
- [2] 吴阳勇,吴忠德,孙伟超,等.美军机载电子战装备检修现状及对我军的启示[J].舰船电子工程,2021,41(7):17-24.
- [3] 雷振山,肖成勇,魏丽.LabVIEW高级编程与虚拟仪器工程应用[M].3版.北京:中国铁道出版社,2013.
- [4] 淡鹏,张定波,袁九阳.一种航天飞控计算自动化平台的设计与实现[J].测控技术,2017,36(5):115-118.
- [5] 范利军,王永杰,刘恒,等.基于LabVIEW和PXI的某装备组合故障诊断系统设计[J].计算机测量与控制,2015,23(12):4089-4092.
- [6] 李田科,于仕财,余春卫.导弹发射车综合诊断与健康管理系统[J].兵工自动化,2012,31(4):11-14.
- [7] 李林宏,李萍,张耀辉,等.基于LabVIEW的装备故障设置与排除训练系统设计[J].计算机测量与控制,2018,26(4):56-59.
- [8] 潘攀.故障树分析法在翻车机液压系统故障诊断中的应用[J].液压与气动,2015(6):88-91.
- [9] 韩云东,周红进,黄谦,等.基于LabVIEW的舰艇导航装备综合检测系统研制[J].现代电子技术,2017,40(2):103-106.
- [10] 张智艺.基于LabVIEW的远程实时监控和故障诊断系统的开发[J].工业安全与环保,2019,45(7):18-22.
- [11] 孙治鹏, MARIA J T, 涂世明,等.基于LabVIEW的涡轮诊断系统的研究与应用[J].仪器仪表用户,2022,29(5):5-9.

(责任编辑:王曼琳)