

基于产教融合的汽车故障诊断盒硬件架构设计策略

陈勇吏

宜宾职业技术学院 四川宜宾 644000

摘要: 本文以 2023 年全国职业院校技能大赛竞赛车型为研究对象, 提出基于产教融合的汽车故障诊断盒硬件架构设计策略。通过分析政策导向和产业实际需求, 明确诊断盒需具备无损连接、多车型兼容和教学适配等核心功能。研究重点突破了多协议通信、高精度信号采集和智能故障注入等关键技术, 采用“基础平台 + 个性适配器”的模块化设计。制作流程引入快速迭代和品控管理, 确保产品可靠性。实际应用表明, 该方案使教学效率提升, 设备成本降低, 为职业教育实训设备开发提供可复制的技术路径。

关键词: 产教融合; 汽车故障诊断盒; 硬件架构; 设计

1 汽车故障诊断盒设计背景梳理

国家的“双高计划”中提出高水平专业群,“1+X 证书制度”中提出职业技能标准进课程。《职业教育提质培优行动计划》中提出要加强校企共建实训设备。这些信号指向同一方向, 职业教育的设备必须要紧跟产业的发展, 实现“教与学车间一体化”。2023 年全国职业院校技能大赛增加比赛内容新能源汽车故障诊断, 更是直接引导了设备的研发方向。

现在汽车电动化和智能化带来了汽车维修行业的新考验。汽车 4S 店和汽车维修企业反馈, 汽车智能故障诊断设备目前存在两个不足之处: 一是设备的唯一性, 往往不同品牌车型有不同诊断设备, 二是设备使用单一, 无法实现复合性故障诊断功能。而在进行汽车实训的过程中, 职业院校也会遇到传统汽车智能故障的实训会导致汽车电路线缆损害, 不利于实训设备的使用寿命。职业院校急需智能诊断设备可以保护实训设备, 又可进行仿真故障诊断。对于诊断盒的需求便是产业与教学的需求, 产业、教学在一定程度上决定了诊断盒的设计定位^[1]。

2 汽车故障诊断盒设计关键剖析

2.1 无损连接方案设计

汽车故障诊断盒无损连接设计, 可解决传统教学中由教师进行线路破坏或插拔连接器设置故障时对车辆电路造成的不可修复性故障、安全性差的问题。主要由物理接口级、电路保护级、信号隔离级三部分构成。物理接口级, 实现可自动恢复的弹性接触式探针阵列的接触, 接触电阻 $\leq 5\text{m}\Omega$; 电路保护级, 利用过流电路保护装置, 在正常状

态时, 能够确保电连接, 电流超过正常值后, 能自动断开回路; 信号隔离级, 通过光电耦合的隔离措施, 使测量信号不进入原车系统。

故障车检测盒装有模块接口转接器, 针对车型配置制作转接器, 如大众 MQB 平台的转接器接口使用了 40 针接头, 以确保在不破坏原车线束的情况下接入所有控制单元。

2.2 诊断功能实现途径

分层架构的系统设计也是实现诊断功能的基础, 在分层的“硬件 + 软件 + 数据”的三维统筹框架中, 硬件部分拥有高效的处理器, 主芯片 NXP 支持 CANFD、LIN 总线, 具有 5ms 响应时间; 可利用可编程器件实现诊断所需的调理电路可配置功能, 保障所有传感器信号可靠采集, 满足电压 $\pm 0.1\text{V}$ 精度要求, 电流误差不超过 50mA。

软件开发中将各种诊断功能配置成协议栈, 协议栈底层包含 UDS、OBD-II 等各类协议, 上层定制了故障模拟控制程序。其中故障模拟控制程序预置标准故障模式多达 200 多种, 可以由教师通过触摸屏选择并进行故障组合, 程序自动发送给上位机与底层进行通信, 配置成功后在 300ms 内就能出现相关现象, 能保证良好的教学效果。

数据库服务器实现故障库, 区块链保证教学数据库的可靠性和溯源, 故障诊断完成后自动生成诊断记录(故障码、故障诊断流程、故障诊断的方案等关键指标), 作为教学评测数据指标。数据库服务器支持对学生的故障诊断指导通过 4G 模块远程诊断(专家后台即时显示学生故障诊断全过程, 并给出指导意见)。

2.3 教学适配策略制定

其实质就是实现一个“分阶式”的技能训练模式,根据高职学生在每个学年所具备的基础或专业技能的程度,进行功能的逐步开放:第一学年应用基础的开放,如电压、电阻等;第二学年专项专业的开放,如波形、数据流读取等;第三学年技能训练,如参数编程、仿真故障等。另外还有学生证功能智能识别卡,系统根据学生证的信息决定赋予学生的技能和权限,通过智能识别实现。

诊断盒与课程内容匹配方面,除每个案例都对应着典型故障诊断操作流程、经典故障现象以及诊断逻辑树等信息外,还应根据主流的教材内容体系编排为案例。以“发动机无法发动”为例,利用诊断盒子可模拟各种原因而导致该故障的故障现象,且会存储学生所选择的故障诊断步骤等信息。教师端管理软件可对学生的信息进行整体性的分析,比如涉及错误常见的内容统计、对学生技能掌握程度的相关统计等教学数据^[2]。

训练管控模式采用“标准轨—自由轨”方式:训练模式下必须按照规则来练,而竞赛模式下可以不拘泥于规则,但所有的操作流程会在后台记录保存以供赛后分析。实操过程中,根据采用此模式后的效果,发现有效改善了学生的规范操作,典型故障诊断效率有效提高。

3 产教融合背景下汽车通用故障诊断盒的设计与研究——以 2023 年国赛竞赛车型为例

3.1 设计目标清晰界定

从平台的兼容性考虑,诊断盒要对 3 种主流汽车平台的故障诊断都适用,协议兼容性需要达到 90% 及以上。主要参数如下:诊断响应时间不大于 500ms、故障模拟偏差在 1% 以内、连接插拔无损次数 ≥ 5000 次。

产品功能定位主要是为学校实训教学提供解决方案,涵盖传统的实训设备带来的 3 个难解决的问题:设备造价控制在传统设备造价的 60% 以内;设备配套的智能辅助教学平台能提高教师 20min/ 例的故障设置效率;学校设置的动态测评系统,能够为每名学生的学习提升打上标签。

延伸产业目标较领先,打通“上课—试制—服务”的工作链。其一是以诊断盒反馈的教学数据给厂商研发团队用以改善产品,其二是当机直接当做 4S 店初级检测机器,间接为企业减低培训开支。

3.2 研究内容深入挖掘

以“软”代“硬”,改造升级部分。整车 ECP 系统在硬件设计上实现了从“单车型匹配”的传统诊断模式向“基础平台+适配器个性定制”的理念转变,通过对国内保有量 TOP10 轿车平台电气结构解析,发现线束接口符合度达到 80%,以此建立“基础平台+适配器个性定制”理念,其中基础平台包含电源、信号调取等通用模块,适配器根据不同车型差异接口来设计。

侧重于对软件系统的研究,形成故障知识库。搜集 3 年的国赛故障设置数据和企业真实的维修案例,建立了 327 个典型故障知识库数据库,每一个故障案例除了含有故障现象和故障诊断流程外,还关联了与故障相关的理论性知识点。开发故障逻辑编辑器,可支持教师基于教学实际要求自定义故障树,同时支持故障树逻辑的串联、并联、反馈等^[3]。

在实训方法上,提出“软硬件结合”的实训方案。连接诊断盒与 VR 装置,学生只要戴上 VR 头盔就可以发现看不见的电路走向和信号传递方式,记录每一个步骤操作记录,并以三维热力图展示每个学生的诊断盲点。

3.3 关键技术重点突破

为了解决车型适应性问题,多协议自适应通信模块的研究过程中,基于 Xilinx Zynq-7000 系列 FPGA 芯片设计,为用户提供动态切换 CAN、LIN、FlexRay 等 5 种车载总线协议功能。采用信号特征辨识算法,协议自动识别技术实现 300ms 内完成对车载通信协议的匹配,匹配准确率 98.7%,测试的车型可适应 23 个车系包括德系车系、日系车系、国产新能源车等车型。

信号采集技术方面,实现了全隔离高精度多信号的采集。采用三阶有源滤波电路和 24 位 $\Sigma-\Delta$ ADC 混合式结构,有效扩展电压测量范围(0 ~ 100V),达到 1mV 分辨率。针对新能源汽车平台高电压信号,采用光纤传输的隔离测量设计,实现新能源电动汽车 800V 高压回路的高精度安全测量。经过试验测得的系统精度:环境温度从 -40°C ~ 85°C 时,精度在 $\pm 0.5\%$ 以内。

智能故障注入引擎。本项目的核心技术是使用基于深度强化学习算法的故障预测模型来实时地、按教学进度给出推荐的故障组合,同时设备本身内置的故障模式也涉及了从简单的线路类故障到较为复杂的控制器的逻辑错误^[4]。采用硬件在环测试的结果,故障注入的成功率达到了 99.2%。

远程检测诊断。基于微服务云部署的诊断平台,在云端支持对不同设备之间数据信息进行实时同步,通过 Web 实现对各诊断盒进行监控;学生手机端 app 也可实现基于 AR 模型的辅助诊断;对诊断平台故障知识图谱中数据,能够快速准确的给与诊断建议。目前对故障知识图谱的测试数据已接近 5000 个,平台并发压力测试对 200 用户进行压力测试,平台响应时间仍能在 800ms 左右。

3.4 制作流程合理规划

需求设计阶段,成立以 5 位汽车高级技师、3 位专业带头人教师、2 位电子工程技术人员组成的交叉学科专家群,采用德尔菲法经过 3 轮需求访谈,最终提炼 127 个功能需求,利用 KANO 模型进行功能分类,将需求细化为基本型、期望型和兴奋型 3 种类型。一线教师提出的“误操作保护”要求为学员们经常遇到的突出问题是肯定型需求,更是重要的一项指标被列入核心指标之中。

快速迭代原型。原型 1 的重点是原型的功能实现,在实现通信功能方面,原型 1 使用树莓派 CM4 单片机,初步尝试利用树莓派 CM4 快速测试通信功能并反馈修改,两周时间内完成功能测试;原型 2 重在突破 EMC 的问题,在元器件方面更加工业级化,在该原型期间,迭代优化了 10 次,对辐射干扰进行了有效抑制,使得干扰保持在标准值的 60% 以内;原型 3 旨在优化用户交互体验,在反复和老师商议后,将原来较为冗杂的按键简化,互动及操作时间上大幅提升,达到快速响应^[5]。

小批制备过程中,开展质量控制,制作了 23 项质量控制内容,以焊接强度、绝缘耐压及通信可靠性等为主控点,制作试制产品 50 台套,开展 10 倍时长试验(200h),故障平均在 0.5% 以内;自制专用工装,从原有的每台试制设备检查 45min 缩短到检查每台仅需 12min。

量产阶段,采用“模块化分包”策略。核心电路板由专业 EMS 企业代工,外壳注塑与线束加工委托本地汽车零部件供应商完成,最后在校内实训基地进行整机组装与调试。

3.5 应用方案有效实施

对于诊断盒,在示范校辐射带动下,进行“示范校→校内区→校外网”三级渗透的推广体系建设。首批确定 5 所示

范学校作为探索性试点,并为其配发标准化的教学内容包括每堂课时长为 40 分钟的完整教案 32 个、典型故障案例库和考核评估方案各 1 套,以及典型故障案例技术问题分析图。对口校企合作“双师共培”。与中国一重、三一集团、中国铁建重工集团有限公司等 3 家企业签署合作协议,使诊断盒纳入企业培训平台,开发售后技术支持人员培训认证内容。企业工程师在远程平台上参与授课,参与对实际发生的故障案例中技术疑难问题的分析。

区域性推广应用,建成 4 个区域性技术服务指导中心,配备专职师资队伍,开展技术支持、培训服务、课程研发等工作。建设网上共享知识库,上传教学培训课件、教材等,构建知识库不断增值体系。

4 结语

本研究构建的汽车故障诊断盒硬件架构,成功实现了产教需求的深度融合。通过模块化设计和关键技术突破,既满足了教学过程的可靠性与安全性要求,又具备了产业应用的实用价值。未来将进一步扩大适配车型范围,深化人工智能技术在故障诊断教学中的应用,持续推动职业教育实训装备的智能化升级,为培养高素质汽车技术人才提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 张雨,刘昱杉,敬旭初.产教融合背景下高职院校汽车故障诊断实训模式的优化与创新[J].汽车维修技师,2024,(02):44.
- [2] 赵欣.新能源汽车底盘结构及故障诊断技术分析[J].汽车测试报告,2023,(24):37-39.
- [3] 李龙骧,王保华.基于故障诊断的分布式电动汽车容错控制策略[J].湖北汽车工业学院学报,2023,37(04):6-11+16.
- [4] 郭太辉,毛建辉.比亚迪秦 ProEV 纯电动汽车制动踏板硬的故障诊断与排除[J].汽车维修与保养,2023,(11):80-82.
- [5] 田闯,刘蒙蒙.新能源汽车故障诊断及维修技术探讨[J].专用汽车,2023,(12):124-127.

基金项目:产教融合背景下汽车通用故障诊断盒的设计与研究——以 2023 年国赛竞赛车型为例,项目编号:ZRYB24-01。