

·中国一汽红旗数智化开发创新管理体系专题·

新能源汽车系统级问题管理方法研究

王赢^{1,2} 焦森^{1,2} 张春才^{1,2} 张行^{1,2} 张宇鹏^{1,2} 张明宇^{1,2}

(1. 中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013; 2. 高端汽车集成与控制全国重点实验室, 长春 130013)

【欢迎引用】王赢, 焦森, 张春才, 等. 新能源汽车系统级问题管理方法研究[J]. 汽车文摘, 2024(7): 25-31.

【Cite this paper】WANG Y, JIAO S, ZHANG C C, et al. Research on A System-Level Problem Management Method for New Energy Vehicles[J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(7): 25-31.

【摘要】新能源汽车质量问题覆盖范围广、涉及专业多、技术要求高, 为了避免问题发生时由问题相关专业直接介入, 解决传统问题管理流程中专业分工不明确, 问题解决效率低、时间长、问题解决不彻底的问题, 提出一种新能源汽车系统级问题管理方法, 包括问题定位、问题过程管控、问题总结积累及防止问题再发生, 创新性地将数字化工具及方法引入问题管理流程。研究表明, 该方法能够提高问题解决效率、问题管理深度, 形成有效的经验积累, 大力支撑新能源汽车产品快速迭代及技术升级。

关键词: 新能源汽车; 问题管理; 数字化; 故障分析; DFMEA

中图分类号: U469.72 文献标识码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220214

Research on A System-Level Problem Management Method for New Energy Vehicles

Wang Ying^{1,2}, Jiao Sen^{1,2}, Zhang Chuncai^{1,2}, Zhang Xing^{1,2}, Zhang Yupeng^{1,2}, Zhang Mingyu^{1,2}

(1. Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013; 2. National Key Laboratory of Advanced Vehicle Integration and Control, Changchun 130013)

【Abstract】The quality problems of new energy vehicles cover a wide range, involve multiple sectors, and demand high technical standards. In order to prevent direct intervention from related sectors when problems arise and address the problems of unclear specialization in the traditional problem management process, low efficiency in problem-solving, lengthy resolution time, and incomplete problem resolution, a system-level problem management method for new energy vehicles is proposed. It involves problem positioning, problem process control, problem summary and accumulation, and problem recurrence preventing. Moreover, it innovatively introduces digital tools and methods into the problem management process. This research shows that this method can improve the efficiency of problem-solving, enhance the depth of problem management, facilitate effective experience accumulation, and strongly support the rapid iteration and technological upgrading of new energy vehicle products.

Key words: New Energy Vehicle (NEV), Problem management, Digitization, Fault analysis, DFMEA

0 引言

近年来, 我国新能源汽车产销量逐年上升, 成为全球最大的新能源汽车市场。2023年新能源汽车销量达949.5万辆, 同比增长37.9%, 市场占有率达31.6%, 已超过国家设定的2025年所有新能源汽车车型市场渗透率20%的目标^[1]。汽车行业正在向智能化、网联化、电动化快速发展, 新能源汽车具有高信息化的特点和智能网联化的发展趋势^[2-3]。与传统燃油车相比, 新能源汽车具有整车控制器 (Vehicle Control

Unit, VCU)、电池管理系统 (Battery Management System, BMS)、车载充电机 (On-board Charger, OBC)、转换器 (DC-DC Converter, DCDC)、电驱控制器 (Motor Control Unit, MCU) 等多个控制器, 可实现高压上下电、车辆启动、行驶、充放电等功能, 整车控制器数量增多, 控制节点增多, 因此整车故障率相应提高。传统的问题管理方法主要依靠问题发现人与发生问题零部件负责人线下传递问题并推进问题解决。问题发生后, 由问题发现人反馈问题描述, 问题零部件负责人根据问题反馈, 分析问题根本原因, 制定永久改

善措施并进行效果验证,措施验证有效后完成标准、设计失效模式与影响分析(Design Failure Mode and Effect Analysis, DFMEA)文件更新,防止问题再发生。由于新能源汽车质量问题涉及整车、电池、电机、减速器、整车控制、功率电子、补能系统、热管理系统、底盘和智能网联多个领域,且对专业能力要求较高,特别是动力系统故障、充电系统故障、高压上下电失效故障,属于多系统、多专业均可能导致的故障类别,无法根据故障现象直接锁定故障专业,进而导致问题发生后需各相关专业均介入排查,存在重复性劳动,排查效率低,无法满足项目周期要求^[4-5]。

针对新能源汽车质量问题涉及专业多、技术要求高、覆盖范围广的特点,本文提出一种系统级问题管理方法,解决问题发生时由专业直接介入、分工不明确、解决不彻底的问题,同时分析现有问题解决流程中存在的不足并提出解决方法,并且创新性地将数字化工具及方法引入管理过程,旨在帮助研发及售后人员在规范化问题解决过程的前提下,提高问题管理效率和深度,增强问题解决的针对性,缩短定位故障的时间。

1 系统级问题管理方法

根据新能源系统不同技术路线特点,可分为纯电动、混合动力、燃料电池新能源系统,系统构成见表1。

表1 新能源系统

系统		纯电动	混合动力	燃料电池
电驱系统	电机	●	●	●
	逆变器	●	●	●
	48 V电机	—	○	—
	减速器	●	—	●
	变速器	—	●	—
电池系统	动力电池	●	●	●
	48V 电池	—	○	—
	电池管理系统	●	●	●
高压系统	充电机	●	○	●
	直流转换器	●	●	●
	高压配电箱	●	●	●
	高压线束	●	●	●
	行人警示器	●	○	●
	48 V 直流转换器	—	○	—
	升压直流转换器	—	—	●
整车控制器	整车控制器	●	●	●
	固定支架	●	●	●
燃料电池	燃料电池发动机	—	—	●
	供氢系统	—	—	●

注:“●”代表包含;“○”代表根据配置需要选择;“—”代表不包含。

新能源系统以电驱总成、动力电池、高压电气总成为基础,通过新能源控制器,实现高压电源管理、行驶控制、热管理控制、交直流充电、低压功能、高压安全、故障诊断、信息显示功能。某车型新能源系统功能见表2,每个系统功能实现都需要多个控制器相互配合,各控制器间功能存在耦合关系。

系统级问题管理方法是指问题发生后,由新能源系统负责人进行问题对接及识别,并完成问题初步定位,确定问题零部件所属子系统。若为单一子系统问题则将问题转至子系统负责人进行问题真因分析;若问题非单一子系统问题,则由新能源系统负责人成立问题解决小组,确定小组成员,制定排查计划。系统级问题解决(8D)流程见图1。

新能源系统级问题管理方法可分为问题定位、问题过程管控及问题总结积累防止问题再发生,要求做到问题快速响应、问题定位及时、过程管控严格、应对措施有效、问题闭环规范化并进行问题全面总结。

1.1 系统级问题定位

1.1.1 问题接收

问题接收阶段需要多途径、多方法进行问题信息收集,并且保证所收集问题信息的准确性,作为相关工作的启动条件。如明确车辆基本信息(车架号、型号)、行驶里程等车辆信息输入;故障发生地、故障发生时间、故障发生工况信息输入;梳理故障信息描述、故障代码、故障数据、故障视频、故障发生后做过哪些操作或检测信息,用于支撑问题初步定位。为保证故障对接信息维度标准化,制定问题反馈模板,见表3。

1.1.2 问题快速定位

新能源系统功能从原理上需要各控制器按照既定信号时序进行信号交互,实现相应控制功能,所以问题定位应依据“三电”系统功能规范,结合问题反馈单信息、故障发生时的通讯报文,从硬件、软件和使用操作维度进行排查分析,从而定位问题子系统。问题定位可应用持续改进(Plan, Do, Check, Action, PDCA)循环工作机制、“双归零”(即技术归零与管理归零,是指对质量问题进行技术和管理两个维度的分析、解决,避免问题重复发生的质量活动)、8D报告、鱼骨图、故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)方法^[6-8],从原理上罗列所有可能导致故障的潜在原因,对每种可能原因逐一排查。

表2 新能源系统功能列表

序号	新能源系统	功能	功能描述	主要控制单元	备注
1	高压电源管理	高压上电	高压上电功能可分为静止模式高压上电、行驶模式高压上电、交流或直流充(放)电模式高压上电、远程高压上电,在不同的车辆状态下均由VCU发送高压上电指令,高压系统按设定流程控制高压上电	VCU、BMS	应符合GB 7258—2017《机动车运行安全技术条件》 ^[9] 、GB 18384—2020《电动汽车安全要求》 ^[10] 中操作安全和故障防护要求
2		高压下电	高压下电功能可分为静止模式高压下电、行驶模式高压下电、交流或直流充(放)电模式高压下电、远程高压下电、紧急高压下电,在不同的车辆状态下均由VCU发送高压下电指令,高压系统按设定流程控制高压下电	VCU、BMS	
3	行驶控制功能	爬行	整车准备就绪后,未踩加速踏板情况下,整车以一定速度在平路和坡路行驶	VCU、MCU	
4		行驶驱动	新能源汽车准备就绪后,驾驶员踩下加速踏板,电驱动系统提供动力,车辆按驾驶员意图行驶	VCU、MCU	
5		能量回收	整车行驶中,车速高于一定限值时,松开油门踏板,车辆进入能量回收模式,驱动电机作为电动机发电,回收车辆动能	VCU、MCU	
6		坡路上起步或保持	新能源汽车在一定坡度的路面上可以正常起步,不溜坡。VCU控制驱动力矩的需求,MCU实现VCU的力矩需求	VCU、MCU	
7	热管理功能	动力电池冷却	BMS发送冷却需求,VCU控制冷却系统工作	VCU、BMS、AC	
8		动力电机冷却	MCU发送冷却需求,VCU控制冷却系统工作	VCU、MCU	
9		动力电池加热	BMS发送加热需求,VCU控制PTC加热	VCU、BMS	
10	交、直流充电功能	直流充电	新能源汽车静止时,直流充电枪插入车辆充电口,BMS和充电桩信息确认完成后进行充电	VCU、BMS、充电桩	应符合GB 7258—2017《机动车运行安全技术条件》 ^[9] 、GB 18384—2020《电动汽车安全要求》 ^[10] 中操作安全和故障防护要求
11		交流充电	新能源汽车静止时,交流充电枪插入车辆充电口进行充电	VCU、BMS、OBC	同上
12		远程充电	使用手机APP向整车发送充电指令或预约充电指令,VCU接收到信号后进行交流或直流充电	VCU、BMS、OBC	
13	低压功能	网络休眠唤醒	整车低压下电后,控制器休眠,有控制器发送网络报文后,同一网络其余控制器被唤醒	VCU、BMS、OBC、MCU	
14		DCDC供电	高压上电后,DCDC接到指令输出12V供电	VCU、DCDC	
15	高压安全	绝缘监测	BMS监测高压系统绝缘状态,绝缘状态信息输出到VCU,出现绝缘故障时,VCU按设定的故障处理机制处理	VCU、BMS	应符合GB 18384—2020《电动汽车安全要求》 ^[10] 中操作安全和故障防护的要求
16		高压互锁	VCU通过硬件互锁检测故障信息,出现互锁故障时,VCU按设定的故障处理机制处理	VCU	
17	故障诊断	故障诊断及处理	输出新能源系统故障信号,包括电池系统故障、电机系统故障、VCU故障、OBC故障、DCDC故障,按设定的机制处理故障	VCU、BMS、MCU、OBC、DCDC	应符合GB/T 18488.1—2015《电动汽车用驱动电机系统第1部分:技术条件》 ^[11] 、GB 38031—2020《电动汽车用动力电池安全要求》 ^[12]
18	信息显示	数字信息显示、状态信息显示、故障信息显示	输出新能源系统实时数据、新能源系统状态信号、新能源系统故障信号	VCU、IVI	

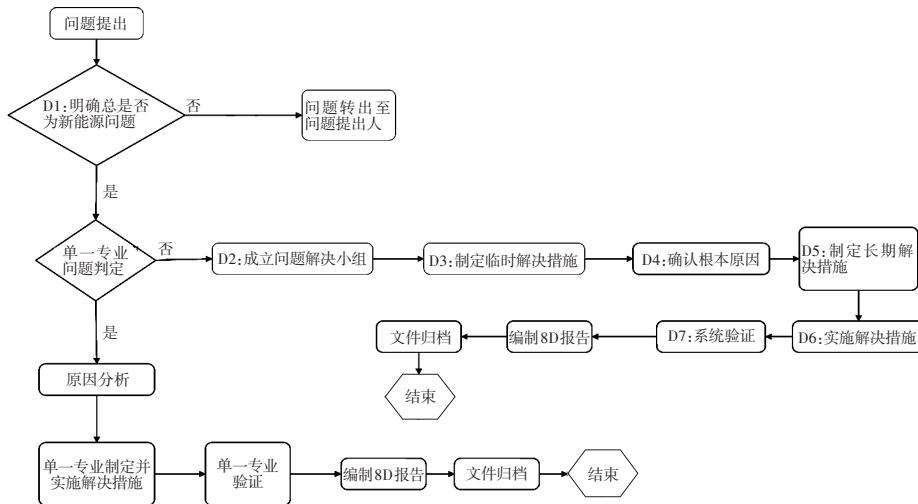


图1 系统级问题解决(8D)流程

表3 新能源系统问题反馈表

车辆基础信息	车辆型号	VIN码
	行驶里程	车辆用途
	车辆配置	车辆位置
	发生时间	发生频次
充电信息	充电失效模式	问题充电桩品牌
	充电桩安装位置	充电功率
	充电桩显示状态	充电座指示灯状态
	充电座电子锁状态	
故障信息	仪表显示何种故障提示(视频/拍照附图):	
	通过诊断工具读到何种故障码(拍照附图):	
	诊断仪读取整车故障码(拍照附图):	
	诊断仪读取故障码对应的冻结帧(拍照附图):	
故障现象描述	1. 描述车辆何时发生的故障:按时间顺序描述用车过程及故障现象,描述清楚故障是在整车上电后(上低压/上高压)立刻发生的;还是在行车过程中发生的,发生前后操作者对整车进行了何种操作。	
	2. 故障发生后,出现哪些现象:如无法上电;无法启动;无法挂挡;无法启动充电、充电中断、无法拔枪;动力受限,车速无法超过xx km/h;车辆在xx~xx km/h区间出现异常抖动等。	
	3. 描述故障是否可以恢复或复现:整车熄火再次点火,故障是否能够恢复;整车熄火,并等待全车控制器休眠再次点火,故障是否能够恢复;整车熄火,并断开小电瓶再次点火,故障是否能够恢复,清除故障码后故障复现,车辆故障码信息。	
	4. 车辆维修记录:近期车辆维修记录(换件、程序更新)	
申请部门	申请人及联系方式	

系统级问题管理方法在问题定位阶段可以过滤出大量非新能源系统问题,减轻子系统负责人工作负荷,另一方面对于确定为与新能源系统相关的问题,经过新能源系统负责人定位至问题子系统后再进行

问题传递并推进解决,也可以避免大量重复排查工作,极大提升问题解决效率。为加速问题定位过程,可从新能源系统角度,梳理常见问题排查过程,固化形成问题排查指导手册,输出可传承的技术文件,实现同类问题快速定位。

1.1.3 问题快速定位实例

本文以某车型高压系统无法上电故障为例,阐述系统级问题解决流程在问题定位过程中发挥的作用。高压上电过程信号交互流程图见图2。

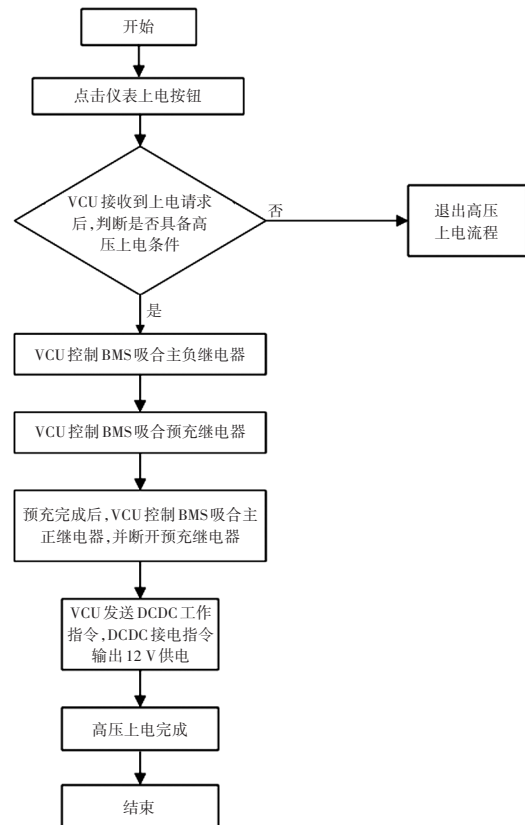


图2 高压上电流程

在没有实施系统级问题解决管理方法前,问题定位一般是根据高压无法上电故障灯点亮问题表象,问题发现人首先传递到高压专业,高压专业排查后未发现高压系统硬件问题,问题进而转向软件方面负责人;无法上电的控制功能由整车控制器及电池管理系统共同实现,所以问题会先转到整车控制专业,由其定位上电指令发送是否正确,若整车控制器继电器吸合指令发送成功但BMS未响应该指令,则问题再转至BMS专业定位继电器未响应原因,问题经过层层转手,最终定位为预充回路硬件故障,未完成上电前预充电动作,导致预充电失败。这个过程中由于各专业仅从本专业角度分析问题,导致问题定位周期长且存在报文采集冗余排查行为,造成不必要的人力、物力浪费。

在实施系统级问题管理方法后,收到问题反馈后由新能源系统负责人首先介入,通过建立的故障分析能力以及故障排查指导手册,直接完成问题定位传递给具体专业。如果不是新能源系统问题,则直接将问题转到传统车辆专业去解决;如果确实是新能源系统的问题,例如上述实例中由于预充回路硬件故障导致高压无法上电,则可以直接定位到预充回路硬件专业,加速问题定位过程。

1.1.4 问题定位自动化

当前新能源系统问题定位主要依靠人工对报文进行分析,存在问题排查效率低、排查不全面的问题,对于维修人员来说,落后的维修手段局限性日益凸

显^[11]。数字经济时代下,数字化转型为企业带来了巨大机遇^[12],其最显著特征就是通过应用数字化工具提升工作效率。

应用数字化的工具方法可以根据积累的问题数据以及功能规范要求建立问题排查规则,将报文数据排查规则通过Python编程语言程序化实现,固化每类问题排查信号及时序规则,排除思维局限,实现问题排查标准化。新问题发生后,将故障报文导入程序自动抓取分析信号变量,程序自动判定,锁定问题点(图3),将报文分析定位时间缩短至分秒级别,解放人力,提高问题定位效率。



图3 问题自动化定位流程与工具

问题自动化定位系统通过在线抓取故障类型、故障代码、故障时间、VIN信息,并导入故障处理库,通过信号时序及排查规则比对,自动定位故障发生所属控制器及故障信号,将定位到的故障真因通过可视化推送方式展示于系统内,并实现问题解决的自动化统计。问题自动化定位系统构成见图4。

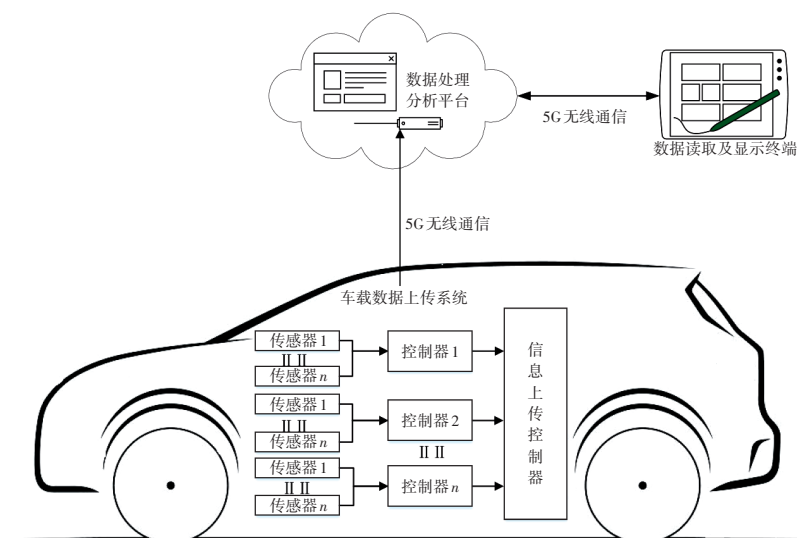


图4 问题自动化定位系统构成

1.2 系统级问题过程管控

问题过程管控包括问题推进、点检、闭环,是问题管理的重要阶段。问题管控过程目的是对原因明确的

问题制定解决措施,并验证措施有效,推进问题闭环。

如前所述,新能源系统功能实现涉及到多个子系统,所以问题的解决、验证也往往涉及到多个子系统。

某一个子系统的更改往往会对其余子系统功能产生影响,若未及时识别,就会导致为解决一个问题所做的更改反而带来更多新的问题。所以需要系统负责人从系统角度衡量改进措施是否有效。同时多个问题间也可能存在功能、资源方面冲突,因此需要系统级的过程管控,达成问题管控合理有效、资源分配高效、问题解决彻底的效果。

问题快速解决需要及时对问题状态进行梳理管控,定期点检解决进度,对拖期或长久无有效对策以及需要传动外部资源配合的问题进行风险识别,及时上浮领导层级决策。系统级的问题管理方法可有效避免直接由各专业领域统计的情况下,管控力度弱、资源协调困难的问题,并且可以对后续问题规避库的建设奠定良好基础。

目前产品开发项目普遍采用线下问题统计清单的方法,存在问题点检效率低、过程数据无法共享、过程数据缺失的痛点。应用数字化工具可实现在线填写问题后通过 Python 将问题日志上传云端,应用 Tableau 可视化工具直接从云端获取数据实现问题状态实时更新、自动化点检日志功能。同时可以通过标准化问题点检统计项、展示项实现自动化点检日志,方便问题跟踪及推进,问题过程数据可追溯,支撑 PDCA 实现。

1.3 系统级问题总结积累防止问题再发生

问题总结积累再发防止目的是总结以往项目以及本项目已发生的问题,形成问题规避库,完善设计潜在失效模式及效果分析(DFMEA)文件,在新项目方案制定阶段进行同类问题横展规避,避免问题再发,能够降低整车开发成本及设计周期,防止一些已知问题到试制或整车试验阶段才能被发现,有效降低问题解决的费用,缩短问题解决周期。

单一子系统问题可以通过子系统或总成级的问题规避实现。但是对于多系统共同导致的功能缺陷,或由各系统功能分配冲突造成的问题必须由系统的问题规避方法实现。并且问题规避是项目重要活动内容,需要由新能源系统负责人进行规则制定及管控。

在项目概念设计阶段,从问题规避库中导出上一代或借用类似技术的车型及售后出现的因零件设计缺陷而造成的质量问题和质量问题分析结论,并提供售后和现生产出现的与设计相关的质量问题数据、分析结论,为缺陷原因分析提供技术支持,进而完善系统 DFMEA(图 5)。

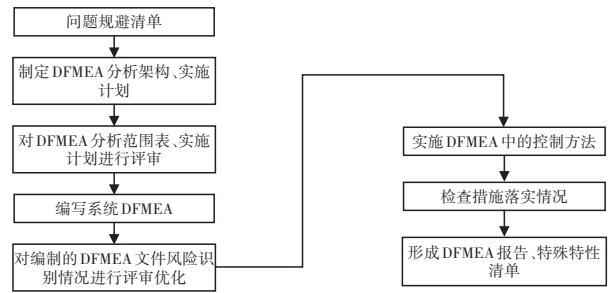


图 5 DFMEA 分析流程

在新能源系统设计中实施 DFMEA 之前需要建立较为完善的质量问题规避库作为基础,然而由于系统问题输入来源分散,问题输入方式版本不一,同时质量问题规避库应能做到“实时动态更新”,为实现上述要求,可将问题规避库建立在云端,统一问题输入维度的同时支持各项目同时在线编辑更新,云端问题规避清单所用模板示例见表 4。

表 4 问题规避清单模板

XXX 项目问题规避清单												
以往项目问题清单					问题规避情况							
序号	来源车型	问题阶段	问题名称	问题描述	问题真因	解决措施	问题专业	问题类型	问题责任人	是否需要规避	规避措施或不规避原因	具备验证条件时间

2 结束语

问题解决对于新能源“三电”系统开发、提升品牌形象具有重要意义,问题管理系统搭建策略与方法合理性、完整性直接影响系统的实用性、便利性,最终影响问题管理的效率和质量。本文提出新能源汽车“三电”问题系统级管理的方法,通过对整个问题解决过程中问题定位、问题过程管控、问题防止再发 3 个重要的环节进行分析,并通过高压无法上电典型问题的应用,论证了系统级问题管理方法的有效性。

建立系统级问题解决能力,并且通过编制常见问题指导手册,从功能定义、法规规范角度梳理固化排查过程,对问题解决具有重要的启发意义,能够大幅提升问题解决效率,支撑产品迭代及技术升级。未来,需研发基于后台大数据的新能源故障预诊断方法和工具,可在动力系统未出现故障时,根据参数判断汽车所处的健康状况,根据故障类别对驾驶员进行预警,减少新能源汽车行驶事故率。

参 考 文 献

[1] 徐佩玉. 7月新能源汽车销量增长 31.6%[N]. 人民日报海

- 外版, 2023-8-11(003).
- [2] 张君兰. 基于智能网联技术的新能源汽车产业共同体研究[J]. 汽车与新动力, 2022(4): 27-29.
- [3] 余承其, 张照生, 刘鹏, 等. 大数据分析技术在新能源汽车行业的应用综述—基于新能源汽车运行大数据[J]. 机械工程学报, 2019, 55(20): 3-16.
- [4] 耿力伟. 汽车维修质量管理的问题与对策探讨[J]. 汽车后市场, 2022(7): 174-176.
- [5] 王昊. 数字经济时代下企业数字化转型的若干思考[J]. 商展经济, 2022(11): 116-118.
- [6] 陈国军, 万远威, 曾国汀, 等. 整车质量问题管理六步曲[J]. 中国质量, 2021(2): 113-115.
- [7] 骆建军. PDCA 质量控制方法在解决接头异响问题的应用[J]. 轻型汽车技术, 2021(9-10): 54-58.
- [8] 张永昌, 袁荣, 邴建, 等. 六步法在汽车研发质量管理中的应用[J]. 研究与探讨, 2015(6):64-66.
- [9] 公安部. 机动车运行安全技术条件:GB 7258—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 工信部. 电动汽车安全要求:GB 18384—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [11] 工信部. 电动汽车用驱动电机系统第1部分: 技术条件: GB/T18488.1—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [12] 工信部. 电动汽车用动力蓄电池安全要求:GB 38031—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- (责任编辑 明慧)

《汽车技术》征稿启事

《汽车技术》杂志是中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车前瞻与应用技术类月刊,为我国高质量科技期刊分级目录入选期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊(A)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)收录期刊、日本科学技术振兴机构数据库入选期刊、EBSCO学术数据库收录期刊、欧洲学术出版中心(EuroPub)数据库收录期刊。

《汽车技术》杂志以报道汽车整车及其零部件设计、研究、试验等方面的前瞻与应用技术为主,并兼有理论研究内容,是中国汽车行业核心学术和知识传播与共享的平台。

《汽车技术》将在国家提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的指引下,把握《节能与新能源汽车技术路线图》和“低碳化、信息化、智能化”的汽车技术主流发展趋势,努力在传统内燃机汽车高效动力系统、轻量化、低阻力领域,新能源汽车和互联智能汽车技术领域,大力吸收优质稿源,为广大科研和工程技术人员服务,为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。

《汽车技术》欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员及相关人员不吝赐稿,反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将被优先选择刊登。

投稿要求:

1. 文章字数最好控制在6 000~8 000字范围之内;
2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数控制在180字左右;
3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的参考文献,且在文中应标注文献引用处;
4. 文章主要作者应提供其简介,包括出生年、性别、职称、学历、研究方向及技术成果等;
5. 来稿的保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
6. 请勿一稿多投;
7. 本刊使用网站投稿,请先登陆网站注册成功后投稿,详细投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏的“作者指南”,

网址: <http://qcjs.cbpt.cnki.net>。

《汽车技术》编辑部