

汽车产品的可靠性试验与质量改进

贾 萌 赵 岩 马嘉诚
陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200

摘 要：本文聚焦重卡汽车产品，深入探讨其可靠性试验与质量改进。通过剖析可靠性试验的核心要素，结合行业标杆企业的实践案例，揭示试验对质量改进的关键作用。研究指出，科学规范的可靠性试验体系与持续改进的质量管理策略，是提升重卡产品可靠性、增强市场竞争力的核心路径。

关键词：重卡汽车；可靠性试验；质量改进；试验体系；全生命周期管理

引言

重卡作为物流运输与工程作业的核心装备，其可靠性直接决定运输效率、运营成本及用户安全。据统计，重卡故障导致的停运损失占运输企业年收入的15%-20%，而可靠性提升10%可使企业净利润增长8%以上。然而，重卡需长期承受高负荷、复杂路况及极端环境的考验，这对产品可靠性提出了严苛要求。可靠性试验作为质量控制的“最后一公里”，通过模拟真实使用场景，暴露设计缺陷与制造隐患，为质量改进提供数据支撑。本文结合行业实践，系统阐述重卡可靠性试验的技术框架与质量改进策略，为行业提供可复制的解决方案。

1 重卡可靠性试验的技术框架

1.1 试验类型与标准体系

重卡可靠性试验涵盖整车、系统与零部件三级验证，需遵循国际标准（如ISO 16750、SAE J2334）与行业规范（如GB/T 12678-2021）。整车试验中，道路耐久性测试是核心环节，通过高速环路、山区道路、非铺装路面等典型工况，模拟车辆全生命周期行驶里程。例如，三一重卡采用“试验场1000公里=社会道路10万公里”的等效换算标准，总试验里程超8000公里，覆盖扭曲路、比利时路等20余种极端路况，确保车辆在复杂路况下的结构强度与耐久性。环境适应性测试则聚焦温湿度、盐雾等极端环境，在温湿度环境舱中循环经历-40℃极寒、85℃高温及95%RH高湿条件，验证材料老化、电子元器件稳定性。中国重汽皮卡在盐雾循环测试中突破1000小时，远超行业标准，显著提升了车辆在沿海或高湿地区的耐腐蚀性。极限工况测试包括涉水深度、淋雨强度、高压洗车等专项测试，例如涉水深度需达到 $\geq 800\text{mm}$ ，淋雨强度 $\geq 100\text{mm/h}$ ，高压洗车压力 $\geq 10\text{MPa}$ ，以确保车辆在恶劣环境下的密封性与耐腐蚀性，避免因进水或潮湿导致的电气故障或金属部件锈蚀。

1.2 试验数据采集与分析

现代重卡试验采用“传感器+数据采集系统（DAQ）+云端分析”的数字化架构，实现多维度数据实时监控。振动与噪声分析是关键环节，通过在驾驶室座椅导轨、悬架系统等关键部位布置三向加速度传感器，采样频率达256Hz，可精准捕捉0.1Hz-200Hz频段的振动信号。例如，某重卡企业通过频谱分析发现，45km/h车速下轮胎一阶激励引发4.5Hz共振，导致驾驶室抖动明显，通过优化悬架刚度使偏频从4.5Hz降至4Hz，抖动幅度降低60%，显著提升了驾驶舒适性。故障模式识别基于FMEA（失效模式与影响分析）方法，对试验中暴露的故障进行分类统计。例如，某企业统计发现，变速器故障中同步器磨损占比达45%，成为制约变速器可靠性的主要因素^[1]。通过进一步分析发现，同步器材料硬度不足与热处理工艺缺陷是导致磨损的主要原因，企业随即改进摆块材料与热处理工艺，使同步器寿命提升3倍，有效降低了变速器故障率。寿命预测模型利用Weibull分布与加速寿命试验（ALT）数据，构建零部件寿命预测模型。例如，某企业通过台架试验发现，驱动桥齿轮在1.5倍额定扭矩下运行200小时后出现疲劳裂纹，表明齿轮在正常工况下的寿命可能不足设计要求。企业据此优化热处理工艺，提高齿轮表面硬度与心部韧性，使齿轮寿命延长至500小时，满足了设计寿命要求。

1.3 试验验证的闭环管理

可靠性试验需与质量改进形成闭环，其流程包括试验设计、问题定位、改进验证与标准固化。试验设计阶段需基于用户使用场景定义试验工况与验收标准。例如，某企业针对矿产运输场景，设计“满载爬坡（坡度 $\geq 15\%$ ）+连续制动（10次/小时）”的专项测试，验证制动系统热衰退性能。测试发现，连续制动后制动器温度急剧升高，导致制动力显著下降，存在安全隐患。问题定位阶段通过拆检分析、CAE仿真等手段，定位故障根源。企业拆检制动器后发现，制动蹄片材料耐高温性

能不足,导致高温下摩擦系数急剧下降。同时,CAE仿真显示制动盘散热设计存在缺陷,热量无法及时散发,进一步加剧了热衰退现象。改进验证阶段对改进方案进行台架验证与道路复测。企业更换耐高温性能更好的制动蹄片材料,并优化制动盘散热结构,增加散热鳍片数量与面积。台架测试显示,改进后制动器在连续制动10次后,制动力下降幅度从原来的40%降至15%,道路复测也验证了改进效果,显著提升了制动系统可靠性。标准固化阶段将改进成果纳入企业标准与工艺文件,形成知识资产。例如,企业将“制动蹄片材料耐高温性能要求”与“制动盘散热结构设计准则”写入设计规范,要求新车型开发时必须进行制动系统热衰退性能测试,确保类似问题不再发生。

2 重卡质量改进的核心策略

2.1 基于全生命周期的质量管理

可靠性管理需贯穿产品规划、设计、制造、服务全周期。设计阶段采用DFMEA(设计失效模式分析)与QFD(质量功能展开)方法,将用户需求转化为设计参数。例如,某企业针对高原运输场景,用户反馈发动机动力不足、油耗高的问题。企业通过DFMEA分析发现,高原地区空气稀薄,导致发动机进气量不足,燃烧不充分。据此,企业优化发动机涡轮增压器匹配,提高增压压力,使发动机在4000米海拔下功率仅衰减5%,同时通过优化燃烧室结构与喷油策略,降低油耗10%,满足了高原运输需求。制造阶段通过SPC(统计过程控制)与防错技术(Poka-Yoke),控制关键工序质量^[2]。例如,某企业采用激光焊接工艺替代传统螺栓连接车架,激光焊接具有焊接强度高、变形小等优点,但焊接质量受激光功率、焊接速度等参数影响较大。企业通过SPC监控焊接参数波动,及时发现异常并调整,确保焊接质量稳定。同时,在焊接工位设置防错装置,如传感器检测车架定位是否准确,避免因定位偏差导致焊接缺陷。服务阶段建立远程诊断系统与故障预警模型,实现主动服务。例如,某企业通过车载T-Box实时监控发动机油压、水温、转速等参数,利用大数据分析建立故障预警模型。当参数异常时,系统提前30天向用户发送预警信息,并推荐就近服务站进行检修。据统计,该系统可提前预测80%的潜在故障,使用户从被动维修转向主动保养,降低了故障发生率与维修成本。

2.2 供应链协同与质量控制

重卡零部件数量超10000个,供应商质量直接影响整车可靠性。供应商分级管理依据PPAP(生产件批准程序)认证结果,将供应商分为A/B/C三级。A级供应商产

品质量稳定、交付及时,企业对其实施免检入库,减少检验环节,提高供应链效率。B级供应商需定期抽检,企业派驻质量工程师驻厂督导,帮助其提升质量水平。C级供应商产品质量问题较多,企业暂停其供货资格,要求其限期整改,整改通过后方可恢复供货。关键零部件控制对发动机、变速器等核心总成,实施“一物一码”追溯管理。例如,某企业要求供应商对曲轴进行激光打标,记录材料批次、热处理工艺、加工日期等12项关键参数。当曲轴出现质量问题时,企业可通过扫码快速追溯到生产环节,定位问题根源,采取针对性改进措施。联合研发机制与供应商共建实验室,开展材料性能、疲劳寿命等联合研究^[3]。例如,某企业与钢厂合作开发高强度车架用钢,针对车架轻量化与高强度的需求,共同研究钢材成分与热处理工艺。通过优化合金元素配比与淬火工艺,开发出抗拉强度达800MPa的高强度钢,使车架重量降低15%的同时刚度提升20%,显著提升了车架性能。

2.3 数字化与智能化赋能

工业4.0技术为质量改进提供新工具。数字孪生技术构建整车虚拟模型,模拟不同工况下的应力分布与疲劳损伤。例如,某企业通过数字孪生优化车架结构,在虚拟模型中模拟车辆在满载、颠簸路况下的应力分布,发现车架某部位应力集中系数较高,存在疲劳断裂风险。企业据此调整车架结构,增加加强板,使应力集中系数降低30%,提高了车架疲劳寿命。AI故障诊断利用机器学习算法分析历史故障数据,实现故障模式自动分类与根因推理。例如,某企业开发的AI诊断系统,输入故障现象描述后,系统可自动匹配历史类似故障案例,分析故障原因概率,并给出维修建议。该系统对制动系统故障的诊断准确率达92%,较人工诊断提升40%,显著提高了故障诊断效率与准确性^[4]。区块链质量追溯建立基于区块链的供应链质量数据平台,实现零部件全生命周期数据不可篡改。例如,某企业通过区块链记录轮胎生产、运输、使用数据,包括原材料批次、生产日期、运输温度、使用里程等。当轮胎出现质量问题时,企业可通过区块链快速追溯到问题环节,明确责任主体。同时,区块链数据透明可信,增强了用户对企业产品质量的信任,提升了品牌形象。

3 行业标杆案例分析

3.1 三一重卡:严苛试验铸就高可靠性

三一重卡通过“48个月整车可靠性验证”体系,覆盖-35℃极寒、50℃高温、480小时盐雾等极端环境,累计试验里程超10万公里,确保产品可靠性达到行业领先水平。其试验场等效设计独具特色,通过“扭曲路+卵石路

+搓板路”组合,模拟矿山、工地等非铺装路面,使1000公里试验场里程等效于10万公里社会道路。这种设计大大缩短了试验周期,同时提高了试验针对性。在故障闭环管理方面,三一重卡建立“试验-分析-改进-复测”的PDCA循环。某车型在试验中暴露变速器漏油问题,企业立即组织技术团队分析,发现是密封圈材料耐油性不足与装配工艺缺陷导致。企业随即更换耐油性更好的密封圈材料,并优化装配工艺,增加密封圈涂抹润滑脂工序。改进后进行复测,变速器漏油率从12%降至0.5%,显著提升了变速器可靠性。此外,三一重卡注重用户参与验证,邀请物流企业驾驶员参与试验,收集真实使用反馈。例如,根据用户建议优化驾驶室人机工程,调整座椅角度与方向盘位置,使驾驶员疲劳指数降低25%,提高了驾驶舒适性与安全性。

3.2 中国重汽:全链条质量管控

中国重汽通过“研发-供应链-制造-服务”全链条质量管控,实现产品可靠性行业领先。研发阶段采用“三高试验”(高温、高原、高寒)验证车辆适应性,某皮卡车型在-40℃至85℃温差下完成30万公里耐久测试,开闭件耐久达10万次,确保车辆在极端环境下的可靠性与耐久性。供应链阶段建立全球顶级供应商体系,核心零部件(如发动机、变速器)采用国际一线品牌,并通过“质量门”管控确保零部件100%合格。例如,在发动机进厂检验环节,设置多项质量检测项目,包括外观检查、性能测试、密封性检测等,只有全部合格方可进入生产环节。制造阶段引入德国杜尔涂装线、瑞典ABB焊接机器人等先进设备,实现关键工序自动化率90%以上。

自动化生产减少了人为因素干扰,提高了生产一致性。同时,企业建立严格的质量检测体系,对每台下线车辆进行全面检测,产品一次下线合格率达99.2%,确保了产品质量稳定可靠。

结语

重卡可靠性试验与质量改进是系统工程,需以用户需求为导向,构建“试验验证-数据分析-改进闭环”的技术体系,并融合全生命周期管理、供应链协同与数字化技术。未来,随着智能网联、新能源技术的发展,重卡可靠性试验将面临新挑战。电动化趋势下,电池热管理、电机电磁兼容性等成为新测试重点,需建立针对电动重卡的专项试验标准与方法。智能化趋势下,自动驾驶系统可靠性验证需突破传统试验方法,开发模拟复杂交通场景的测试平台。全球化趋势下,需满足不同地区法规(如欧盟WVTA、美国EPA)与用户习惯的差异化需求,加强国际合作与标准互认。企业需持续创新试验技术、优化质量管控模式,方能在激烈的市场竞争中立于不败之地。

参考文献

- [1]孙文栋,刘文超.商用车可靠性设计与制造工艺研究[J].汽车测试报告,2023,(09):91-93.
- [2]王康俊.某商用车重卡新产品开发中的实物质量管控[J].汽车实用技术,2022,47(09):168-172.
- [3]郭佳丽,孙珂,贾双龙,等.重卡行业过程质量控制对三检制的应用[J].汽车实用技术,2022,47(21):190-195.
- [4]萧荣.商用车提质升级锚定高质量发展[J].中国物流与采购,2025,(08):20-21.