

# 商用车电线束制造工艺优化与质量控制研究

倪 娇 李宇鑫

陕西重汽专用汽车有限公司 陕西 西安 710201

**摘要:** 商用车电线束作为电气系统的“神经网络”，是保障车辆安全行驶的关键零部件。针对当前其制造中存在的开线精度不足、端子压接不稳定等工艺缺陷，以及质量管控不完善等问题，本文结合行业标准与生产实际，分析工艺问题成因及影响，设计核心工序、设备及辅助工艺的优化方案，构建全生命周期质量控制体系，验证方案可行性。研究表明，优化后可显著降低缺陷率、提升生产效率，为商用车电线束制造企业提质增效提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 商用车；电线束；制造工艺优化；质量控制

**引言:** 随着商用车行业向智能化、轻量化发展，电气系统复杂度提升，对电线束的可靠性、稳定性提出更高要求。作为连接各电气部件的核心载体，电线束制造工艺与质量直接关系车辆行驶安全与企业市场竞争力。当前部分企业仍存在工艺参数不合理、设备老化、质量管控不全面等问题，导致产品缺陷率偏高。基于此，开展商用车电线束制造工艺优化与质量控制研究，对解决行业痛点、推动产业高质量发展具有重要现实意义。

## 1 商用车电线束制造工艺问题分析

### 1.1 商用车电线束概述及制造流程

(1) 商用车电线束的分类与核心功能：按安装位置可分为前舱线束、顶棚线束、仪表线束、底盘线束等，不同类型线束适配商用车不同部位的电气需求。作为商用车电气系统的“神经网络”，其核心功能是实现各电气部件间的信号传输与动力供给，保障发动机、车灯、中控等设备正常运转，是商用车安全行驶的关键零部件。(2) 商用车电线束核心制造流程：遵循标准化生产步骤，依次为来料检查（核查电线、端子、防水套等原材料质量）→开线（按规格切割电线并剥去绝缘层）→防水套预装（在指定位置安装防水部件）→端子压接（将端子与电线导体牢固连接）→超声波焊接（对接多股导线确保导通性）→热缩管处理（绝缘防护）→预装（分区域组装线束分支）→总装（整合各分支形成完整线束）→通电测试（检测电气性能）→外观检测（排查破损、松动等问题）→存储运输（做好防护避免损坏）<sup>[1]</sup>。

### 1.2 制造工艺存在的核心问题及成因分析

(1) 核心工艺问题：开线精度不足，易出现导线长度偏差、绝缘层剥切过度或不彻底；端子压接质量不稳定，存在虚接、压接过紧或过松现象；超声波焊接存在虚焊、漏焊缺陷；热缩管处理不规范，防护效果不佳；

预装与总装效率低，易出现线束缠绕、装配错位。(2) 问题成因分析：部分企业设备精度不足且日常维护不到位，老化设备未及时更新；工艺参数未结合原材料特性优化，适配性差；操作人员技能参差不齐，缺乏系统培训；缺乏统一的标准化作业流程，操作规范性不足；原材料质量管控不严，部分劣质原材料流入生产环节。

### 1.3 工艺问题对产品质量的影响

(1) 电气性能影响：端子虚接、焊接缺陷等导致接触电阻过大，绝缘层破损、热缩管处理不当使绝缘性能下降，易引发信号传输不稳定、短路、漏电等故障，影响商用车电气系统正常工作。(2) 机械性能影响：端子压接不牢固导致拉脱力不足，线束捆扎松散，在商用车行驶振动过程中易出现端子脱落、线束磨损，引发电气故障，存在安全隐患。(3) 经济性影响：工艺缺陷导致产品返工率居高不下，原材料浪费严重，不仅增加生产成本，还降低生产效率，影响企业市场竞争力。

## 2 商用车电线束制造工艺优化设计

### 2.1 工艺优化原则与目标

(1) 优化原则：以实用性、经济性、可操作性为核心，紧密贴合商用车电线束批量生产实际，严格遵循SAEJ2202等行业标准及相关质量规范，在提升生产效率的同时，重点保障产品质量稳定性，避免过度优化导致的成本浪费，确保优化方案能够快速落地执行，适配不同规模企业的生产条件。(2) 优化目标：明确降低工艺缺陷率，将开线、端子压接等核心工序的缺陷率控制在0.5%以下；提升生产效率，使预装、总装等工序效率提升20%以上；减少原材料浪费，降低导线、端子等耗材损耗率，实现单位产品耗材成本下降15%；同时确保优化后工艺能够适配商用车前舱、底盘等多场景使用需求，满足不同车型的定制化生产要求。

## 2.2 核心制造工序优化方案

(1) 开线与剥线工艺优化: 引入全自动开线剥线设备, 替代传统人工与半自动设备, 实现导线长度、剥头长度的精准控制, 误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内; 建立导线剥头长度与不同规格端子的匹配数据库, 根据端子型号自动调用对应参数; 规范首件、末件检验流程, 每批次生产前进行首件试产检测, 生产结束后核查末件质量, 及时发现并解决铜丝断裂、剥头过度或不彻底等缺陷。(2) 端子压接工艺优化: 通过多次试验优化压接高度、宽度等核心参数, 确定不同规格导线与端子的最优压接参数组合, 形成标准化参数手册; 加强压接模具的日常点检与定期维护, 建立模具维护台账, 及时更换磨损模具, 避免因模具问题导致的压接缺陷; 采用气动自动化压接设备, 替代人工压接, 提升压接一致性, 定期开展CPK(过程能力指数)分析, 确保压接过程稳定, CPK值 $\geq 1.33$ <sup>[2]</sup>。(3) 超声波焊接与热缩管处理优化: 制定详细的标准化操作指导书, 明确焊接温度、时间、压力等参数, 规范操作人员操作流程; 优化焊接参数, 根据导线线径调整焊接功率, 避免虚焊、漏焊等缺陷, 同时控制导线线径差, 确保焊接处导通性良好; 采用履带式热缩机替代传统手工热缩, 实现热缩管均匀加热, 避免出现褶皱、未收缩到位等缺陷, 提升绝缘防护效果。(4) 预装与总装工艺优化: 采用模块化设计思路, 将线束划分为基础模块与功能模块, 提前完成各模块的预装作业, 再进行总装整合, 减少总装环节的工作量; 配备专用预装工装与总装工装板, 明确各线束分支的固定位置, 避免装配过程中出现线束缠绕、错位等问题; 规范线束捆扎流程, 明确捆扎间距、力度, 采用专用捆扎带, 提升线束装配的准确性与牢固性, 同时提升装配效率。

## 2.3 制造设备与辅助工艺优化

(1) 设备优化: 引入智能化生产设备, 包括智能导线仓库、自动化压接设备、智能检测设备等, 实现导线存储、调取、加工的自动化管理, 减少人工干预; 升级现有检测设备, 新增端子拉脱力检测、绝缘性能检测等功能, 实现产品质量的全流程检测; 搭建设备状态实时监控, 对设备运行参数、故障情况进行实时监控, 实现故障提前预警, 减少设备停机时间<sup>[3]</sup>。(2) 辅助工艺优化: 规范原材料存储与转运流程, 对电线、端子、防水套等原材料进行分类存储, 做好防潮、防尘防护, 建立原材料出入库台账, 确保原材料质量; 采用专用护具保护半成品线束, 避免运输、存储过程中出现导线磨损、端子松动等问题; 优化线束包装与存储条件, 采用

定制化包装材料, 合理规划存储空间, 减少运输过程中的挤压、碰撞损伤, 降低产品破损率。

## 2.4 优化方案的可行性分析

(1) 技术可行性: 当前商用车电线束制造设备升级空间充足, 全自动开线、智能化检测等设备已在行业内广泛应用, 技术成熟; 操作人员可通过系统培训快速适配新设备与新流程, 满足操作需求; 同时可借鉴昆山沪光等龙头企业的智能化改造经验, 结合自身生产实际调整优化方案, 确保技术层面可落地。(2) 经济可行性: 优化方案的投入主要集中在设备升级、工装购置及人员培训, 投入成本可控; 通过降低工艺缺陷率、减少原材料浪费、提升生产效率, 预计6-12个月可收回前期投入, 长期来看能显著降低生产成本, 提升企业经济效益与市场竞争力。(3) 合规可行性: 优化后工艺严格遵循SAEJ2202等行业标准, 符合商用车电线束相关质量要求, 通过完善检测流程, 可确保产品质量达标, 满足商用车整车厂商的配套标准, 不存在合规风险。

## 3 商用车电线束质量控制体系构建与实施

### 3.1 质量控制体系构建原则与框架

(1) 构建原则: 以全流程管控、预防为主、持续改进为核心原则, 全面覆盖原材料采购、生产加工、成品检测、存储运输全生命周期, 紧密结合商用车电线束结构复杂、适配场景多样、安全性要求高的质量特性, 兼顾管控有效性与操作便捷性, 避免形式化管控, 确保质量控制贯穿每一个生产环节, 从源头降低质量风险。(2) 体系框架: 明确阶段性与长期性质量目标, 量化缺陷率、合格率等核心指标, 确保目标可落地、可考核; 划分清晰的组织机构与岗位职责, 明确质量部门、生产部门、采购部门等各岗位的质量管控职责, 避免责任推诿; 建立全流程质量管控流程, 规范各环节操作与管控标准; 制定完善的质量考核与改进机制, 将质量绩效与岗位薪酬挂钩, 推动质量管控水平持续提升。

### 3.2 各环节质量控制措施

(1) 原材料质量控制: 建立严格的原材料认可流程, 对新供应商进行资质审核、样品测试, 合格后方可纳入合格供应商名录; 构建完善的IQC(来料检验)体系, 明确导线、端子、防水套等核心原材料的检验项目、检验标准与抽样比例, 重点检测导线线径、绝缘层厚度、端子材质、防水套密封性能等关键指标; 规范供应商管理, 定期对供应商进行考核评估, 淘汰不合格供应商, 确保原材料质量稳定。(2) 生产过程质量控制: 全面推行标准化作业(SOP), 针对各生产工序制定详细的操作指导书, 规范操作人员动作与流程; 加强工序巡

检,安排专职巡检人员定时对开线、端子压接、超声波焊接等关键工序进行检查,及时发现并纠正工艺偏差;建立完善的质量追溯体系,给每批次产品分配唯一追溯码,实现从原材料投入到成品产出的全程追溯,便于后续质量问题排查<sup>[4]</sup>。(3)成品检测质量控制:构建多维度成品检测体系,全面覆盖电气性能、外观质量与机械性能检测,包括导通测试(排查短路、断路问题)、绝缘测试(检测绝缘性能是否达标)、外观检测(检查线束缠绕、端子松动、热缩管缺陷等)、机械性能测试(端子拉脱力、电压降等关键指标);规范检测流程与判定标准,明确合格与不合格界限,检测不合格产品严禁出厂,确保成品质量达标。(4)存储与运输质量控制:规范存储环境,确保仓库通风、干燥,控制环境温湿度在合理范围,避免原材料与成品受潮、老化;采用防静电包装材料对成品线束进行包装,防止静电损坏电子元件;明确运输过程中的防护要求,选用专用运输车辆,做好产品固定与防护,避免运输过程中挤压、碰撞导致线束磨损、端子脱落,防止产品损伤。

### 3.3 质量检测方法与设备升级

(1)检测方法优化:引入无损检测技术,替代传统破坏性检测,在不损伤产品的前提下,精准检测端子压接质量、焊接缺陷等问题,提升检测效率与准确性;完善导通测试与绝缘测试流程,优化测试参数,延长测试时间,确保检测结果真实可靠;制定明确的检测判定标准,细化各检测项目的合格阈值,避免人为判定偏差,确保检测工作标准化、规范化。(2)检测设备升级:配备专用检测设备,包括推拉力计(用于检测端子拉脱力)、2D投影仪(用于检测端子压接尺寸精度)、兆欧表(用于检测绝缘性能)等,提升检测的精准度;升级导通测试工作台,实现多通道同时测试,提高检测效率;搭建检测数据管理系统,实现检测数据实时记录、存储与分析,便于快速排查质量问题,为工艺优化提供数据支撑<sup>[5]</sup>。

### 3.4 质量问题处理与持续改进机制

(1)质量问题处理:建立质量缺陷分类台账,按缺陷严重程度、类型进行分类记录,明确缺陷描述、出现批次、涉及数量等信息;制定规范的缺陷处理流程,明确各环节的处理时限与责任分工,对不合格产品及时进行隔离、返工或报废处理,杜绝不合格产品流入市场;同时分析缺陷产生的原因,采取针对性措施,防止同类缺陷重复出现。(2)持续改进机制:定期开展质量分析会议,收集生产过程、检测环节、市场反馈中的质量问题,梳理工艺优化与质量控制过程中的不足;采用PDCA循环(计划-执行-检查-处理)模式,制定改进计划,落实改进措施,检查改进效果,将有效的改进措施纳入标准化流程,形成闭环管理;持续优化质量控制体系,不断提升质量管控水平,满足商用车行业对电线束产品的高质量需求。

### 结束语

本文围绕商用车电线束制造工艺优化与质量控制展开系统研究,明确了核心工艺缺陷及成因,提出针对性优化方案并构建全流程质量控制体系,通过技术、经济、合规性分析验证了方案的可行性。研究虽解决了当前行业核心痛点,但仍存在对定制化车型适配不足等局限。未来可结合智能化技术深化工艺升级,完善质量追溯体系,持续提升产品适配性与可靠性,助力商用车线束制造产业实现提质增效与可持续发展。

### 参考文献

- [1]高永丽.浅析汽车线束工艺在线束加工中的应用[J].汽车实用技术,2021,45(17):135-137.
- [2]陈军.汽车线束制造数字化与智能化的应用研究[J].南方农机,2023,50(24):25-30.
- [3]池现荣.汽车电线束现状及未来发展趋势[J].时代农机,2022,43(06):129-133.
- [4]滕巨辉,孙伟.汽车线束装配工艺与生产过程检验技术研究[J].时代汽车.2023,43(02):189-192.
- [5]魏佳佳,马顿,齐彬.浅析重卡总装配线装配工艺的发展趋势[J].汽车实用技术.2022,18(17):204-207.