

纯电动商用车高压线束布置原则与安全防护研究

任敏超 李阿勇 狄长涛 滕三锋
陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200

摘要：在“双碳”目标驱动下，纯电动商用车凭借零排放优势，成为物流运输绿色转型的关键力量。本文聚焦纯电动商用车高压线束，先阐述其结构、功能、工作原理及在车辆中的重要性。接着探讨布置原则，涵盖电气性能、空间布局、电磁兼容性、机械强度和可维修性等方面。同时，研究安全防护措施，包括材料、结构设计、生产制造、系统监测以及维护检查等环节。旨在为纯电动商用车高压线束的合理布置与安全防护提供理论依据和实践指导，提升车辆的安全性与可靠性，推动纯电动商用车行业的健康发展。

关键词：纯电动商用车；高压线束；布置原则；安全防护

引言：随着环保要求提高和能源结构调整，纯电动商用车凭借零排放、低噪音等优势，成为汽车行业发展的方向。高压线束作为纯电动商用车的关键部件，承担着传输高压电能的重任，其布置的合理性与安全性直接影响车辆性能与行车安全。然而，纯电动商用车运行环境复杂，高压线束面临诸多挑战，如电磁干扰、机械损伤等。因此，深入研究纯电动商用车高压线束布置原则与安全防护措施，对于保障车辆稳定运行、提高能源利用效率以及推动行业技术进步具有重要意义。

1 纯电动商用车高压线束概述

1.1 高压线束的结构与功能

纯电动商用车高压线束由导线、连接器、端子、护套等构成。导线是核心，用于传输电能，依据电流大小选不同规格。连接器实现线束与设备可靠连接，确保电气性能稳定。端子负责导线与连接器的电气连接，保证低电阻接触。护套则起到保护作用，防止线束受外界环境侵蚀。其功能主要是精准、高效地将动力电池的电能传输至电机、电控等关键部件，为车辆行驶提供动力，同时满足车内其他高压用电设备的需求，是纯电动商用车电力传输的“大动脉”。

1.2 高压线束的工作原理

纯电动商用车运行时，动力电池输出高压直流电，高压线束将此电能从电池端传输至电机控制器。电机控制器把直流电转换为交流电，为驱动电机供电，使电机运转驱动车辆。在车辆制动或减速时，电机作为发电机工作，产生交流电，经电机控制器转换为直流电，通过高压线束回馈至动力电池进行充电。此外，高压线束还为空调压缩机、PTC加热器等高压附件供电，保障车辆在不同工况下各系统正常运行，实现电能的高效分配与利用。

1.3 高压线束在纯电动商用车中的重要性

高压线束在纯电动商用车中至关重要。它是电能传输的关键通道，直接决定车辆动力性能。若线束出现故障，如断路、短路，会导致电机无法正常工作，车辆失去动力，严重影响行车安全。同时，合理的高压线束设计能降低电磁干扰，保障车内电子设备稳定运行。而且，其可靠性和耐久性影响车辆使用寿命与维护成本。优质的高压线束可减少故障发生率，降低维修频率，提高车辆出勤率，对纯电动商用车的性能、安全、经济性等方面都有不可替代的作用^[1]。

2 纯电动商用车高压线束布置原则

2.1 电气性能原则

纯电动商用车高压线束布置时，电气性能原则是核心考量。首先，要依据各高压部件的功率需求精准选线。根据电机、电池等部件的额定电流，确定合适截面积的导线，确保线束有足够的载流能力，防止因导线过细引发过热，甚至起火等安全事故，同时避免过粗造成成本增加与资源浪费。其次，合理规划线束长度与走向。尽量缩短线束路径，降低线路电阻，减少电能在线路传输中的损耗，提高能量利用效率。并且要避免线束出现过多的弯曲和缠绕，防止因电阻增大影响电气性能。再者，注重线束的绝缘与耐压性能。选用优质绝缘材料，保证线束在不同环境下都能有效防止漏电。同时，确保线束能承受车辆运行中可能出现的电压波动和瞬态高压冲击，维持电气系统的稳定运行，为车辆可靠行驶提供电气保障。

2.2 空间布局原则

纯电动商用车高压线束的空间布局需综合多方面因素，以保障车辆安全稳定运行。要紧密贴合车辆整体结构，沿着车身骨架、专用线槽等合理规划走向，如此既能充分利用车内空间，又能避免线束与运动部件、尖锐

边缘等发生干涉。若线束与传动轴、转向机构等运动部件距离过近，车辆行驶时的振动和摩擦可能损坏线束，引发安全隐患。同时，要保证线束与热源、油路等保持足够安全距离。高温会使线束绝缘层老化加速，降低其绝缘性能；油污则可能腐蚀线束，影响导电性。此外，空间布局要便于线束的安装、固定与检修。采用合适的卡扣、支架等固定装置，防止线束晃动松动。合理设置检修口和标识，方便维修人员快速定位和操作，提高维修效率，降低维护成本，确保高压线束在车辆全生命周期内可靠工作。

2.3 电磁兼容性原则

纯电动商用车高压线束工作时会产生强电磁场，若不遵循电磁兼容性原则布置，会干扰车内电子设备，影响车辆正常运行。在材料选择上，要为高压线束配备优质的屏蔽层，像编织屏蔽层或铝箔屏蔽层，能有效阻挡电磁辐射向外扩散，同时抵御外界电磁干扰侵入，保障线束自身及周边设备信号稳定。布局方面，应让高压线束与低压线束尽量分开走线，减少二者间的电磁耦合。若无法完全分离，可增加两者间距，降低干扰程度。此外，良好的接地设计不可或缺。将线束的屏蔽层可靠接地，能把干扰电流引入大地，避免其在电路中形成回路产生干扰。对于关键电子设备，还可额外增设滤波器、磁环等元件，进一步滤除电磁噪声，提升车辆整体的电磁兼容性，确保各系统在复杂电磁环境下稳定协作。

2.4 机械强度原则

纯电动商用车运行环境复杂，高压线束需具备足够的机械强度，以应对各种机械应力。在导线选材上，要挑选抗拉、抗弯曲性能优良的材料，确保在车辆行驶的振动、颠簸中，导线不会因频繁受力而断裂。连接器作为线束关键节点，其机械结构必须稳固，能承受多次插拔和振动冲击而不松动、损坏，保证电气连接的可靠性。布置线束时，要合理规划弯曲半径，避免因过度弯曲使导线内部结构受损，影响导电性能。对于经常受到摩擦、碰撞的部位，应加装耐磨、抗冲击的防护套管，减少外界因素对线束的损害。同时，采用可靠的固定方式，如专用卡扣、支架等，将线束牢固固定在车身合适位置，防止其在车辆运动中晃动、移位，降低因机械运动导致线束破损的风险，确保高压线束在车辆全生命周期内稳定工作。

2.5 可维修性原则

纯电动商用车高压线束的可维修性原则，关乎车辆后续维护的便捷性与成本。在布局设计上，要让高压线束的连接点、分支点清晰可见且易于触及。避免将线束

隐藏在难以拆卸的部件内部，或是布置在空间狭小、操作不便的区域，以便维修人员能快速定位故障点并进行检修。线束应采用模块化设计理念，将不同功能的线束划分成独立模块。当某一模块出现故障时，只需更换对应模块，无需整体更换线束，降低维修成本与时间。同时，要为线束设置清晰的标识与编号，包括导线颜色、线径、连接部件等信息。这能帮助维修人员迅速识别线束用途与走向，提高故障排查效率。此外，选用通用性强的连接器与零部件，便于在市场上快速获取替换件，减少因等待特殊配件而导致的车辆停运时间，保障车辆的高效运营^[2]。

3 纯电动商用车高压线束安全防护措施

3.1 材料选择安全防护

纯电动商用车高压线束材料的选择，是保障其安全运行的基石，需从多个关键方面严格把控。导线作为电流的载体，要选用导电性能卓越且具备高强度、耐高温特性的材料。铜合金是理想之选，其导电性佳，能有效降低电能损耗与发热；同时，良好的强度可承受车辆运行中的机械应力，耐高温性确保在高温环境下不软化变形，防止短路故障。绝缘材料至关重要，需具备高耐电压等级、优异绝缘性能以及出色的耐老化、耐腐蚀能力。交联聚乙烯和硅橡胶是常用材料，它们能在高压环境下长期稳定工作，避免漏电事故，且可抵御外界环境的侵蚀，延长线束使用寿命。护套材料要具备耐磨、耐油、耐化学腐蚀和抗紫外线等性能。聚氯乙烯和热塑性弹性体等材料，能保护线束免受外界机械损伤和环境因素的破坏。连接器材料需保证良好的导电性、抗氧化性和机械稳定性，确保电气连接可靠，减少接触电阻，防止因连接不良引发安全隐患。

3.2 结构设计安全防护

纯电动商用车高压线束的结构设计安全防护，对保障车辆稳定运行起着至关重要的作用，需从多方面精心规划。在线束布局上，采用分层、分区域设计理念。将高压线束与低压线束严格分离布置，不仅能有效减少电磁干扰，还能降低高压故障对低压系统的影响。同时，依据车辆结构和部件运动情况，合理规划线束走向，使其远离尖锐边缘、高温区域以及频繁运动的部件，防止线束被割破、磨损或因高温老化，避免短路等故障发生。对于线束分支结构，设置专门的分支固定点，确保分支线束稳固不晃动，防止因车辆振动导致连接点松动。在关键连接部位，采用加强结构设计，如增加连接器的锁紧装置，提升连接可靠性，防止行驶过程中连接器意外脱落。此外，设计合理的弯曲半径至关重要。过

度弯曲会使线束内部导线受损，影响导电性能。在线束穿过车身孔洞时，安装橡胶护套，既能起到密封防水作用，又能减少线束与孔洞边缘的摩擦，全方位保障高压线束的结构安全。

3.3 生产制造安全防护

纯电动商用车高压线束生产制造过程中的安全防护，是确保产品安全可靠投入使用的关键环节，需从多维度严格把控。在原材料检验环节，建立严格的准入机制。对导线、绝缘材料、连接器等各类原材料，依据详细标准进行全面检测。例如，检测导线的导电率、抗拉强度，绝缘材料的耐电压、绝缘电阻等指标，只有完全符合要求的材料才能进入生产线，从源头杜绝安全隐患。生产过程中，打造洁净有序的生产环境，防止灰尘、杂质混入线束，影响绝缘性能。规范操作人员的作业流程，针对导线焊接、连接器压接等关键工序，制定精确的操作规范，并通过培训和考核确保员工熟练掌握，避免出现虚焊、压接不良等问题导致接触电阻增大而发热起火。同时，引入先进的生产设备和检测仪器，实时监控生产过程中的各项参数。建立完善的质量追溯体系，对每一根高压线束的生产过程进行详细记录，一旦发现问题能迅速追溯到具体环节和责任人，及时采取改进措施，保障生产出的高压线束具备可靠的安全性能。

3.4 系统监测安全防护

纯电动商用车高压线束的系统监测安全防护，是保障车辆安全运行的核心手段之一，通过全方位、实时性的监测构建起坚固的安全防线。构建一套高精度的实时监测系统是基础。该系统借助分布在高压线束各关键节点的传感器，对电压、电流、温度等核心参数进行不间断采集。这些传感器具备高灵敏度和高可靠性，能精准捕捉参数的细微变化，确保数据的真实性和准确性。一旦参数超出预设的安全阈值，系统会立即触发警报机制，通过声光提示或向车辆控制系统发送信号，及时提醒驾驶员或维修人员采取措施，防止故障进一步恶化。同时，引入智能数据分析技术。系统对采集到的大量数据进行深度挖掘和分析，运用先进的算法模型判断线束是否存在潜在故障，如绝缘老化、接触不良等。还能根据历史数据和运行趋势，预测故障发生的时间和位置，

实现预防性维护，大大提高车辆的安全性和可靠性。此外，系统监测应与车辆的其他安全系统实现信息共享和协同工作，形成一体化的安全防护网络，共同保障纯电动商用车高压线束在各种工况下的安全稳定运行。

3.5 维护检查安全防护

纯电动商用车高压线束的维护检查安全防护，是保障车辆长期安全运行不可或缺的环节，需严谨细致地开展各项工作。维护检查前，务必确保车辆完全断电，并在醒目位置设置警示标识，防止他人误操作引发触电危险。维护人员要严格按照安全规范，穿戴好绝缘手套、绝缘鞋、防护面罩等完备的防护装备，使用经检测合格的绝缘工具进行操作。在检查过程中，要全方位审视高压线束。仔细查看线束外观是否有破损、老化、变形等情况，尤其关注连接部位，检查连接器是否松动、腐蚀，若有异常需及时紧固或更换。同时，检查线束的固定装置，如卡扣、支架等是否牢固，防止线束晃动磨损。利用专业检测设备对线束的绝缘性能、导电性能等进行定期检测，确保其符合安全标准。建立详细的维护检查档案，记录每次检查的时间、内容、发现的问题及处理措施。通过定期且规范的维护检查安全防护，能及时发现并排除潜在安全隐患，有效延长高压线束的使用寿命，保障车辆运行安全^[3]。

结束语

本研究围绕纯电动商用车高压线束布置原则与安全防护展开深入探讨。合理的布置原则是保障线束功能实现与车辆性能稳定的基础，而全面且有效的安全防护措施则是确保车辆运行安全的关键防线。通过对布置原则的优化和安全防护技术的不断革新，能够显著降低高压线束故障风险，提升纯电动商用车的可靠性与安全性。

参考文献

- [1]倪晓鹤.新能源汽车高压电气系统绝缘监测技术创新与优化[J].汽车知识,2025,25(5):98-100.
- [2]吴波.行业下行期商用车零部件供应商质量改善对策分析[J].汽车与驾驶维修,2025(3):212-214.
- [3]张春梅,徐涛.新能源汽车混合动力系统整车高压线束设计[J].商用车专刊,2021,1003-8639