

# 浅谈汽车新能源线束总装 SE 分析要点

## The Main Points of SE Analysis for Assembly of New Energy Wiring Harness of Automobile are Discussed

徐佳亮 杨潇男 籍斌斌

Jialiing Xu Xiaonan Yang Binbin Ji

上海司凯德汽车工程技术有限公司 中国·上海 310000

Shanghai Sikede Automotive Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 310000, China

**摘要:** 汽车线束整体可分为低压线束和高压线束两种,传统燃油汽车主要采用低压线束,新能源汽车主要采用高压线束,高压线束作为新能源汽车如此重要的部件,其设计尤为关键,论文结合大量项目经验和研究主流新能源汽车线束结构,重点通过可装配性、人机、防错、装配结构等多个维度对其 SE 分析要点进行说明。

**Abstract:** Automobile wiring harness can be divided into low-voltage wiring harness and high-voltage wiring harness. Traditional fuel vehicles mainly use low-voltage wiring harness, new energy vehicles mainly use high-voltage wiring harness, the design of high-voltage wire harness is very important for new energy vehicle. This paper studies the wire harness structure of mainstream new energy vehicle based on a lot of project experience, the key points of SE analysis are explained through the dimensions of assemblability, man-machine, error prevention, assembly structure and so on.

**关键词:** 总装; SE 分析; 新能源; 汽车; 高压线束

**Keywords:** assembly; SE analysis; new energy; automobile; high voltage wiring harness

**DOI:** 10.12346/etr.v5i7.8292

## 1 引言

当前中国新能源汽车发展突飞猛进,行业竞争日益激烈,总装 SE 分析的作用越来越明显,在数据阶段尽可能地将问题规避,在样车试制过程中,显著减少样车试制验证的数量和时间,论文通过对主流新能源汽车新产品研发过程中的高压线束设计为例,进行多维度的分析,论述了总装对新能源线束的 SE 分析要点。

## 2 同步工程说明

同步工程,即 SE(英文 Simultaneous Engineering 的缩写),其主要工作是在产品设计开发阶段,工艺同步定义制造工艺方案,向设计部门输入制造工艺技术要求,优化产品结构,改善和提高产品的可制造性,从而降低开发成本,缩短开发周期,是产品设计阶段不可或缺的一部分。

## 3 浅述新能源线束的系统

### 3.1 新能源线束作用

新能源汽车高压线作用是由配电箱内部线束信号分配,高效优质地传输电能,屏蔽外界信号干扰。高压连接系统由连接器和高压线束构成。

### 3.2 线束连接器

DC/DC、水暖 PTC 充电机、风暖 PTC、直流充电口、动力电机、高压线束、维修开关、逆变器、动力电池、高压箱、电动空调、交流充电口等都需要用到连接器。

### 3.3 高压线束

新能源线束的高压线束主要由直流充电线束、MCU 动力电缆、电动空调线束、升压电缆、升压直流母线电缆等组成。线束的划分和整车的结构及装配工艺有很大的关系,不必拘泥于以上划分形式,应该力求达到结构简单拆装方便、布局美观。

【作者简介】徐佳亮(1994-),男,中国浙江杭州人,本科,工程师,从事汽车制造行业应用研究。

## 4 浅析新能源线束装配过程和工序

MCU 动力电缆，通常在电机分装线与驱动电机进行装配，通过高压线铜排和固定支架装配在电机、副车架上，随副车架总成上线装配。

电动空调线束一般布置在电池包上部，采用护线槽结构与动力电池包集成，随电池包总成装配，还有 1 种布置车身底部，通常在动总分装线进行装配，通过卡扣和固定支架装配在前副车架上，并与压缩机或高压电加热器插接随动总分装线装配。

直流充电线束总成，从车身后侧穿过侧围及后地板，通常在在一工位进行装配，线束从行李箱地板开孔位置穿出，充电座安装点固定在车身侧围钣金上，在底盘工位，将线束固定在车身底部，还有 1 种从车身外侧穿过侧围钣金，再将线束在室内固定。

分析时还需考虑装配工序，与混线生产车型 BOP 保证统一的情况下，满足装配。

## 5 浅析新能源线束可装配性

### 5.1 线束固定种类

线束固定有许多种方式，结合整车不同高压器件的实际布置情况，合理地选用线束的固定方式，以此满足不同的装配需求。目前比较常用的固定方式有以下几种：一体式固定扎带附楔形固定头、一体式固定扎带附杉树形固定头（一般用于圆孔方式的固定），一体式焊接螺柱固定扎带和带焊接螺柱固定件隔离式双夹头扎带（一般用于焊接螺柱的固定）、固定扎带和管夹类卡扣组件（一般用于管道、软管及线束的固定），板材边缘金属卡（一般用于厚度不超过 3mm 的金属或塑料边缘的固定）、电缆导线支架（一般用于电缆抬高，使其与车身突出部件保持安全距离，防止磨损）、连接器卡扣（一般用于固定高压连接器上的固定件）、波纹管卡扣（一般用于波纹管的固定）<sup>[1]</sup>。

### 5.2 布线要求

整车内的高压线束布置一般有以下四点要求：在静态负载情况下，最小转弯半径 4 倍导线外径；动态负载情况下，最小转弯半径 8 倍导线外径；高、低压线布置时，尽量分开布置，以提高车辆的电磁兼容性能，间距不小于 100mm；高压接插件出线端到第一个固定点的距离不超过 300mm（根据不同的高压线平方数略有差异），相邻固定点之间的距离一般为 200~300mm（根据不同的高压线平方数略有差异）；导线一般选择韧性导线如硅橡胶导线、柔性交联聚烯烃导线。

当出现部分线束拐弯半径较大时，实际装配后的线束走向难以达到设计的状态，且高压线束线径较大时，作业时难以改动调整状态，一般采用增加线束护板支架的方式约束线束的走向，以此保证线束实际走向与设计状态一致。

### 5.3 线束装配路径要求

线束装配时，为防止产生异响并保持周边零部件不干涉，线束需保证位置唯一性，应在适当部位设置固定点，分析时

需要考虑与周边零部件的静态、动态间隙。

线束上自带卡扣比较常见，线束卡扣的装配时需要考虑拇指的按压空间，通常情况下使用拇指按压的空间建议为  $\phi 30\text{mm}$ 。

线束常有穿过钣金孔的情况，大部分的线束会自带卡扣或支架，此时需要关注钣金开孔的孔径是否能够满足线束带卡扣或带支架的情况下，顺利穿过钣金孔，钣金孔尺寸一般建议单边  $\geq 5\text{mm}$ ，双层钣金时内侧加强钣金开孔直径一般建议增大 3mm。

动力电缆与驱动电机一般与分装上线，此时还需考虑随副车架上线时与周边的安全间隙是否满足，防止发生线束刚蹭和线束无法取出的情况产生。

### 5.4 线束搭铁点要求

线束搭铁位置应尽量选择就近搭铁，尽可能缩短搭铁回路长度，减小回路电压、降低成本。位置还需便于装配和返修，并且搭接面能够满足扭矩要求。尽量避免布置在雨水聚集区域或车外，避免搭铁点被腐蚀后接触不良。

线束搭铁与车身搭铁螺柱连接时，搭铁端子一般自带防转结构，防止搭铁紧固时，出现搭铁发生跟转，线束装配状态不一致。

### 5.5 高压线 IPT 连接器、铜排紧固及线束插件要求

高压线的 IPT 连接器分析时，建议重点分析其紧固点的位置，与驱动电机紧固点不宜过深，否则影响装配，在样车试制过程中，曾出现安装点深度过深，螺栓不易紧固和可视性差的问题，后通过调整连接器的尺寸解决此问题。

高压线束与驱动电机等连接常采用铜排连接的紧固方式，常见的线束铜排有硬铜排、软铜排、FlatWire 铜排，线束铜排紧固通常需要分析紧固方向，紧固角度不宜倾斜，在某车型研发过程中，线束铜排与驱动电机连接姿态倾斜向下，可视性较差，同时工具与工装托盘发生干涉，后通过紧固方向调整解决。

线束的插件设计时需满足可视性的同时，还需满足手部作业的空间需求。

### 5.6 线束防护要求

线束装配路径上若与其他金属等零部件邻近，无法避让安全间隙，当装配线路径产生累计公差时，则会产生干涉，分析时一般建议易产生干涉的部位适当采取保护措施，以维持其装配路径，防止线束割伤等风险，常见的防护形式有以下这些：

波纹管防护形式：波纹管的主要特点就是耐磨性较好，在高温区、耐高温性、阻燃性、耐热性都很好。波纹管的耐温一般在  $-4\sim 150^\circ\text{C}$ 。它的常见材质一般分为 PP 和 PA 这 2 种。整车上常采用闭口式波纹管来防护，具有耐磨、阻燃、耐高温、防水等优点，但缺点是线束制造工艺费时，市面上常见材质有 PA（尼龙）、PE（聚乙烯）和 PP（聚丙烯），高压线束的波纹管颜色需要采用橙色，用于区分整车的高压线束和低压线束，并采用橡胶护套塑封或 PVC 胶带缠绕对线缆进行固定密封<sup>[1]</sup>。

PVC管防护形式：PVC管的功能和波纹管相似。PVC管的柔软性和抗弯变形性比较突出，而且PVC管一般为闭口，因此PVC管常用于线束拐弯的分支处，以便使导线能够顺利平缓过渡。但缺点是线束制造工艺费时，且PVC管的耐热温度一般低于80℃<sup>[1]</sup>。

护板防护形式：常用于布置在汽车底盘位置的高压线束保护，设计护板时要考虑防水、防泥沙飞溅、防刮蹭等因素。护板多数采用ABS+PC，其特点是具有高抗冲、高耐热等优点<sup>[1]</sup>。

胶带防护形式：胶带在线束中一般起到捆扎、耐磨、绝缘、阻燃、降噪、做标记等一些作用。线束用胶带一般分为PVC胶带、绒布胶带和布基胶带这三种。PVC胶带耐磨性、阻燃性较好。一般耐温在80℃左右，降噪性不好，但其价格便宜。绒布胶带和布基胶带材料为PET。绒布胶带的捆扎和降噪性最好，一般耐温在105℃左右；布基胶带的耐磨性最好，仪表耐温最高150℃左右。但绒布胶带和布基胶带共有的缺点是阻燃性不好，线束制造工艺费时，价格比较昂贵<sup>[1]</sup>。

### 5.7 防错机制要求

防错设计即防止人、材料和机器可能出现的错误，达到零缺陷的目的。防错设计，是持续改进质量的一种技术，也是一个提高产品质量和可靠性的重要方面。线束的防错主要集中在卡子的固定、插件的装配和紧固标准件，具体有以下几点：

①线束装配时，原则上要求一个零件上的标准件保证统一，如遇标准件无法统一的情况下，也需满足紧固工具统一的原则。

②同一个线束分支点分出的线束，一般可用固定卡扣距离分支点的间距不同或卡子的型号（圆形卡、腰型卡）差异进行区分防错。

③同一部位或邻近部位的插插件，一般采用不同结构的插插件，防止插件接插错误。

④线束卡扣固定孔与周边孔结构防错，若线束使用圆孔固定，周边件需使用腰型孔固定，防止相邻件安装孔错装。

### 5.8 装配结构效率提升要求

部分高压线束重量较重，且需要手持装配作业的，一般都要增加预挂结构，用以提升装配效率，例如直流充电线束带充电座装配时，线束较为笨重，需要手扶充电座紧固螺栓，员工作业时较为不便，一般建议充电座安装面带有预挂结构，常见的有卡接结构等。

## 6 浅析新能源线束人机工程

作业时，手部操作过程需保证周边无遮挡，且手部可以直接碰触到需装配的部位；人体不建议通过垫脚或弯腰超过90°的方式接近操作的部位。便利性分析标准采用行业标准（RULA），依据得分判定人员疲劳程度。过DELMIA软件调整作业人员的姿态，用open vision window命令进行视野分析，保证装配过程中装配点可视，避免盲操作的装配方式<sup>[3]</sup>。

## 7 浅谈新能源线束绝缘电阻

新能源汽车的上应用最广泛的是高压部件，主要有动力

电池组、驱动电机、DCDC等组成，如此高电压的整车环境下，就决定了其绝缘电阻测试是一项非常重要的安全检测。通过绝缘电阻检测可以及时有效的发现高部件存在的隐患，避免安全事故发生。不同型号的新能源汽车，其绝缘电阻检测的标准一般是不同的。在进行绝缘电阻检测时，需要注意测试仪器的使用安全、测试引线的牢固性、测试仪器对高压电路的绝缘要求等方面。

整车在检测时，还会涉及到部分高压器件的高压线束插拔需求，分析时需结合检测规范要求对高压线进行校核。

## 8 浅谈新能源线束密封

由于高压线束具有高电压和大电流的特点，所以对于线束的密封性要求非常高，若线束密封不良，则会导致线束内部潮湿或进水，最终导致线束的老化与损坏。若线束插件与高压器件连接的部位密封不良，还会造成绝缘电阻降低，整车出现故障的问题。

与高压连接器匹配，一般采用导线密封件、热缩管、橡胶件等多种方式进行密封，以满足防水防尘（IP67、IP68、IP69K）的要求。

线束从车内穿出至室外时，线束的过孔胶堵与钣金孔一般采用过盈配合的方式，以满足室内密封防水的要求。

## 9 浅述新能源线束常用屏蔽结构

当前新能源汽车的趋势为高电压和大电流，高压系统承受的电压高达800V，电流高达660A，如此庞大的电流和电压势必产生电磁场干扰，考虑到电磁干扰的因素，整个高压系统均由屏蔽层全部包覆。高压线束屏蔽电磁干扰的常见方式有以下几种：屏蔽导线（屏蔽导线一般是由多股镀锡退火铜丝编织，细铜线可保持设计柔韧性，一般覆盖率在90%以上）、单一编织屏蔽（指用轻编织金属屏蔽层固定在线束外，以防止电磁干扰。属于整体屏蔽，导线为未屏蔽，目前日系制造商使用较多）、铝管屏蔽（铝管屏蔽也属于整体屏蔽，导线为非屏蔽，目前日系、美系制造商使用较多）<sup>[2]</sup>。

## 10 结语

综上所述，高压线束作为新能源汽车高压系统的关键部分，它的重要程度显而易见。而在新能源汽车高压线束的开发设计过程中，同步工程分析同样在其中发挥着不可替代的作用。结合以上要点，能够实现更有效避免高压线束在开发过程中存在的问题，在设计阶段将问题暴露和解决，使得线束结构更合理、工艺更合理，在整车性能、质量方向得到大幅度提升。

## 参考文献

- [1] 刘洋,刘丹,姜锋.浅谈纯电动汽车整车级高压线束开发[J].汽车实用技术,2018(11):14-15.
- [2] 王亚芳,冯伟,马红飞.新能源汽车高压线束常用屏蔽结构浅析[J].汽车电器,2023(1):11-12.
- [3] 任金东.汽车人机工程学[M].北京:北京大学出版社,2010.