

汽车线束是汽车电路的网络主体，没有线束也就不存在汽车电路。随着人们对汽车的安全性、舒适性、经济性和排放性要求的提高，汽车线束变得越来越复杂，但车身给子线束的空间却越来越小。因此，如何提高汽车线束的综合性能设计便成为关注的焦点。而且汽车线束制造厂家不再单纯地搞线束后期设计和制造，和汽车主机厂家联合进行前期开发成为必然的趋势。笔者根据几年来从事线束设计和制造的经验，谈谈线束的一般设计流程和设计原则。

一、整车电路设计

（一）电源分配设计

汽车的供电系统设计是否合理，直接关系到汽车电器件的正常工作与否和全车的安全性，因此世界各国的汽车线束设计出发点基本都是以安全为主。整车电气系统基本上由3个部分组成。

蓄电池直接供电系统（一般称为30电）。这部分的电源所接负载一般都是汽车的安全件或重要件，主要目的是在这些件供电时尽量少的加以控制，确保这些件即使汽车发动不起来也能短暂正常工作，以方便到站点维修等。如：发动机ECU及发动机传感器的工作电源、燃油泵的工作电源、ABS控制器的电源、诊断接口电源等。

点火开关控制的供电系统（一般称为IG或巧电）。这部分电器件基本上是在发动机工作运转的情况下才使用，取自发电机的电源，避免了为蓄电池充电时争电源的可能性。如：仪表电源、制动灯电源、安全气囊电源等。

发动机启动时卸掉负载的电源（一般称为ACC电源）。这部分电器件一般所带的负载较大，且在汽车启动时不必工作。一般有点烟器电源、空调电源、收音机电源、刮水器电源等。

（二）线路保护设计

线路保护装置是对导线加以保护，预防对回路电器件的保护。保护装置主要有熔断器、断路器和易熔线。

1. 熔断器的选取原则

发动机ECU、ABS等对整车性能及安全影响大，另外，易受其他用电设备干扰的电器件必须单独设熔断器。

发动机传感器、各类报警信号灯和外部照明灯、喇叭等电器件对整车性能及安全影响也较大，但该类电负荷对相互间的干扰并不敏感。因此，这类电负荷可以根据情况相互组合，共用一个熔断器。

对于为增加舒适性而设置的普通电器件类的电负荷可以根据情况相互组合，共用一个熔断器。

熔断器分快熔式和慢熔式。快熔式熔断器的主要部件是细铜线，其中片式熔断器结构简单、可靠性和耐振性好、易检测，所以被广泛采用；慢熔式熔断器实际上是铜合金片，这种结构的熔断器一般串接到感性负载的电路中，如电机电路。

电阻型的负载与电敏感性的负载尽量避免共用一个熔断器。

一般根据电器件的最大连续工作电流计算并确定熔断器容量，可按经验公式：熔断器额定容量=电路最大工作电流÷80%（或70%）。

2. 断路器

断路器最大的特点是可恢复性，但其成本较高，使用较少。断路器一般是热敏机械装置，它利用两种金属的不同热变形，使触点开闭或自行接通。新型的断路器，使用 PTC 固体材料作为过流保护元件，它是一种正温度系数的电阻，根据电流或温度的高低断开或接通。这种保护元件的最大优势是当故障排除后能自动接通，不需人工调节和修复。

3. 易熔线

易熔线的特点是当线路通过很大的过载电流时，易熔线能在一定的时间内（一般 $\leq 5\text{s}$ ）熔断，从而切断电源，防止产生恶性事故。易熔线也是由导体和绝缘层构成，绝缘层一般为氟氯化聚乙烯材料，因为绝缘层较厚，所以看起来比同规格的导线粗。

易熔线一般接在蓄电池直接引出的电路中。易熔线的常用的公称截面有 0.3mm^2 、 0.5mm^2 、 0.75mm^2 、 1.0mm^2 、 1.5mm^2 ，甚至还有 8mm^2 等更大截面的易熔线。易熔线的导线段长度分为 $(50\pm 5)\text{mm}$ 、 $(100\pm 10)\text{mm}$ 、 $(150\pm 15)\text{mm}$ 3 种。

易熔线应有明显的标志，当其熔断后，其标志仍应存在以便于更换。易熔线的熔断特性如表 1 所示。

表1 易熔线的熔断特性					
项 目	内 容				
易熔线规格/ mm^2	0.3	0.5	0.75	1	1.5
标记(绝缘层颜色)	紫	棕	红	蓝	黄
熔断电流(经验值)/A	150	200	250	300	350
熔断时间/s	≤ 5				

（三）继电器的选取设计

继电器分为电流式和电压式 2 种。一般根据用电器的功率和开关的承载能力来决定是否选用继电器。常用继电器的设备一般有刮水器、喇叭、雾灯、前照灯、雾灯、风扇、鼓风机、转向灯（闪光器）等。继电器分 6V 、 12V 、 24V 3 种，常用的继电器额定电压为 12V 。

选用继电器要参考的技术要求：①可靠性好；②性能稳定；③重量轻、体积小、寿命长，对周围元件影响小；④结构简单、工艺性好、成本低。

（四）搭铁分配设计原则

发动机 ECU、ABS 等对整车性能及安全影响大，且易受其他用电设备干扰，所以这些件的搭铁点一定要单独设。

对于安全气囊系统，它的搭铁点不仅应单独设，而且为了确保其安全可靠，最好采用双搭铁。其目的是其中一处搭铁失效，系统可以通过另一搭铁点搭铁，确保系统安全工作。

无线电系统为避免干扰，也要单独搭铁。

信号传感器的搭铁最好独立。搭铁点最好是在传感器较近的位置，以保证信号的真实性。

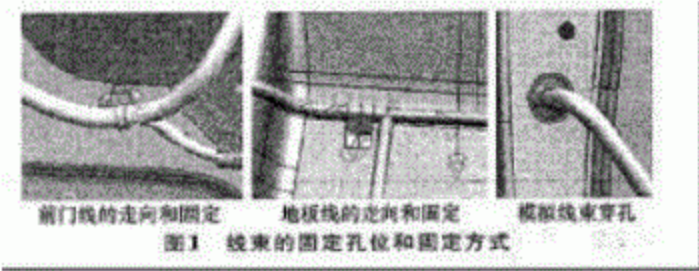
其他电器件可根据具体情况相互组合共用搭铁点。原则是就近搭铁，避免搭铁线过长，造成不必要的电压降。

蓄电池负极线、发动机搭铁线等因导线截面较大，因此一定要控制好线长和走向，减小电压降，为增加安全性，发动机、车身一般要单独连接到蓄电池负极搭铁。

搭铁方式：一是通过孔式接头搭铁，此法一定要在接头的尾部焊上热缩管绝缘；二是通过内部短接的护套直接搭铁。

二、线束三维布局走向设计

此流程主要是模拟仿真不同区域的线束走向、直径，考虑线束过孔的密封和保护，模拟线束的固定孔位和固定方式等，如图1所示。三维布线用的主要软件有 PRO-E、UG 和 CATIA 等。



三、插接件的选取设计

插接件是线束的核心部件，插接件的性能直接决定着线束整体的性能，而且对全车的电器稳定性、安全性起着决定性的作用。

（一）插接件的选取设计原则

插接件选取要保证与电器件的良好接触，使接触电阻降为最低，提高可靠性。优先选用双弹簧式压紧结构的插接件。

根据导线的截面积和通过电流的大小合理选择插接件。

发动机舱内对接的护套，由于舱内温度、湿度偏大且存在很多腐蚀性气体和液体，因此一定要选择防水性护套。

在同一条线束中若用同一种护套，其颜色一定要有区别。

基于汽车外观的整休协调性，在发动机舱中应优先选用黑色或深色的护套。

为减少线束对接用护套的种类和数量，优先选用组合型件，使装配固定方便。

对于安全性要求较高的安全气囊、ABS、ECU 等用的端子插接件，应优先选用镀金件以保证安全可靠。

蓄电池接头（电瓶夹）内部为导体，镀层厚度为 1:9，电瓶夹的材料为镀锌钢、镀锌铜或铝镁合金。

不同规格的插接件可承载的电流一般如下：1 系列，10A 左右；2.2 或 3 系列，20A 左右；4.8 系列，30A 左右；6.3 系列，45A 左右；7.8 或 9.5 系列，60A 左右。

（二）插接件原材料（材质）性能分析

1. 护套材质（塑料件）

常用的材质主要有 PA6、PA66、ABS、PBT、pp 等，笔者总结了它们的性能差异，见表 2。设计插接件时可根据不同的需求选择不同材质的塑料，还可根据实际情况在塑料中添加阻燃或增强材料，以达到阻燃或增强的目的，如添加玻璃纤维增强等。

表2 塑料件护套材质的性能差异

类别	POM	PBT	PC	ABS	PA6	PP	PA66
燃烧难易	容易	不易	容易	容易	缓慢燃烧	容易	缓慢燃烧
突出缺点	密度较大， 耐酸阻燃差	冲击强度低，耐热性差，容易翘曲，需热处理，成型周期长	耐磨性，加工流动性差	耐候性差	抗蠕变性能差，抗氧化性差	负荷变形，低温易脆裂，收缩太大，热扭曲温度较低	抗蠕变性能差，抗氧化性差
突出优点	综合性能较好，塑料中力学性能最接近金属	耐磨耗，尺寸稳定性好，电绝缘特性好	综合性能良好	较高的强度，耐热，耐化学药品，具有超群的易加工性，优异的尺寸稳定性，有很高的耐冲击强度，优良的电性能	有优良的耐磨擦性能和耐冲击性，优于PA66	抗弯曲疲劳性能好	有优良的耐磨擦性能和耐磨耗性能
和其它塑料其混目的		缩短成型周期	改善应力开裂对缺口敏感	改善其阻燃性	增加抗氧性，以避免被氧化	克服低温冲击强度差，提高负荷变形温度和提高抗紫外线能力，改进染色性和印刷性	增加抗氧性，以避免被氧化

2. 端子 材质（铜件）

插接 作用的 铜主要 是黄铜 和青铜（黄铜 的硬度 比青铜 的硬度 稍低），其中 黄铜占 的比重 较大。另外， 可根据 不同 的需求 选择 不同的 镀层。

四、 导线 的选取 设计

（一）导线 类型的 选择

线束 设计选 用导线 类型重 点考虑 线束所 处的环 境和功 能。例如， 发动机 周围环 境温度 高，腐 蚀性气 体和液 体也多。因此，一 定要使 用耐高 温、耐 油、耐 振动、耐 摩擦导 线。行 李箱盖 上的导 线要 在低温 下保持 其弹性， 所以选 用冷弹 性导线 保证其 正常工 作；自 动变速 器上的 导线一 定要耐 高温、耐 液压 油，其 温度稳 定性要 好；偶 信号传 感器要 用屏蔽 导线，例 如爆震 传感器 和曲轴 位置传 感器、ABS 轮速传 感器等；门 内 线耐弯 曲性能 要求高 等。

汽车 线束常 用的导 线通常 使用多 股绞合 铜导线，绝 缘皮 为 PVC 绝缘材 料。线束 用导线 要有耐 温、耐 油、耐 磨、防 水、防 腐蚀、抗 氧化、耐 燃等特 性。

汽车 线束常 用的导 线种类 有国标（AVSS 等）、国际（QVR、德标（FLRY）、美标等几大系列。AVSS（AVS）导线的特点是 薄皮绝 缘，柔 韧性好；QVR 的特点是 绝缘皮 厚，比 较柔软，延 展性好；德 标导 线绝缘 皮更薄，柔 韧性好；美 标导 线绝缘 皮一般 为热塑 性或热 固性弹 性体，还 有经过 编织工 艺加工 的。可根 据 用户 的需求 和 不同的 工作环 境选取 适当类 型的导 线。

（二）计 算选 取导线 截面积

根据 电器件 功率的 大小计 算通过 导线的 电流，长 时间工 作的电 气设备 可选 择实际 载流量 60%的导 线；短 时间工 作的用 电设备 可选 用实际 载流量 60%-100% 之间的导 线。

根据 不同的 工作环 境和温 度大小 适当改 变导线 的截面积。

根据 导线的 走向、插 接件 的数量（即电 压降的 大小）适当 改变导 线的截 面积。

关于 导线截 面积的 计算，也 有一 些专家 总结出 一些经 验公式：

$$I=PU\Delta U/\rho L U \Delta$$

式中：I——电 流；P——功 率；U—— 系统电 压；A—— 导线截 面积；U_Δ—— 允许最 大电压 降损失；ρ——铜 电阻率；L——导 线长度。

或按 下面积 验公式 。

$$I=A\times 10\div B/2$$

允许 流通电 流与导 线截面 积关系 经验理 论值（ 比按上 面公式 计算值 偏大） 如表 3 所示。

表3 允许流通电流与导线截面积关系经验值									
截面积	0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	16
载流量60%	7	9.5	11.5	14.5	19	25	33	45	63
载流量100%	12	16	19	24	32	42	55	75	105

五、全车 线束密 封件（ 橡胶件 ）的 设计

汽车 线束过 孔时一 般运用 橡胶件 进行过 渡，以起 到耐磨、 防水、密 封等作 用。主要 分布在 以下部 位：发动 机与驾 驶室接 口处、前 舱与驾 驶室接 口处（左 右共 2 处）、四门（或有后 车门） 与车厢 接口处 、油箱 进口处 。

常用 的材质 一般为 天然橡 胶、氯 丁胶、 硅橡胶 、三元 乙丙等 。

天然 橡胶的 特性： 具有良 好的弹 性和机 械强度 ，有优 异的耐 曲折性 ，有较 高的撕 裂强度 和良好 的耐磨 性。缺点： 耐老化 性不大 好，不 耐油和 臭氧， 易燃。

氯丁 胶的特 性：耐 臭氧、 耐老化 、耐 油等性 能较好 ，具有 难燃性 和自熄 性；但 耐低温 性不好 。

硅橡 胶的特 性：耐热 性、耐 寒性和 耐油性 较好； 缺点 是不耐 油。三元 乙丙的 特性： 耐候性 、耐 臭氧、 耐热 、耐 腐蚀性 、耐 酸碱等 性能都 较好， 而且 拥有高 强度和 高伸长 率；缺点： 粘接性 差，且 弹性没 天然橡 胶好， 耐油性 差。

比较 而言， 三元乙 丙的综 合性能 较好， 所以现 在汽车 线束用 橡胶件 一般选 用三元 乙丙材 料。

六、全车 线束包 扎和调 定设计

（一）线束 包扎设 计

线束 外包扎 起到耐 磨、阻 燃、防 腐蚀、 防止干 扰、降 低噪声 、美化 外观的 作用。一般根 据工作 环境和 空间 大小制 定以下 包扎设 计方案 。

发动 机线束 工作环 境恶劣 ，因此 全用高 阻燃性 、防水 、机械 强度高 的波纹 管包扎 。

前舱 线工作 环境也 相对较 差，大 部分线 束也用 阻燃性 好的波 纹管包 扎，部 分分支 用 PVC 管包扎 。

仪表 线工作 空间较 小，环 境相对 较好， 可用胶 带全缠 或花缠 。

门线 和顶蓬 线工作 空间较 小，可 用胶带 全缠， 部分线 束可用 工业型 帆布包 扎。较 细的顶 蓬线可 直接用 海棉胶 带粘 在车身 上。

底盘 线因为 车体接 触部位 较多， 因此用 波纹管 包扎防 止线束 磨损。

（二）包 扎用原 材料的 性能分 析

1、波纹 管

波纹管在线束包扎中一般占到 60%左右，甚至更多。主要的特点就是耐油性较好，在高温区耐高温性、阻燃性、耐热性都很好。波纹管的耐温在 -40-150℃间。它的材质一般分 PP 和 PA2 种。PA 材质在阻燃、耐磨方面优于 PP 材质，但 PP 材质在抗弯曲疲劳性方面强于 PA 材质。

2. PVC 管

PVC 管的功用和波纹管差不多。PVC 管柔软性和抗弯曲变形性较好，而且 PVC 管一般为闭口，所以 PVC 管主要用于线束折弯的分支处，以便使导线顺利通过。PVC 管的耐热温度不高，一般在 80℃以下。

3. 胶带

胶带在线束中起到捆扎、绝缘、绝热、阻燃、降噪、作标记等作用，在包扎材料中一般占到 30%左右。线束用胶带一般分 PVC 胶带、气布胶带和布基胶带 3 种。PVC 胶带耐油性、阻燃性较好，耐温在 80℃左右，降噪性不好，价格较便宜。织布胶带和布基胶带材料为 PET。织布胶带的包扎性和降噪性最好，耐温在 105℃左右；布基胶带的耐油性最好，耐温最高 150℃左右。织布胶带和布基胶带共有的缺点是阻燃性不好，价格昂贵。

4. 线束固定设计

中央电器盒一般用钢板条、螺栓等固定，或用电器盒本身设计的固定结构直接安装在车身上。

各条线束一般采用塑料扎带、扣钩等固定在车身孔内。车身孔大多为圆孔或椭圆孔，一般直径为 5mm、6mm、7mm 不等。

各条线束同接口的护套一般采用护套支架架集体固定起来，并安装在车身上。

海狮、MPV 等较大车型的车身线长且粗，一般采用护套固定在车身上，以降低震动和噪声。