

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,但车身给予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(一般称常电或 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,主要目的是为这些件提供电能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 档或巧电)。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

线路保护就是对导线加以保护,兼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,共用使用一个熔断器。

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,共用使用一个熔断器。

熔断器分快熔式和慢熔式。快熔式熔断器的主要部件是细锡线,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锡合金片,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。

电阻型的负载与电感型的负载尽量避免使用同一个熔断器。

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。断路器一般都是热敏机械装置，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，不需人工调节和拆换。

3. 熔断线

熔断线的特点是当线路通过极大的过载电流时，熔断线能在一定的时间内（一般≤5s）熔断，从而切断电源，防止产生恶性事故。熔断线也是由导体和绝缘层构成，绝缘层一般为氟化乙烯材料，因为绝缘层较厚，所以看起来比同规格的导线粗。

熔断线一般接在蓄电池直接引出的电路中。熔断线的常用的公称截面有 0.3mm²、0.5mm²、0.75mm²、1.0mm²、1.5mm²，甚至还有 8mm² 等更大截面的熔断线。熔断线的导线长度分为（50±5）mm、（100±10）mm、（150±15）mm 3 种。

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

表1 熔断线的熔断特性

项 目	内 容				
熔断线规格/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）继电器选取设计

继电器分为电流型和电压型 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、除霜、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质量轻、体积小、寿命长，对周围元器件影响小；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设。

对于安全气囊系统，它的搭铁点不仅应单设，而且为了确保其安全可靠，最好采用复式搭铁。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。

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

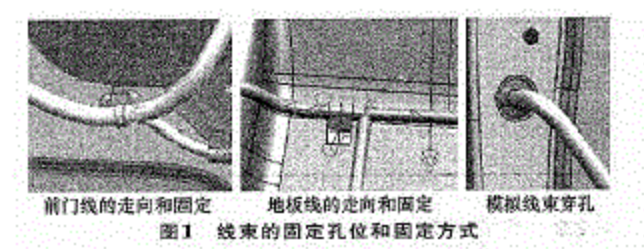
其他电器件可根据具体布置情况相互组合共用搭铁点。原则是就近搭铁，避免搭铁线过长，造成不必要的电压降。

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裹上热缩管绝缘；二是通过内部短接的护套直接搭铁。

二、线束三维布置走向设计

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、湿度偏大且存在着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。

基于汽车外观的整体协调性，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，优先选用混合整件，使装配固定方便。

对于要求性能较高的安全气囊、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）内部为铜体，锥度为 1:9；电瓶夹的材料为镀锌钢、镀锌铜或铝锡合金。

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，笔者总结了它们的具体性能差异，见表 2。设计插件时可根据不同的需求选择不同的材质，还可根据实际情况在塑料中添加阻燃或增强材料，以达到增强或阻燃的目的，如添加玻璃纤维增强等。

表2 插接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，抗老化性差	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，抗老化性差
突出优点	综合性能较好，塑料中力学性能最接近金属	耐磨损，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，具有超强的易加工性，优异的尺寸稳定性，有很高的耐冲击强度，优良的电性能	有优良的耐摩擦性能和耐磨耗性能，抗冲击性优于PA66	抗弯曲疲劳性能好	有优良的耐摩擦性能和耐磨耗性能
和其它塑料共混目的		减短成型周期	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）

插接件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很多。因此，一定要使用耐高温、耐油、耐振动、耐摩擦导线；行李厢盖上的导线要在低温下保持其弹性，所以要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；弱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；门内线耐弯折性要求高等。

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。线束用导线要有耐高温、耐油、耐磨、防水、防腐蚀、抗氧化、阻燃等特性。

汽车线束常用的导线种类有目标（AVSS 等）、国标（QVR）、德标（FLRY）、美标等几大系列。AVSS（AVS）导线的特点是薄皮绝缘，柔韧性较好；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，还有经过辐照工艺加工的。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）计算导线截面面积

根据电器件功率的大小计算流导线的电流；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：

$$I = P / U_{\text{线}} = I_{\text{电}} \rho L / U_{\text{线}}$$

式中：I——电流；P——功率； $U_{\text{线}}$ ——系统电压；A——导线截面积； $U_{\text{线}}$ ——允许最大电压降损失； ρ ——铜电阻率；L——导线长度。

或按下面经验公式:

$$I=A \times 10+8/2$$

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)、侧门(或有后窗门)与车侧接口处、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,有优异的耐曲挠性,有较高的撕裂强度和良好的耐寒性。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、耐寒性和耐侯性较好;缺点是不耐油。三元乙丙的特性:耐侯性、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:粘接性较差,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、全车线束包孔和固定设计

(一) 线束包孔设计

线束外包孔起到耐磨、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孔设计方案。

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孔。

前舱线束工作环境也相对较差,大部分主干也用阻燃性好的波纹管包孔,部分分支用 PVC 管包孔。

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,部分主干可用工业塑料布包孔;较细的顶蓬线可直接用海绵胶带粘在车身上。

底盘线因与车体接触部位较多,因此用波纹管包孔防止线束磨损。

(二) 包孔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。波纹管的耐温在-80-150℃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,以便使导线圆滑过渡。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、耐磨、绝缘、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、气织布胶带和布基胶带 3 种。PVC 胶带耐磨性、阻燃性较好;耐温在 80℃左右,降阻性不好,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;布基胶带的耐磨性最好,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。

各条线束对接的护套一般用护套支架集束固定起来,并安装在车身上。

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