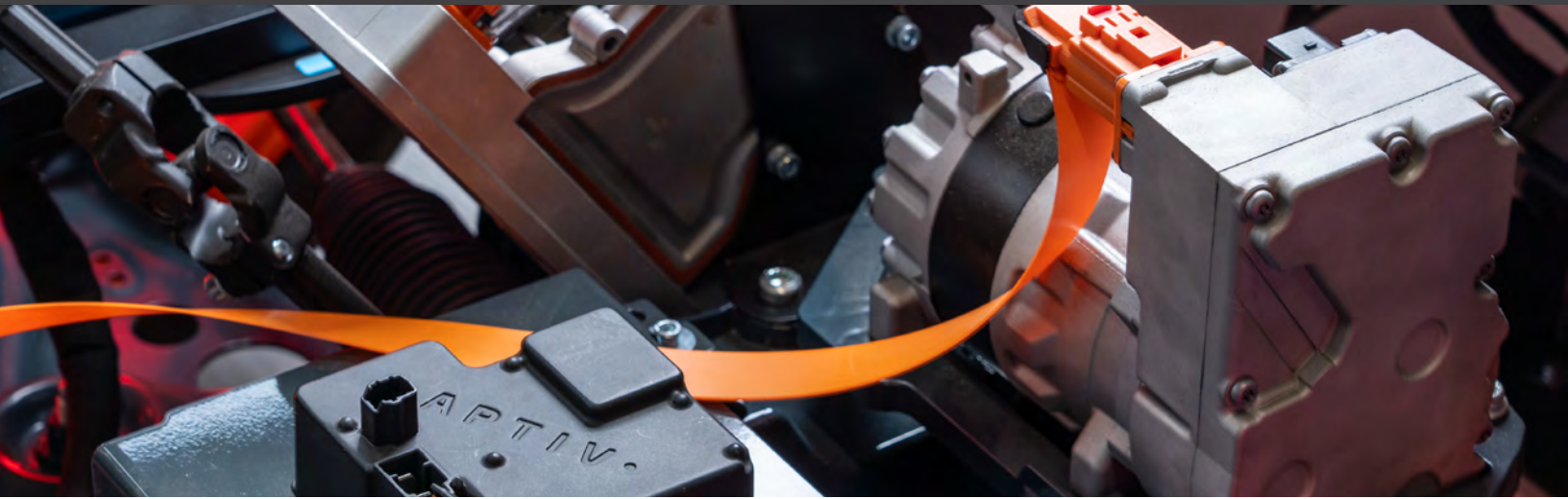




扁平线缆为电气架构提供新维度

车辆架构正迎来重要转折点。纯电动汽车的出现代表着架构上的突破 — 我们可以借此机会重新思考如何设计电子/电气架构 — 而混合动力和燃油车中的大量配置内容也要求我们必须采用创新方法。与此同时，所有车辆类型从 12V 到 48V 的转变也让我们有机会重新思考整体所采用的线束和连接器。

在某些情况下，扁平线缆已成为电源和信号连接的重要选择。每种类型的扁平线缆（柔性扁平线缆和柔性印刷电路）均在尺寸、重量、散热和自动化方面具有独特优势。

为了充分利用这些优势，需要新的制造技术、组件和连接系统 — 进行相应的开发将解锁更多可能性，从而将设计灵活性提升到新水平。

重新审视

看看今天的电动汽车内部，很难不注意到它的结构是多么的平坦，因为它主要由像瓷砖一样位于车厢地板下方的电池组模块组成。我们也很难不注意到有多少传递电力、信号和数据的线路在各个组件之间互相连接。

综合考虑这两个因素，不难理解为什么汽车制造商会愈加关注在其电子/电气架构设计中使用扁平电缆。

扁平线缆对于汽车行业来说并不是新事物。早在 20 世纪 60 年代，扁平线缆就已作为一种节省空间的车内连接方式出现。但随着小规格导线和端子的出现，OEM 发现圆导线可满足他们的许多要求。

今天，为了实现丰富的功能，电动汽车所需的线束和连接密度超过了行业以往的任何时候，而扁平线缆具有一些明显的优势 — 包括节省重量和体积、增强散热以及支持更高水平的自动化。

扁平线缆的使用场合

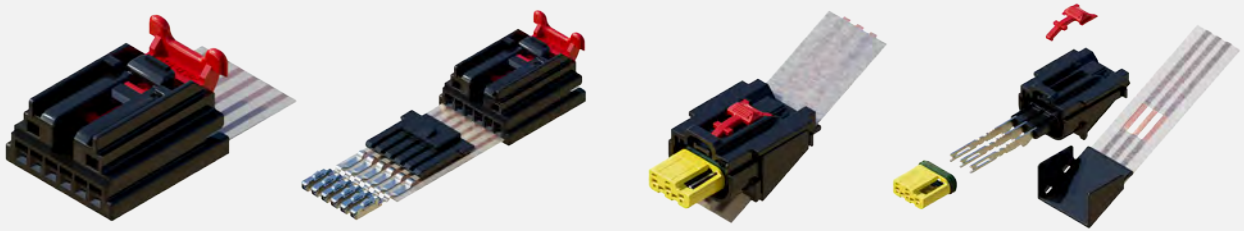
扁平线缆在现代区域架构中具有尤其重要的意义。区域控制器整合了 I/O 连接，将线束简化并精简为一种点对点架构，在这种架构中，电力和信号线路并行连接到中央计算单元、分布式设备，甚至其他区域控制器。与传统架构相比，这些连接的线路通常更短，数量也更少。

扁平线缆还适用于狭窄空间中的线束，例如车门、座椅、天线、车顶内衬、饰板和保险杠、挡风玻璃雨刷加热器、电动后视镜、前照灯和后灯。

扁平线缆的新兴应用包括电源/数据总线、直接连接到传感器和 ECU 的柔性线缆、摄像头除冰和除雾、电动汽车电池集电器以及具有集成电压感应、温度感应和熔断功能的电动汽车电池互连。

扁平线缆的复兴

扁平线缆在汽车应用中重新兴起，这带来了连接系统技术方面的创新需求。
以下是安波福最新解决方案的示例。



扁平线缆的类型

扁平线缆主要有两种类型：柔性扁平线缆 (FFC) 和柔性印刷电路 (FPC)，它们各自都有独特的优点和缺点。

柔性扁平线缆

FFC 由许多平行的扁平式铜或铝导体组成，这些导体要么通过挤出工艺被覆盖上一层热塑性绝缘材料（例如聚氨酯），要么通过覆膜工艺，在导体表面贴附绝缘膜（例如聚对苯二甲酸乙二醇酯。之后，通过激光切割表面绝缘膜，露出导体上的接触区域。由于 FFC 是直线型的，因此通常会折叠以形成所需的形状。

生产过程中采用可以让线缆连续不中断的制造工艺，

这意味着 FFC 可以是任意长度。导体的厚度可以超过 1 毫米，但较厚的导体会导致 FFC 变得更硬。单个导体的宽度通常限制在 16 毫米以内，FFC 的最大宽度由制造工艺决定。生产 FFC 是最快捷且最具成本效益的扁平线缆制造工艺。

柔性印刷电路

FPC 采用柔性覆铜板制成。根据所需图案对材料进行遮蔽和化学蚀刻以去除铜，然后使用覆盖层材料切出孔以露出导体的接触区域。

FPC 不仅可以替代传统的电线，还可以替代传统的刚性印刷电路板。FPC 可以支持多层导体，并且可以与表面贴装器件、保险丝和交叉连接器这些电子元件集成。此外，FPC 比 FFC 更坚固，支持的最大宽度可达 600 毫米。

FFC 与 FPC

这两大类扁平线缆在架构设计中具有一些相同的优势，但它们的制造方式不同，且具有非常不同的特性。

	柔性扁平线缆 (FFC)	柔性印刷电路 (FPC)
制造工艺	在成型和添加工艺中，通过挤出或覆膜的方式为扁平导体覆盖上绝缘材料，然后折叠成所需的形状	柔性覆铜板 (FCCL) 经过掩膜和化学蚀刻处理，然后使用激光切割对层压材料进行开孔
使用的材料	用于挤出工艺的热塑性聚氨酯 (TPU) 和用于覆膜工艺的聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)，扁平的铜/铝导体	柔性覆铜板蚀刻，以及由聚酰亚胺、聚萘二甲酸乙二醇酯或聚对苯二甲酸乙二醇酯制成的覆膜材料
可能替代	单独的传统电线/线缆	- 单独的传统电线/线缆 - 传统刚性印刷电路板 (PCB)
描述/功能	- 长度仅受收卷设备的尺寸限制 - 导体厚度可以超过 1 毫米 - 最快捷且最具成本效益的 FC 工艺 - 采用挤出工艺的电缆更坚固，无需粘合剂	- 单层、双层和多层柔性电路 - 导体可以集成表面贴装器件、保险丝和交叉连接器等电子元件 - 比 FFC 更可靠/更坚固
局限性	- 仅限于直线平行电路，不适用于图案化布线 - 宽度通常小于 32 毫米	- 化学蚀刻会造成大量的材料浪费 - 铜厚通常限制在 2 盎司以内 - 长度通常限制在 1.2 米以内 (3 米是汽车线束应用的理想长度)，宽度上限通常为 600 毫米

但是，FPC 的铜厚通常限制在 2 盎司以内，长度限制在 1.2 米以内。此外，化学蚀刻会造成大量的材料浪费。

除了 FFC 和 FPC 之外，其他扁平线缆技术也在开发中，以用于潜在的汽车应用，因此该领域可能会加快创新步伐。

扁平线缆的优势

与传统线束相比，使用扁平线缆有几个主要优势。

尺寸和重量

扁平线缆可以在不牺牲机械强度和耐久性的情况下，使用更薄的导体。通常，当考虑到整个线束以及与连接器、卡钉、胶带等相关的所有变化时，这一优势可使重量减轻高达 40%，体积节省高达 35%。

扁平线缆的独特结构是实现这些缩减的主要原因。对于圆形线缆，由于需要单独导线和端子压接来承受连接器和线束上的任何应力或应变，因此任何尺寸上的缩减都会受到限制。相比之下，扁平线缆的各层结构均有助于缓解应变方面的影响并实现稳健的端子连接，因而可以在许多情况下使用更薄、更小的导体。

散热

与圆形线缆相比，扁平线缆具有更优越的热特性。扁平线缆在相同体积下具有更大的表面积，这不仅有助于散热，而且可以使相同体积的导体传输更高的电流。

设计灵活性

扁平线缆在设计灵活性方面具有多种优势。显然，这类线缆非常适合用于平面表面，例如电池模块内部。其灵活性使其十分适合存在一定程度的移动或弯曲半径较小的位置（例如方向盘安全气囊）。扁平线缆可以使用粘合剂安装，而不需要卡钉，也不需要像传统线束那样依赖胶带或其他覆盖物进行保护。

车辆中的大多数设备都需要电源和信号连接。通过使用扁平线缆，可以将电源线和信号线都集成到单根扁平线缆上，例如在智能汽车架构SVA™配置中连接主要计算设备的主干线。

自动化

扁平线缆非常适合自动化。这类线缆具有稳定、固定的几何形状和坚固的结构，能够让导体以便于处理和端接的方式排列。它们更适合用于将端子插入连接器或焊接预插端子。它们在模块化连接系统中表现良好，并且能够从这些系统的自动化优势中受益。而且，扁平线缆可以利用压敏胶，通过机器人将线缆粘合到位。

扁平线缆的未来

现代扁平电缆需要现代化的端子设计。过去使用的许多压接式端子不符合 USCAR-21 的要求，不适合更高级别的电流。每个扁平线缆的端子系统都必须根据最新的客户要求进行了验证。

安波福正在开发下一代扁平线缆的端子和连接系统，重点关注可实现坚固、零电阻电气端接的焊接技术。焊接也是自动化线束装配的一种可扩展技术。对传统

母端子的改造和“音叉”式母端子界面的开发可以为扁平线缆提供多种解决方案。安波福将利用现代密封剂/粘合剂和成熟的硅胶连接器密封件来提供密封扁平电缆解决方案。

随着 48V 电气架构的普及，由于使用载流量较小、尺寸较小的导体，扁平线缆的应用可能会激增。

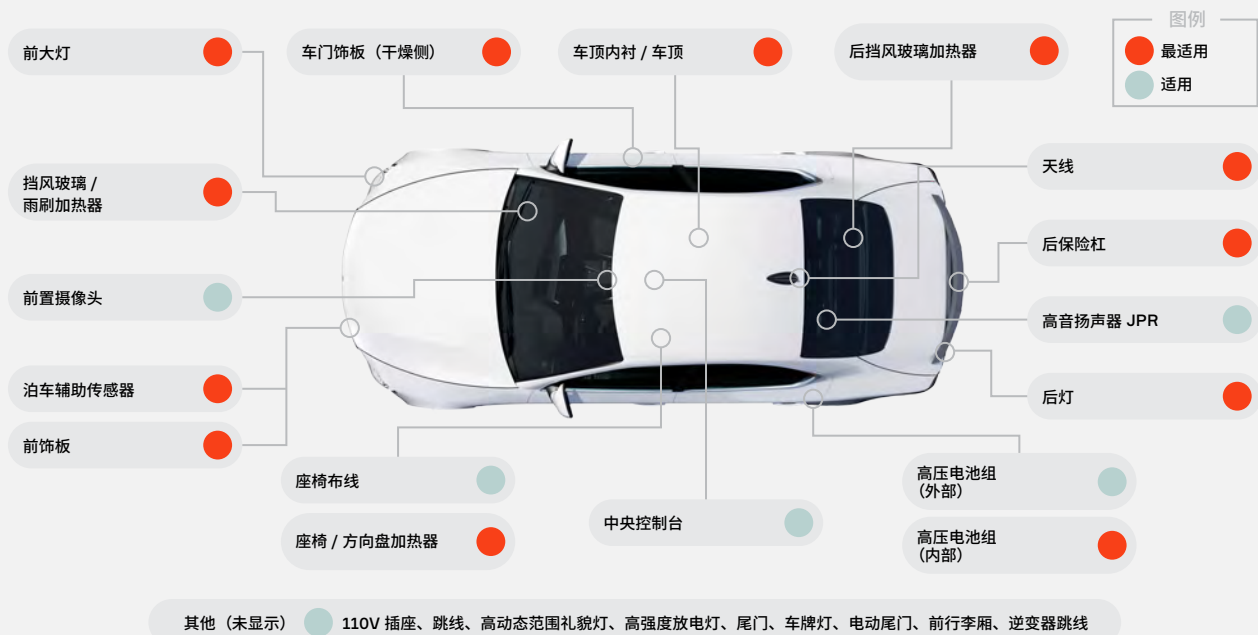
此外，48V 电源主干网还可受益于扁平线缆散热性能的增强。随着电动汽车的普及，可以借着向 48V 架构过渡的机会，重新思考如何进行车辆布线。新设备纷纷针对 48V 进行设计，正好趁此机会，定义如何针对扁平线缆的并行导体优化连接器引脚的排列方式。

同样，可以趁此机会，使用扁平线缆设计来满足高速数据应用的要求，例如连接摄像头和雷达传感器。扁平线缆经过逐步发展，最终可以取代同轴线缆和差分信号传输线。

扁平电缆并非适合所有应用。但随着汽车制造商开始设计下一代汽车 — 采用新的配电架构、简化的数据通信方法和更简单的整体设计 — 扁平线缆必将成为下一代设计的一环。

潜在应用

扁平线缆可用于具有特定封装限制的地方，例如具有有限的垂直空间的平坦表面、带有嵌入式电子设备的线路、紧密的弯曲半径以及移动部件。



作者简介



Kurt Seifert
连接器系统创新经理

Kurt Seifert 负责安波福连接器系统的高级开发工作，重点关注扁平线缆、高速数据、智能汽车架构 (Smart Vehicle Architecture™) 技术和自动化。他已在安波福工作超过 37 年，先后担任过制造开发、质量体系、端子压接技术和产品开发相关的职位。其团队致力于与客户开展合作，为可持续发展的未来开发和引入新技术。

详情请见 [APTIV.COM/EDS](https://www.aptiv.com/eds) →