



汽车数据连接的未来

如今的汽车可以感知周围的世界，并根据感知的结果采取行动。它们在安全性、舒适性、便利性以及交互性等方面为驾驶员及乘客带来前所未有的体验。年复一年，它们在这方面不断进步。

但是，如果没有准确无误的数据连接，汽车就无法做到上述任何事情。数据连接是汽车的“神经系统”，负责将遍布汽车各个位置的各种传感器和执行器链接到汽车计算平台，也就是汽车的“大脑”。随着传感器和计算变得更加精密和复杂，以及软件定义汽车的大势所趋，对数据连接的带宽要求正在快速增长，且超出了传统车载网络性能的适用范围。

我们在其它领域（如数据中心、办公和家居领域）曾经经历过数据的爆炸式增长。由它们带来的几十年的经验和教训为定义汽车的数据网络这一全新挑战提供了借鉴。但是，车规级的产品或技术有其独特需求，以最安全、成本最优的解决方案来满足这些需求的探索将为更伟大的创新奠定基础。



一种新型网络

车载网络架构正面临着前所未有的压力。传统的点对点模拟连接正逐渐让位于数字连接。高分辨率雷达和摄像头需要更高的带宽和速度。在汽车内部，电子控制单元 (ECU) 之间的数据交换量也会越来越大。随着软件定义汽车的日渐成型，以上这些需求会日益增加。

为了适应这些新兴的要求，数据连接技术必须解决车载应用的一些特殊挑战：

- **电磁干扰 (EMI)：** 车辆内部的物理空间有限，增加了发生电磁干扰的可能性。如此之多的电子电气零部件彼此靠近，导致在设计数据网络时，必须既要抵抗其它组件可能发出的电磁“噪声”，又要避免自身发出噪声。
- **延迟敏感性：** 如果其中一个传感器发送的数据存在延迟，可能会导致难以将数据与其它传感器的数据进行融合，以获得车辆周围环境的实时图像，从而影响更高级别自动驾驶的决策。
- **故障安全要求：** 高级别的自动驾驶汽车必须能够以可控方式从故障中恢复。数据网络解决方案应该能够绕过故障节点，确保车辆继续安全行驶，直到安全停车。
- **重量：** 从车辆上每减去一克重量，都会使汽车更加高效，并且可能使成本更低。此外，占用空间更少的布线可以为其它组件腾出空间，进而加载更多功能。

目前，业界已经有多种数据连接网络技术被开发出来，并以前所未有的方式满足数据连接的需求。

汽车以太网

在 IT 领域，以太网有着悠久且极其成功的历史。以太网发明于 1973 年，1985 年电气与电子工程师协会 (IEEE) 将其标准化，随后它开始主导应用于商业领域的局域网，并抵御了所有其它同类技术（如令牌环网）的竞争。数十年来，以太网已经被证明是一种通用且具有灵活性的标准网络，推动着通信领域的进步。不同版本的以太网分别依靠同轴电缆、光纤和非屏蔽双绞线运行，速度也从 10M bit/s 提高到 100G bit/s 以上。经过数十年的应用，人们对以太网的了解已经非常充分，并且做出了很好的改进。

随着车载网络开始连接更多车内计算资源，以太网的应用成为自然而然的选择，于是在 2016 年，IEEE 发布了第一个汽车以太网标准 IEEE 802.3bw，或称 100Base-T1。尽管 100M bit/s 的带宽与 1995 年推出的 100Base-TX 相当，但在汽车版本上仍然存在着关键的差异。

这两个标准都在非屏蔽双绞线上运行，即两根铜线沿着电缆的长度方向缠绕在一起。这样做的效果是，可以产生较少的电磁辐射和串扰，避免干扰其它电线或组件，同时抵抗其它来源的干扰。

不过，100Base-TX 采用两对双绞线，而汽车以太网只需采用一对，因此重量和成本更低。这一组对线是“平衡”的，即信号具有相等但相反的电压。发送信号和接收信号都在一组双绞线上传导，而不是像 100Base-TX 一样采用不同的两组双绞线。

在 100Base-TX 标准中，还规定最大长度为 100 米，这一长度为后续以太网标准所遵循。汽车以太网的规定最大长度仅为 15 米。显然，汽车应用在车内网络组件之间不需要很长的距离，而长度越短，布线越轻。

另一个关键差异在于电缆两端的收发器所完成的编码。**100Base-TX** 标准采用的是多阶基带编码 (MLT-3) 技术, 该技术通过循环采用三个电压电平, 在电线上对位进行编码, 而汽车以太网采用三级脉冲幅度调制 (PAM-3), 通过信号脉冲的幅度进行位编码, 可以在每个时钟周期中对更多位进行编码。结合其它编码技术, 最终频率可以从 125 MHz 降低到 66.6 MHz, 同样有助于防止电磁干扰和串扰。

汽车以太网的后续发展

IEEE 802.3bw 标准的 100M bit/s 可以满足许多基本的汽车应用, 因此在今天得到了广泛的应用。但是, 随着工程师们考虑更高清晰度的视频流, 以及将多个传感器的数据汇聚到公共电缆上, 更高的速度将是必然要求。

在 IEEE 802.3bw 定稿后不久, IEEE 正式批准了 802.3bp 标准, 或称 1000Base-T1, 后者可以通过屏蔽或非屏蔽双绞线实现千兆级别的速度。这一标准与前身标准有着许多共同之处, 但频率高出近 10 倍, 达到 600 MHz。这意味着电缆更容易受到串扰影响, 因此, 工程师在设计系统时, 需要特别注意控制整个车辆的电磁噪声, 严格进行测试并在必要时进行屏蔽。该标准将为接下来的两到三代平台提供足够的带宽。

2020 年, IEEE 制定了 802.3ch 标准, 同样在 15 米距离内, 能够支持 2.5G bit/s、5G bit/s 和 10G bit/s 等标准速率的千兆以太网。屏蔽双绞线将可以满足以上传输速度, 但超过 7 GHz 的频率可能需要采用屏蔽平行对线, 以便最大限度减少电磁干扰问题。

以太网的演变

根据 IEEE 标准, 双绞线以太网有许多版本。以下是 IT 和汽车应用领域的一些里程碑。

名称	标准	发布年份	速度 (M bit/s)	线对	最大距离 (m)
10Base-T	802.3i	1990	10	2	100
100Base-TX	802.3u	1995	100	2	100
1000Base-T	802.3ab	1999	1,000	4	100
10GBase-T	802.3an	2006	10,000	4	100
100Base-T1	802.3bw	2016	100	1	15
1000Base-T1	802.3bp	2016	1,000	1	15
10Base-T1S	802.3cg	2020	10	1	15
2.5GBase-T1	802.3ch	2020	2,500	1	15
5GBase-T1	802.3ch	2020	5,000	1	15
10GBase-T1	802.3ch	2020	10,000	1	15

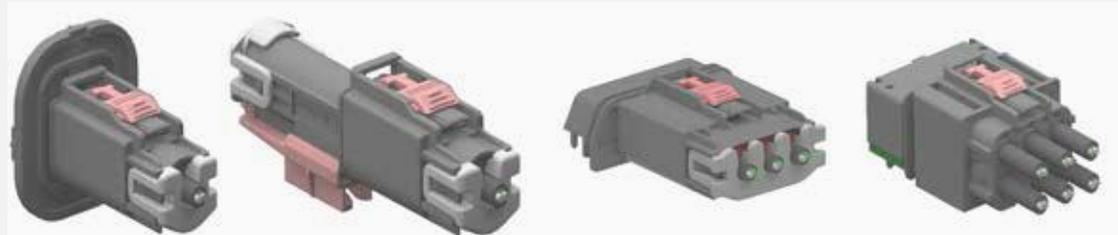
■ 汽车以太网

汽车以太网连接器

安波福为汽车以太网提供多种灵活的解决方案。自动化模块以太网连接器 (AMEC) 系统提供非屏蔽和屏蔽两种版本，它们在印刷电路板布局上占据相同的空间。这样一来，无需改造设备端，就可以从 100M bit/s 升级到 1G bit/s。千兆以上的以太网应用需求可以通过高速模块化双绞线数据 (H-MTD) 系统来满足。在密封或非密封配置下，AMEC 可同时提供单个端口到八个端口之间的系列产品，而 H-MTD 系统的端口数为一到六个。

单端口AMEC 板端和线端连接器

多端口AMEC 板端和线端连接器



[了解安波福的连接系统产品组合](#) →

以太网的一个关键优势是，它是一种灵活性较强的网络，可以轻松重新配置。如果出现故障，以太网路由器可以通过不同路线来发送数据。这一点很重要，可以确保车辆中重要计算组件的连接不会中断。

在车载网络中，同样重要的是使用铜导线作为传输介质的以太网随数据信号传输电力的能力，这一特性称为数据线供电 (PoDL)。数据线供电最高可支持 500 mA 的电力，足以满足某些传感器的需求，如优化的卫星架构式摄像头。这样一来，汽车制造商仅需布设一对电线来连接这些传感器，即可满足它们的所有需求，从而使整车重量更轻，架构更简化。

有一些汽车以太网设备需要更高的电流，超过了数据线供电的容量。为此，安波福采用了几种独特的混合式连接系统，以满足这些应用需求。这些系统将高速 AMEC 数据端口和传统直流电源线组合成为单一接口，保持了数据线供电这一单一设备连接的简便性。

例如，图 1 所示的 2+1 连接器拥有两个 1.5mm 直流端子，以及一个屏蔽式 1Gbit/s AMEC 接口。安波福已有多种混合式组件产品进入生产阶段。同时，安波福正在为各种特殊应用开发相应的组件。

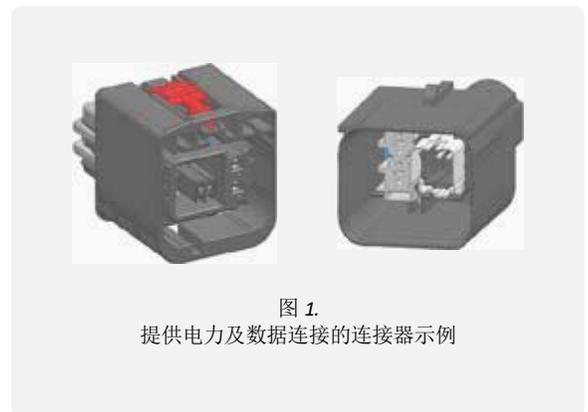


图 1.
提供电力及数据连接 的连接系统示例

汽车同轴电缆的应用

同轴电缆很早就用于数据网络连接。同轴电缆的中心包含一条绝缘线，周围覆盖着导电材料构成的屏蔽层，是最初用于以太网的电缆，至今仍广泛用于有线电视的连接。不同类型的同轴电缆性能水平各异，在汽车上的应用也会根据参数选用特定的电缆。

同轴电缆具有坚固性和抗干扰性，使得它们在汽车应用领域广受欢迎。20多年来，大多数汽车 OEM 一直采用的全球接口标准，称为 FAKRA (Fachkreis Automobil)。

这些连接器在高达 3 GHz 的频率下运行良好，还可以通过端子的特定设计功能适应 6 GHz 频率下的应用，速度高达 8G bit/s。

最新的汽车同轴电缆应用包括车辆中的数字摄像头系统。利用同轴电缆的高带宽能力，可以通过单根电缆实现视频信号和摄像头电力传输。

随着应用从简单的备用摄像头升级到复杂的环视视觉系统，FAKRA 接口的尺寸也变得越来越大。新一代更小尺寸的同轴电缆连接器正在开发当中，旨在解决车辆的空间问题。

这些“微型同轴电缆”连接器比目前的接口小得多，可以提高连接器在相同尺寸设备端的密度。

在汽车行业，有两种微型同轴电缆定义接口，安波福正在开发能够同时支持它们的解决方案。此外，安波福还积极参与国际标准化组织 (ISO) 和美国汽车研究委员会 (USCAR) 标准的制定，确保我们的产品适用于任何全球应用。

微型同轴电缆系统的另一个特点是，它们支持远超当前汽车产品的带宽。虽然 FAKRA 可以支持高达 6 GHz 的频率，但微型同轴电缆可支持 9 GHz 至 15 GHz 的应用，这意味着带宽可以达到 20G bit/s 以上。

未来的汽车计算系统将包括大量同轴电缆，用于在更复杂的车载计算平台之间传输数据。

高速外设互联总线 (PCI-E)

另一种正在考虑用于部分汽车应用场景的技术是高速外设互联总线 (PCI Express)。PCI Express 创建于 2003 年，是一种总线接口，主要用于将外围设备连接到计算机主板。最新版本的 PCI Express 可支持高达每秒 128G byte 的传输速率。

PCI Express 的最大距离非常短，只有半米，但它不需要收发器，因此可以节省成本。

对于车辆中彼此靠近的 ECU，PCI Express 可能是理想的解决方案，因此安波福正在将其纳入下一代车辆的智能汽车架构 (Smart Vehicle Architecture™) 中。

传输速度随需求提升

随着新功能的需求不断增长，车载网络必须提高它们的传输速度。

数据速度

单位为千比特每秒



其它网络技术

光纤对于汽车来说似乎是一个不错的选择，但它们有一些缺点，可能会阻碍其广泛应用。光纤线路使用光脉冲，通过玻璃或塑料纤维传输数据，这意味着它们不会产生电磁辐射，也不易遭受其它来源的干扰。但是，通过光纤数据线无法传输电力，这意味着组件需要另外的电力传输。光纤往往比较昂贵，需要收发器将电信号转换为光脉冲。其制造工艺成本也很高。更重要的是光纤线的弯曲半径有限，如何在不过度弯曲光纤线的前提下使之穿过车内的狭窄区域是个棘手的问题。

工程师们曾经考虑过的另一项技术是多芯电缆技术，即一根电缆包含大量单线。最为突出的示例是 USB Type-C，它已经在 PC 界立足，可以将电源和数据组合到同一电缆中。但是，Type-C 电缆只能限制为数米长，而且制造成本很高。它们还会将带宽限制为每通道 5G bit/s，而且需要收发器将数据划分到这些通道中，从而增加额外的成本。

虽然汽车以太网等越来越多的数据连接方案不断出现，但一些多年来一直在汽车上应用的传统技术在低数据速率的简单应用场景中可能会被继续沿用。比如局域互联网络 (LIN)，它只需要相对经济的芯片组和连接器。其它一些相对经济的方案还有控制器局域网 (CAN) (运行速度可达 1M bit/s)、可变速率 CAN (CAN-FD) (运行速度可达 2M bit/s) 等。FlexRay 最高可支持 10M bit/s，目前仍在一些与安全性攸关的应用中采用，但是它比较昂贵，预计会逐步被淘汰。行业最近推出了一个低速汽车以太网方案：10Base-T1S，以满足这些应用的需求，

虽然大多数网络技术是对称性的，但有一些车载应用需求是不对称的，只需要单向高带宽，如摄像头或高分辨率显示屏。已被广泛应用的非对称技术包括平板显示链路 (FPD-Link)、汽车像素链路 (APIX) 和千兆多媒体串行链路 (GMSL)。

HDBaseT Automotive 是一种非对称技术，能够在 15 米标准、具有绝缘护套的非屏蔽双绞线上，以极低的延迟实现高达 4G bit/s 的以太网通道传输，在屏蔽双绞线上最高达到 8G bit/s，因此发展势头迅猛。像以太网一样，由于 HDBaseT 使用脉冲幅度调制，因此其物理层的复杂程度低于其它技术，因而重量和成本相对较低。安波福的 AMEC 系列连接器可以很好地与 HDBaseT 技术搭配，从而更加轻松地而非屏蔽双绞线升级到屏蔽双绞线。

安波福同时拥有汽车大脑及神经系统，这一特有的优势为安波福赋予了独特的视角来看待数据连接的重要作用。这一独特视角也使我们设计出了下一代电子电气架构 (Smart Vehicle Architecture)。在 SVA™ 框架下，各种解决方案需要为主动安全的所有组件提供坚实的基础，在减轻车辆重量的同时，为进一步创新奠定基础。而汽车以太网、微型同轴电缆和 PCI Express 的出现，为制造符合以上标准的车辆提供了广阔的前景。

作者简介



Mika Arpe
全球产品线集群 - 特种产品总监

Mika Arpe 是安波福连接器系统特种产品集群负责人，主要负责连接系统和接线总成，特别是辅助约束系统 (SRS) 以及通过高速连接器和组件 (HSCA) 实现数据连接。Mika 已在安波福工作超过 28 年，曾在多个职能部门任职，担任过项目管理、销售及产品管理等方面的领导职务。



Cory Ensley
HSCA 全球产品线工程总监

Cory Ensley 是安波福高速连接器和总成 (HSCA) 产品线的全球工程部门负责人。HSCA 产品线属于安波福为汽车架构提供的“神经系统”产品，负责将来自“眼睛”和“耳朵”(车辆传感器)的信息输入传递到车辆的“大脑”(计算中心)。Cory 在安波福的职业生涯开始于 11 年前，最初任职于安波福产品设备工程部门。他曾担任多个业务领域的不同领导职务，包括战略连接器产品组合、产品开发以及最近的 HSCA 工程业务。

更多详情请访问 [APTIV.COM/连接器系统](https://www.aptiv.com/connector-system)