

对比过去、现在、将来的汽车，有一个明显的趋势：汽车已经成为带轮子的数据中心。在每辆汽车内部，来自安全系统、机载传感器、导航系统等的数据流量，以及对这些数据的依赖程度，都在不断迅速增长。

这在速度、容量、可靠性方面给车载网络 (IVNs) 带来了重大影响，其中的影响之一是，在高速低时延应用中，为某种目的设计的总线缺少要求的带宽，比如控制区域网 (CAN)、FlexRay、本地互连网 (LIN)、面向媒体的系统传输 (MOST) 和单边半波传输 (SENT)。结果，这些传统标准正逐渐融入信息技术 (IT) 领域以前经过验证的各种技术。

当前的主要实例是汽车以太网，它覆盖了电气和电子工程师 (IEEE) 开发的四项标准。目前，汽车以太网将与涵盖各种系统和子系统的多种总线共存。因此，我们需要不同的测试方法，来完成汽车和 IVN 的设计、验证、调试、排障、维护和保养。

本入门手册概括介绍了与 IVN 预计未来演进有关的趋势、挑战和解决方案。¹ 我们并不是想让您成为这方面的专家，而是抛砖引玉，方便您更深入地了解 IVN 测试。结果，您和您的团队可以加快把设计投入生产，简化验证测试，加强合规测试，优化生产测试，简化保养和维修后测试。

发展趋势：要更多地处理数据、以太网、标准化和生命周期

今天，许多汽车包含着八十多个电子控制单元 (ECUs)。到目前为止，CAN、LIN、FlexRay、MOST 和 SENT 一直承载着这些 ECU 和各种机载系统之间的信息，比如发动机、传动系统、传输、刹车、车身、悬架、信息娱乐系统等 (表 1)。此外，蜂窝和非蜂窝无线技术 (如蓝牙、WLAN 和 GNSS) 正把外部数据流传送到信息娱乐系统、导航系统和交通信息系统。

1. 入门手册是指对某个课题展开基本介绍的读物，发音为“prim-er”(短“i”)，而不是“prīm-er”(长“i”)，类似于绘画中应用的底部涂层物质。

功能和数据速率	汽车系统			
	安全	信息娱乐和远程信息处理	动力系统	车身电子
传感器 25 ~ 400 Kbps	DSI3 (安全气囊) PSI5 (安全气囊)		SENT	
低速控制 20 Kbps	LIN, CXPI			LIN, CXPI
多主控制 1 ~ 5 Mbps	CAN, CAN-FD	CAN, CAN-FD	CAN, CAN-FD	CAN, CAN-FD
人身安全 10 Mbps	FlexRay		FlexRay	
联网 100 Mbps~1 Gbps	100/1000BASE-T1	100/1000BASE-T1, Apix, GVIF, GMSL	100/1000BASE-T1	
高速传感器 1 ~ 3 Gbps	FPD-Link, LVDS, NGBASE-T1, A-PHY	NGBASE-T1, A-PHY, HDBaseT		

表 1: 在主要汽车系统中，不同的总线 and 数据速率提供了必要的通信功能。

处理更多的数据

在未来几年中，我们预计每辆汽车中都会看到超过 100 个 ECU，联网的车内网络每天会承载几 TB 数据。我们预计汽车将继续采用 CAN、CAN-FD、LIN、FlexRay、SENT 和 MOST；但是，当前顶端数据是 FlexRay 的 10 Mbps 及 MOST 的 150 Mbps。当然，想“走得更快”总是说易行难，业界普遍采用 CAN 总线要求进行大规模重新设计，才能提供必要的速度、安全性和向下兼容能力。

随着传感器的数量越来越多，灵敏度越来越高，它们会产生庞大的数据。可以想象，10~20 个摄像头，提供 360 度全景视图，所有摄像头都发送 1080p (现在) 或 4K (将来) 高清数据流，像素深度从 16 位提高到 20 位甚至 24 位。这些数字正在迅速叠加在一起：一个支持 24 位像素深度的 4K 摄像头以每秒 10-30 帧的速率，生成每帧 199 Mb 的数据。2 尽管 1 Gbps 速率现在可能足够了，但很快就需要 10 Gbps (图 1)。

2. 所谓 4K 分辨率实际上是 3840 x 2160，所以 3840 x 2160 x 24 = 每帧 199 MB。

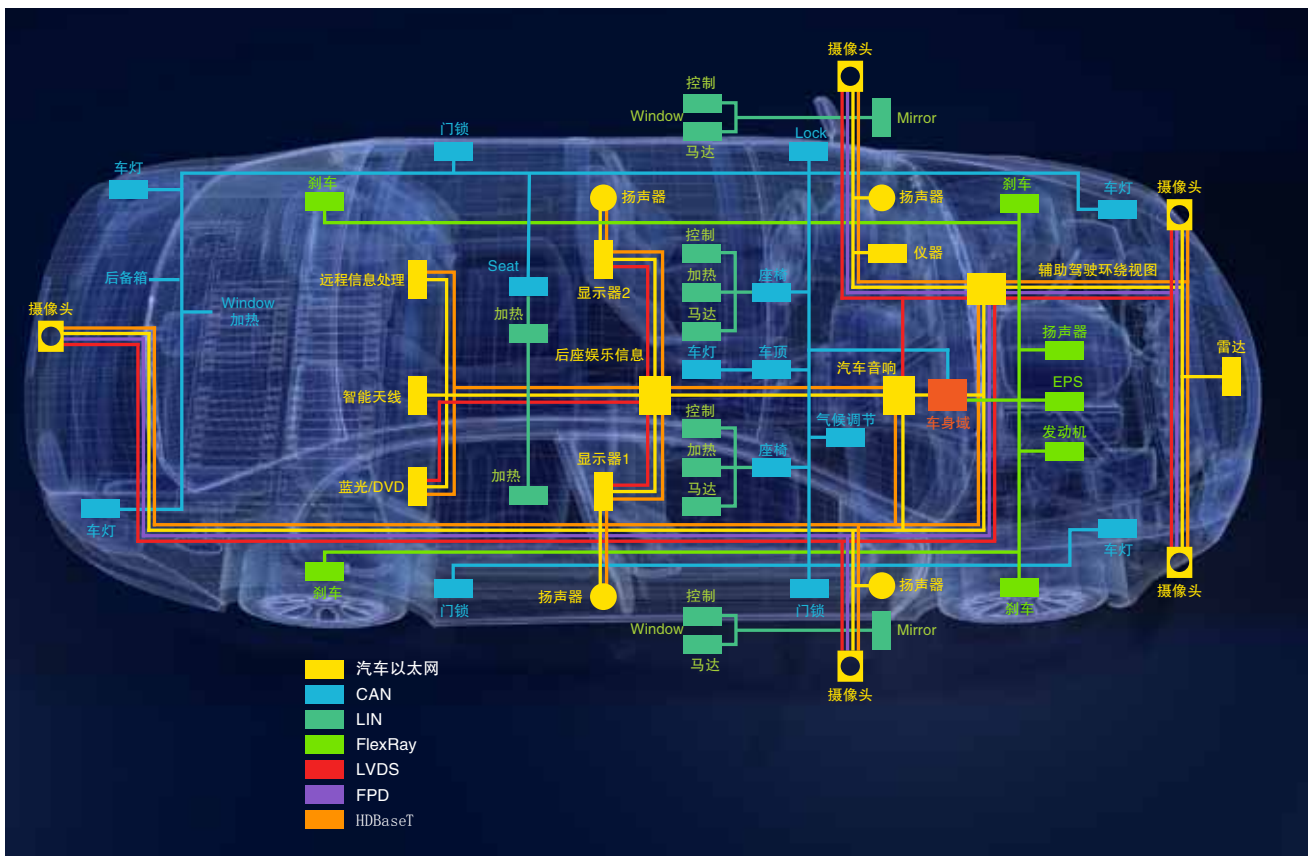


图 1：越来越多的系统生成越来越多的车载数据，因此在数量越来越多的传感器和 ECU 之间需要更快的数据速率和更宽的带宽。

目前，IVNs 采用预处理硬件，在传感器上执行数据精简（即压缩）。遗憾的是，这会引入时延，影响响应时间，同时还会降低图像质量，从而限制可用的检测距离。一个新兴解决方案是以 2 – 8 Gbps 速率把原始数据传送到集中式片上系统 (SoCs) 或通用处理单元 (GPUs)，SoC 或 GPU 可以对输入的实时数据进行压缩。IVNs 正从扁平结构转向域控制器结构，在域控制器结构中，传感器会把原始数据传送到中央处理单元。

所需的通信流量正在不断扩大，并随着汽车到基础设施 (V2I)、汽车到汽车 (V2V) 和汽车到万物 (V2X) 技术不断演进。所有这些都将在汽车操作和人机交互中发挥重要作用。

转向汽车以太网

在汽车应用中，优化数据利用率要求更快的吞吐量、更低的时延、更高的可靠性及更高的服务质量 (QoS)，以保证汽车的安全可靠运行。随着速度达到 10 Gbps，汽车以太网将在承载高速数据通信方面发挥越来越大的作用，包括：IEEE 802.3cg, 10BASE-T1, 10 Mbps；IEEE 802.3bw, 100BASE-T1, 100 Mbps；IEEE 802.3bp, 1000BASE-T1, 1 Gbps；以及 IEEE 802.3ch, 10GBASE-T1, 2.5/5/10 Gbps。

考虑到可用的数据速率及对这些性能的需求不断增长，另外需要降低线缆重量，许多业界观察人员在预测汽车以太网的发展及联网的车载节点数量时均非常乐观。

标准化：获得全新商业优势

在整个汽车行业发展史上，长期以来有一种既定的作法没有改变，那就是标准化。这种作法仍将适用，因为标准化提供了许多重要优势，比如加剧了各厂商之间的竞争，降低了元器件成本，保证了互操作能力。

总线拓扑和数据速率对比

在考虑不同的总线时，我们有必要对比一下每种总线的最大数据速率及其支持的网络拓扑类型。表 2 汇总了部分数据。

总线	最大数据速率	有效拓扑
CAN, 低速	125 Kbps	线性总线、星形总线或两者的组合（如多个星形连接到一条线性总线上）
CAN, 高速	CAN: 1 Mbps CAN-FD: 5 Mbps	线性总线
FlexRay	10 Mbps	线性总线、星形总线或两者的组合（如多个星形连接到一条线性总线上）
LIN	20 Kbps	线性总线，一个主节点，最多 15 个从节点
MOST	25/50/150 Mbps	菊花链、环形或虚拟星形，最多 64 台设备
汽车以太网	100/1000BASE-T1	线性、星形、环形或网状

表 2：主要汽车总线特别适合特定距离的任务，但其通用性也因此弱于基于以太网的网络。

汽车以太网还增加了“交换式织物”功能，以在局域网 (LANs) 中实现有效的性能。它结合使用硬件和软件，使用多台以太网交换机，控制网络节点中的业务。织物网络识别其所有路径、节点、要求和资源。在这种架构内，可用的地址空间为 224 个，可以连接最多 1600 万个节点或设备。

在新一代 IVN 领域，标准化实例包括汽车以太网、MIPI A-PHY 和 HDBaseT 汽车。通过采用 IT 领域经过验证的技术，汽车行业将获得明显的全新商业优势，因为未来的汽车正变成带轮子的数据中心。

生命周期：从开发到保养

随着汽车的自主度越来越高，系统故障导致的后果也变得越来越严重。为帮助保证这些系统安全可靠地运行，车载网络测试在整个汽车生命周期中的重要性在不断上升(图2)。因此，审慎地选择系统设计工具和IVN测试解决方案，满足汽车生命周期所有不同阶段的需求，将给一级供应商、汽车OEM及汽车最终用户带来深入的优势。

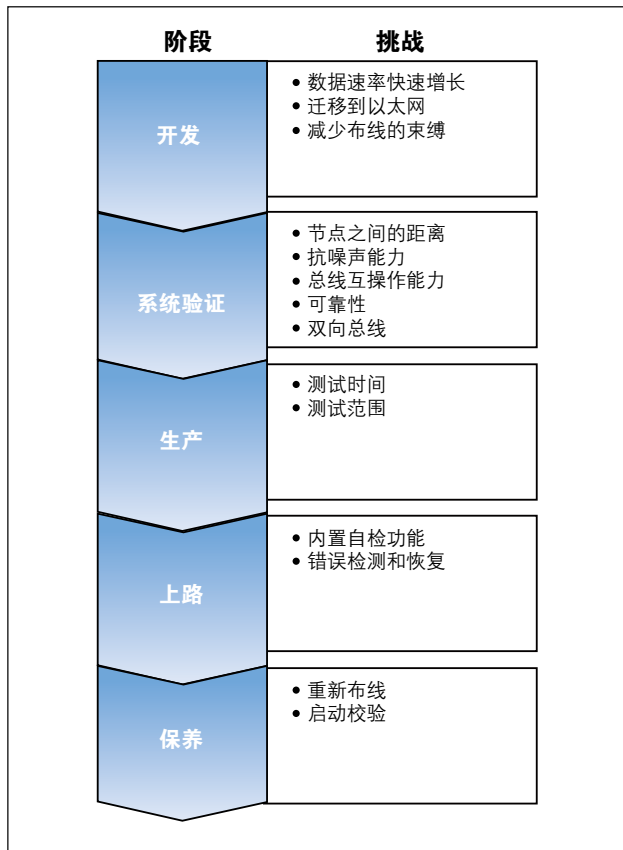


图2：在整个生命周期中保持测试的一致性，可以更简便地避免系统故障，从而保证自主度日益提高的汽车能够安全地运行。

挑战：并排测试多条总线

今天，汽车正采用各种同时运行的通信总线。因此，系统优化和调试变得非常困难，耗时也很长。并行使用所有这些技术，而且是在车辆有限的空间内，会导致电磁干扰(EMI)、信号质量差，并可能会导致导致关键系统故障。

测试车载网络要求在整个车辆中进行可靠性校验，包括互操作能力、抗干扰能力、串扰和干扰源。检验运行功能和通信可靠性将涵盖汽车内部每一个ECU管理的连接总线的系统(图3)。随着汽车的数据密集度越来越高，测试对保证生命周期所有阶段的安全可靠运行变得至关重要，包括开发、验证、生产、维护和保养。

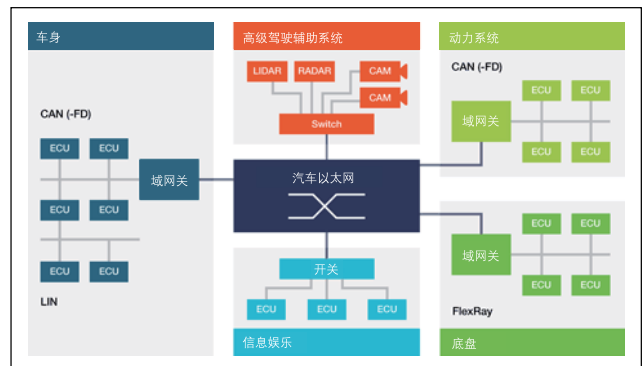


图3：这是一个网络结构实例，它采用以太网作为各个系统通信的中央枢纽，目前这些系统均依赖各种专用总线。

测试挑战 #1：调试总线问题

CAN、LIN和FlexRay均是相对成熟的总线协议，设计目标是强健、容易集成。即便如此，车载通信可能仍会受到噪声、电路板布线及启动/关闭定时的影响，产生总线错误过多及锁定等问题。

CAN、LIN 和 FlexRay 的常见问题包括排除信号问题，调试解码后的协议，了解多条通道、传感器和激励器。在 SENT 中，很难先配置示波器解码快速和低速通道 SENT 消息，然后再触发解码后的信息。

如前所述，多条总线在汽车封闭的空间内同时运行，可能会产生 EMI，导致信号质量差。预一致性测试可以帮助您隔离和识别信号质量问题和总线性能问题的成因，另外还可以改善针对相关标准通过 EMI 和电磁兼容性 (EMC) 正式测试的能力，如 CISPR 12、CISPR 25、EN 55013、EN 55022 (被 EN 55032 替代) 和 CFR Title 47, Part 15。

测试挑战 #2: 检验电气一致性

保证汽车之间及汽车内部可靠的低时延数据流，对整个系统的安全运行至关重要。与 CAN、LIN 等不同，汽车以太网拥有 IEEE 和 OPEN 联盟规定的一套复杂的合规测试，包括各种电气要求，以确保满足标准。这些测试通常在设计、验证和生产过程中执行。在汽车以太网中，物理 (PHY) 层电气测试覆盖发射机 / 接收机 (收发机) 性能的多个关键指标，如表 3 所示。这些测量的具体目标，是测试物理介质连接 (PMA) 相对于各种电气参数数据的一致性。

测量	测试编号
最大发射机输出顶降	5.1.1
发射机失真	5.1.2
发射机定时 (MASTER 和 SLAVE 模式)	5.1.3
发射机功率频谱密度	5.1.4
发送时钟频率	5.1.5
介质相关接口 (MDI) 回损	5.1.6
MDI 模式转换损耗	5.1.7
发射机峰值差分输出	5.1.8

表 3: 汽车以太网标准包括多项电气测量，以表示通过一条 UTP 电缆传送的信号的质量。

图 4 是主发射机定时抖动测试实例。主和从抖动测量可能极具挑战性，因为一致性测试极限紧张，需要消除随机抖动和确定性抖动的任何可能来源。

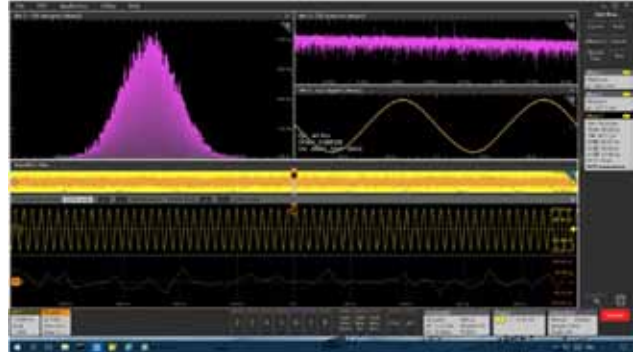


图 4: 这个主发射机定时抖动分析显示时间间隔误差 (TIE) 为 30.68 ps，其采用泰克 5/6 系列 MSO 示波器和选项 5-DJA/6-DJA 测得。

测试挑战 #3: 验证协议合规性和系统性能

一说到数字信号，人们通常想到的是一个简单的类似方波的脉冲串，只有两个电平表明 0 或 1。事实上，大多数数字通信网络都采用多个电平，每个单位时间编码更多的信息。一种常用的方法称为脉冲幅度调制或 PAM。

汽车以太网采用称为三电平 PAM 或 PAM3 的技术，在相同的时钟频率上实现更高的数据速率。在 PAM3 中，每个电平必须在特定电压及相对紧张的容限范围内运行。

这些信号可能会相当复杂，但基于示波器的眼图测量可以以目视的方式，有效确定相对于信号编码要求的信号性能 (即协议测试)。眼图的关键指标是眼高、眼宽、线性度和厚度 (图 5)。这些指标综合起来，提供了实用信息，表明信号可以多么正确可靠地提供编码信息。

3. 抖动是指数字信号较真实周期或预计周期的任何偏差，这是同步总线操作的基准时钟信号的一个关键指标。

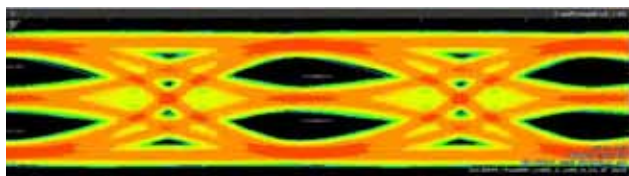


图 5：累计眼图为一个或多个周期上查看和表征多电平信号提供了有效的途径。

还要指出的是，汽车以太网采用全双工操作，因此链接的两台设备可以同时收发数据。与传统共享网络相比，这提供了三个相关优势：第一，两台设备可以一次收发数据，而不是轮流收发数据；第二，系统的总带宽要更大；第三，全双工可以在不同的设备对（如主设备和从设备）之间同时实现多个会话。

除了这些复杂情况外，汽车工程师还面临着另一项挑战：采用 PAM3 信令进行全双工通信，使其很难先查看汽车以太网业务，然后再全面表征信号完整性。如果想在链路上执行信号完整性分析，并在真实系统环境中解码协议（使用示波器），设计人员必需分开查看每条链路，这要求先隔离信号，然后才能执行分析，如图 6 和图 7 所示，其中图 7 采用了泰克创新的非插入式信号隔离解决方案。

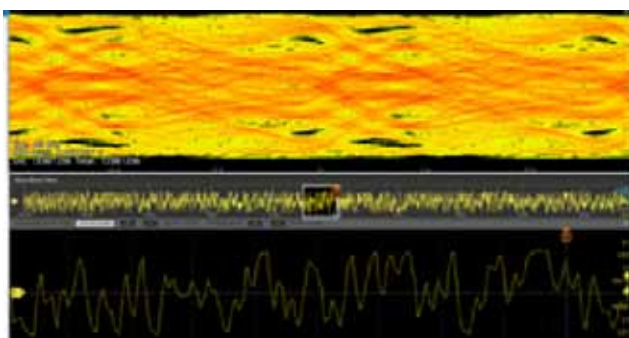


图 6. 如果主信号和从信号没有分开，那么是无法理解这个以太网信号的眼图（顶部）的。

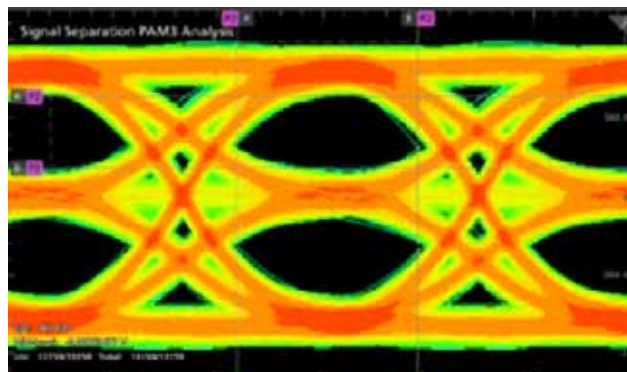


图 7. 通过采用泰克非插入式信号隔离软件，我们得到主信号清楚的、蕴含丰富信息的眼图。

节点间的可靠通信对汽车运行至关重要。正因如此，我们强烈推荐在各种环境条件下，包括不同的电缆长度、注入噪声等，在系统级测试信号完整性和协议。

测试挑战 #4：获得排障和调试所需信息

不管问题是总线性能、EMI、电气一致性还是协议一致性，都有两个基础指标决定着信号质量，进而决定数据性能，那就是幅度和定时。这两个指标精确运行，对保证数字信息透过总线成功传输必不可少。由于总线速度越来越快，信号调制技术越来越复杂（如 PAM3），这一点也变得越来越困难。

在开始调试时，有六个常见问题，其根本原因通常也是众所周知：

- 幅度问题：振铃，顶降，欠幅脉冲
- 边沿畸变：电路板布线问题，端接不当，电路问题
- 反射：电路板布线问题，端接不当
- 串扰：信号耦合，EMI
- 地电平弹跳：吸收电流过多，电源和地面回路内阻
- 抖动：噪声，串扰，定时不稳定

确保新一代车载网络的性能和合规性

示波器是首选的测量工具，但如果沒有足够的频率覆盖范围、通道数、附件和屏幕分析功能，排障和调试过程可能会变得异常繁琐耗时。

解决方案：借助标准化的力量

如前所述，标准化是汽车行业长期来既定的一种作法。以史为鉴，这一概念也可以用来为 IVN 测试选择解决方案。标准化通过采用统一的测试方法，可以帮助您管理测试成本。例如，选择能够简便适应更高速度的测试平台，可以让您提高测试测量解决方案的资金利用率。

在现实世界中，我们需要考虑汽车及机载系统在整个生命周期中不同的职责划分。如果没有统一的战略，那么常见的作法会导致不同部门之间随意使用测试硬件和软件，最终积重难返。遗憾的是，用零散的方式创建解决方案，并不足以有效地对集成系统或子系统进行端到端测试，而可能引发测量结果不一致，即使在开发团队内部或在不同活动之间（如开发、验证、生产、保养）也可能会不一致，进而提高测试时间。

让我们更仔细地考查一下解决方案中哪些一般特点和具体特点可以帮助您降低测试成本，同时保证在汽车的整个生命周期中实现一致的结果。

解决方案的一般特点

在所有类型的 IVN 中，测试解决方案必须能够查看原始实时信号和解码后的总线业务。在成熟的标准中，如 CAN、FlexRay、LIN 和 SENT，可以使用拥有协议解码功能的示波器，查看和评估信号质量及解码后的总线业务。这些功能可以帮助您查看可能会给系统性能带来负面影响的违规。

具体到汽车以太网，能够通过合规测试是半导体制造商和一级供应商必须翻越的藩篱。在正式一致性测试前进行详细的信号判定，可以提高通过要求的测试的可能性。

我们可以使用示波器执行必要的汽车总线测量，示波器要有要求的频率带宽，并配套相应的探头、夹具、信号源和软件（如协议解码和分析软件）。例如，CAN 总线是一种差分信号。尽管示波器也可以使用单端探头采集和解码总线，但差分探头将改善信号保真度和抗噪声能力。

典型的测试过程是在各种工作条件下测试设计，包括压力测试，表征其性能。主要测量包括电压和定时测量、抖动分析和眼图分析（如 PAM3 信令）。在需要时，应能够简便地把测量结果与各项一致性测试关联起来，更重要的是，要能够在整个供应链中把测量结果关联起来，包括半导体制造商、一级供应商和 OEM。

泰克解决方案揭秘

泰克与汽车行业工程师、第三方解决方案提供商和标准机构密切合作，为车载网络验证、调试和一致性测试研制出各种创新解决方案。泰克解决方案包括行业领先的示波器、探头、信号源、频谱分析仪和软件。通过为应用优化的软件解决方案，这些解决方案可以配置成测试 CAN、CAN-FD、FlexRay、LIN、SENT、汽车以太网等总线。泰克应用软件提供了高级分析功能，通过自动实现各种规程、测量和报告编制工作，节省了工程师的时间。

表 4 概括介绍了泰克解决方案，其在三个关键领域满足了测试和分析需求：信号质量，PMA 发射机一致性测试，专用总线。您可以在泰克网站 www.tek.com/automotive 及每个示波器家族（3, 4, 5, 6 和 70000 系列）各自产品页面上找到更多信息。

测试	示波器	软件	探头	信号源	夹具
系统级 信号完整性和协议解码	5 系列 MSO (纯 Windows) 6 系列 MSO (纯 Windows)	选项 5/6-AUTOEN-SS, 信号 分隔 选项 5/6-PAM3, 汽车以太网 信号分析 选项 5/6-SRAUTOEN1, 100BASE-T1 协议解码 选项 5/6 -DJA, 抖动分析	TDP1500, 差分探头 TCP0030A, C/DC 电流探头 P6022, AC 电流探头	-	ECU 相关夹具 (详 情请与泰克联系)
PMA 发射机 一致性测试 (OPEN 联盟)	5 系列 MSO (纯 Windows) 6 系列 MSO (纯 Windows)	选项 5/6-CMAUTOEN, 1000BASE-T1, 100BASE-T1 一致性测试	TDP1500, 差分探头 TDP3500, 差分探头	AWG5200, 回损和失真 AFG3152C, 仅失真	TF-XGbT TF-BRR-CFD (详情请与 泰克联系)
	DPO70000C MSO/DPO70000	选项 BRR, 1000BASE-T1, 100BASE-T1 一致性测试 选项 DJA, 抖动分析			
CAN, LIN, FlexRay, SENT 测试	3 系列 MDO 4 系列 MSO 5 系列 MSO 6 系列 MSO	选项 3/4/5/6 -SR AUTO, CAN/CAN-FD, LIN, FlexRay 协议触发和解码 选项 4/5/6-SRAUTOSEN, SENT 协议解发和解码	(参阅示波器 产品技术资料)		
	DPO70000C MSO/DPO70000	选项 SR-AUTO, CAN/CAN- FD, LIN, FlexRay 协议触发和 解码			
LVDS 协议和 接收机裕量测 试		SourceXpress 码型发生器 SourceXpress 脉冲发生器 SourceXpress LVDS 视频		AWG5200 系列 AWG70000 系列	
LVDS 电气 测量和分析	5 系列 MSO 6 系列 MSO DPO/MSO 70000	选项 5/6 -DBLVDS 选项 5/6 -DJA, 抖动分析 选项 5/6 -WIN 选项 LVDSTX (DPO/MSO 70000) 选项 DJA (DPO/MSO 70000)	TDP7700 P7700 系列 (DPO/MSO 70000)	AFG31000 AWG5200	

表 4：您可以为车载网络应用简便创建适当的解决方案。

新兴标准：HDBaseT 联盟

展望未来，泰克已经宣布支持 HDBaseT 联盟。我们将与其开发者 Valens 一道，提供一致性测试和协议分析解决方案。

HDBaseT 汽车可以使用称为隧道的技术，承载音频、视频、以太网、USB、PCIe 等信息。在本质上，隧道技术把业务数据封装在一个数字“包装”中，沿着常驻协议传送到预计目的地，然后再以原来的形式拆包处理。HDBaseT 汽车通过一条 UTP 电缆（最长 50 英尺或 15 米）提供几 GB 速率的原生网络功能，同时满足了汽车领域严格的 EMC 要求。

如需更多信息，敬请访问：www.hdbaset.org

总结

确保现代汽车之间及内部可靠的低时延数据流量，对整个系统的安全可靠运行至关重要。由于当前及未来汽车设计中使用的总线数量不断攀升，实现这一目标正变得越来越困难。

如果事先缺少规划，加上汽车、系统或子系统的典型开发周期会长达数年，那么常用的各自为政的作法会在不同部门之间随机使用不同的测试硬件和软件，最终积重难返。遗憾的是，用零散的方式创建解决方案，并不足以有效地对集成系统或子系统进行端到端测试，进而可能会导致测试解决方案的资金利用率低，另外还会在开发团队内部、在各部门之间、在供应链上产生不一致的测试结果。

正因如此，泰克及其解决方案合作伙伴创造出统一的车载网络测试方法。在所有主要 IVN 中及在整个汽车生命周期中，我们可以帮助您及您的团队把新设计更快地投入生产，加快验证测试，增强合规测试，优化生产测试，简化服务和维修后测试。最终结果，可以大大增强您满足成本和时间表的能力。

我们希望本入门手册可以起到抛砖引玉的作用，让您能够更深入地整体了解车载网络测试，特别是汽车以太网测试。如需更多信息，请与本地泰克代表联系，或访问我们网站上的汽车专区：

www.tek.com/automotive



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市海淀区花园路4号
通恒大厦3楼301室
邮编：100088
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：WWW.TEK.COM.CN

© 年泰克科技版权所有，侵权必究。泰克产品受到美国和其他国家已经签发及正在申请的专利保护。本资料中的信息代替此前出版的所有材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克科技公司的注册商标。本文中提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

082819 SBG 48C-61611-0

