

白皮书

智能连接：CAN接口的革新

从缠绕的电线到流线型的系统——揭示现代汽车如何保持互联、高效和轻量化。



DEWETRON



摘要

你是否曾好奇过，为什么无论驾驶何种车型，你的爱车都能如此稳定可靠？现代汽车中，成百上千的零部件需要相互协作才能确保车辆平稳运行。新型复杂车型面临一个共同问题：随着车辆功能日益丰富，需要与之交互的部件数量也在不断增加——比如新型驾驶安全系统、空调控制系统、日益复杂的发动机控制装置等。为了保证这些系统的通信协调，汽车内部逐渐铺设了越来越多的数据线路。随着时间推移，数公里长的线缆不仅让布线工程变得异常复杂，更导致整车重量显著增加。为此，CAN总线接口应运而生，它不仅使车辆整体更轻量化，还大幅简化了汽车生产流程，降低了制造成本。



介绍

CAN（控制器局域网）总线系统由博世公司于1983年研发，1986年正式向公众推出。该技术最初专为车载应用设计，如今已广泛应用于汽车、卡车、公交车等交通工具及各类机械设备。在汽车领域，CAN总线确保了电子控制单元（ECU）之间的通信。ECU作为车辆控制核心，负责采集、存储和传输车辆数据。这些信息通过CAN总线进行传输，其工作原理可类比为人体神经系统——既能向特定部件发送指令，又能接收反馈与状态信息。所有数据通过数据总线在短距离线路中传输，这种设计不仅大幅减少了车辆所需的数据线数量，还显著降低了布线复杂度。正是这种优势使CAN成为汽车通信领域的标准解决方案。本文将深入解析CAN的工作原理，并探讨其采用的多种通信协议。



CAN BUS是如何工作的？

CAN总线通信原理上由两条线路构成，分别称为CAN-HIGH和CAN-LOW。通过这两条线路，各个数据位以电位或电荷的相对变化进行映射。这正是CAN总线具备高度抗干扰能力的关键所在——当信号受外界影响时，两条线路会同步产生相同的变化幅度，因此两线之间的电平比例始终保持恒定。这种传输方式通常被称为差分信号传输。多个CAN节点可通过这两条线路进行连接，所有节点均通过这两条线路进行通信。CAN网络两端必须配置 120Ω 的终端电阻，其阻抗特性与传输介质相匹配，可有效防止信号在电缆末端产生反射。对于较长的网络而言，配置终端电阻尤为重要。不过根据下图所示，通常建议在两端各加装一个 120Ω 的终端电阻。

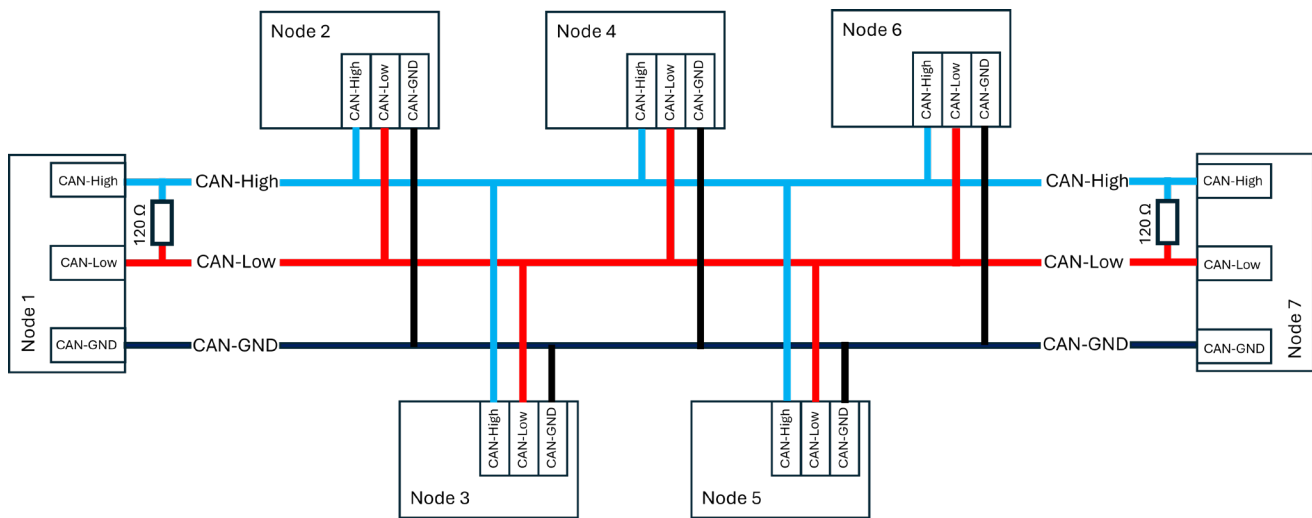


图1: CAN总线系统

CAN总线上的帧传输遵循广播原则，即没有特定接收对象，而是将消息发送给总线上的所有参与者。各参与节点通过解析CAN帧中的参与者ID来判断该帧是否发给自己。这种识别机制体现在CAN帧的仲裁字段中（如图2所示）。每条CAN数据传输都具有唯一的消息ID，该ID同时代表优先级——ID数值越小表示优先级越高。当某个连接到CAN网络的节点正在发送数据时，如果有其他具有更高优先级的节点试图发送CAN消息（即ID数值更低的消息），优先级较高的消息会抢占信号传输权，导致低优先级节点停止发送数据。对于CAN，仅区分两种类型，即具有11位标识符的标准CAN帧（CAN 2.0A）和具有29位标识符的扩展CAN（CAN 2.0B）。图2显示了CAN 2.0A帧的结构，图3显示了CAN 2.0B帧的结构。

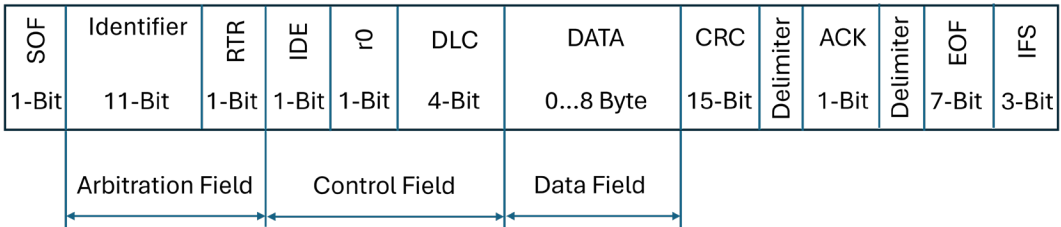


图2: 标准CAN帧

- ▶ SOF: 起始帧。必须设置为0。
- ▶ 标识符: 11位长的CAN标识符。
- ▶ RTR: 远程传输请求，长度为1位。该位如果是0，则是数据帧，如果它是1，则是一个远程帧。
- ▶ IDE: 标识符扩展，长度为1位。如果为0，则CAN2.0A帧，如果为1，则是CAN 2.0B帧。
- ▶ r0: 长度为1位，保留位，固定为0。
- ▶ DLC: 数据长度代码，用于描述数据帧的长度。
- ▶ DATA: 数据字段，长度为0到8字节。
- ▶ CRC: 循环冗余校验字段，长度为16位。
- ▶ ACK: 确认字段，包含1位ACK和1位定界符。发送方发送1位，接收方在成功接收数据后，用0位覆盖该位。
- ▶ EOF: 帧结束，长度为7位。所有位均设置为1，它标记CAN帧的结束。
- ▶ IFS: 帧间间隔，长度为3位。它不是CAN帧的一部分而是作为不同CAN帧之间的分隔符，且所有3位必须为1。

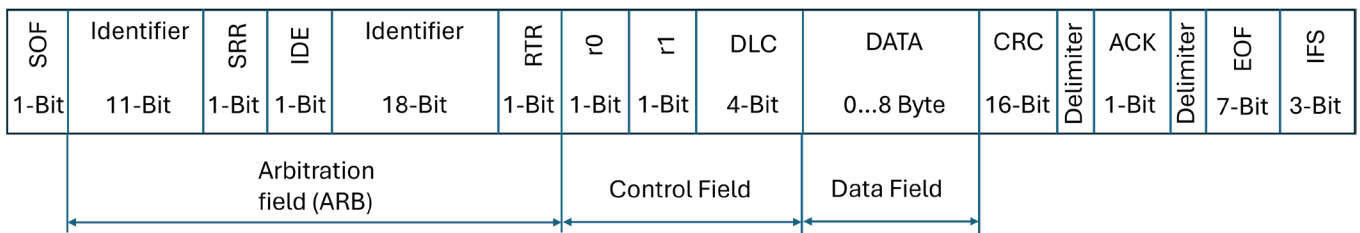


图3: 扩展CAN帧

- SRR: 替代远程请求, 长度为1位。始终设置为1。这可确保当标识符(11位) 具有相同基础时, 标准帧始终具有优先级高于扩展帧 (CAN 2.0B)。
- ID: 标识符扩展, 长度为1位。如果为0, 则是CAN 2.0A帧; 如果为1, 则是CAN 2.0B帧。
- 第二标识符(18位): 它决定消息的优先级。
- r1: 长度为1位, 保留位, 固定为0。

从上文对标准帧和扩展帧的描述可以看出, 主要区别在于标识符长度。标准帧的标识符为11位, 这意味着它可以包含 2^{11} 个CAN IDs; 而扩展帧的标识符则为29位, 这意味着它可以包含 2^{29} 个CAN IDs。CAN传输速率高达1Mbit/s, 具备所有功能, 已成为车辆中的标准通信网络。



CAN和CAN-FD之间的差异

随着现代车辆变得越来越复杂, 车辆的ECU之间的信息交换也在增加, CAN也必须发展, 以确保不断增加的信息交换需求。为此, 开发了CAN-FD。

FD代表灵活数据速率, 这本质上是CAN与CAN-FD之间的技术升级。CAN-FD的传输速率也得到了提升, 根据所用控制器的不同, 最高可达8Mbit/s。灵活数据速率 (FD) 的核心在于: 仲裁字段采用低速传输 (如1Mbit/s), 而数据字段则以高速传输 (如8Mbit/s)。例如当数据字段采用8Mbit/s时, 其传输速度可提升至常规速率的8倍。此外, CAN-FD的数据字段已从传统CAN的8字节扩展至64字节。

但在深入解析CAN-FD帧结构之前, 我们不禁要问: 为何传统CAN总线不直接采用更大的数据包? 问题在于, 当采用恒定比特率传输大容量数据时, 总线会持续阻塞更长时间, 这会导致关键的高优先级CAN帧出现延迟。虽然可以通过提高标准CAN报文的传输速率来解决, 但此时需要在仲裁机制中设置足够的比特间隔延迟, 以确保总线上的所有节点都能及时响应。为此, CAN网络的长度必须控制在40米以内。若要提升传输速率, 这将大幅缩减可支持的线缆长度。

CAN-FD还在CAN-FD帧中引入了3种新的比特类型, 即:

- “扩展数据长度 (EDL)” : 显示是否使用CAN 2.0或CAN-FD
- Bit Rate Switch (BRS) : 描述数据字段是否将使用与仲裁阶段相同的比特率发送 (位将被设置为0), 或是否将更高的比特率用于数据字段 (位将被设置为1)
- 错误状态指示器 (ESI) : 如果发生错误, 该位将被设置为0。

下图显示了CAN-FD帧的结构。

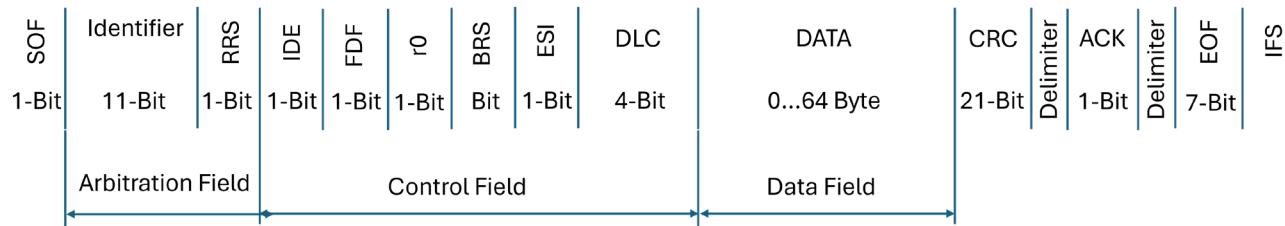


图4：标准CAN-FD帧

CAN总线定时逻辑（BTL）

需要特别注意的是，这里有两个关键术语需要明确。首先是标称比特率，这个数值通常以每秒比特数（bit/s）来表示。它反映了CAN网络中各节点间数据传输的最高速度。根据我们之前的了解，以CAN2.0A或CAN2.0B标准为例，其标称最大比特率可达每秒1兆比特（1 Mbit/s）。

第二个关键术语是CAN总线位定时。该技术的核心在于确保CAN总线上的每个节点都能准确解析各个数据位。CAN网络中的每个数据位被划分为四个独立时隙（参见图5），而每个时隙又细分为更小的时间单位——时间量子（本文中简称tq）。这种时序逻辑对精确控制数据位在CAN网络中的持续时间和位置至关重要。其核心目标是让CAN总线上的所有节点在完全同步的时刻采集数据位，从而实现精准同步的数据传输。

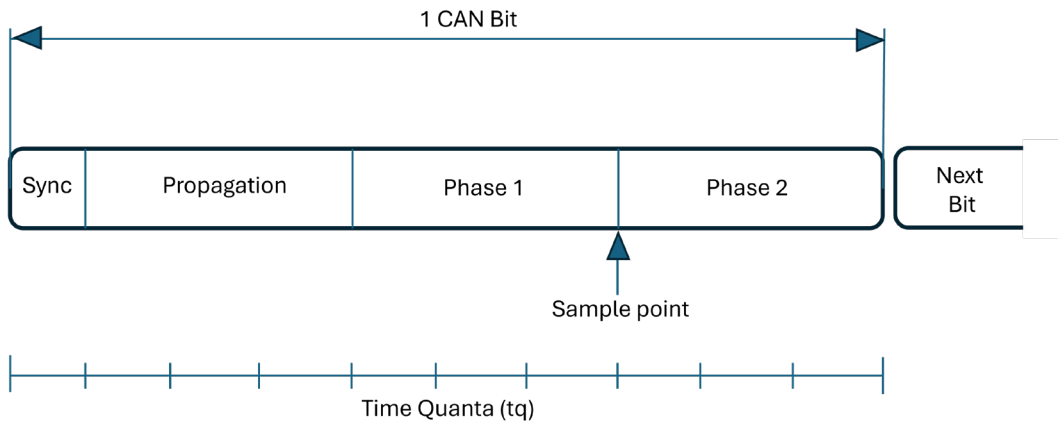


图5：CAN位

节段	时间量子[tq]	描述
同步节段	1 tq	不可编程。用于节点同步，始终为1 tq。
传播节段	1...8 tq	可编程。将根据物理延迟时间进行调整。

表1：CAN位段

节段	时间量子[tq]	描述
节段1	1...8 tq	可编程。用于补偿相位边缘误差，并且可在重新同步期间延长。
节段2	1...8 tq	可编程。用于补偿相位边缘误差，并可在重新同步期间缩短。

表1: CAN位段

根据ISO标准（ISO-11898），CAN总线的位时长不得低于8个时间量子（tq）。这里的tq时长取决于CAN 控制器的时钟频率（即内部晶振的速率）以及控制器预分频器的设定值。预分频器的数值可在1到64之间调节，用于生成CAN网络所需的时钟频率。举个例子，假设当前时钟频率为80MHz，而我们需要10MHz 的CAN时钟，此时应将预分频器设置为8。

让我们尝试计算CAN控制器的标称比特时间（NBT），即单个CAN比特的总持续时间。换句话说，它是1个CAN比特中所含有4个时间段的总和。

首先，我们将计算1个时间量子（tq）的周期。正如之前所学，tq取决于CAN控制器的参考时钟速率和预分频器的编程值。假设我们的控制器参考时钟速率为80 MHz，而我们需要一个10 MHz的CAN时钟。

► 一个时间量子（tq）的计算公式为： $tq = 1 / (80 \text{ MHz} / 8) = 1 / 10 \text{ MHz} = 100\text{ns}$

现在我们知道，CAN网络中的最小时间单位是100ns。除了该信息外，我们还需要计算标称比特时间所需的期望标称比特率，在此我们以500 kbit/s作为示例。

► NBT的计算： $NBT = 1 / 500 \text{ kbit/s} = 2\mu\text{s}$

另一个需要重点考量的参数是采样点位置，具体位置可参考图5。该位置决定了CAN控制器对数据位进行采样或读取的基准点。采样点会被转换为百分比数值，典型示例如87.5 %，这意味着当NBT超过该值的87.5 %时，系统将读取所有CAN数据位。采样点位于两个相位段之间，根据网络运行状况，可通过缩短或延长第一、第二相位来降低噪声信号的影响（详见表1）。例如，采用较低的采样点数值能有效降低对振荡器公差敏感度，同时兼容低品质振荡器；而较高的采样点数值则有利于实现更长的总线传输距离。

CAN通讯

CAN总线基于ISO/OSI 7层模型，其中CAN仅根据ISO 11898在前两个层上进行了标准化。这两个层定义为：

- 将CAN物理层作为第1层（最低层）
该层主要描述用于CAN总线的硬件，例如连接器和电缆（CAN-HIGH、CAN-LOW和CAN-GND的绞合电缆）。该层还定义了比特传输方法、采样时间等，并且部分在所使用的CAN控制器和收发器中实现。
- CAN数据链路层作为第2层
该层描述了实际协议和通过物理网络传输CAN帧，例如：节点之间的连接如何建立，以及物理层上的错误如何检测和纠正。

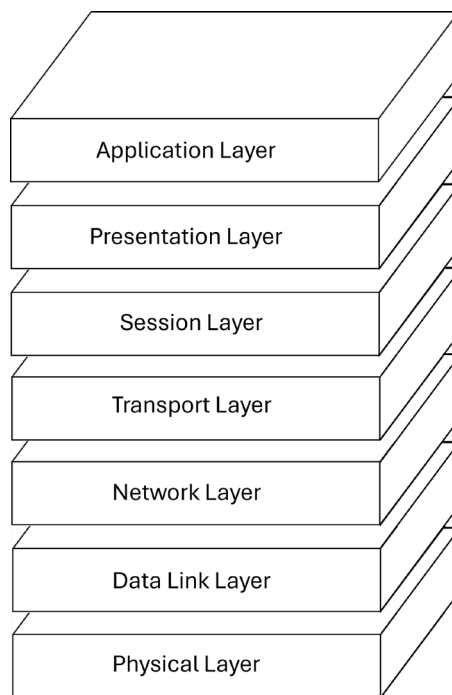


图6: ISO/OSI七层模型

通常不会单独指定前五层，这些层级主要通过软件实现。在CAN系统通信管理方面，存在多种标准化的高级协议，例如CANopen、SAE J1939、DeviceNet、CANAerospace、ARINC 825等。简而言之，这些协议就像编程语言，而CAN只是基础架构。本文将重点剖析其中一种语言——J1939协议。



J1939

众所周知，CAN总线作为车辆各ECU间通信的基础架构已得到开发，其中常用的一种通信“语言”是J1939标准，该标准主要应用于重型车辆。J1939由汽车工程师学会（SAE）制定，因此也常被称为SAE J1939。

虽然CAN在汽车领域中非常高效，但在需要高级功能的应用中可能不够用，例如网络管理或支持具有较大数据载荷的消息（CAN仅支持8字节和CAN-FD 64字节）。

J1939的一些关键事实是，它可以支持高达250kbit/s的波特率，在某些情况下也有可能达到500kbit/s，它支持网络管理和支持最多1785字节的消息长度。

J1939标准采用29位扩展标识符（CAN2.0B）。该标识符的前18位将作为参数组号（PGN）使用，该编号将作为解码原始J1939数据的通用规则。这意味着当不同CAN消息映射到同一PGN时，即使每条消息都具有独特的CAN ID，也能以相同方式进行解析。

如前所述，CAN总线理论上可传输最多1785字节的数据。但问题来了：当单个CAN帧的数据字段仅有8字节时，该如何实现数据传输？答案在于J1939标准允许创建一系列CAN消息，接收端在传输结束时会将这些消息整合成完整数据。该方法使用CAN帧8字节数据字段的第一个字节作为1到255的计数器，其余7字节包含数据。因此，最多可以传输 255×7 字节 = 1785字节的数据。

这是一个很好的示例，说明了CAN总线如何根据所使用的更高层协议以不同方式使用。



DEWETRON的CAN

选择德维创（DEWETRON），您将获得一套完整的同步系统，既能采集CAN总线传输的数据，也能处理其他测量数据。我们提供多种CAN总线数据收发解决方案：例如DEWETRON的NEX[DAQ]系列，这款符合IP67防护等级的移动数据采集系统配备2个CAN-FD端口，可实现CAN或CAN-FD数据的双向传输。此外，我们还提供多种可自由配置的机箱，通过安装不同测量模块即可适配各类应用场景。在CAN消息传输方面，DEWETRON推出的TRION-CAN测量板卡配备4个DSUB9接口，支持CAN报文的收发功能。若仅需单个端口，特定机箱甚至可直接加装CAN接口，让所有插槽都能用于安装其他测量模块。以上仅为部分示例。

如需了解更多DEWETRON数据采集系统信息，请访问我们的官网<https://www.dewetron.com/products/>。

通过直观的测量软件OXYGEN，用户可以轻松创建和定义CAN消息。当DEWETRON测量设备作为CAN发射器使用时，配置可以保存为dbc文件。然后，该文件可以在接收端加载，从而实现快速高效的CAN网络设置。



结论

如今，CAN总线已成为汽车领域的一个基本组件。其智能、快速和安全的数据传输使其非常适合各种ECU之间的通信。由于其布线量少和高成本效率，其应用已扩展到车辆领域之外，也使其成为自动化标准。

CAN总线的高层软件层支持灵活解析CAN帧位，从而实现广泛的应用场景。例如，J1939协议允许对CAN消息进行序列化处理，从而支持高达1785字节的数据传输。此外，得益于智能时序设置，CAN总线能动态适应环境变化和网络状况，优化运行流程。CAN技术堪称典范，充分展示了精心设计的技術如何为各类应用和各领域发展奠定基础。



作者介绍

Michael Fuchs



Michael Fuchs 自 2011 年起就在一家位于格拉茨的汽车供应公司担任应用工程师。在其任职期间，他专注于根据全球技术规范对排放测试系统的测量数据进行后处理工作。2022年，他加入DEWETRON公司，担任汽车、电动出行、能源应用、测试台以及通用测试和测量解决方案的应用工程师。



关于德维创

DEWETRON是一家精密测试和测量系统制造商，我们帮助客户使世界更加可预测、高效和安全。我们的优势在于定制灵活的解决方案，并可以立即投入使用。同时还可以快速适应能源、汽车、运输和航空航天行业测试环境和复杂技术的不断变化的需求。超过35年的经验和创新使DEWETRON赢得了全球市场的信任和尊重。全球多家知名公司正在使用DEWETRON测量系统超过25,000套，测量通道超过400,000个。

DEWETRON在25个国家拥有120多名员工，是TKH集团的一部分。TKH集团是一家全球化公

司，专注于在全球范围内开发和提供创新解决方案。

DEWETRON的产品质量已通过ISO9001和ISO14001认证。测量数据的高度完整性由我们根据ISO17025认证的校准实验室保证。

扫描二维码
关注德维创
官方微信公众号



THE MEASURABLE DIFFERENCE.



DEWETRON

德维创测试设备（北京）有限公司
北京市朝阳区劲松三区甲华腾大厦
1205室
010-6777 7287

德维创检测设备（上海）有限公司
上海市静安区国旅大厦
1403&1601室
021-6289 0027

www.dewetron.cn

