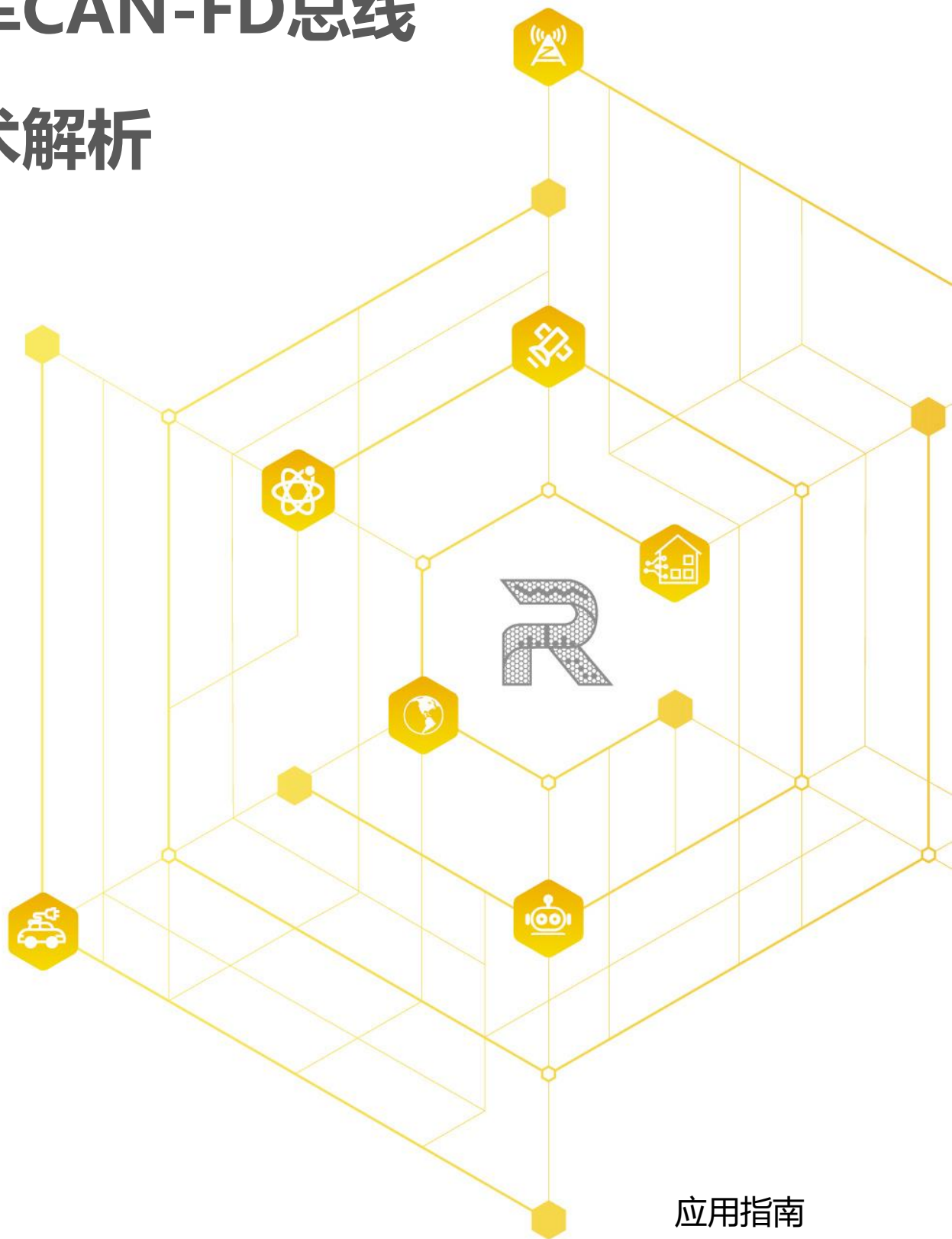




RIGOL

# 汽车CAN-FD总线 技术解析



应用指南

ANW01000-1220-0030

## 简介

1986 年德国电气商博世公司开发出面向汽车的 CAN（Controller Area Network）通信协议。此后，CAN 通过 ISO11898 及 ISO11519 进行了标准化。现在，CAN 的高性能和可靠性已得到认同并广泛投入工业生产。

随着工业的发展，工业总线上的数据量逐日增长，尤其是在 CAN 总线运用较多的汽车领域，总线通讯的数据量愈发庞大。例如汽车内部出现更多的辅助系统和人机交互系统，使得传统的 CAN 总线在传输速率和带宽方面越来越力不从心，CAN 总线已逐渐达到负荷极限。根据 CAN 规范 ISO11898-2 所定义的标准帧结构，一帧报文最大只能传输 64 位（8 个字节）的数据，在最好的情况下总线负载也已达到 70% 左右。

为了应对现今巨大数据量的挑战，亟需改进原有的总线来提高总线传输速率，CAN-FD（CAN with Flexible Data-Rate）便在这样的背景下诞生了。

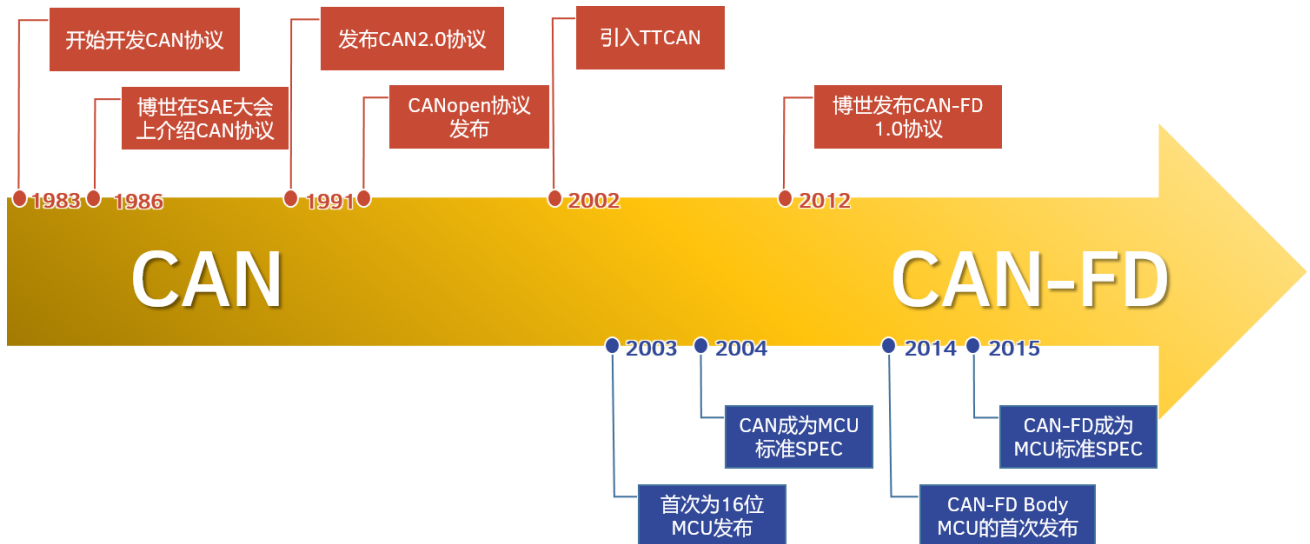


图1 CAN总线的发展历史

## 汽车 CAN 网络拓扑图

下图举例了一个汽车CAN网络拓扑图。从中可以看到，CAN 网络由CAN 节点及不同的CAN总线构成，CAN 节点主要由CPU、CAN控制器以及CAN收发器组成，而不同的CAN总线上布置有不同功能的智能电子控制单元（ECU）。

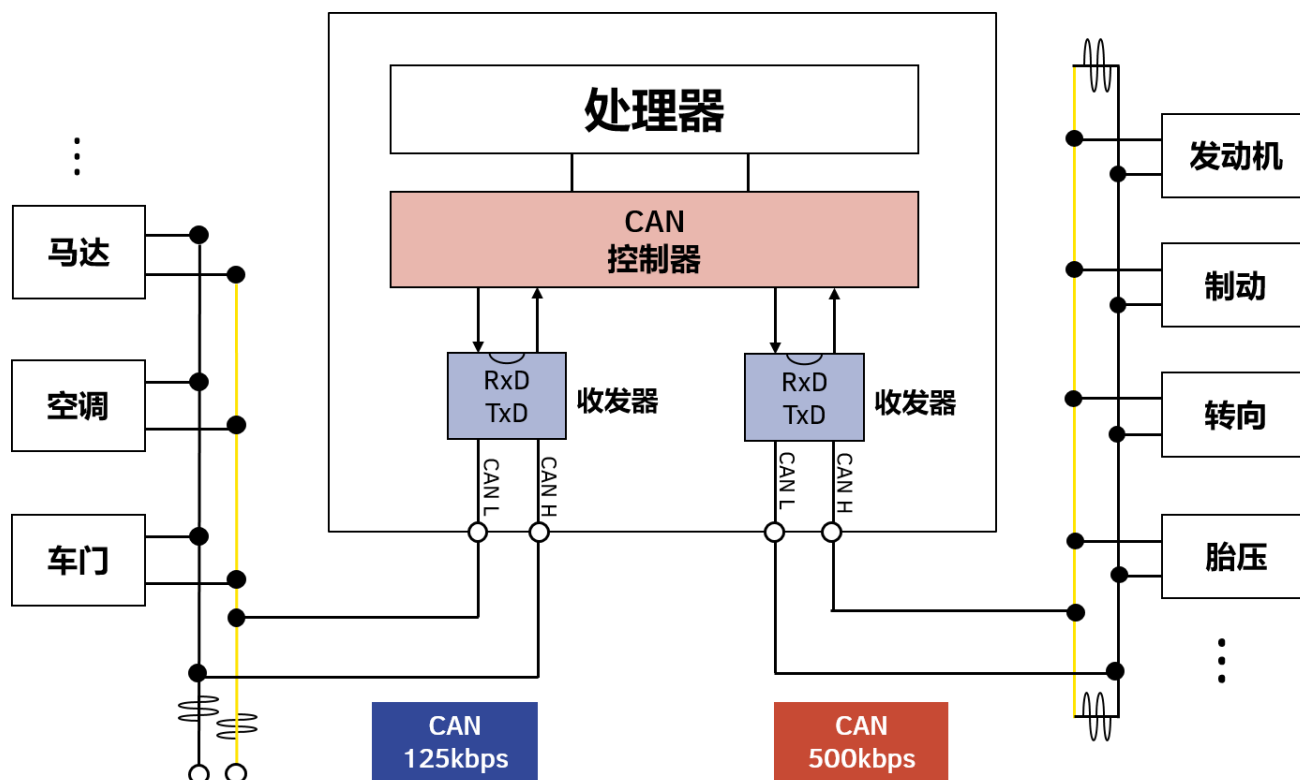


图2 CAN网络的拓扑结构

## OSI 协议栈模型参考

CAN 协议涵盖了 ISO 规定的 OSI 基本参照模型中的传输层、数据链路层及物理层。CAN 协议的关于 ISO/OSI 基本参照模型中的数据链路层分为 MAC 子层和 LLC 子层，MAC 子层是 CAN 协议的核心部分。

数据链路层的功能是将物理层收到的信号组织成有意义的消息，并提供传送错误控制等传输控制的流程。具体地说，就是消息的帧化、仲裁、应答、错误的检测或报告。数据链路层的功能通常在 CAN 控制器的硬件中执行，并在物理层定义了信号实际的发送方式、位时序、位的编码方式及同步的步骤。但信号电平、通信速度、采样点、驱动器和总线的电气特性、连接器的形态等均未定义，必须由用户根据系统需求自行确定。

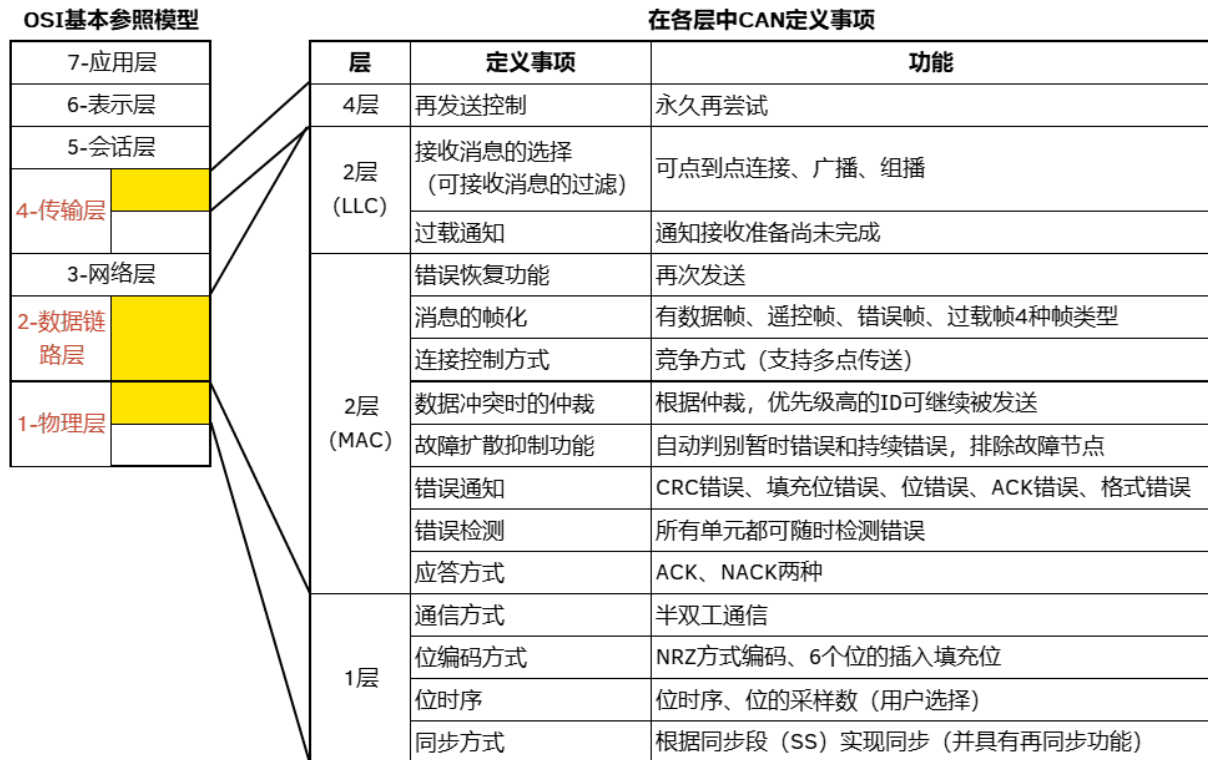


图3 OSI模型对比参考

## CAN-FD简介

### CAN-FD数据帧帧格式

CAN-FD 采用了两种位速率，从控制场中的 BRS 位到 ACK 场之前 (含 CRC 分界符) 为可变速率，其余部分为原 CAN 总线用的速率。CAN-FD 数据帧格式如下图所示：

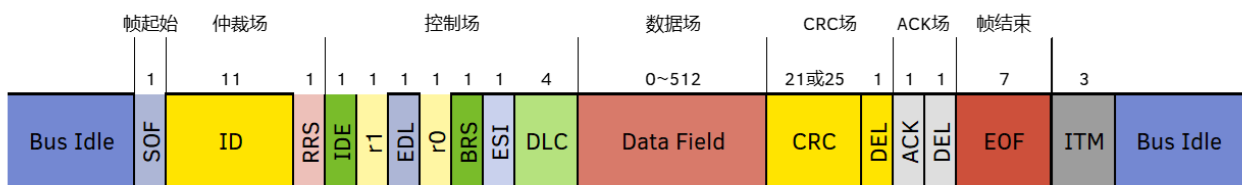


图4 CAN-FD帧格式

IDE(Identifier Extension)标志位扩展位：0 表示 11 位 ID，1 表示 29 位 ID。

r0,r1(Reserved for future use)保留未来使用：CAN-FD 不支持远程帧。

EDL(Extended Data Length) 表示报文格式：0 表示 CAN-FD 报文，1 表示 CAN 报文。

BRS(Bit Rate Switch)速率转换开关：0 表示不转换速率，1 转换速率。

ESI(Error State Indicator)错误状态指示：0 表示错误主动状态，1 错误被动状态。

### CRC 场

CAN总线由于位填充规则对CRC的干扰，会造成错帧漏检率，从而无法达到设计意图。CAN-FD 对CRC算法作了改变，即CRC以含填充位的位流进行计算。为避免在校验和部分出现 6 个以上连续位，即在第一位以及以后每 4 位添加一个填充位加以分割。这个填充位的值是上一位的反码，作为格式检查，即如果填充位不是上一位的反码，就作出错处理。CAN-FD 的CRC场扩展到了21位。由于数据场长度有很大变化区间，所以要根据DLC大小应用不同的CRC生成多项式。如CRC\_17，适合于帧长小于210 位的帧，而CRC\_21，适合于帧长小于1023位的帧。

### DLC 编码

CAN-FD数据帧采用了新的DLC编码方式，在数据场长度在0~8个字节时，采用线性规则。当数据场长度为12~64个字节时，使用非线性编码。如图5所示。

|                                               | 数据字节数 | 数据长度编码 |      |      |      |
|-----------------------------------------------|-------|--------|------|------|------|
|                                               |       | DLC3   | DLC2 | DLC1 | DLC0 |
| ISO11898-1                                    | 0     | 0      | 0    | 0    | 0    |
|                                               | 1     | 0      | 0    | 0    | 1    |
|                                               | 2     | 0      | 0    | 1    | 0    |
|                                               | 3     | 0      | 0    | 1    | 1    |
|                                               | 4     | 0      | 1    | 0    | 0    |
|                                               | 5     | 0      | 1    | 0    | 1    |
|                                               | 6     | 0      | 1    | 1    | 0    |
|                                               | 7     | 0      | 1    | 1    | 1    |
|                                               | 8     | 1      | 0    | 0    | 0    |
| Proposal for<br>Additional Codes in<br>CAN-FD | 12    | 1      | 0    | 0    | 1    |
|                                               | 16    | 1      | 0    | 1    | 0    |
|                                               | 20    | 1      | 0    | 1    | 1    |
|                                               | 24    | 1      | 1    | 0    | 0    |
|                                               | 32    | 1      | 1    | 0    | 1    |
|                                               | 48    | 1      | 1    | 1    | 0    |
|                                               | 64    | 1      | 1    | 1    | 1    |

图5 DLC线性和非线性编码

### CAN-FD 总线的特点

- 以差分信号进行传输，拥有出色的抗噪性能。
- 所有节点没有主从之分，总线空闲时，任意节点都可向总线发送消息。
- 非破坏性位仲裁机制，用信息内的标识符ID决定信息发送优先顺序，保证已发送数据的完整性与及时性。
- 继承自CAN总线的CAN-FD总线上的节点没有“地址”的概念，因此在总线上增加节点时，不会对总线上已有节点的软硬件及应用层造成影响。
- 可以配合网络的规模，系统的机能设定通信速度，此外两条不同通信速度总线上的节点可通过网关实现信息交互。
- 具有容错处理功能，所有的节点都可以检测出错误，检测出错误的节点会立即通知总线上其它所有的节点；正在发送消息的节点，如果检测到错误，会立即停止当前的发送，并同时不断地重复发送此消息，直到该消息发送成功为止。
- 能实现远程数据请求，通过发送“遥控帧”请求其他单元发送数据。

## DS70000 示波器实现总线分析

### CAN-FD 总线分析对示波器的需求

在CAN-FD总线解析过程中，需要观测系统噪声对总线信号传输的影响，并判断总线报错时是否由于硬件造成的以及软件编程的正确性。这对示波器的总线解析能力提出了更多的需求：

- 拥有高速采样率，清晰捕捉和显示串行模拟信号并观测其物理特性。
- 拥有较大存储深度，记录较长时间的总线控制过程。
- 丰富的触发功能及高波形捕获率，捕获到错误并对应捕获波形发掘问题根因。
- 灵活的屏幕多窗口分屏显示，同步显示解码结果与列表结果，方便观测总线数据信息。
- 具有多路总线分析功能，满足同时分析多路CAN节点的需要。

### DS70000总线分析功能

串行总线通信在汽车等各领域得到了广泛应用。对于汽车制造，从制动系统到车辆导航系统，总线无处不在。要确保正常的车辆性能，保证电子控制单元（ECU）、传感器和执行器之间的通信尤为重要。除了验证总线协议的数字逻辑之外，还需要对波形质量、噪声以及传感器/执行器信号的同步测量进行模拟物理层验证。

**RIGOL**自主研发的DS70000示波器独特的总线分析功能具有突出的优势：

- 拥有高采样率，基于RIGOL的“凤凰座”自研核心技术平台，实现了最高20GSa/s采样率、5GHz实时带宽，更真实捕捉并还原信号。
- 拥有更大存储深度，基于RIGOL新一代UltraVision III平台，实现最大2Gpts的存储深度，在高采样率下采集更长时间的波形，满足长时间观测的要求。
- 拥有丰富的触发功能，以及可达每秒100万次的波形刷新率，更容易捕获偶发的信号瑕疵。
- 具有强大的串行总线分析功能，支持多种主流串行总线，如RS232/UART、I2C、SPI、LIN、CAN、CAN-FD、FlexRay、I2S、MIL-STD-1553、MIPI-RFFE、USB2.0等。
- 解码结果列表显示，解码总线上每个帧信息，包括地址、数据、标识符等，支持屏幕窗口列表显示所有帧的分析结果，并可导出测试报告。

### **CAN-FD 总线解码分析测试步骤**

在实际设计场景中，工程师可以通过协议分析轻松地发现错误、调试硬件、加快开发进度，为高速度、高质量完成工程提供保障。而协议分析的基础是协议解码，只有解码正确的协议分析才能够被接受，只有正确的解码才能提供更多的错误信息，供工程师进行功能调试与设计改进。

DS70000示波器支持CAN-FD的解码分析，并可实现4路总线分析。图6为DS70000示波器CAN-FD解码设置界面示意图。



图6 示波器分析配置

- ① 该选项可选择解码协议类型，支持CAN-FD解码分析，此外可选择SPI、FlexRay、I2S、1553B等多种协议选项进行解码分析。
  - ② 此处可以选择打开或关闭总线解码开关。
  - ③ 此处为信源选项，可以设置信源的阈值和类型。
  - ④ 此处为信号速率选项，支持CAN和CAN-FD不同的信号速率，并可设置期望的采样位置。
- DS70000系列示波器拥有简便的解码设置操作界面，为工程师提供高效的测试工具。

## 总结

本文不仅在CAN总线发展历程、总线拓扑图及OSI协议栈模型上对CAN总线进行了较为全面的讲解，同时从CAN-FD的数据帧格式、CRC场到DLC编码等方面，对CAN-FD总线的特点进行了更深入的介绍。除此之外，您还可以通过使用RIGOL自主研发的DS70000系列数字示波器，对CAN-FD等多种协议进行解码分析。

DS70000依托于RIGOL工程师潜心十年打造的UltraVision III硬件平台，搭载自主研发的“凤凰座”自研核心技术平台，实现了最高20GSa/s的实时采样率，更具备多种人性化的设计，相信定能为您带来超高品质的测试及分析体验。

# 全面助力智慧世界和科技创新



5G 蜂窝-5G/WIFI  
UWB/RFID/ ZIGBEE  
数字总线/以太网  
光通信

数字/模拟/射频芯片  
存储器及MCU芯片  
第三代半导体  
太阳能光伏电池

新能源汽车  
光伏/逆变器  
电源测试  
汽车电子

## 为行业客户提供测试测量产品和解决方案

### RIGOL开放实验室

地址：北京、苏州、深圳、西安  
开放时间：工作日 9:00 am~6:00 pm  
预约电话：400-620-0002

RIGOL客服热线：400-620-0002

官网预约网址：

<https://www.rigol.com/quote/Lab-appoint.html>



RIGOL开放实验室预约



RIGOL实验室视频号

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。  
本文档中的产品信息可不经通知而变更，有关RIGOL最新的产品、应用、服务等方面的信息，请访问RIGOL官方网站：

[www.rigol.com](http://www.rigol.com)



RIGOL官方微信



RIGOL官网