

Keysight Technologies

# USB Type-C 及 PD 设计验证面面观

技术白皮书





## 目录

## 页数

3-5

6-7

8-13

14-17

18-23

24-25

26-29

30-34

35-39

40-47

48-54

55-58

59-60

KEYSIGHT TECHNOLOGIES Keysight 测量社区

## 引言

USB-IF 协会于 2014 年公布新一代接口 Type C，性能、外表和易用性立刻受到整个业内及消费者的瞩目。小巧的尺寸适用于各种便携式产品、可正反插解除了 USB 使用者存在多年的烦恼，并将 USB 的速度提升到 10 Gbps (USB 3.1 Gen2)，如果支持 TBT3.0 Alt mode，则单个链路可达 20 GSa/s，两个链路是 40 GSa/s，在速度传输速率上，几乎是无可挑剔的接口，除数据传输外，同一个 Type C 接口还可用作充电口或供电口 (USB Power Delivery)，这些特性正是现带便携式电子产品期待已久的 (轻薄、高速、多功能)，势必成为新一代传输接口主流。再加上重量级大厂的力推，更是让 Type C 在短短不到两年的时间内高速增长。

Keysight 是德科技率先提出 Type C「完整」的测试解决方案，涵盖了 Type C over USB 3.1、DisplayPort、Thunderbolt 3 等接口的发射 / 接收 / 线缆物理层测试，USB3.1 仿真，信号完整性和电源完整性仿真，串扰分析，USB Power Delivery 的一致性测试和调试解决方案，而且不仅仅局限于根据国际规范进行测试验证，更重要的是，如果测试不通过，能否提供相应的线索，帮助工程师找出本源，以便修正设计，这正是 Keysight 所擅长的。本技术白皮书搜集了多篇实用应用文章及技术参考数据，并由是德科技应用工程部专家组分享多次协助插拔大会实测的实战经验。您也可观看以下包含简体中文字幕的视频，快速了解 Keysight 是德科技为您提供的 Type C 测试验证和仿真解决方案。

我们诚挚的希望这本业内首发的 Type-C 技术白皮书能提供您前瞻思维，并实际帮助您克服当前严峻的「高速」设计挑战。

视频名称	视频描述	片长	简体 @Youku	繁体 @YouTube
是德科技： 矢量网络分析仪测量 USB 3.1 Type-C 电缆的 测试解决方案	此视频给大家介绍的是测试高速率 USB 3.1 10Gbps 电缆的测试挑战以及是德科技的测试解决方案。使用带有 TDR 选件的 E5071C 网络分析仪并通过压力眼图分析法帮助您解决 USB 3.1 的测试挑战。	04:10	<a href="http://v.youku.com/v_show/id_XMTMyNTYyNDgxMg==.html">http://v.youku.com/v_show/id_XMTMyNTYyNDgxMg==.html</a>	<a href="https://youtu.be/lwvQ9JWK1n0">https://youtu.be/lwvQ9JWK1n0</a>
是德科技： USB Type-C 测试解决方案	本视频介绍最新 USB Type-C 接口的信号连通性。USB Type-C 接口不仅支持大功率、USB 3.0/3.1、Thunderbolt 和 DisplayPort，且向下兼容 USB 2.0。点击此处，了解最新技术动态。  了解更多信息，请访问 <a href="http://www.keysight.com/find/typec">www.keysight.com/find/typec</a>	05:25	<a href="http://v.youku.com/v_show/id_XMTQzNDc2NDU5Ng==.html">http://v.youku.com/v_show/id_XMTQzNDc2NDU5Ng==.html</a>	<a href="https://youtu.be/lyvr8zj7LD0">https://youtu.be/lyvr8zj7LD0</a>
是德科技： USB 3.1 Gen2 (10 Gb/s) Type-C Tx 发射机测试	USB 3.1 Gen2 标准需要大量调试工作。本视频演示如何测试 10 Gb/s 的被测件，向您介绍 4 款能够帮助您测试 10 Gb/s Type-C 器件的不同产品。	02:41	<a href="http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1MTkxNg==.html">http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1MTkxNg==.html</a>	<a href="https://youtu.be/BDUI-7kAeBE">https://youtu.be/BDUI-7kAeBE</a>
是德科技： USB PD Type-C 测试 解决方案	USB PD (电力传输) 是测试 Type-C 连接的关键要素。此测试解决方案可用于 cc 调试、总线电压 Vbus 信号表征、协议触发和解码，及串扰分析，从而帮助您测试 USB PD Type-C 电力传输。	02:06	<a href="http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1NjMxMg==.html">http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1NjMxMg==.html</a>	<a href="https://youtu.be/CZ_ncAGyfsM">https://youtu.be/CZ_ncAGyfsM</a>
是德科技： USB 3.1 Gen2 (10 Gb/s) Type-C Rx 接收机测试	本视频向您介绍如何测试 USB 3.1 Gen2 10G bps 接收机。这一测试可能非常复杂。此视频概述了测试对信号完整性、自动校准，以及如何将您的器件设置为环回模式等的要求。	03:18	<a href="http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1MDQ0NA==.html">http://v.youku.com/v_show/id_XMTQ2MzY1MDQ0NA==.html</a>	<a href="https://youtu.be/WNKUXPAhric">https://youtu.be/WNKUXPAhric</a>

采用 Type C 接口的设计除了可能支持上面提到的 USB、DP、TBT3.0 等高速数据传输和 USB-PD 电力传输外，产品设计本身还会面临各种各样的挑战，从建模、仿真、功能验证、信号完整性、电源完整性验证到一致性测试，还要集成其它电路，包括电源系统、LPDDR3/LPDDR4、HDMI1.4/2.0、MIPI、eMMC、UFS、NFC、Wi-Fi 等，除数字电路需要验证测试外，无线部分也需要验证，甚至需要做 EMC 预兼容等测试。本文主要集中在 Type C 相关部分，针对更广泛的需求，Keysight 的专家出版多本书籍，以帮助工程师在更宽的范围内思考和讨论设计验证和测试的问题。

下面是四本书是 Keysight 专家撰写，清华大学、上海交大和中国工信出版集团出版的书籍。以下是书籍内容简介。

## 书籍

## 简介

本书作者李凯先生是安捷伦科技（Agilent）和是德科技（Keysight）资深技术专家，对技术有着不疯魔不成活的态度，他决心要掌握的技术，其前世今生甚至来世，都要研究个透。搞技术需要脚踏实地的作风，需要沉淀后乐于分享的境界，这两点，李凯都做到了。除这本书外，还有几本书在计划中，同时李凯在他的个人微信和微博账号和工程师长期互动和分享最新的技术。《高速数字接口原理与测试指南》这本书分为上下两部、共 22 章，上部讲述高速数字信号测量原理，下部讲述高数数字接口及测试方法。技术不断更新，欢迎访问加入他的微信 ID：Digital-Technology 及他的微博 [http://bbs.ednchina.com/BLOG\\_bjlk\\_106455.HTM](http://bbs.ednchina.com/BLOG_bjlk_106455.HTM)



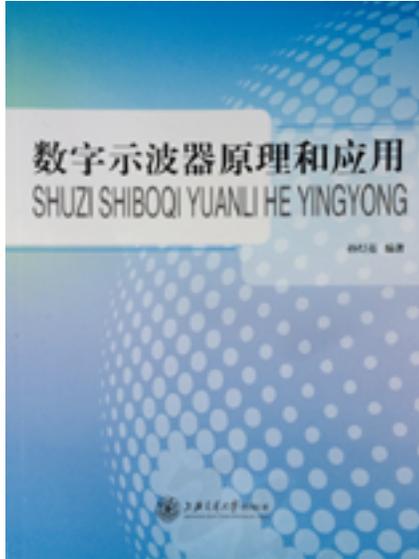
第一章：无处不在的数字接口.....	2
第二章：数字信号基础.....	5
第三章：数字测试基础.....	40
第四章：实时示波器原理.....	83
第五章：示波器探头原理.....	130
第六章：其他常用数字测量仪器.....	155
第七章：常用测量技巧.....	182
第八章：用多台仪器搭建自动测试系统.....	196
第九章：PCI-E 简介及信号和协议测试方法.....	203
第十章：PCI-E 3.0 简介及信号和协议测试方法.....	221
第十一章：SATA 简介及信号测试方法.....	234
第十二章：Ethernet 简介及信号测试方法.....	247
第十三章：MIPI D-PHY 简介及信号和协议测试方法.....	274
第十四章：MIPI M-PHY 简介及信号和协议测试方法.....	288
第十五章：存储器简介及信号和协议测试.....	302
第十六章：USB 2.0 简介及信号和协议测试.....	322
第十七章：USB3.0 简介及信号和协议测试.....	337
第十八章：HDMI 简介及信号和协议测试.....	356
第十九章：MHL 简介及信号和协议测试.....	372
第二十章：DisplayPort 简介及信号和协议测试.....	384
第二十一章：LVDS 传输系统简介及测试.....	398
第二十二章：MIL-STD-1553B 简介及测试.....	405

本书作者孙灯亮先生在加入安捷伦科技（是德科技的前身）之前，曾在华为等公司负责信号完整性分析研究部工作，工作期间，他出了两本书，除《信号完整性测量技术》外，还有一本《数字示波器原理和应用》，总结了他在测量领域十余年的经验，体现了理论到实践，实践再到理论的升华。华为技术姜向中再给这本书十分中肯的评价中提到它的三个特点，「时效性强、实践性强、理论性强」。《信号完整性测量技术》这本书共 17 章。大家对书中技术的最新状态感兴趣，欢迎加入微信 ID：Keysight2014



第一章：10G 以上数字系统测量白皮书.....	1
第二章：示波器基础.....	11
第三章：抖动测量技术.....	26
第四章：眼图测量技术.....	44
第五章：网络分析仪基础.....	55
第六章：频谱分析仪基础.....	78
第七章：PCB 阻抗测量基础.....	99
第八章：高速背板测量技术.....	119
第九章：高速数字电缆测量技术.....	130
第十章：阻抗测量基础.....	148
第十一章：电源完整性测量技术.....	171
第十二章：误码仪基础.....	192
第十三章：高速接口接收机测量技术.....	214
第十四章：信号完整性仿真分析技术.....	243
第十五章：如何建立信号完整性实验室.....	274
第十六章：如何搭建 LVDS 传输系统测量平台.....	289
第十七章：微波射频测试技术白皮书.....	298

本书作者孙灯亮先生 1999 年毕业于西安电子科技大学，2003 年底加入安捷伦科技（是德科技的前身），之前曾在华为技术和联想电脑负责技术研究和产品开发，工作期间，他出了两本书，除《数字示波器原理和应用》外，还有一本《信号完整性测量技术》；《数字示波器原理和应用》共 24 章，分上下两卷，上卷共 9 章，讲述数字示波器原理，下卷 15 章，讲述数字示波器的典型应用。



第一章：示波器背景和被测对象 .....	3
第二章：数字示波器硬件结构原理 .....	11
第三章：数字示波器信号保真度和波形重建 .....	15
第四章：理解示波器的抖动测量本底和本底噪声 .....	22
第五章：ADC 的性能指标和数字示波器有效位 ENOB 指标 .....	33
第六章：示波器波形更新率及其处理技术 .....	39
第七章：数字示波器的触发技术 .....	45
第八章：数字示波器的波形参数测量、数学运算、直方图分析和 FFT 变换 .....	54
第九章：示波器探头技术 .....	61
第十章：抖动测量和分析 .....	81
第十一章：眼图测量和分析 .....	87
第十二章：均衡测量和分析 .....	99
第十三章：嵌入和去嵌入测量和分析 .....	104
第十四章：Rapid IO 测试思路和方法 .....	116
第十五章：PCIe 3.0 Tx 信号品质一致性测试方法和步骤 .....	125
第十六章：从物理层到协议层的 USB2.0 一致性测试方案 .....	130
第十七章：DDR 信号完整性测量 .....	138
第十八章：数字视频接口测量 .....	150
第十九章：千兆以太网一致性测量 .....	170
第二十章：10Gbase-T 物理层一致性测试方法 .....	179
第二十一章：用示波器进行宽带雷达信号的矢量分析 .....	191
第二十二章：用便携式示波器进行低速串行总线的测量 .....	198
第二十三章：用示波器进行开关电源测量 .....	218
第二十四章：电源完整性测试，调整解调器绝对延时测量，示波器在逻辑分析仪计量中的应用，DAC 设置时间、上升和下降时间测量 .....	227



本书作者张涛先生工作于安捷伦科技和是德科技多年，一致从事于信号仿真和验证测试，这本书是上面几本书的有力补充，书中从仿真验证的角度选择了高速数字电路设计领域的若干个典型案例，内容范围涉及传输线设计、连接器设计、高速背板建模与验证、串行及并行总线信号质量分析、电源完整性分析等多个领域。全书包括 13 个实例和一个附录。

实例 1：单端传输线阻抗分析 .....	1
实例 2：差分传输线分析 .....	21
实例 3：传输线及三维连接器 TDR 仿真 .....	34
实例 4：基于测量的通道建模 .....	56
实例 5：PCB 板材宽带参数提取 .....	68
实例 6：CEI-25G-LR 通道特性一致性分析 .....	82
实例 7：高速串行链路的通道仿真 .....	90
实例 8：使用 IBS-AMI 模型分析高速串行链路实测波形 .....	116
实例 9：光通道 IBIS-AMI 模型创建及验证 .....	133
实例 10：Cadence Allegro 版图的提取、导入及仿真 .....	144
实例 11：DDR4 仿真及一致性测试 .....	181
实例 12：DDR Bus 仿真器 .....	198
实例 13：电源完整性分析之电源网络阻抗分析 .....	207
附录：ADS 信号完整性仿真常见问题及解答 .....	223

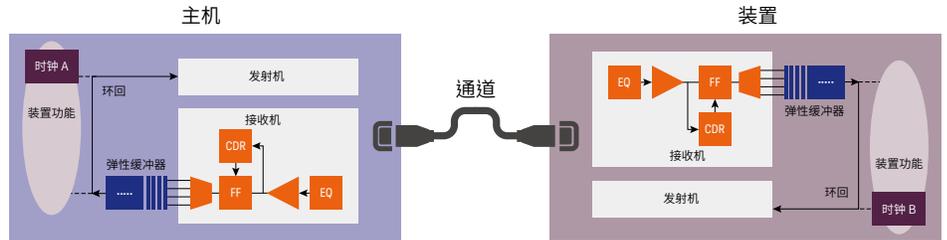
是德科技（中国）有限公司  
大中华区市场部总经理

敬上

# 第一章

## 是德科技 Type-C™ 解决方案：提供更快完成一致性测试的快捷方式

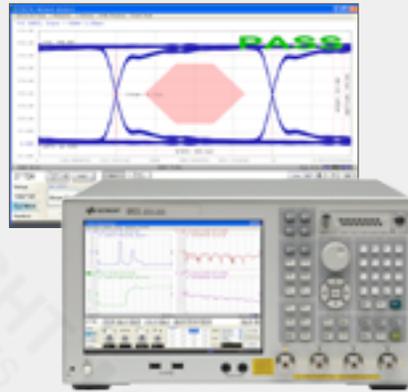
Keysight Type-C 一致性测试解决方案提供支持完整测试的通用平台，包含软件、仪器与测试夹具。无论您是从事设计或验证，我们的解决方案皆可加速推动整个过程：从调试、表征、一致性测试，到完成任务。



### USB 发射机



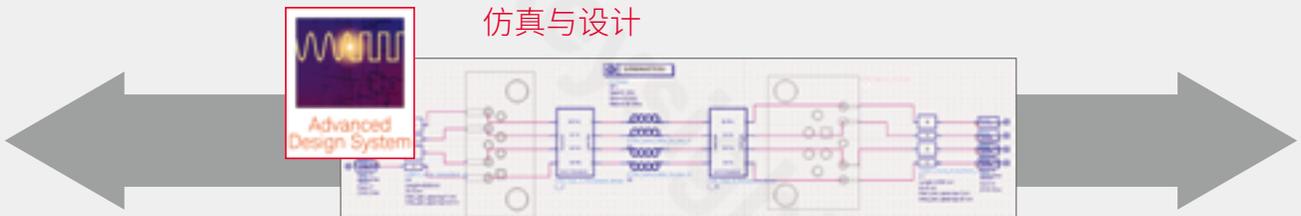
### 缆线 / 适配器一致性测试



### USB 接收机测试



### 仿真与设计



### Type-C 电力传输

如何通過 USB Type-C 适配器进行 USB 供电？  
是德科技为您提供完整的解决方案：包含电源、软件、测试夹具与硬件。

### Type-C 交替模式

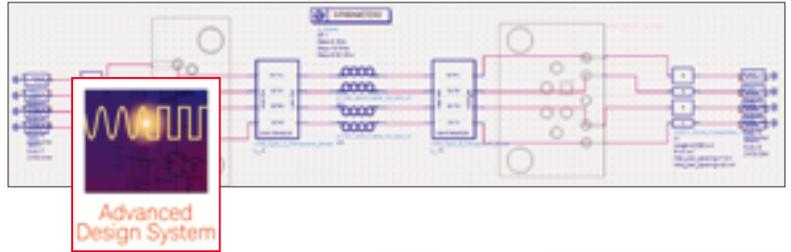
此接口集成了标准一致性测试所需的测试解决方案与行业技术。

## 仿真

### 使用 EEsOf 软件加快整体设计流程

- 使用 EEsOf 软件加快整体设计流程
- 使用 Advanced Design System (ADS) 软件，根据 USB 3.x 及其他标准进行最完整的数据链路分析
- 使用 W2353 USB 一致性测试平台改进仿真与测量之间的关联性

[www.keysight.com/find/eesof-usb-ctb](http://www.keysight.com/find/eesof-usb-ctb)

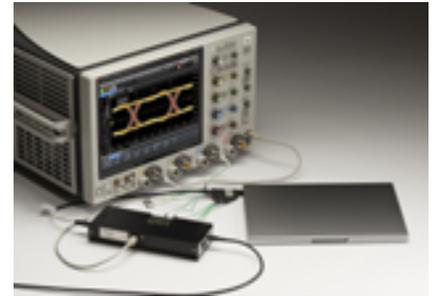


## 发射机和电力传输

### 使用 Infiniium 示波器更快洞悉全貌

- 提供高达 12.5 Gb/s 的速率、业界最长的 160 比特硬件串行触发能力，和全球最快的 20 GSa/s 数字逻辑通道，不论您是测试多个高速串行通道或是大量的并联总线，都可实时进行验证与调试
- 具有业界最广泛的软件解决方案，从基础分析、故障调试，到一致性测试，让您能加速洞察信号性能

[www.keysight.com/find/v-series](http://www.keysight.com/find/v-series)

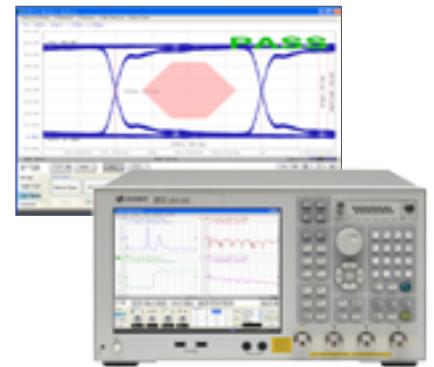


## 缆线 / 适配器

### 使用 ENA-TDR 增强型时域分析解决测试传输线与适配器的挑战

- 指出当传输信号的比特率增加时，严重影响系统性能的信号完整度互连
- 使用单一测试系统，加速互连测试与完整描述高速差分数字化设备特性

[www.keysight.com/find/ena-tdr](http://www.keysight.com/find/ena-tdr)



## 接收机

### 使用 M8020 J-BERT 掌握您的下个设计

- 使用最高集成度的高性能 BERT 精简您的测试设置
- 可对信号质量自动进行现场校准，以确保准确且可重复的测量结果
- 对 USB 3.0/3.1 与 DisplayPort 进行物理层特性描述、验证与一致性分析

[www.keysight.com/find/jbert](http://www.keysight.com/find/jbert)



## 电力传输

### 使用直流电源与负载描述 Type-C 电力传输

满足针对转换率、瞬态响应与 USB PD 2.0 验证测试功率的最严格要求

[www.keysight.com/find/N6786A](http://www.keysight.com/find/N6786A)

所有关于 USB、Type-C 与电力传输需求的解决方案：

[www.keysight.com/find/typec](http://www.keysight.com/find/typec)



## 第二章

# 轻松应对 USB Type-C™ 发射机与接收机的测试挑战

## Keysight Type-C 解决方案：更快完成一致性测试的快捷方式

### 概述

USB Type-C™ 是具突破性的连通性标准，专为更轻薄短小的新一代计算机和设备而设计，满足高速数据、高电力传输的技术需求，并且提供更高的灵活性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连通性、实现电源管理，并确保有效的数据传输。USB Type-C 连通接口提供下列功能：

- 支持 USB 2.0 和其他协议的动态电力和数据传输
- 符合新一代和未来设备的重要接口技术指标
- 具备向下兼容性
- 正反可插，方便易用

设计和测试工程师正面临着形形色色的挑战，不仅要 USB Type-C 与他们的产品集成，同时还要确保互操作性与测试一致性。然而，USB Type-C 一致性测试标准正与日俱增。不仅如此，数据传输速度和电力传输需求的不断升高，加上其他功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖精准且符合标准的测试仪器、软件和测试夹具，来确保成功的测试。

是德科技针对 USB Type-C 设计与测试挑战和解决方案提供五个系列的应用说明，本文为其中之一，主要探讨以下主题：

- 传输线和连接器
- 电力传输
- 发射 / 接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

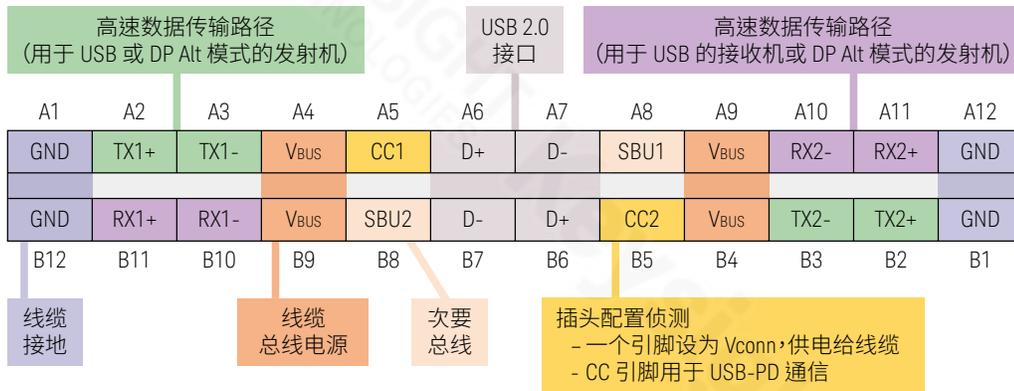


图 1：USB Type-C 引脚图。注意，此对称接口为可正反插拔的结构。

## USB Type-C 发射机 / 接收机要求

USB 早已从用于电力和数据传输的简单 4 引脚转接器，转变成对称、可翻转、多功能的 24 引脚转接器。USB Type-C 连接接口让制造商能够更灵活地设计 USB 设备的发射与接收特性，并提供 4 组成对的发射机和接收机 (Tx/Rx)，因此用户可随时使用 1 个、2 个，或同时使用 4 个通道进行数据传输。它还可通过两种不同通讯协议同时进行有源发送或接收，或利用单一协议以双倍的发射与接收速度进行传输，最高数据传输速率可达 20 G，未来速度还会加快。其增强型电力传输特性支持高达 20 V、5 A 及 100 W 的双向充电。这些 Type-C 特性和增强性能，使得工程师面临更严峻的 USB Tx/Rx 一致性测试挑战。深入了解 USB Type-C 和 USB 3.1 的发射机和接收机测试挑战，有助于确保设备顺利通过 USB Type-C 集成和测试。

进行测试时，特别是数据传输速率提高时，测试夹具和线缆效应可能造成极大的信号损耗，并且严重影响设备性能测量结果。如需在高速一致性测试中执行准确的信号表征，工程师需使用去嵌入技术来去除测试夹具对测量的影响，以测得真实的设备性能。在执行去嵌入之前测量用于测试夹具表征的 S 参数时，使用极高信号完整性的测试夹具来降低通道损耗至关重要。

发射机和接收机一致性测试需使用一致性测试码型。工程师可在一致性测试过程中生成各种不同的信号码型，并利用 SigTest 软件工具来获得测量结果。如需要更多关于 SigTest 软件的信息，请浏览：<http://www.usb.org/developers/tools/>。

## USB 3.1 与 Type-C 发射机测试挑战

进行发射机一致性测试时，工程师需克服 USB 3.1 和 Type-C 这两种不同的挑战。为了设计出更多通道数、灵活配置性，而且可正反插拔的转接器，工程师面临一个重大的挑战，就是必须执行极其繁杂而大量的一致性测试。USB-IF 一致性测试要求 USB 设备须满足各种不同的负载和充电条件，因此测试工程师必须针对所有设备进行配置并执行所有测试，包括：

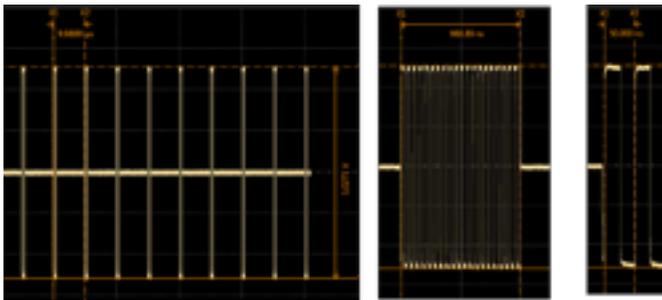
- USB 3.1 Gen 1 发射机眼图测试
- 低频周期信号 (LFPS) 时序
- 发射扩频时钟 (SSC) 的传输特性
- 全新 USB 3.1 Gen 2 测试：
  - SuperSpeedPlus 功能声明 (SCD)
  - 基于低频周期信号 (LFPS) 之脉宽调制讯息 (LBPM)
  - 信号去加重 (De-emphasis)
  - 信号预击 (Pre-shoot)

### 发射机眼图测试

发射机眼图测试可验证所生成的信号是否满足眼高和眼宽要求，并符合确定性抖动和随机抖动规范。进行一致性测试时，被测件 (DUT) 需发送测试码型。高速示波器可采集这些测试码型，并测量眼图技术指标。

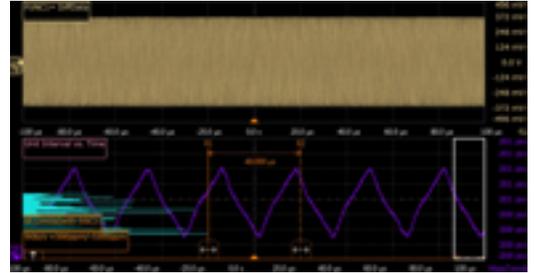
### 低频周期信号 (LFPS)

LFPS 是在固定时间间隔下生成的一系列脉冲。LFPS 信号测试可确保信号质量和正确的信号特性，以进行链路协商和训练，最终获取正确的数据速率。此测试加入边带通信，以通过一般的 SuperSpeed 数据传输线发送低频 (10-50 MHz 而非 5 Gbps) 信号。边带通信有助于在两个端口之间建立连结，以便在总线提供信号激活管理并实现低功耗管理。



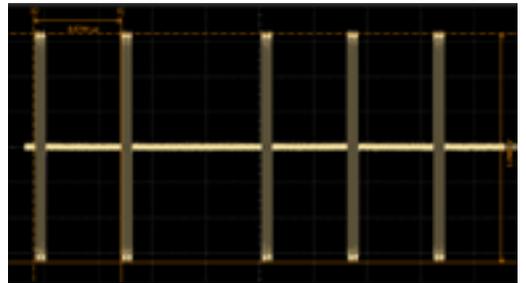
## 扩频时钟 (SSC) 调制信号

SSC 调制信号是 USB 3.1 Gen 1 与 Gen 2 的必要测试技术指标，其目标是降低电磁干扰 (EMI)，并确保设备能够发送接收机可处理的准确讯息。USB 设备初始化之后，随即进入 SSC 模式。如何控制 EMI 的影响，是发射机测试的最大挑战，因为 EMI 可能导致载波频率上出现高振幅峰值，而且谐波可能超出指定的限制值。为了避免这个问题，可以用 SSC 来展开频谱能量，使其保持在测试限制值内。由于本地时钟与对内数据之间存在极大的低频差异，使得时钟与数据回复电路 (CDR) 成为 SSC 测试挑战。USB 技术指标有助于减轻 SSC 对 CDR 的影响，但工程师仍需分析 SSC 效应，以解决系统的互操作性问题。



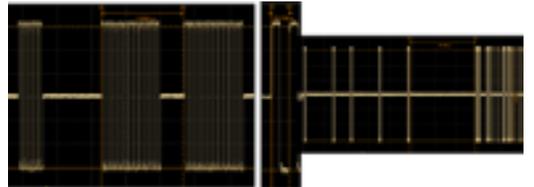
## SuperSpeed 功能声明 (SCD)

SCD 是链路训练状态机 (LTSSM) 序列的一部分，同时也是 USB 3.1 Gen 2 链路层的核心，负责定义链路连结和链路电源管理状态与转换。这些协议和时序要求极高的信号质量。DUT 必须生成 SCD 1 和 SCD 2 信号，并验证信号质量测量 (周期、上升和下降时间、电压等)，以确保设备能够顺利进行协商，并提供正确的链路连通性 (Gen 1 或 Gen 2)。



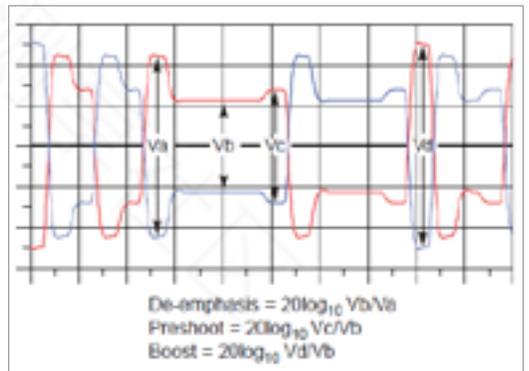
## 基于 LFPS 的脉宽调制讯息 (LBPM)

LBPM 是一种在设备之间的链路协商协议，最高支持 Gen 2 协商。信号质量测试可确保设备能够支持 USB 3.1 Gen 2 协商。



## 信号去加重 (衰减) 与预加重

去加重 (衰减) 和预加重皆是信号处理技术，用于降低通道损耗效应。在码型发生器 (发射机) 和分析仪 (接收机) 之间的测试夹具 (包括 USB 基准通道和传输线) 会导致频率损耗，进而导致符号间干扰 (ISI) 或眼图闭合。为了降低损耗，需对发射机进行去加重，以增强信号的高频分量，并张开接收机的眼图。USB-IF 要求信号质量测量，以确保发射信号符合技术指标，使得生成的信号通过高损耗传输线后，仍能以最佳状态到达接收机。



进行发射机测试时，工程师可使用高速示波器来测量信号质量，确保波形码型符合一致性测试规范。示波器可将抖动分解成随机抖动 (RJ)、确定性抖动 (DJ) 和总抖动 (TJ) 并进行分析，以确定导致抖动的原因并测试抖动容限度。

眼图屏蔽测试可快速界定出禁止传送信号的主要区域。如果信号出现在所定义的区域中，设备将无法通过验证。对于 USB 3.1 和 Type-C 设备，要将发射信号维持在眼图 / 模板极限值内极为困难，因此模板测试的质量至关重要。对于 E<sup>6</sup>，经过均衡后希望将眼高限制于 70 mV，所以 E<sup>12</sup> 的眼高目标是 30 mV。经过均衡处理后，E<sup>6</sup> 的眼宽是 47 ps，这是很难达成的目标。

进行一致性测试时，工程师需使用带宽达 25 GHz (Thunderbolt 为 30GHz) 的示波器。如需更贴近接收机芯片进行测量，则需更大的带宽。所有信号皆需进行眼高、眼宽、信号振幅、抖动分析，平均数据速率，和上升 / 下降时间测量。另外，由于 Type-C 连接接口可正反插，所以需对所有发射 / 接收通道进行测试。传输时会用到的所有协议也都需要进行测试。

## USB 3.1 与 Type-C 接收机测试挑战

使用验证后的 Tx 信号进行 Tx/Rx 链路测试，其困难处在于我们无法查看接收机内发射链路末端的状况。即便发射信号看起来没有问题，但是接收机眼图可能已经闭合。压力眼图校准须对测试夹具和传输线施加各式各样的抖动和串扰，以执行压力测试。用来生成码型的测试仪器应提供两种功能：增加信号压力和进行信号分析，包括抖动和眼图测量。

完成压力眼图校准之后，便可开始测试接收机。USB 3.1 接收机一致性测试使用最差状况信号条件 (压力眼图校准) 作为输入，然后注入更高频率的额外正弦抖动 (S<sub>j</sub>)。在多个不同频率上执行测试，可确保接收机能够正常运行。执行接收机测试时，工程师需使用许多所生成的一致性测试码型来进行校准。接收机测试有助于分析 USB 设备在各种不同振幅和抖动条件下的性能。USB 3.1 抖动测试要求执行比特误码率 (BER) 测试，这是一种抖动容限测试。将一系列 S<sub>j</sub> 频率和振幅注入接收机，以便测试压力眼图的变化，而比特误码检测器则可监测接收机中的错误或比特误码，从而计算 BER。此测试配置需用到码型发生器，以提供种不同的条件，例如针对目标 BER 生成真实随机抖动。

在 BER 比特误码检测器上执行非同步测试也是一项挑战，检验发射与接收系统是否能够正确无误地传递比特数据。然而，随着 USB 3.1 带宽不断增加，编码复杂度也随之升高，使得建立复杂协议变得不易实现。一般而言，发射机和接收机可能分别位于略有不同的时钟频率上；因此所收到的数据流之回复时钟，跟发射机的时钟频率可能不尽相同。当接收机在回环模式 (loopback mode) 下，这种频率差异会给被测件带来问题，因为比特数据的接收速度可能高于或低于其回传速度。您可使用时钟补偿字符来解决频率不匹配的问题，然后在数据从接收机回送到发射机时，将这些字符删除，或者插入到数据流中。测试配置中的仪器必须能够处理对内数据流中这种数量不确定的时钟补偿字符，又称为非同步 BER 测试。在计算比特误码数量时，分析仪须能够过滤掉长度可改变的 128/132 比特编码。

一致性测试可确定接收机侦测数字信号数据内容的能力，即使是最差状况下的缺损输入信号。如欲仿真在系统中传输的最差数据信号，包括一致性测试规范（CTS）中规定的缺损信号，BER 测试仪的码型发生器（BERT PG）是最理想的选择。在仿真处于测试模式下的接收机，并且接收校准测试信号时，BERT 可根据目标 BER 来侦测数字化数据内容并监测性能。BERT 包含码型发生器和信号分析功能，并可提供经过校准的压力条件，例如 SSC、SJ、RJ、去加重和 ISI，是执行接收机测试的首选仪器。

## 发射机测试解决方案

执行 USB 3.1、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 3 和 MHL 等技术的接收机一致性测试时，建议您将 N7015A 和 N7016A Type-C 测试夹具，与 Keysight Infiniium 示波器搭配使用。这是业界最高信号完整性的解决方案，支持 20 GHz 的带宽性能（-3 dB），并能对高达 30 GHz 的信号进行去嵌入处理。它包括一个 Type-C 连接接口夹具，支持插头正反插，并提供测试接点，支持工程师使用探头进行信号探测，从而完成发射机和电力传输测量。

- **Keysight N7015A Type-C 高速测试夹具**提供高达 30 GHz 的去嵌入带宽，以协助工程师执行 USB 3.1 Gen 2、DisplayPort 1.3 及 Thunderbolt 3 等 Type-C 设计的信号验证和调试。此夹具分隔出 4 个高速信号通道，可用于信号测量或注入，并且让工程师能接入信号、探测 USB 3.1 设备、主机和上行与下行链路。
- **Keysight N7016A Type-C 低速测试夹具支持信号接入与控制**，以便管理 N7015A Type-C 高速测试夹具的电力传输线和控制线，从而支持端接要求和测试配置，并且连通至电力传输控制器。通过 N7016A，工程师可接入 USB 3.1 信号，例如 CC1、CC2、VBUS 及接地信号，以便进行系统控制和诊断。它可同时以电子方式切换连通性（以便改变有源 USB 3.1 高速通讯端口），并可分隔 VBUS 信号，以便驱动电力传输控制器或外部电源。它还可加载 VConn 以仿真系统环境。
- **Keysight U7243B USB 发射机一致性测试应用软件**和 Keysight Infiniium 示波器，可协助工程师执行发射机一致性测试和验证，以符合 USB 3.1 的规范。Infiniium V 系列示波器提供业界最低的噪声电平，非常适合用于 USB 3.1 高速串行信号，并可支持因为高速所导致的裕量减小。

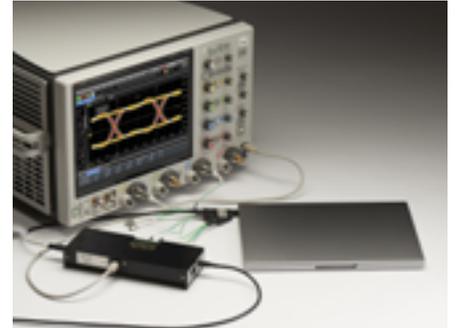


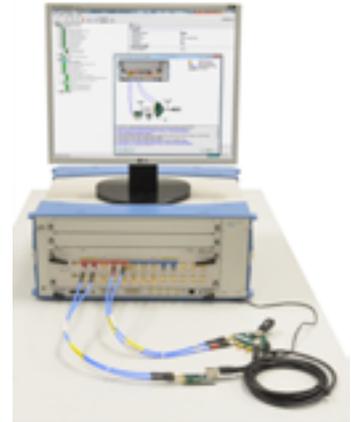
图 2：Keysight N7015A/N7016A Type-C 测试夹具

## 接收机测试解决方案

Keysight M8020A J-BERT 高性能 16-Gb/s BERT 内置您需要的所有功能（去加重、码型生成、连续时间线性均衡（CTLE），判决反馈均衡（DFE）、建立各式码型结构，以及重新排序）。利用 Keysight USB 3.1 接收机测试解决方案，工程师可使用 M8020A J-BERT 内置的校准后抖动信号源（随机抖动、周期抖动、SSC），精准地仿真前标记和后标记去加重，以及符间干扰（ISI）迹线，以获得准确且可重复的接收机测试结果。

## 主要功能：

- 分析经过编码且重新计时的数据
- 支持符号率（非比特率），以提供 128b/130b、8b/10b 码型译码与硬件加扰能力
- 实时过滤 USB 3.1 专属的 128/132 比特编码（长度会随码型流而改变）来计算比特误码
- 针对 Rx 测试生成校准后的加压条件（SSC、SJ、RJ、去加重、ISI）
- 使用内置的电气闲置功能进行回环训练并通过通道，来仿真 LFPS 3 电平信号
- 集成链路训练、接收机均衡处理、噪声缺损、可变的 ISI、接收端均衡器 / 眼图开启器
- 通过放大器生成共模信号，以便降低复杂度
- 内置时钟回复功能



## 克服接收机测试挑战：

- 接收机压力测试校准：使用示波器内置的 CDR 和均衡器仿真功能来测量眼高和眼宽
- 实现 BERT 的非同步测试：适用于 M8020A J-BERT OS2 的 SKP 和 SKP OS 过滤选项可计算 USB 3.x 比特误码数量
- 让 DUT 进入个别测试模式：结合使用 M8020 强大的 J-BERT 码型序列发生器和 BitifEye 链路训练套件



Keysight M8020A J-BERT 码型发生器提供准确且可重复的接收机测试，让您能仿真链路训练序列，以便将主机或设备设成回环模式。有了 M8020A，即便没有外部信号源，工程师也能仿真各种压力状况，包括超出规范的状况。利用内置的校准后信号源，工程师可绘制正弦抖动（SJ）、随机抖动（RJ）、符间干扰（ISI）迹线，并仿真通道响应。M8020A 还可仿真扩频时钟（SSC），并提供可调式去加重功能。

Keysight M8020A 可简化接收机测试配置，方便工程师分析 USB 设备的重新计时和编码数据。M8020A J-BERT 分析选项可过滤 SKIP/ALIGN 符号以便消除盲区（dead time），同时还可自动处理运行不一致的编码码型，并且显示符号元错误率（SER）或计算出的 BER。

## 结语

USB 3.1 和 Type-C 技术指标带来了许多前所未有的 USB 发射机和接收机测试挑战。快速而准确地测量重要特性，包括发射机眼图、LFPS 和 LBPM 时序、发射机 SSC 曲线、SCD 信号，并执行去加重和预击，将是确保发射机通过测试的关键因素。灵活的信号生成和比特误码检测功能则是接收机测试验证的重点。

Keysight Type-C 解决方案内含软件、仪器和测试夹具，是专为此通用接口之标准测试而量身打造的完备解决方案。无论您专注于设计或是验证领域，我们的解决方案都可协助您加速完成调试、表征，及最后的一致性测试。



## 下载软件，为您 开辟测量新视野

是德科技软件将我们渊博的专业技术集于一身，供您轻松下载使用。从第一次仿真到开始向客户发货，我们为您的团队提供最卓越的工具，帮助您加速将数据转化为信息，进而转化为可以指导实践的洞察力。

- 电子设计自动化软件（EDA）
- 应用软件
- 编程环境
- 提升效率的软件

了解详情：

[www.keysight.com/find/software](http://www.keysight.com/find/software)

立即获得 30 天免费试用版：

[www.keysight.com/find/free\\_trials](http://www.keysight.com/find/free_trials)

## 第三章

# 如何创建 USB Type-C 仿真与测量的关联性

## Keysight Type-C 解决方案：更快完成一致性测试的快捷方式

### 概述

USB Type-C™ 是具突破性的连通性标准，专为更轻薄短小的新一代计算机和终端而设计，满足高速数据、高电力传输的技术需求，并且提供更高的灵活性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连通性、实现电源管理，并确保有效的数据传输。USB Type-C 连通接口提供下列功能：

- 支持 USB 2.0 和其他协议的动态电力和数据传输
- 符合新一代和未来设备的重要接口技术指标
- 具备向下兼容性
- 正反可插，方便易用

随着 USB Type-C 的问世，设计和测试工程师正面临着形形色色的挑战，不仅要将其 USB Type-C 与他们的产品集成，同时还要确保互操作性与测试一致性。然而，USB Type-C 一致性测试标准正与日俱增。不仅如此，数据传输速度和电力传输需求的不断提高，加上其他功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖精准且符合标准的测试仪器、软件和测试夹具，来确保成功的测试。

是德科技针对 USB Type-C 设计与测试挑战和解决方案提供五个系列的应用说明，本文为其中之一，主要探讨以下主题：

- 传输线和连接器
- 电力传输
- 发射 / 接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

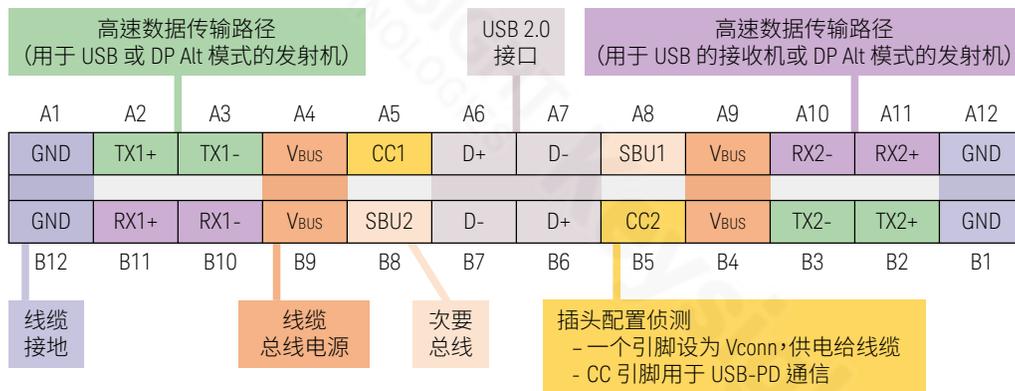


图 1：USB Type-C 引脚图。注意，此对称接口是可正反插拔的结构。

## USB Type-C 设计、仿真与验证

将 USB Type-C 升级或集成入设备中是相当复杂的工作，因为先前版本通过 4 或 8 个引脚来供电、接地与传输数据，现在必须改成 24 个引脚，并使用多条传输线来传输电力、接地、发射与接受信号、进行控制等。在设计过程中，尽早得知您的 Type-C 设备如何运行有许多好处。物理层设计仿真有助于实现具最佳性能的有效布局、新设备设计顺利通过最终的一致性测试、并且避免重新设计。为了避免昂贵的硬件打样周期，并且尽早发现问题，请务必在进行一致性测试之前执行设计仿真。

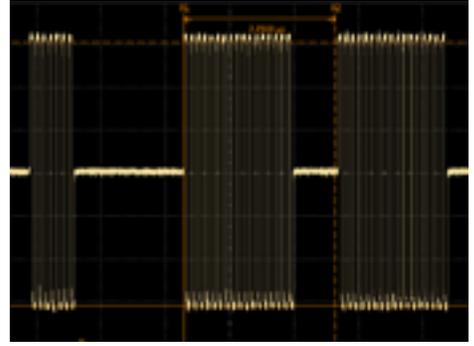
对 Type-C 设备进行仿真与设计验证，确认其性能时，工程师须对发射机、接收机、通道信号进行分析，以确保设备的互操作性。

## 发射机

进行发射机测试时，工程师可使用高速实时示波器，来测量每个特定一致性波形码型的信号质量。具有 20 GHz 带宽的示波器（Thunderbolt 需 30 GHz 的带宽）可用来测量所有信号的眼高、眼宽、信号振幅、抖动分析、平均数据速率，以及上升时间、下降时间。

发射机一致性测试项目包含：

- 发射机眼图测试
- 发射机扩频时钟（SSC）特征测试
- 低频周期信号（LFPS）及基于 LFPS 的脉宽调制信号（LBPM）协议测试



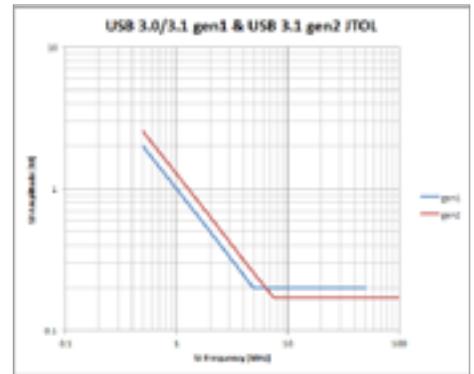
## 接收机

执行接收机验证测试时，工程师必须分析 USB 设备在各种不同的振幅与抖动条件下的性能，例如使用一系列具有正弦抖动频率与振幅的最差输入信号条件（对眼图施压），来测试接收机，并使用误比特检测器来监视接收机中的错误或比特误码，从而计算比特误码率（BER）。

比特误码仪（BERT）的码型发生器可通过不同的抖动条件来测试接收机正确侦测数字信号内容的的能力，包含最差状况的缺损输入信号及比特误码率。除可仿真测试模式中的接收机、接收经校准的测试信号之外，BERT 还可根据目标比特误码率来侦测数字信号内容并监测性能。BERT 包含码型发生器和信号分析功能，以及经校准的压力条件，例如 SSC、正弦抖动（SJ）、随机抖动（RJ）、去加重，及码间干扰（ISI）。

接收机一致性测试项目包含：

- 抖动容限测试
- 低频周期信号（LFPS）及基于 LFPS 的脉宽调制信号（LBPM）协议测试



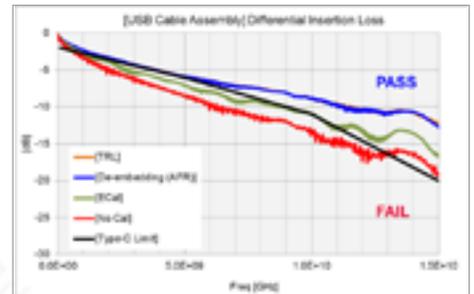
## 通道（连接器与传输线）

通道测试包含 S 参数分析，使用信号分析仪执行此测量的效果最佳。

通道一致性测试项目包含：

- 适合 Nyquist 频率处的插入损耗（ILfitatNy）
- 集成多重反射（IMR）
- 集成串扰（IXT）

Type-C 连接器可正向与反向插拔，因此设计工程师必须测试发射机与接收机的传输线。此外，如果设备必须交替地发射与接收传输协议，则须测试这些协议。



## 设计和仿真 / 测量之关联性挑战

新设备设计过程始于电子设计自动化（EDA）原理图采集，接下来需进行仿真、布局、电磁仿真，最后还须进行标准一致性测试。如果使用相同的一致性标准测量软件来测试 EDA 解决方案所生成的仿真波形，并测量使用台式测试仪器所采集的波形，工程师将对仿真一致性测试报告更具信心。是德科技可同时提供 EDA 软件以及使用相同的一致性测试套件的各种测量设备。这些一致性测试软件均通过标准委员会的认可。使用一组相同的测量算法，有助于改善仿真与硬件测试结果之间的关联性，使得工程师对于新设计之一致性测试仿真更具信心。

USB 3.1 SuperSpeed+ Type-C 具有更高的数据速率、更严格的 Type-C 一致性规范，而且通道中的信号严重衰减，导致接收端输入引脚出现眼图闭合，提高了其测试难度，因此执行 USB 3.1 SuperSpeed+ Type-C 仿真至关重要。在设计时间中进行适当的仿真，有助于减少后续阶段可能出现的问题。在发射机到接收机之间进行端对端仿真（包含封装、PCB 和线缆连接器），可显示信号是否遭遇任何瓶颈。此外，在进入原型制造之前先测试设计之标准一致性，可节省时间与成本，而且在仿真环境中改变设计，远比改变实际的 PCB 或设备要简单很多。另一方面，使用同样的一致性测试工具对仿真波形与测量波形进行后处理，可最大限度地缩短从设计到新产品出货的整体时间。

## 是德科技解决方案

是德科技先进设计系统（ADS）是一套设计仿真软件，让工程师能轻松执行 USB3.1 Type-C 发射机、接收机、通道的端对端仿真。设计工程师可将 ADS 的 W2353EP USB Compliance Test Bench (CTB) 提供的原理图设计范例进行定制，以获得所需的 IP 模块。USB CTB 会将仿真的电子与时序波形写入文档，以供 Keysight U7243B USB 3.1 一致性测试软件和 Infiniium 示波器进行离线存储数据之分析。ADS 及 USB CTB 可协助工程师解决仿真与测量结果之关联性挑战。如果一致性测试软件执行的仿真通过测试，设计工程师将可信心十足地制作产品原型。完成产品原型制作后，工程师可在实际的测试工作台上使用 Infiniium 示波器和完全相同的一致性测试应用软件进行测量。

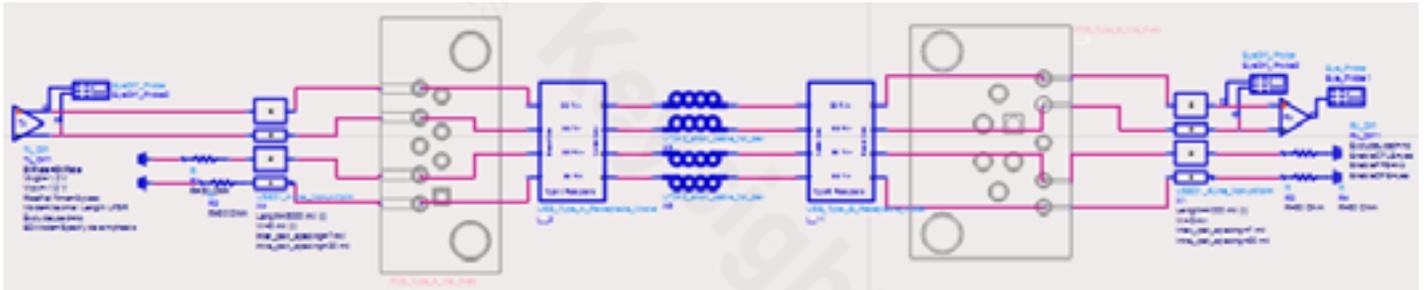
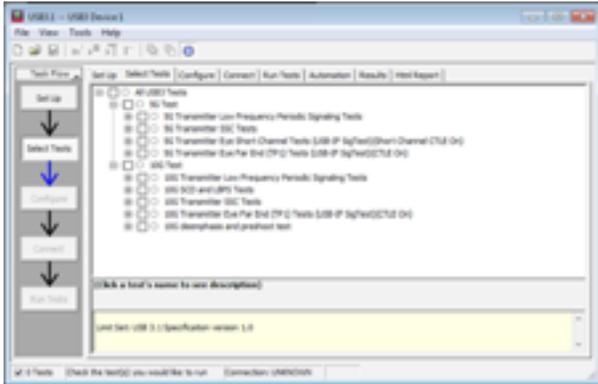


图 2：在 ADS 软件中进行 USB 设计仿真。

如果仿真与实际测量有不一致之处，则可确定是仿真阶段与实体设计时间之间的某些活动所导致，因为工程师使用相同的一致性测试软件进行仿真与测量。



ADS 提供的 W2353EP USB CTB 软件由仿真测试工作台及 Waveform Bridge 脚本所组成。仿真测试工作台包含子电路（即 USB 发射机）、通道和 USB 接收机。工程师可调整仿真测试工作台以便获得制造阶段之前的设计，接下来可执行通道仿真，并将合适的波形写入数据集（dataset）。Waveform Bridge 脚本是自动化程序，可接入数据集的波形并写入文档中，以供 U7243B USB 3.1 一致性测试软件和 Infiniium 示波器进行后续分析。此应用软件可处理示波器上的实时信号和所存储的信号。此外，工程师可在「远程」模式中执行此应用软件，亦即可在任何 Windows PC 上（包含已安装 ADS 的 PC）执行此软件。

物理层仿真可能包含以下波形：

- 主机：Tx\_AMI、主机 PCB 迹线、Via field
- 线缆：S 参数
- 设备：Rx\_AMI、设备 PCB 迹线、Via field

Keysight Infiniium 示波器和 U7243B USB 发射机一致性测试软件的组合，让工程师能根据 USB 3.1 规范执行发射机一致性与验证测试。此软件与仪器的组合可满足 USB 3.1 的高速串行测量需求，并反应高速造成的裕量大小。

## 结语

USB 3.1 和 Type-C 技术指标为 USB 设备设计带来许多前所未有的挑战。尽早开发阶段验证 USB 发射机、接收机和通道设计的一致性，有助于加快设备的设计，并且避免代价高昂的重新设计。确定所使用的仿真软件包含与仪器用于设备验证测试之测量软件相同的测量科学，可节省时间并避免获得有问题的测量结果。

Keysight Type-C 解决方案内含软件、仪器和测试夹具，是专为此通用接口之标准测试而量身打造的完备解决方案。无论您专精于设计或是验证领域，我们的解决方案都可协助您加速完成调试、表征，及最后的一致性测试。

## 第四章

# 如何确保 USB Type-C™ 传输线与连接器的互操作性和标准一致性

## Keysight Type-C 解决方案：更快完成一致性测试的快捷方式

### 概述

USB Type-C™ 是具突破性的连通性标准，专为更轻薄短小的新一代计算机和终端而设计，满足高速数据、高电力传输的技术需求，并且提供更高的灵活性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连通性、实现电源管理，并确保有效的数据传输。USB Type-C 连通接口提供下列功能：

- 支持 USB 2.0 和其他协议的动态电力和数据传输
- 符合新一代和未来设备的重要接口技术指标
- 具备向下兼容性
- 正反可插，方便易用

随着 USB Type-C 的问世，设计和测试工程师正面临着形形色色的挑战，不仅要确保 USB Type-C 与他们的产品集成，同时还要确保互操作性与测试一致性。然而，USB Type-C 一致性测试标准正与日俱增。不仅如此，数据传输速度和电力传输需求的不断提高，加上其他功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖精准且符合标准的测试仪器、软件和测试夹具，来确保成功的测试。

### Type-C 传输线与连接器

用来连接设备和供电的 USB 传输线种类繁多，例如 Type-A、Type-B、Micro 和 Mini 等。

相较于现有的 USB 传输线，Type-C 传输线具有高度对称且正反可插的独特优点。计算机和周边设备用户都知道，USB 标准 A/B 连接器只能从一个固定方向插入，而且可能需要试好几次才能找到正确的方向。USB Type-C 连接器具有对称结构，方便用户正向或反向插入任何一个 USB Type-C 设备的插槽，最大限度地提升使用便利性。

设计与测试工程师致力将设备接口从 4 针 USB 标准 A/B 连接器升级至 24 针 USB Type-C 连接器的过程中，面临了许多难题。全新的 USB Type-C 插座和传输线（也称为通道）针对标准 A/B 型连接器 / 传输线的问题做了一些设计变更，并为新型 Type-C 产品添加更多特性与功能。您必须了解测试挑战和解决方案，才能顺利进行 USB Type-C 设备的集成与测试。

USB Type-C 传输线与连接器（通道）不仅具备 USB 向下兼容性，并提供更多的电力管理和数据传输功能。USB Type-C 电力传输功能针对不同设备提供高达 20 V、5 A 和 100 W 的动态电力和充电功能。成对的发射机和接收机 (Tx/Rx) 可用于 USB 协议或 DisplayPort、MHL、Thunderbolt 数据传输等「访客协议」，以实现更高速的数据和影音信号传输。Type-C 数据传输速率最高可达 20 Gbps (Thunderbolt)，未来可望提升到 40 Gbps。这些新功能为设计与测试工程师带来了更艰难的挑战，他们必须进行 USB-IF 标准一致性测试，以确保 USB 通道和设备的互操作性。

是德科技针对 USB Type-C 设计与测试挑战和解决方案提供五个系列的应用说明，本文为其中之一，主要探讨以下主题：

- 传输线和连接器
- 电力传输
- 发射 / 接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

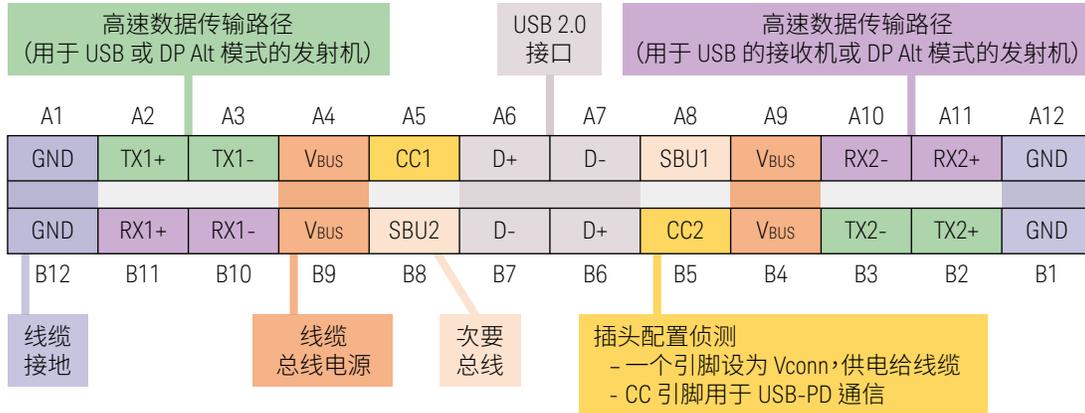


图 1：USB Type-C 引脚图。注意，此对称接口为可正反插拔的结构。

## 引脚功能概述

### 2 根引脚 (CC1、CC2)，其中 1 根引脚设为 V<sub>conn</sub> 端子

这些引脚决定了传输线配置并可用于传输线方向侦测。虽然 USB Type-C 连接器正反方向皆可插拔，但仍需通过传输线方向侦测机制来进行主机 - 设备连接。Type-C 电缆中只有一条 CC 信号线。将传输线插入插槽时，电缆会从插槽的配置链路连接至另一端的 CC1 或 CC2，后者可决定传输线的方向。另一个 CC 引脚则重新设置为 V<sub>conn</sub> (5 V 电轨)，以便供电给有源传输线的电路，减少消耗 V<sub>bus</sub> 信号线的电力。

### 两对差分引脚 (D+/D-)

这些专用的 USB 2.0 数据总线引脚可确保 USB 2.0 具备向下兼容性。



### 四对供电 / 接地引脚 (V<sub>BUS</sub>)，(GND)

电力传输电路可管理多项周边设备为它们供电，让设备能够在指定的电力电平下运行。设备可要求所需的电力，并可依特定应用需求，来要求更大量的电力传输。

### 四对发射机 / 接收机引脚 (TX1+/-、RX1+/-、TX2+/-、RX2+/-)

这些引脚可用于高速数据总线或交替 (ALT) 模式。4 对发射与接收 (Tx/Rx) 引脚可供 1 个、2 个或所有 4 个通道用于数据传输。Type-C 连通性可让两种不同的协议，同时有源发射和接收数据，或在未来的 USB 标准上为单一协议提供双倍的 Tx/Rx 传输速度。

### 两个次要总线引脚 (SBU1、SBU2)

目前 Type-C 连通性不支持次要总线或「边带 (sideband)」信号，但可用于交替模式数据传输或未来的扩展功能。

不同于早先包含电力传输线和两条数据传输线的 USB 连接方向，USB Type-C 通道可动态调整电力电平和数据信号。完成初始的点对点 USB Type-C 连接后，CC1/CC2 引脚可决定传输线的方向，而设备会接收到连通性讯息并且创建主机与设备的关系。接着，电力传输电路开始通过 V<sub>bus</sub> 和 Gnd 连通性控制各个连接设备的电力传输。每个设备可决定使用哪些 Tx/Rx 引脚 (SBU1/2 引脚用于交互协议)。Tx/Rx 引脚可用于 USB 或其他协议，其他引脚则可成对并联以提供更快的数据传输速度。电力传输电路可控制通道电力和信号电平，可在连接设备进行充电或数据传输时，随时加以调整。

使用 USB Type-C 产品时，您会发现此接口的功能更强大，也更容易使用。然而，工程师面临更多复杂的测试挑战，尤其是进行通道测试时必须将各种不同的功能场景纳入考虑。

## USB Type-C 传输线与连接器的测试挑战

USB Type-C 传输线与连接器的测试挑战来自于繁复的技术指标和向下兼容性要求。尽管如此，这些严苛的技术指标扮演了重要的角色，以确保 USB 产品之间可以顺利地互操作。

根据 USB-IF 协会规范，Type-C 必须支持旧版的 USB 技术指标信号（USB 2.0 和 USB 3.0）。除了这项强制性的向下兼容性要求之外，USB-IF 还定义了两条 USB Type-C 传输线，两端均为 Type-C 接头：

- USB 3.1 Type-C 传输线的传输速度可以是 10 Gbps Gen2 或 5 Gbps Gen1（传输线较长，约 2 公尺）
- USB 2.0 Type-C 连接至旧型主机（通常用于移动设备充电）

USB 3.1 和 Type-C 并未明确规定电气兼容通道的传输线长度，而是定义通道损耗，以确保 USB 主机和设备之间的互操作性。例如，两公尺长的传输线，其插入损耗不可超过 7 dB。在 20 dB SuperSpeed Gen 1 的限制下，主机和设备合计的插入损耗不得超过 13 dB。

USB Type-C 定义了各种通道技术指标，包含对称式连接器、高速数据传输、高电力、多种数据传输类型和向下兼容性等，因此工程师必须测试大量的配置，以验证 USB 通道一致性。不同配置的信道性能也会受到前述之插入损耗，以及反射和串扰的影响。为了去除测试夹具效应，工程师必须采取比以往更为严格的方式来减少夹具通道响应带来额外误差，并且在一致性测试过程中控制 USB Type-C 通道内的 EMI 和 RFI 干扰。

### 消除测试夹具效应

在各种频率下对 Type-C 互连执行准确的电气表征是成功设计高速总线的关键。随着数据传输速率提高到 10 Gbps，表征工作变得更加困难。工程师通常使用矢量网络分析仪（VNA）在频域中进行高速互连电气表征，过程中需使用测试夹具来连接被测件（DUT）和向量网络分析仪。测试完成后，必须完全移除测试夹具，以避免夹具有限带通响应干扰测试结果，尤其是在高频状况下。您可以通过校准或去嵌入来去除测试夹具效应，所使用的仪器质量越精良、操作越完善，测量精度就越高。

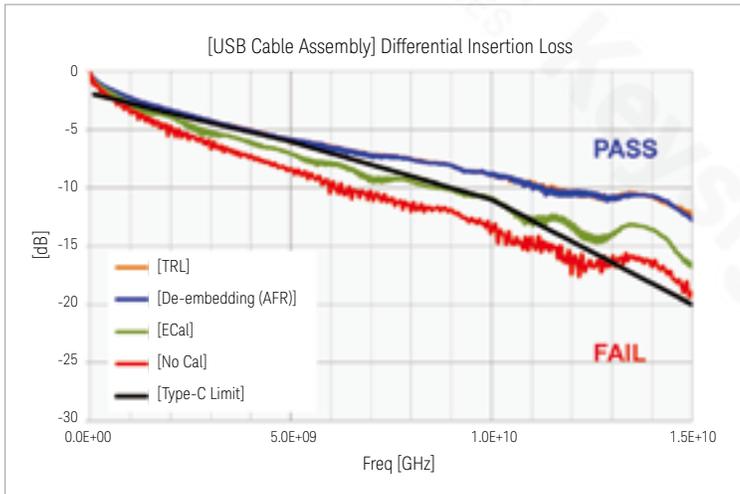


图 3：高频率会导致大量的损耗，因此需通过更严格的方式来消除测试夹具效应，如此才能测量到连通性设备的实际性能。

## 通道响应所受的影响

损耗、反射、串扰及模式转换等，都会对通道响应造成影响。传统上，工程师会测量参数特性，例如时域阻抗与时间偏差、频域插入损耗和回返损耗，并且测试特定的参数极限值，以便分析互连特性。参数技术指标保守地设置了极限值，因此传输线必须通过参数测试以确保其互操作性。由于这种测试方法不允许工程师对参数性能加以取舍，因此现在已弃而不用。举例而言，通道的损耗越少，就可以容忍较多的串扰或反射，反之亦然。对此，Type-C 通道的通过 / 不通过测试方法必须更新并加以改善。现今多半通过眼图直接观察链路末端的眼图特性，以分析 Type-C 通道特性，这种测量方法又称为「压力眼图」分析。

压力眼图分析法将预期的发射机最差状况性能信号，作为互连的「压力」信号，并使用眼图评估互连输出。如果互连能够以等于或优于发射机输入端指定的眼睛特性，正确地传输压力信号，就能以任何符合标准发射机的信号运行。对眼图进行分析时，工程师会运用各种形式的信号调节、加重及均衡，并同时互连设备的通过 / 不通过测试。

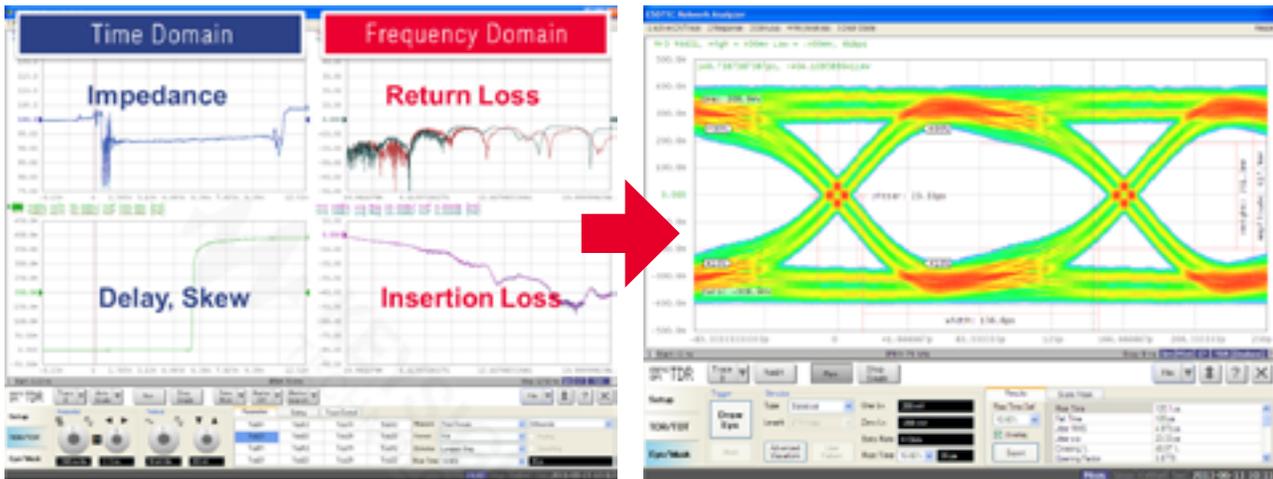


图 4：通道响应会受到通道内许多特性（损耗、反射、串扰和模式转换）的影响，因此传统的参数分析方法已不再适用，工程师需要使用新的压力眼图测试（通道参数 / 边界）来进行测量。

Keysight 测量社区

## 抑制电缆配件的 EMI 和 RFI 干扰

新型的 Type-C 插座设计提供更多接地和更好的整体屏蔽，以便防止射频 (RF) 泄漏，并且减少了 USB 3.1 射频干扰 (RFI) 问题。此外，Type-C 新增了技术指标标准，强制要求对传输线屏蔽有效性进行测量，以便控制传输线的辐射值。

传输线屏蔽性能测试旨在测量电缆组件的射频干扰程度。进行测量时，须将电缆组件安装在传输线屏蔽性能测试夹具 (USB-IF 尚在研发中) 上，该夹具包含五个 SMA 连接器：两对用于成对的发射机和接收机，一个用于连通性电缆屏蔽。工程师需针对成对的 Tx 和 Rx 信号，分别测量电缆屏蔽差模 (Ssd12) 和电缆屏蔽共模 (Ssc12) 的耦合因素。

## 传输线 / 连接器测量解决方案

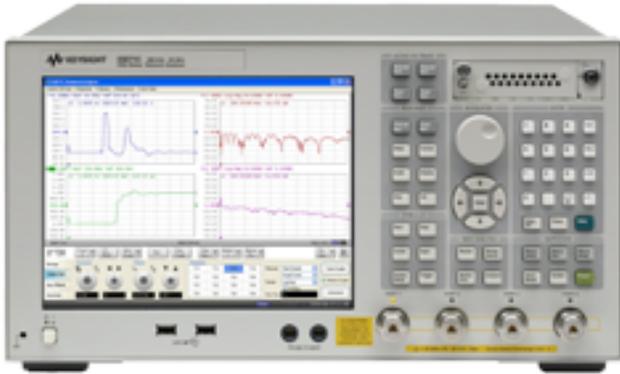
### 是德科技测试夹具效应解决方案

传统的传输线 / 连接器一致性测试使用矢量网络分析仪进行频域分析，并使用时域反射计 (TDR) (采样示波器功能之一) 进行时域分析。为此，是德科技推出具备高级时域分析功能 (选件 TDR) 的全新 Keysight ENA 系列网络分析仪。我们建议使用此多合一解决方案来测量所有的一致性参数。此外，受 ENA USB 接口所控制的 Keysight N4433A ENA 微波电子校准 (ECal) 模块，可用于 ENA 校准并可消除测试夹具效应。

- 在 USB-IF 公布一致性规范的同时，是德科技提供的「操作方法 (MOI)」让工程师能依照各个步骤进行特定参数测量。请上网查看《USB Type-C 电缆连接器组件实作方法》：[http://www.keysight.com/find/ena-tdr\\_usbtype-c-cabcon](http://www.keysight.com/find/ena-tdr_usbtype-c-cabcon)。

除了用于 USB 测试之外，ENA 选件 TDR 也通过认证，可支持各种高速串行标准的测量。请至是德科技网站下载相关测量程序：[www.keysight.com/find/ena-tdr\\_compliance](http://www.keysight.com/find/ena-tdr_compliance)。

## 典型配置



- ENA 主机
  - E5071C-4K5：4 端口，300 kHz 至 20 GHz 的频率量程。建议使用此选项，因为 Type-C 传输线 / 连接器需测量高达 15 GHz 的频率。
- 增强型时域分析选项（E5071C-TDR）
- 电子校准模块（N4433A）

注意：本列表包含必要的主要设备。请洽是德科技销售和工程师以获得更多配置信息。

Keysight E5071C ENA 系列网络分析仪为理想的解决方案，可协助制造与研发工程师评估频率高达 20 GHz 的射频器件和电路。

Keysight N4433A 微波电子校准模块支持 300 kHz 到 20 GHz 的频率 配备 3.5 mm 接头和 4 个端口，可与矢量网络分析仪共同进行快速又准确的完整 3 端口或 4 端口校准。此外，许多高速串行一致性测试中心也开始采用 ENA 选项 TDR。

Keysight N1930B 物理层测试系统软件 (PLTS 2016) 具备自动化的测试夹具效应移除 (AFR) 功能，可与 Keysight PNA 和 ENA 网络分析仪 (包含新型 PXI VNA 体系结构) 搭配使用，提供当今高速数字设计工程师亟需的强大信号集成工具。PLTS 为物理层设备测量与分析必备的信号集成解决方案，向导程序可协助用户轻松校准和测量多端口设备。完成测量后，PLTS 提供各种显示、分析、重新格式化和转换工具，并可执行数据汇入与汇出。

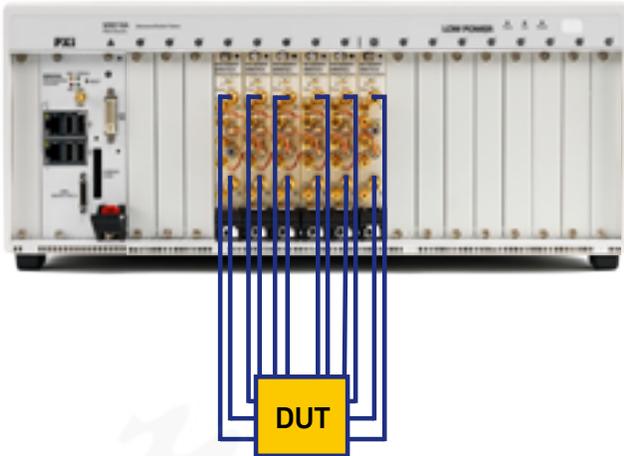
## 结语

全新的 USB Type-C 技术指标为电缆组件测试带来许多前所未有的挑战。工程师需解决信号集成性问题，以避免不断提高的数据传输速率导致系统性能下滑，而加速进行互连测试与表征变得越来越重要。单机式 ENA 选项 TDR 解决方案可执行阻抗、S 参数和眼图等高速互连分析。

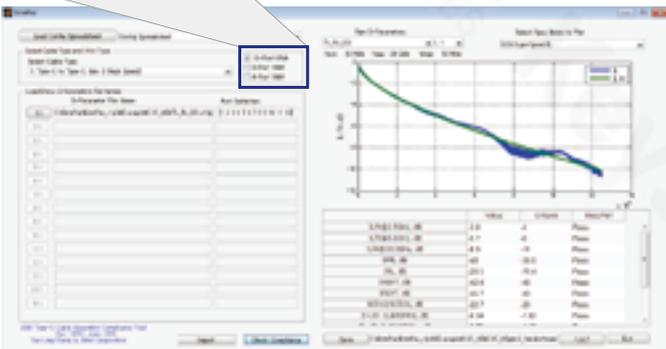
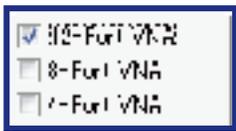
Keysight Type-C 解决方案内含软件、仪器和测试夹具，是专为此通用接口之标准测试而量身打造的完备解决方案。无论您专精于设计或是验证领域，我们的解决方案都可协助您加速完成调试、表征，及最后的一致性测试。

## 第五章

# 使用 M937xA PXIe 多端口 VNA 的电缆组件一致性测试解决方案 适用于互连分析的多端口测量解决方案



1x s12p  
Touchstone 文档



## 适用于 USB Type-C™ 电缆组件的 真正多端口测量

随着使用者对带宽的需求越来越高，高速数字标准亦不断演进，以支持更高的数据速率。10 Gbps USB 3.1 技术指标提供比现有 5 Gbps USB 3.0 多出一倍的实际数据速率。在数据传输速率节节升高的状况下，工程师必须更严格地执行物理层测试，以确保产品的互操作性。

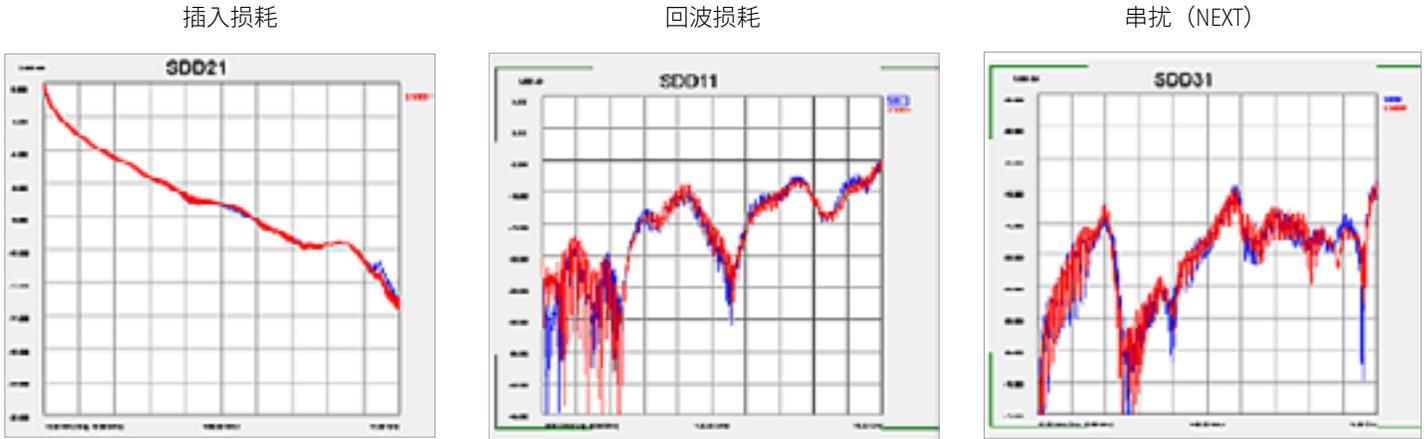
多端口测量是伴随高速数字电缆组件而来的测量挑战之一。Keysight M937xA PXI 多端口矢量网络分析仪具有完整的 n 端口校准和固有的频域测量能力，可提供真正的多端口测量。执行 USB Type-C™ 电缆组件测试时，Keysight M937xA 可加以配置，以支持 300 kHz 至 15 GHz 的 12 端口测量，从而生成经过 USB-IF 一致性测试工具分析的 s12p touchstone 文档。

## M937xA PXI 多端口 VNA 特性

产品特性	优点
精确的测量结果	媲美机箱式 VNA (例如 >114 dB 动态范围, <0.003 dB 迹线噪声, 0.005 dB/degree 稳定度)
六种机型提供 300 kHz 到 4、6.5、9、14、20 或 26.5 GHz 的频率范围	符合主要高速数字标准的频率要求 (USB Type-C 电缆的 300 kHz 至 15 GHz 频率)
真正的多端口测量，具完整的 n 端口校准	可实现简单快速的测量，以便生成一个 touchstone 档 (USB Type-C 电缆所需的 s12p 文档)
多达 32 个端口的测量	可加以扩展，以适应未来多端口测量需求
使用独立的 VNA 同时执行多站测量	更快的测量速度，可节省测量时间

## M937xA 和 E5071C 之间的测量关联性

进行电缆组件一致性测试时，Keysight E5071C ENA 选件 TDR 经验证可用于各种高速数字标准的一致性测试，例如 USB、HDMI、DisplayPort。如下图所示，在比较 USB Type-C 电缆组件测量结果时，发现 Keysight M937xA PXI 多端口向量网络分析仪和 E5071C ENA 选件 TDR 的测量结果具有紧密的关联性。



蓝色迹线：M937xA（完整的 12 端口校准），红色迹线：E5071C ENA 选件 TDR（完整的 4 端口校准）  
10 MHz 至 15 GHz，1,500 pts，1 kHz IFBW，-5 dBm 信号源功率，开启 port Z conversion（所有端口均为 42.5  $\Omega$ ），开启 De-embedding（测试夹具补偿），50  $\Omega$  端接，连接到所有未使用的端口。

## 订购信息

机型 / 选件	说明	每台
M9374A	300 kHz 至 20 GHz，2 端口 PXIe 矢量网络分析仪	2 个（适用于 4 端口 VNA） 4 个（适用于 8 端口 VNA） 6 个（适用于 12 端口 VNA）
M9374A-010	时域分析	1 <sup>(*)</sup>
M9374A-551	完整的 N 端口校准测量	1 <sup>(*)</sup>
N4433A	电子校准模块， 300 kHz 至 20 GHz，4 端口	1
M9018A	18 槽 PXIe 机箱	1
M9037A	高性能嵌入式控制器	1

\* 至少需有一个 PXI VNA 模块配备选件 010 和 551，以便在多端口配置中提供上述功能。

USB Type-C™ 和 USB-C™ 是 USB 开发者论坛的商标。

## 第六章

# 轻松测试通过 Type-C™ 运作的 USB 电力传输 (PD) 系统

## Keysight Type-C 解决方案：更快完成一致性测试的快捷方式

### 概述

USB Type-C™ 是具突破性的连通性标准，专为更轻薄短小的新一代计算机和终端而设计，满足高速数据、高电力传输的技术需求，并且提供更高的灵活性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连通性、实现电源管理，并确保有效的数据传输。USB Type-C 连通接口提供下列功能：

- 支持 USB 2.0 和其他协议的动态电力和数据传输
- 符合新一代和未来设备的重要接口技术指标
- 具备向下兼容性
- 正反可插，方便易用

随着 USB Type-C 的问世，设计和测试工程师正面临着形形色色的挑战，不仅要将其 USB Type-C 与他们的产品集成，同时还要确保互操作性与测试一致性。然而，USB Type-C 一致性测试标准正与日俱增。不仅如此，数据传输速度和电力传输需求的不断提高，加上其他功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖精准且符合标准的测试仪器、软件和测试夹具，来确保成功的测试。

是德科技针对 USB Type-C 设计与测试挑战和解决方案提供五个系列的应用说明，本文为其中之一，主要探讨以下主题：

- 传输线和连接器
- 电力传输
- 发射 / 接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

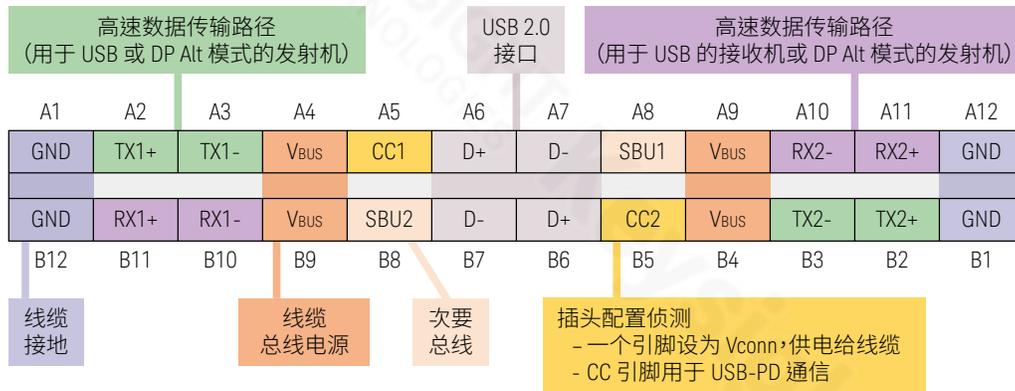


图 1：USB Type-C 引脚图。注意，此对称接口是可正反插拔的结构。

## Type-C 电力传输

通过结合电力传输 (PD) 动态电源系统，USB Type-C 连通性扩展了 USB 的可用量程。除了添加 USB 数据传输功能外，该系统可提供高达 20 V、5 A 及 100 W 的电力，让更多不同类型的 USB 设备能进行供电及充电，进一步增进 USB 功能。USB PD 灵活的智能系统级电源管理，支持双向电力传输源，可切换所连接的供电（流出电源）及耗电（汲入电源）设备的方向。此动态电源使得 USB Type-C 能够支持其他视频与音讯信号标准，例如藉由使用 ALT 模式支持 DisplayPort 或 Thunderbolt。

## 电力传输的运作原理

首先，在设备之间建立端对端 USB Type-C 连通性，然后通过配置通道 (CC) 线来决定线缆连通方向。之后 PD 便开始驱动 USB 连接。PD 先通过 PD 电路与任何内含 e-mark 芯片之全功能 Type-C 线缆之间的电路连通性，来学习已连接线缆的功能。e-mark 芯片可提供线缆配置信息，并允许 PD 根据 USB 设备的电流承载能力 (3A 或 5A)、性能 (USB 2.0 或 USB 3.1 Gen 1 或 Gen 2)，以及厂商识别信息 (USB Type-C 线缆 ID 功能)，来进行电路辨识及配置。

完成线缆辨识后，PD 电路及相连设备使用专用的 CC1/CC2 线来发送并且接收双相位标记编码 (BMC) 信息，然后开始进行电力传输协商。您可通过电力输送的 6 个指定固定功率特性之一，来配置 USB Type-C 设备 (参见图 2)。USB 设备在指定时间与 PD 电路沟通所需的功率特性，然后请求提供特定电平之电力，最高可达 5 A 与 20 V。USB PD 可动态地分配电力、调整电压与电流，并且为所有相连的设备建立供电与耗电角色。

	特性 0 保留		
掌上型设备，今日的外部设备	Profile 1 5V @ 2A	10W 默认激活特性	需要新的 大于 1.5 A 或大于 5 V 可侦测线缆
平板电脑、小笔电、大多数的外部设备	Profile 2 5V @ 2A, 12V @ 1.5A	18W	
笔电更薄，外部设备更大	Profile 3 5V @ 2A, 12V @ 3A	36W	
笔电、集线器、扩展槽更大	Profile 4 5V @ 2A, 12V, 20V @ 3A	60W 微型 B/AB 适配器的限制	
工作站、集线器、扩展槽	Profile 5 5V @ 2A, 12V, 20V @ 5A	100W 标准 A/B 适配器的限制	

圖 2：USB Type-C 功率特性。

借助使用 PD 来动态地控制更高电压与更大电流，USB 增加了灵活的双向充电的新功能。PD 可使用充电适配器将设备电池快速充电，此充电适配器可输出 5 V 至高达 20 V 的更高电压，以及 3 A 或 5 A 的电流，端视 Type-C 线缆及适配器类型而定。使用 CC1/CC2 线充电时，USB 设备可请求更高的电压。当某一个 USB 设备正在充电时，所有其他相连的设备必须协商所需的电力，如果有另一个设备也需要额外的电力，则可重新协商电力。经过优化设计的 PD，可提供更低的电池电压和更高的充电电流，以最大限度地缩短充电时间。PD 的双向电力传输特性使得 USB 设备能够进行充电并同时为其他设备供电。除了管理连接设备的电力之外，PD 也可管理用以支持 Type-C 交替模式的电力。

USB Type-C 可提供更高且动态可变的电力，因此设计工程师需更严格地验证并测试 PD，以符合一致性要求。除了管理对设备之双向电力传输之外，CC1/CC2 线信号还必须验证适当的协议传输，以改变电力并管理 ALT 模式，而其他 D<sub>+</sub> 及 ALT 模式信号则处于有效状态。Type-C PD 可动态地进行各种不同的电力传输配置，加上 USB 2.0、USB 3.1 Gen 1 和 Gen 2，以及 PD 一致性测试技术指标持续演进，因而带来更多的挑战，使得 Type-C 设备测试验证比传统 USB 测试更具有挑战性。

### 资料包开始 / 资料包结束

DFP	下游埠
UFP	上游埠
DRP	两用端口 可当作源极或汲极
DRD	二合一设备 可当作 DFP 或 UFP
供电端	PD 端口 (通常为主机、集线器、或壁式 DFP) 通过电源导体 (负责供电) 来传送电力
耗电端	PD 端口 (通常为设备的 UFP) 通过电源导体 (负责供电) 来汲入电力
SOP/EOP	资料包开始 / 资料包结束
VDM/VDO	厂商定义讯息 / 厂商数据对象
BIST	内置自我测试功能 用于 PHY 层的电力传输测试机制
CC	配置通道

## 测试挑战

电力传输技术指标持续演进。电源、物理层，以及协议层仍然是一致性测试的主要测试类别。设计工程师必须考虑的重要测试参数包括各种不同的电压电平、设备充电、线缆功能，以及设备供电与耗电状态的判断。确切掌握 Type-C 设备一致性测试需求，并使用可实现可靠且准确的测量的仪器与软件，您便可用经济有效的方式获致最佳结果。

### 设备供电与充电

如果 Type-C 设备要求“profile 2, 12V”等电力传输特性（参见图 2），则工程师必须验证所套用的电压与电流（或瓦特数特性）是否正确。因此他们需监测 CC 线以确认是否传输合适的协议，同时还需测量所生成的电压与电流。前述作业需监测 CC1/CC2 线（300 kHz 信号）并使用示波器加以测试，以便分析眼图。由于线缆电压会不断改变，甚至可能出现串扰，要分析和调整 CC 线码相当困难。

此外，工程师需进行全面的测试，以确保设备电池可用 20V/5A/100W 的电力快速充电，并确保安全可靠的可调适快速充电。PD 布局验证有一项重大的挑战，就是噪声、纹波及切换效应会影响直流电源完整性，传送 10 G 到 20 G 信号，其干扰更严重。您可使用示波器来测量电力传输完整性，测量项目包括：

- 供电漂移
- PARD（周期与随机扰动）— 电轨上的噪声、纹波及切换瞬态
- 静态与动态负载响应
- 可编程的电源线路响应
- 高频瞬态及噪声
- 在各种不同温度下进行产品电气验证

### 含供电端与耗电端之线缆功能

由于 PD 可提供更多功能，工程师需对 USB Type-C 线缆进行更多的测试。此外，工程师需测试每一种线缆配置场景，包含变化、双向电力传输、USB 数据传输、供电 / 耗电角色指派，以及使用的 ALT 模式。

第一个步骤是测试 e-mark 芯片接收与发射的电压电平，以便验证有源式 Type-C 线缆。接着需验证两用端口（DRP）设备是当作供电端还是耗电端，以及目前是流出还是汲入电力。需搭配使用示波器、电流探头、电源供应器及测试夹具，来测量上升时间、下降时间、电压及高低电平。

执行 PD 一致性验证时还需测试其他低速线，例如辅助总线（SB）、VBUS 及 GND。CC 线是一种成对的屏蔽线，如结合使用未屏蔽 D± 线及电位高达 100 W 之电源线时，可能会导致交互干扰。PD 会持续协商要传输给设备的电力，当设备尝试将 CC 线解码时，VBUS 和 D± 将随之改变，使得建立运作配置变得非常困难。

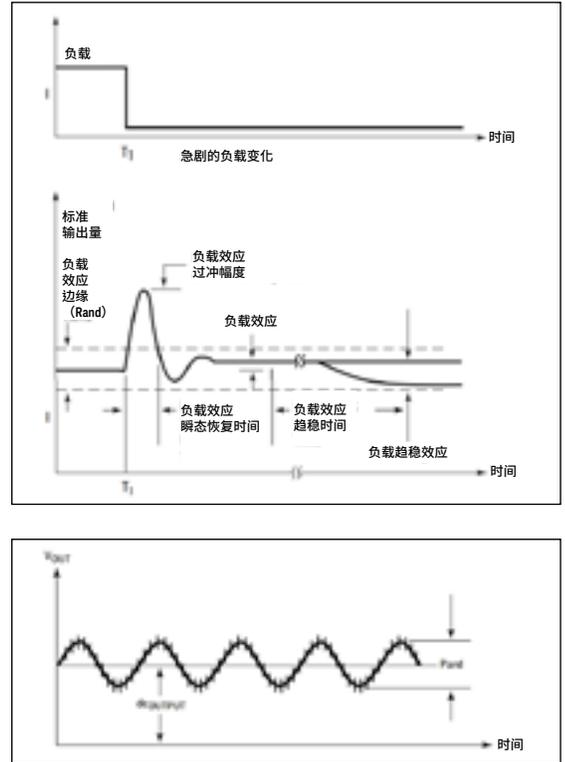


图 3：USB 电力传输之典型电源完整性测量：负载回应 PARD。

## 是德科技 Type-C 电力传输测试解决方案

典型的物理层设备测试配置包括示波器、探头、电流探头、USB PD 协议软件、coupon/测试夹具，以及 PD 控制器。

如果数据传输率达 300 kHz，我们建议使用 500 MHz 或频率更高的 Keysight Infiniium 示波器，不仅记录长度更长，同时还可捕获更完整的资料包。虽然所传送的信号主要是直流信号，但它们多半具有交流特性，因此确保示波器拥有充足带宽至关重要，以满足测试需求。分析 5V 直流供电电信号时，最好使用探头偏置来查看信号上的瞬态。如果使用直流阻隔器可能会遗漏直流与低频内容。

其他建议使用的测试器件包括：

- 两支用于 CC1/2 与 VBUS 测试的 N2873A 无源探头
- 一支用于负载电流探测的 1147B 电流探头
- 电力传输控制器及相关联的软件与 coupon
- 是德科技电源供应器和负载 USB PD 验证测试需使用信号源和负载解决方案，满足严格的转换率、瞬态响应和电源测试之各种需求。是德科技建议使用 Keysight N6752A (100 W) 或 N6786A (80 W) 高性能直流信号源模块和 N3303A 直流电子负载模块
- Keysight N7020A 电轨探头是为了分析 PD 5V、10V 或 20V 信号而特别设计，具有 2 GHz 带宽，可用来捕获非直流信号干扰。Keysight N7020A 电轨探头特性可因电轨测量的一些首要条件：
  - 1:1 低噪声衰减
  - $\pm 24V$  偏置支持高达 24V 的电轨以涵盖 PD 20V 信号
  - 50 k $\Omega$  直流输入阻抗可确保所测量的电轨具有低直流负载
  - 捕获高频噪声和瞬态所需的 2G Hz 带宽，以避免对时钟和数据抖动造成负面影响

如欲对 CC1、CC2、VBUS、SBU1、SBU2 和接地等低速信号进行测试及调试，建议使用 Keysight N7016A Type-C 低速信号接入与控制夹具。此夹具通过强制性 Type-C 线缆来连接到高速测试夹具，方便工程师从下游 USB 设备将 USB 3.1 信号分接出来，以进行系统诊断和控制。另外还可使用高阻抗无源探头来探测信号，以进行深入的信号分析。

如需使用 SOP、SOP prime 和 SOP 双主协议解码，在整条 PD 线中进行沟通的实时协议触发解码工具，以便对 PD 线进行调试，是德科技提供适用于 Infiniium 系列示波器的 N8837A USB-PD 协议触发和解码软件。专为 USB 电力传输设计的 USB-PD 协议软件，能让您以简单的方式对经过 Type-CCC BMC 编码的 300 kHz 信号进行调试。此软件可为是德科技示波器提供协议级调试信息。它还包括增强型串行分析功能，可用来解码与列表窗口画面、搜寻软件，并搜寻触发。



## 结语

USB 3.1 和 Type-C 技术指标为 USB 装置设计带来许多前所未有的挑战。尽早在开发阶段验证 USB 发射机、接收机和通道设计的标准一致性，有助于加快装置的设计，并且避免代价高昂的重新设计。确定所使用的仿真软件包含与仪器用于装置验证测试之测量软件相同的测量科学，可节省时间并避免获得有问题的测量结果。

Keysight Type-C 解决方案内含软件、仪器和测试夹具，是专为此通用接口之标准测试而量身打造的完备解决方案。无论您专精于设计或是验证领域，我们的解决方案都可协助您加速完成调试、表征，及最后的一致性测试。

## 第七章

# 轻松测试 USB Type-C™ Alt 模式和在此模式下执行的标准

## Keysight Type-C 解决方案：更快完成一致性测试的快捷方式

### 概述

USB Type-C™ 是具突破性的连通性标准，专为更轻薄短小的新一代计算机和终端而设计，满足高速数据、高电力传输的技术需求，并且提供更高的灵活性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连通性、实现电源管理，并确保有效的数据传输。USB Type-C 连通接口提供下列功能：

- 支持 USB 2.0 和其他协议的动态电力和数据传输
- 符合新一代和未来设备的重要接口技术指标
- 具备向下兼容性
- 正反可插，方便易用

随着 USB Type-C 的问世，设计和测试工程师正面临着形形色色的挑战，不仅要 USB Type-C 与他们的产品集成，同时还要确保互操作性与测试一致性。然而，USB Type-C 一致性测试标准正与日俱增。不仅如此，数据传输速度和电力传输需求的不断提高，加上其他功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖精准且符合标准的测试仪器、软件和测试夹具，来确保成功的测试。

是德科技针对 USB Type-C 设计与测试挑战和解决方案提供五个系列的应用说明，本文为其中之一，主要探讨以下主题：

- 传输线和连接器
- 电力传输
- 发射 / 接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

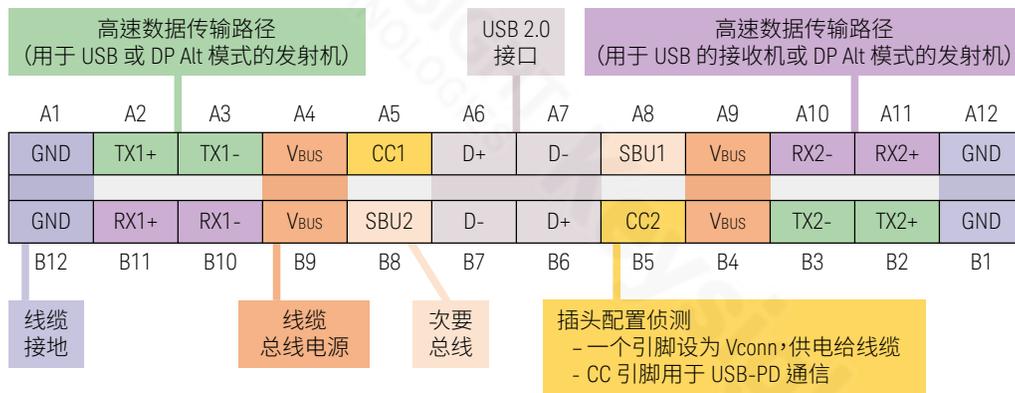


图 1：USB Type-C 引脚图。注意，此对称接口是可正反插拔的结构。

## Type-C 交替 (Alt) 模式

创新的 USB Type-C 连接器及全新功能已吸引了许多协议标准组织的注意力。Thunderbolt、DisplayPort (DP) 和移动高清链接技术 (MHL) 等组织，已将 USB Type-C 当作下一代接口连通性标准。USB Type-C 通过使用电力传输和交替 (Alt) 模式来支持交替 (Alt) 协议。利用 Alt 模式，USB Type-C 可在收发 USB 数据时，还能同时收发其他协议，并且提供 USB 2.0 数据传输，以及更高的双向充电功能，以便支持更多不同类型的设备。Alt 模式可用于电力传输电路，收发独有的数据信号和更多电力，因此 Type-C 连通性也可用于许多非 USB 设备的连通性和控制。本测量简介主要将以 DisplayPort 作为 Alt 模式的范例应用，并集中探讨相关的挑战和解决方案。

### Alt 模式运作原理

建立了初始的端对端 USB Type-C 连通性后，设备会侦测线缆的连通性方向，并且确定供电端 / 耗电端的功用，接着 USB Type-C 电力传输电路便开始协商并且管理所有连通性设备的电力。电力传输协商让设备能够指定所需的电力，并且针对不同的功能，提出调整电力的要求。在协商和发现过程中，设备可请求使用 Alt 模式，以满足协议的特殊需求。使用交替数据协议时，可通过重新配置 USB Type-C 线缆的引脚来传输非 USB 数据。

Type-C 连通性协议可将 8 个引脚配置为 4 个数据通道 (TX1±、RX1±、TX2±、RX2±)，这些通道可载送 USB 3.1、DisplayPort 信号、或任何交替协议。针对这四个高速 Tx/Rx 通道，两个 sideband 引脚 (SBU1 和 SBU2)，以及 CC1 或 CC2，都可用于 Alt 模式传输。D± 引脚固定保留给 USB 2.0 数据传输使用，而未使用的 CC1/CC2 引脚则可对有源线缆供电。您可通过电力传输电路，使用电压电平信息并经由相连的配置通道 (CC1/CC2)，来配置交替协议模式。Alt 模式具绝佳的灵活性，可让设备与电力传输 CC1/CC2 通道连通，进而动态地重新指定 USB Type-C 引脚功能。举例而言，设备激活时可以是 USB 3.1，然后再切换到 DisplayPort 1.3。



图 2：用于交替 (Alt) 模式的引脚。

在 Alt 模式下，SBU 线进入运作状态。下表显示用于不同 Alt 模式技术的 SBU 线功能。

USB 交替协议与 USB Type-C 连接协议的搭配运用，最大限度地简化了消费者的设备互连操作。然而，在设计、集成及验证支持交替协议、USB 数据传输和动态电力传输的设备时，工程师需要进行更彻底的表征及更严格的一致性测试规画。

Alt 模式技术	SBU 线功能
DisplayPort	AUX ±
MHL	e-CBUS-1、e-CBUS-2 (连结发现、管理、时钟)
Thunderbolt	低速 Rx 和 Tx 线 (LSRX、LSTX)

## USB Type-C Alt 模式测试挑战

设计和验证采用交替协议的 USB Type-C 设备时，所需执行的测试项目，远远超过验证 USB Type-C 一致性时所需执行的测试。

主要的 Alt 模式测试挑战包含：

- **测试并验证电力传输 CC1/CC2 线，以便发现并配置 Alt 模式协议—以 DisplayPort 为例：**  
将 DisplayPort AUX 线连接到 SBU1/2，并以资料包形式将热插入侦测新增到电力传输 CC1/CC2 线，该资料包将转为指令。由于无法轻易变更热插入侦测资料包的内容，因此我们很难通过执行自动化指令来仿真并验证典型的 DisplayPort 设置。这类测试必须控制传递到电力传输 CC1/CC2 线的信息。
- **测试 Alt 模式技术指标：**  
除了 USB Type-C 技术指标之外，工程师还须验证 DisplayPort、MHL 或 Thunderbolt 等特定交替协议之测试技术指标。就 Alt 模式而言，要测试其初始化和控制是极为困难的任務，因为必须在许多不同场景下全面地测试各种初始化状态、传输、功率电平和其他动态参数。举例而言，DisplayPort 技术指标便需针对码型、测试点、电平和预加强（pre-emphasis）等各种不同配置进行测试。
- **测试 Alt 模式线缆组件—以 DisplayPort 为例：**  
如果在产品中同时集成 USB Type-C 和 DisplayPort，工程师还需确保互操作性并实现一致性测试，其挑战性相当高。为了确保正确的测量，工程师必须管理阻抗值各不相同的 USB Type-C (85 Ω) 和 DisplayPort (100 Ω)。另外，DisplayPort 1.3 技术指标还新增了信号发送率，将最大比特传输率提高到每通道 8.1 Gbps。随着数据速率提升了 50%，测量时将出现更大的损耗、反射和串扰影响。为了确保测量不受测试环境（例如测试夹具）影响，必须以更严密的方法移除夹具效应。

为了在有限时间内成功测试 USB Type-C 和 Alt 模式，工程师需借助专业仪器、软件和解决方案来达成目标。

## 是德科技解决方案

Alt 模式与 USB Type-C 的结合，使得 USB 设备的验证和一致性测试需求倍增。如未使用 Type-C 设备所需的测试仪器、测试夹具和软件，则工程师很难进行测试开发工作，尤其随着标准演进，其难度将更进一步升高。通过使用专为这类艰巨任务而设计的产品和解决方案，工程师可节省时间和经费，并获得可靠的结果。

### 使用 USB Type-C 连接器来验证并测试 DisplayPort 传输

是德科技的 DisplayPort 传输测试和验证解决方案使用参考同步、N7015A 和 N7016A 测试夹具，以及电力传输控制器。这种配置先通过 DisplayPort 协议与设备进行通信，然后再切换成 Type-C，而被测设备可通过设置比特率、电平预加强等等来加以控制。此测试包括针对所有 DisplayPort 模式和条件，设置 AUX 通道控制。



图 3：是德科技 Alt 模式（DisplayPort）传输测试解决方案。

## 发射机测试解决方案

是德科技建议的 DisplayPort Tx 验证测试解决方案内含 Keysight DSO V 系列 Infiniium 实时示波器、U7232D DisplayPort 一致性测试软件，以及 N7015A/N7016A TPA 夹具（参见图 3）。此解决方案可对设备传送的信号、去嵌入夹具，以及嵌入式线缆进行数学处理（参见图 4）。它还可根据所需技术指标，以及适用最高比特率的决策回馈均衡器（DFE）来进行连续时间线性等化处理（CTLE）。此解决方案可捕获 DisplayPort 测量结果，以用于各种不同的码型、测试点、电平和预加强配置。这套灵活的软件能让您在调试模式下变更参数值。一旦定义了测试之后，便可轮流在各种场景下自动进行测试。

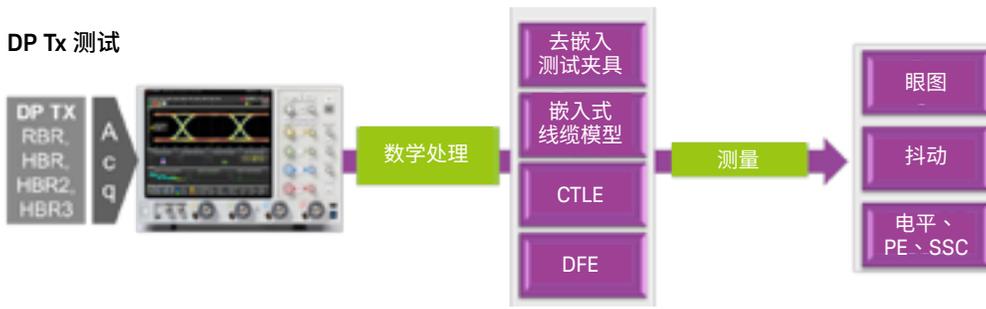


图 4：是德科技的 DP 发射机测试解决方案可对设备传送的信号、去嵌入夹具，以及嵌入式线缆进行数学处理。

- Keysight DSA V 系列 Infiniium 示波器
  - 16 GHz，具等化功能
  - 用于眼图与抖动测量的抖动和去嵌入软件
- U7232D DisplayPort 1.3 一致性测试与验证软件
  - 这套软件可在测试流程中逐步引导用户，以便将测试配置错误降到最低，并完整执行 DisplayPort 1.3 一致性测试技术指标指定的各项测试。此外，通过这套软件方便易用，能让您生成测试报告以传递相关信息。其他的相关测试还包含浪涌电流与辅助通道物理层测试。
- Keysight N7015A 和 N7016A Type-C 测试夹具可用于测试点连接器（参见图 5）
  - Keysight N7015A Type-C 高速测试夹具（与 Infiniium 示波器搭配使用）提供最佳的信号完备性、20 GHz 带宽（-3dB），并提供高达 30 GHz 的去嵌入带宽，可进行 USB 3.1 10 Gbps、DisplayPort 1.3 和 Thunderbolt 3 的信号验证和调试，以便支持 Type-C 连接器。此测试夹具还可对设备和主机（上游和下游）端口进行信号接入及探测，有助于接入所有四对 Tx/Rx 以及 Alt 模式的 SBU 信号。
  - Keysight N7016A Type-C 低速信号接入和控制夹具可管理 N7015A Type-C 高速测试夹具的电源线和控制线，以符合端接要求、支持测试配置，并连接至电力传输控制器。此测试夹具是实现电力传输协议调试、信号接入及表征的实用工具。
  - Keysight N7016A 可连接至 N7015A Type-C 高速测试夹具，以便接入 CC1、CC2、 $V_{BUS}$ 、SBU1、SBU2 和接地等 USB 3.1 信号，以便进行系统控制和诊断。它可同时反转电子连通性（改变有源 USB 3.1 高速端口），并分接  $V_{BUS}$  信号，以便驱动功率控制器或外部供应器。另外还可以加载  $V_{Conn}$  信号以便仿真系统环境。

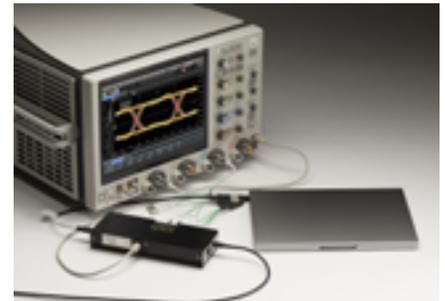


图 5：Keysight N7015A/N7016A Type-C 测试夹具。

## 接收机测试解决方案

是德科技 DisplayPort 接收机测试解决方案包括：

- Keysight M8020A 高性能串行 J-BERT，用于控制电平、添加抖动、加入串扰，并进行校准
- Keysight N5990A 自动化一致性测试和设备表征软件，用于串行和多通道千兆比特 (gigabit) 测试
  - 包含测试序列发生器和必要的仪器控制功能
  - 是德科技合作伙伴 BitifEye Digital Test Solutions 专精于测试自动化技术，并提供基于 N5990A Rx 一致性测试软件和是德科技仪器产品组合的定制化和集成解决方案

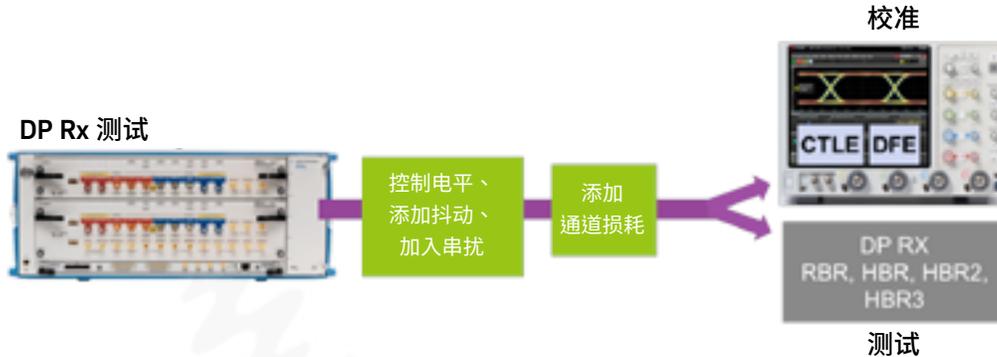


图 6：集成了 DisplayPort 的 Type-C Tx 和 Rx 测试解决方案。

## 是德科技解决方案适用于 ALT 模式 (DisplayPort) 线缆组件测量 管理不同的阻抗环境

首要挑战在于管理 USB Type-C 的 85  $\Omega$  和 DisplayPort 的 100  $\Omega$  等不同阻抗环境。在非 50  $\Omega$  环境中进行要测量和校准可能十分困难或难以掌控。因此，应在 50  $\Omega$  环境中完成测量和校准（使用传统的校准组件和技术），而且结果需重新进行正规化，以得到想要的阻抗值。Keysight E5071C ENA 选件 TDR 的端口参考阻抗转换功能，可用来将 USB Type-C 端口重新正规化至 85  $\Omega$ 。

### 移除测量中的测试夹具效应

测试夹具需用来将测试设备连接到线缆组件。在 8.1 Gbps 数据速率下，移除夹具效应是一个重要的任务，如此方能确保充足的良率。建议采用「2x thru 去嵌入」法。执行 2x thru 去嵌入时，可利用电子校准 (Ecal) 模块进行完整校准，以便在测试线缆末端建立校准参考平面。接着，将夹具导线的 S 参数去嵌入，使得参考平面扩展到 USB 连接器的边缘，以便有效移除测量中的测试夹具效应。此去嵌入法的关键在于夹具导线的 S 参数质量。建议采用自动测试夹具移除 (AFR) 功能来获得这些 S 参数。Keysight N1930B 物理层测试系统 (PLTS) 软件提供这项 AFR 功能。您可通过简易的三步骤程序来获得高精度的 S 参数。

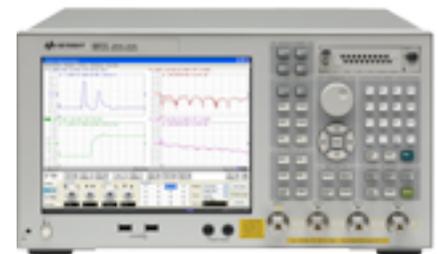


图 7：Keysight E5071C ENA 选件 TDR。

## 结语

进行 USB Type-C 交替模式的一致性测试时，工程师需对每一个设备进行各式各样的测试。藉由使用最佳的仪器、测试夹具和软件，您便可从容地应付大量的测试，同时还可简化测试配置、让信号生成和测量结果更为精准，并且在可能的情况下，将测试自动化，以得到稳定可靠的结果并缩短整体测试时间。Keysight Type C 一致性测试解决方案提供支持完整测试的通用平台 — 包含软件、仪器与测试夹具。无论您是从事设计或验证，我们的方案将加速从调试、表征、一致性测试，一直到完成的整个过程。

## 第八章

# Type C 测试夹具卓越的信号完整性确保出色的一致性测试结果

### 简介

一致性测试的目的是通过测试结果验证器件运行是否符合预期：使用任意支持的速度和支持的任意类型控制器、在集线器环境中以及在总线加载其他器件时，器件运行没有任何问题。您必须确认器件符合所有测试标准要求。要获得出色的高速串行总线测试结果，您需要卓越的测试夹具，例如可以提供高信号完整性的 Keysight N7015A 高速 Type C 测试夹具。您也可以去嵌入夹具效应，以保持信号完整性。

### 高信号完整性测试夹具的重要性

在高速串行总线一致性测试中，测试夹具可以在被测器件与示波器等测量 / 分析设备之间建立连接，使测试设备得以接入发射机或接收机的测量点，完成一致性测试。并且，测试夹具可以用于验证一致性测试系统和元件符合物理层测试标准。总之，测试夹具是实现高质量一致性测试的关键元件，因为它的特征（例如可靠性和可复验性）通常会影响电气信号质量测试的技术指标裕量。图 1 显示的是连接被测器件与示波器的 Keysight N27015A 测试夹具。

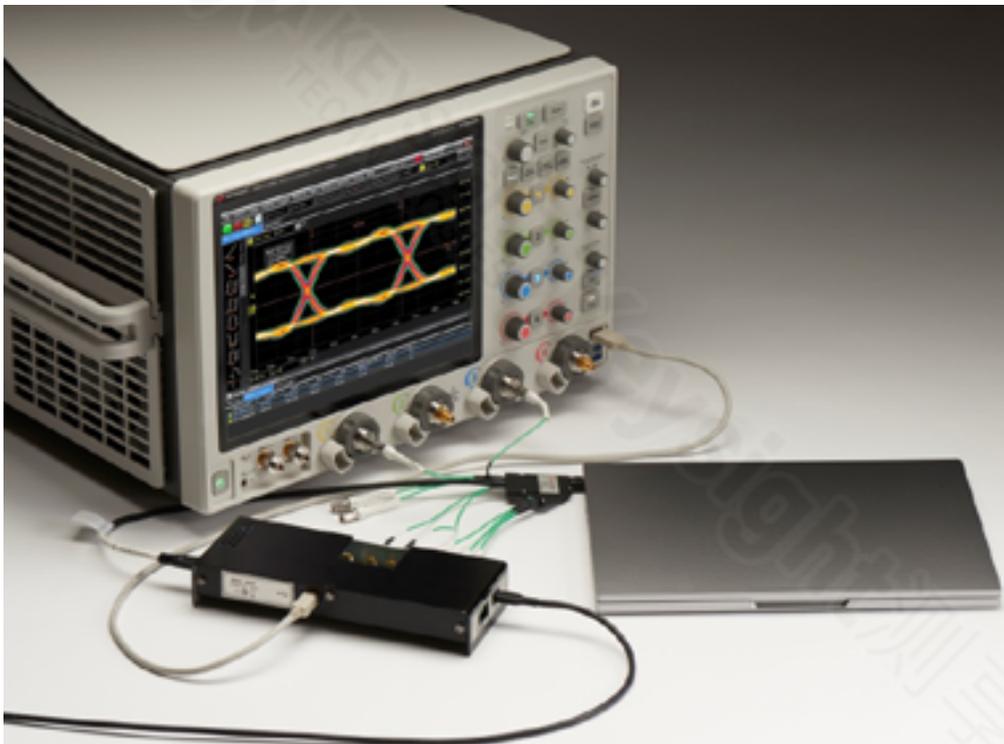


图 1：测试夹具为被测器件与测量 / 分析设备提供接口。

## USB 3.1 Type C 测试

新的 USB 3.1 标准（增强超高速 USB）定义了高达 10 Gbps 的数据传输速率，是 USB 3.0 的两倍，USB 2.0 的 20 倍。数据速率的提升带来了 Type C 测试夹具等新的消费类电子产品测试挑战。新的 Type C 连接可以同时传输 USB 3.1 Gen 2 信号、高达 4k 分辨率的 DisplayPort 信号，处理高达 100 W 的电气功率。USB Type C 接口因此开始取代其他 USB 连接器。USB Type C 端口支持众多使用交替模式的不同协议，可以让用户在单一 USB 端口上使用能够输出 HDMI、VGA、DisplayPort 信号的适配器，或者其他类型的连接。

## 信号完整性的重要性

数据速率提升意味着测试夹具和电流导致的信号损耗将增加。要保持出色的测量精度，您可以在高速一致性测试中应用去嵌入技术，以去除测量中的测试夹具和电缆效应，从而获得真实的被测器件性能。完成去嵌入需要通过 S 参数测量表征夹具。结合去嵌入技术和极低信号损耗的测试夹具能够改善信号保真度。

高插入损耗也会影响测试裕量，导致意外的测试不合格。N7015A 等高质量测试夹具可以解决插入损耗问题。电缆损耗也是不容忽视的问题。所有电缆都会产生损耗，限制测试系统的性能。电缆导致的信号损耗量取决于电缆的质量和损耗技术指标。电缆长度增加也会增大信号损耗。因此，您需要尽可能选择高质量电缆并缩短电缆长度。图 2 显示了插入损耗与测试夹具质量的关系。



图 2：插入损耗可以帮助确定测试夹具的质量。

## 去嵌入测试夹具效应

执行一致性测试时，被测器件输出的测试信号需要经过电缆或测试夹具等器件才能进入测量设备。因此，被测信号实际是添加了测试夹具和电缆效应的被测器件信号。使用 Keysight InfiniiSim 去嵌入软件，您可以隔离被测器件，单独测量其性能。图 3 是 PRBS 信号眼图模板测量实例。信号路径中的电缆和测试夹具已通过去嵌入移除。去嵌入电缆和夹具需要测量每个电缆对和夹具的 S 参数，并预先载入到 InfiniiSim 软件中。然后，InfiniiSim 软件分析测量结果和仿真电路，并生成校正传递函数。将传递函数应用到测得波形 ( $V_{\text{测量}}$ )，示波器显示屏将显示需要的仿真波形 ( $V_{\text{仿真}}$ )。

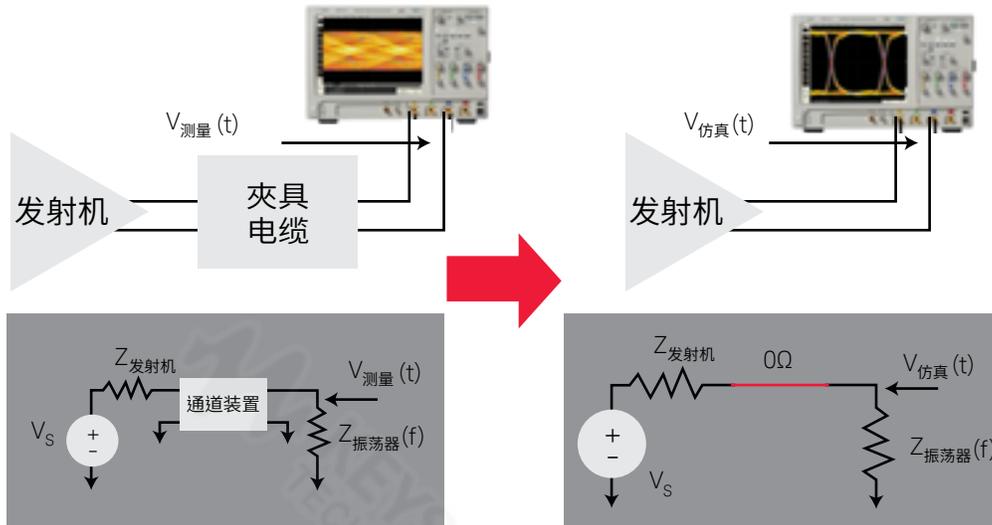


图 3：Keysight's InfiniiSim 等去嵌入软件可以帮助从被测信号中提取被测器件信号。

下面三幅图显示的是去嵌入前后测试夹具对信号的影响。图 4 为 J-BERT 输出并直接进入 33 GHz Keysight V 系列 Infiniium 示波器的 13.5 Gbps PRBS 信号实例。

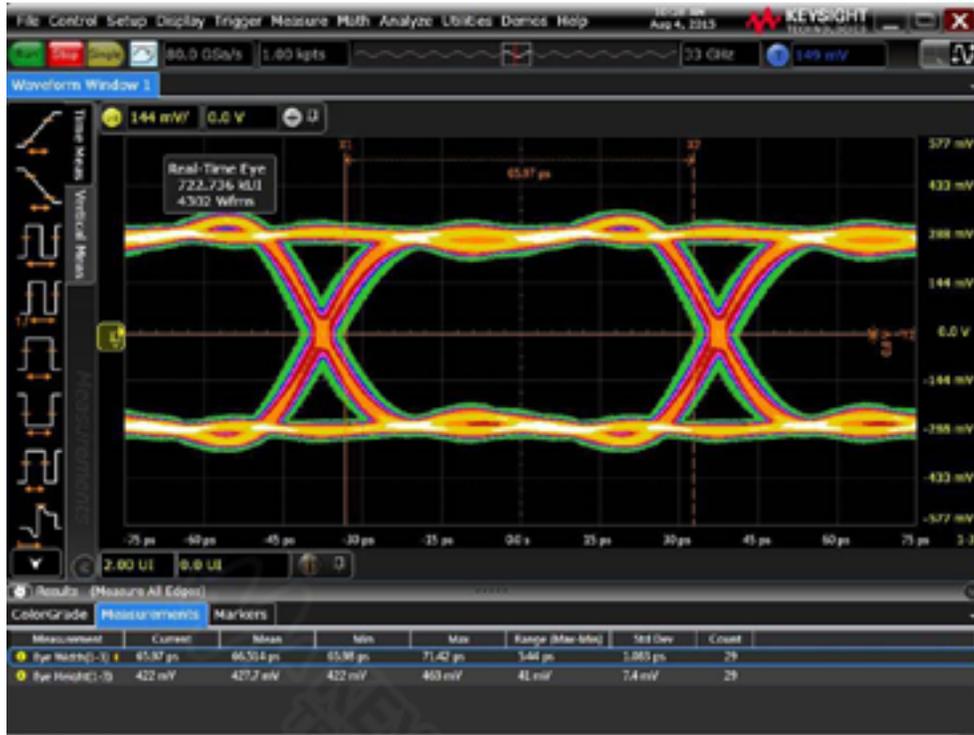


图 4：J-BERT 输出并直接进入 33 GHz Keysight Infiniium 示波器的 13.5 Gbps PRBS 信号。

图 5 是经过 Keysight N7015A 高速测试夹具的信号，夹具用于连接信号源（BERT）和示波器。注意明显变差的上升 / 下降时间和闭合眼图。

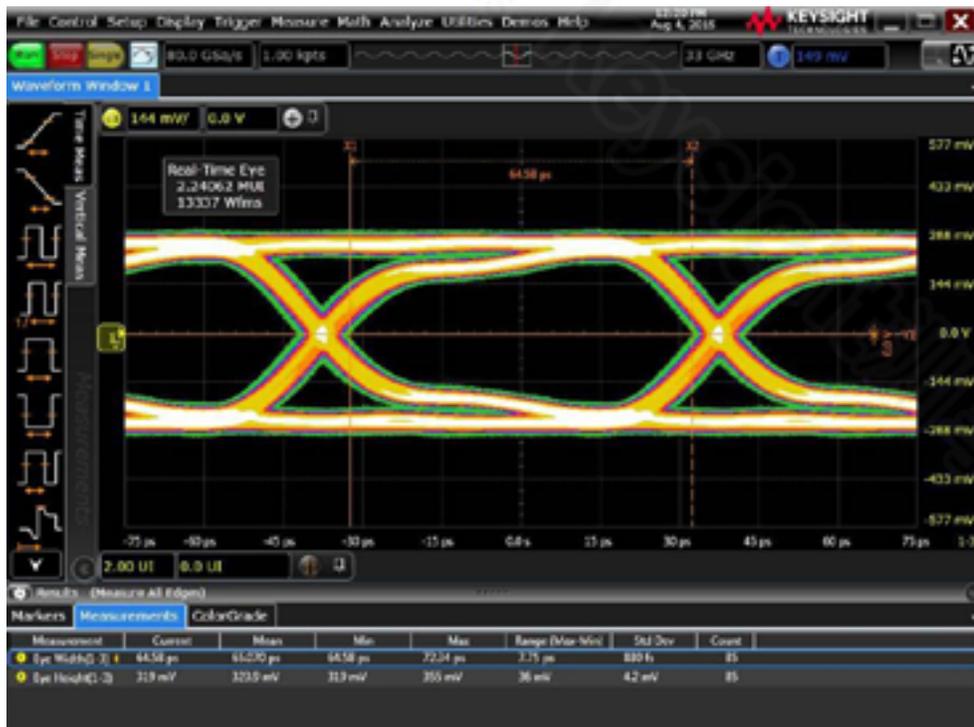


图 5：注意，插入夹具和电缆后，上升 / 下降时间受到明显影响，并且出现闭合眼图。

图 6 显示的是使用 Keysight InfiniiSim 去嵌入功能的信号测量结果，软件校正了测试夹具和 1 米同轴电缆的损耗。您可以看到，去嵌入夹具效应后信号几乎完全恢复。

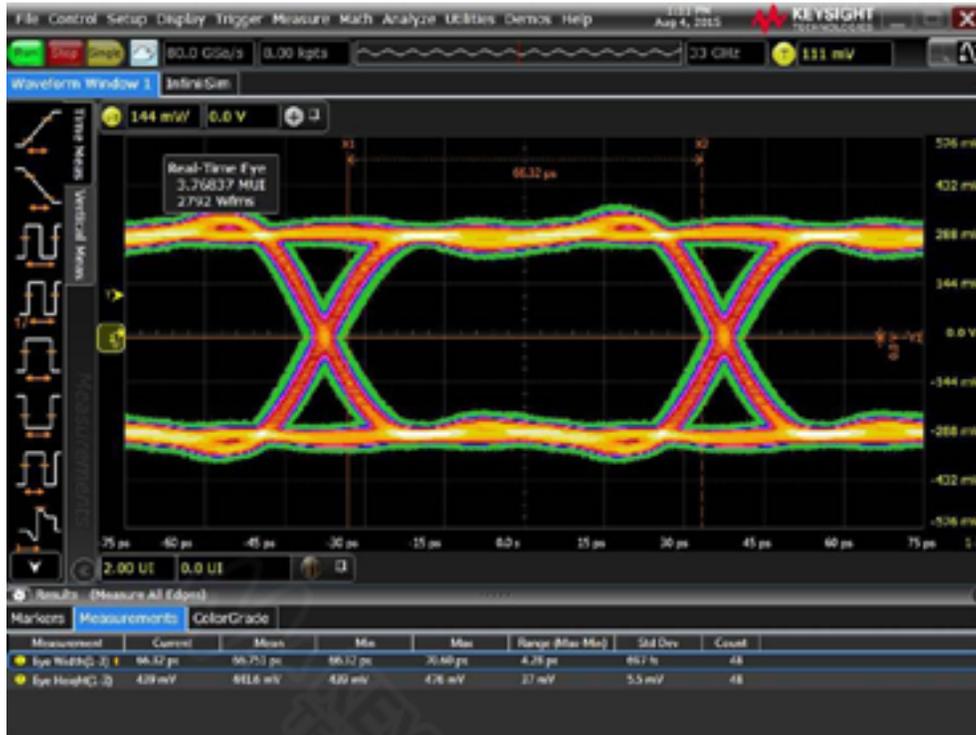


图 6：去嵌入夹具 / 电缆效应后信号几乎完全恢复。

## 总结

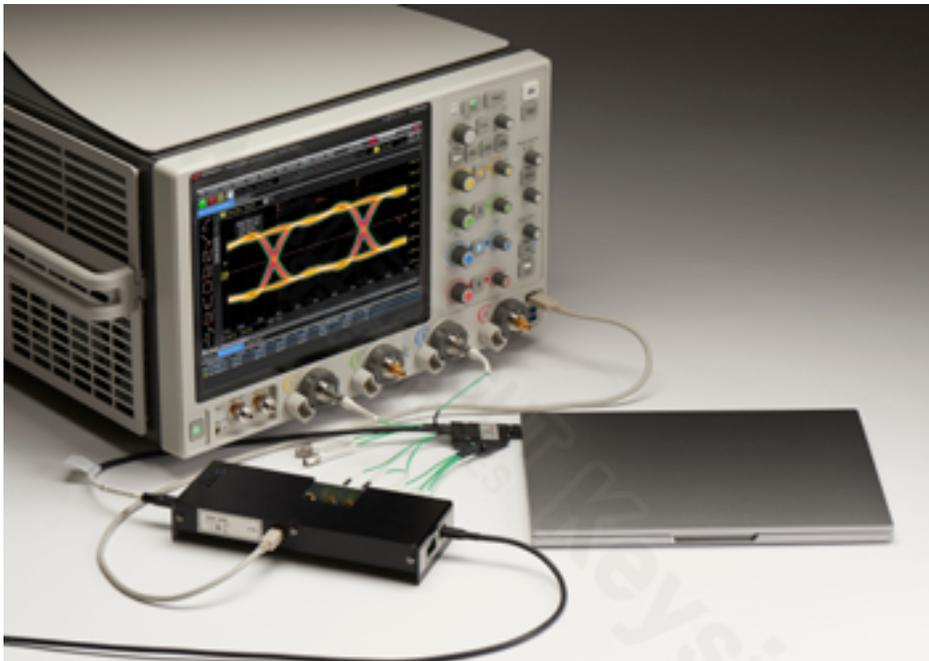
高质量的一致性测试必须要借助优质测试夹具才能实现，因为插入损耗等测试夹具特征会影响技术指标裕量，甚至有可能导致电气信号质量测试不合格，所以您需要一个在去嵌入之前和之后都能够保证信号完整性的解决方案。使用 Keysight N7015A 高速 Type C 测试夹具和 InfiniiSim 去嵌入软件，您能够保证更高的裕量和更精确的测量结果。

## 第九章

### N7015A 和 N7016A Type-C 测试夹具

#### 业内信号完整性最高的 Type-C 测试夹具

- 20 GHz 带宽（-3 dB 时），去嵌入带宽高达 30 GHz
- 可对 USB 3.1、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 2/3 进行信号验证和调试
- 具有用于发射机和电力传输测量的测试点和探测点
- 提供可充分借助是德科技全系列一致性测试应用程序的器件
- 兼容 Keysight Infiniium 90000 X 系列、V 系列、Z 系列和已停产的 Q 系列示波器



Keysight 测试社区

## 业内信号完整性最高的测试夹具

### 以最佳信号完整性实现最准确的测量结果

Keysight N7015A Type-C 高速测试夹具提供业内领先的高达 30 GHz 的去嵌入带宽性能，让您能够对 USB 3.1 Gen 2 设计和其他高速信号标准进行信号验证和调试，以便支持 Type-C 连接器。

Keysight N7015A Type-C 高速测试夹具提供 4 个连通至示波器的高速信号差分通道，并对次要测试夹具（N7016A Type-C 低速信号接入与控制夹具）发送低速的电源线和控制线信号，以进行监控。这个灵活的夹具套件可为 USB 3.1 Type-C 设计（的上行和下行）端口提供信号接入和探测。N7016A 低速夹具可管理 N7015A 的电源线和控制线，支持端接要求和测试配置，以及到功率输出控制器的连通性。

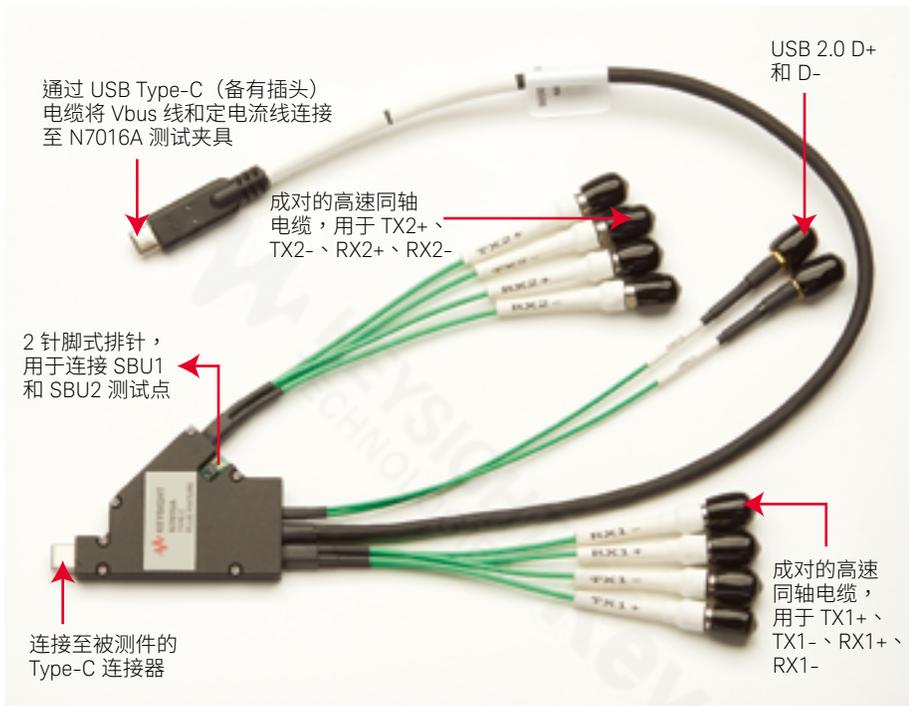


图 1：Keysight N7015A Type-C 高速测试夹具。

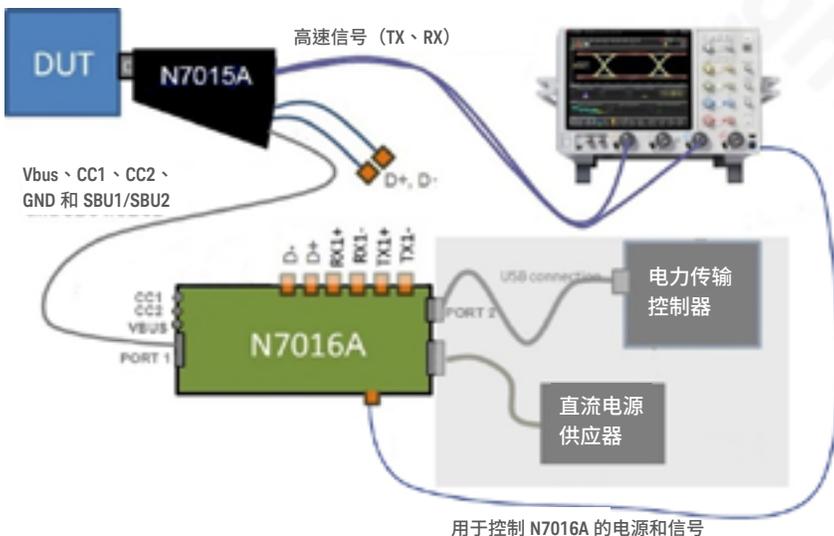


图 2：用于 Type-C 连接器的高级测试配置。

随着数据速率提升，测试夹具和电缆连接效应成了测试期间主要的信号损耗来源，严重时甚至可能会影响到元器件性能测量的准确度。为了在高速一致性测试中进行准确的信号表征，您可使用去嵌入技术消除测试夹具对测量造成的效应，以便观察实际的 DUT 性能。若是将通道（本例为测试夹具）设计成具有最小损耗，并凭此测量 S 参数，彻底分析测试夹具的特性，则可获得最佳性能并克服损耗带来的问题。Keysight N7015A 以提供最佳信号完整性为设计宗旨，是德科技另外还提供了 S 参数模型，可与 Keysight Infiniium 基础软件和业内最完整的 USB、DisplayPort 和 Thunderbolt 等一致性测试应用软件配合使用。

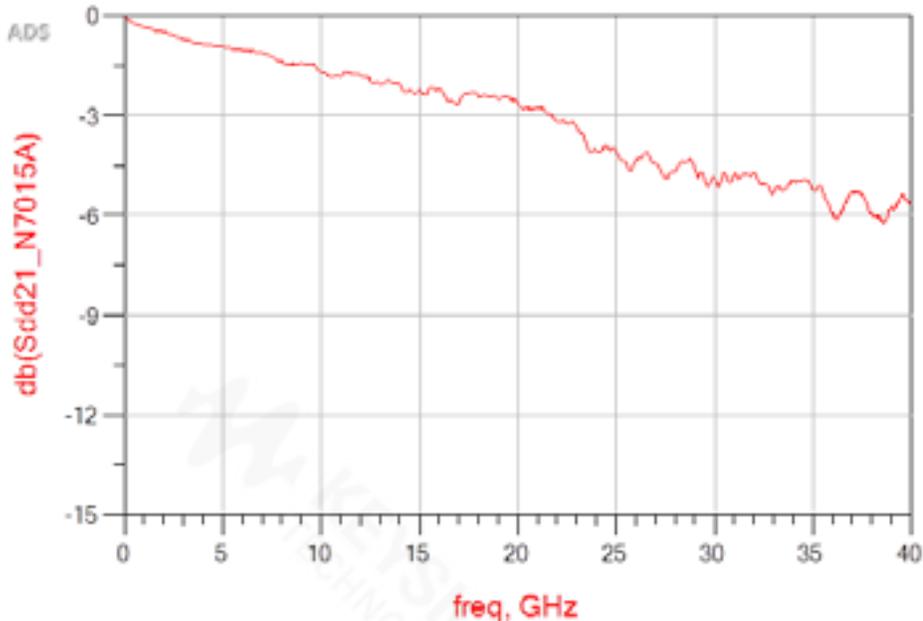


图 3：Keysight N7015A 插入损耗（-3 dB 时 22 GHz）。

### 稳健高效的解决方案保护您的投资

如与 Keysight N7016A 搭配使用，您可以將 N7015A 测试夹具的接头反转，最高可反转 180 度并进行测试，不会因而导致任何损坏或错误。这样的独特设计使得两个测试夹具可以并排摆放或上下迭放。无论是采并排或迭放方式来进行连接，这些测试夹具都可满足技术指标要求的最小间隔。坚固耐用的测试夹具设计，确保您可在有源测试环境中高效进行多次连接和拆卸。

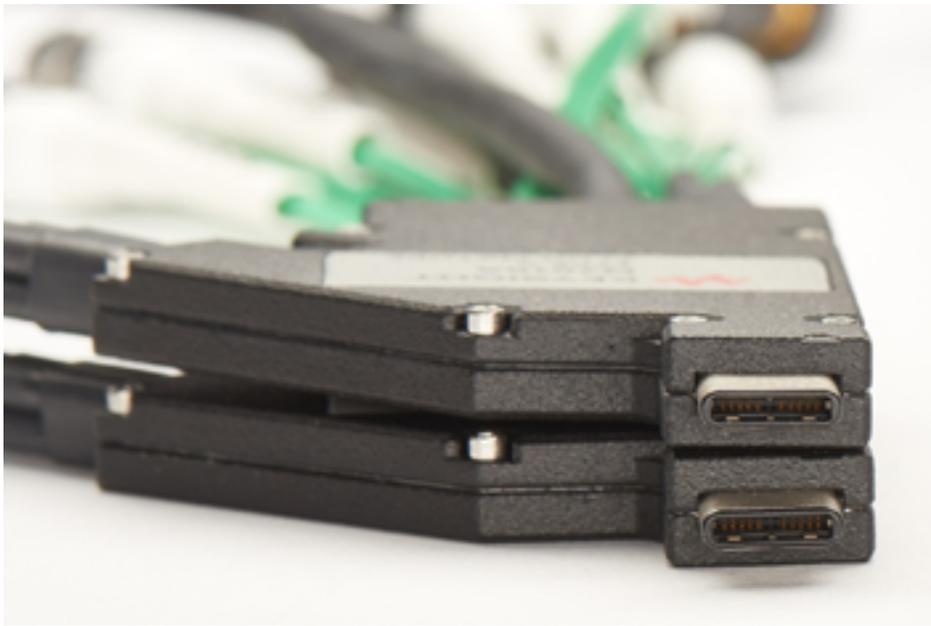


图 4：Keysight N7015A 的设计允许您将两个夹具上下迭放。



图 5：Keysight N7015A 的设计让您能将两个夹具并排摆放。

### Keysight N7016A Type-C 低速测试夹具，用于电源与控制信号分析

夹具可经由 Type-C 电缆，连接到 N7015A，以便传输 CC1、CC2、SBU1、SBU2、Vbus 和接地信号。如此便可接入来自 USB 设备的 Type-C 信号，以便用于系统诊断和控制。除此之外，您还可使用高阻抗无源探头，探测信号分析所需的 CC1、CC2 和 Vbus 信号。N7016A 可针对纯电缆连通性提供端接控制，也可用来仿真上行或下行设备。它还可通过电子方式（即变更 USB 3.1 供电）提供反转连通性并且分接 Vbus 信号，以便借助电源控制器或外部电源进行驱动。另外您还可加载 VConn 以进行系统环境仿真。

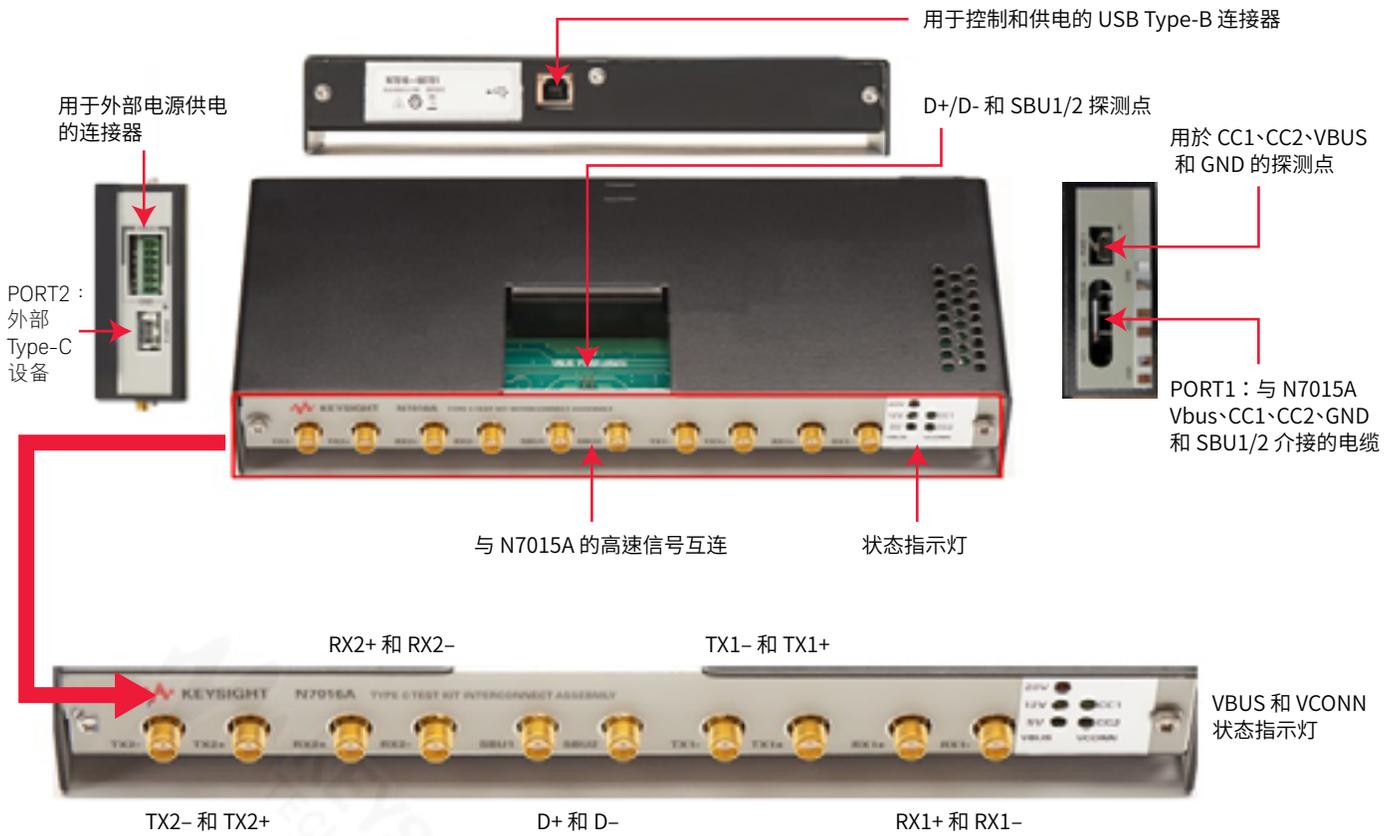


图 6 : Keysight N7016A Type-C 低速测试夹具。



图 7 : 您可以使用是德科技无源探头轻易地探测 N7016A 的 CC1、CC2 和 Vbus 信号。



图 8：使用附有 Keysight InfiniiMax I/II 探头放大器的 E2678B 插座接头来探测 D+/D- 信号。



图 9：使用外部电源供应器为 USB 装置提供额外的电源（高达 5 A、20 V）。Keysight N7016A 组件内含电源供电插头连接器。

Keysight N7016A Type-C 低速测试夹具需要安装软件控制器才能操作。您可将 N7016A 随附的免费控制器软件安装于 PC 或是 Infiniium 示波器，以便于使用。请访问是德科技网站下载此控制器软件：<http://www.keysight.com/main/software.jsp?ckey=2674876&lc=eng&cc=US&nid=-33524.1140138&id=2674876>。

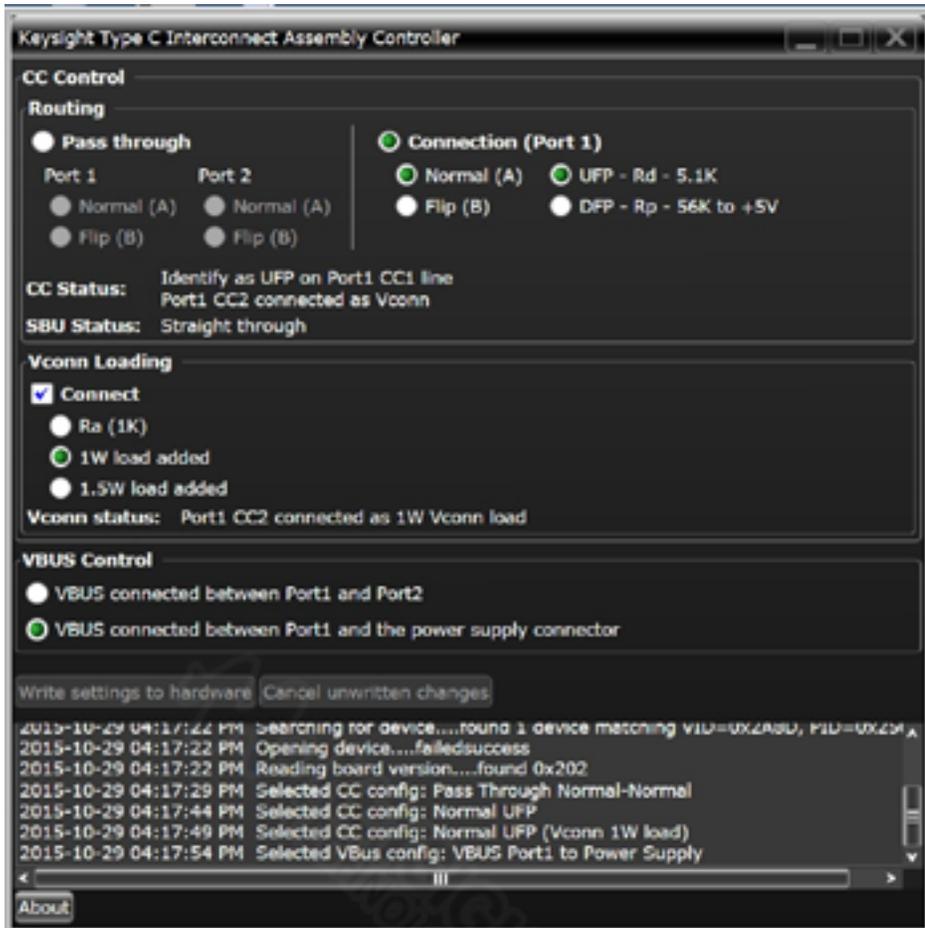


图 10：此控制器软件能让您通过互连器件连接有或无负载的电流线和 Vbus。

## 借助可配置的系统，缩短测试时间

Keysight N7015A/N7016A Type-C 测试夹具解决方案也可以是附有其他厂商电力传输控制器的全自动电力传输管理系统。

## 环境与安全特性

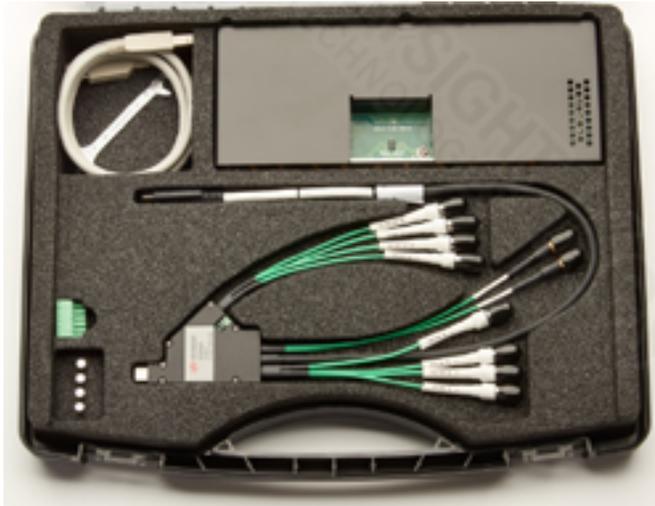
温度	操作状态：0 至 +55 °C 非操作状态：-40 至 +70 °C
湿度	操作状态：在 +40 °C 或更低温度时，相对湿度高达 95%；在 +65 °C 时，相对湿度高达 80% 非操作状态：在 65 °C 时，相对湿度高达 90%
海拔高度	操作状态：最高 4,600 公尺 (15,000 呎) 非操作状态：4,600 公尺
安规	IEC 61010-1:2010 / EN 61010-1:2010 (第 3 版)

## 订购信息

型号	说明
N7015A	Type-C 高速测试夹具，含扳手
N7015A-016	N7016A 低速信号连接与控制夹具（购买 N7015A 时一并添购可享折扣）
N7016A	Type-C 低速信号连接与控制夹具，含 USB 电缆、替换用保险丝（4 个）、及电源插头连接器

## 其他建议使用的探头和附件

型号	说明
1130A	InfiniiMax 1130A 1.5 GHz 探头放大器
E2678B	用于 InfiniiMax I/II 放大器的插座探头
N2871A	200 MHz 10:1 无源探头
N1021-60003	1 公尺相位匹配的成对 2.92 mm 电缆，2.92 mm（阳头）至 2.92 mm（阳头）
11904B	用于连接 2.4 mm（阳头）至 2.92 mm（阳头）的测试连接器
11742A	隔直电容器
83059B	同轴连接器保护适配器，3.5 mm（阴头）至 3.5 mm（阴头）
N2787A	3D 探头定位器
8710-1765	扭力扳手，8 磅，5/16 吋（用于将 N7015A 连接至示波器输入端）



Keysight 测量社区

## 第十章

# USB-PD 协议触发与解码，适用于 Infiniium 系列示波器

## 轻松调试并测试包含 USB-PD 协议的 USB-PD

新问世的 USB Type-C 连接器亦包括 USB-PD 增强功能。Type-C 连接器的 CC 线是单端、BMC 编码、4b/5b 信号，适用于电力传输（PD）协商。USB-PD 负责协商功率电平、元器件类型、连接器方向、充电基础设施，以及其他功能，如 ALT 模式。

USB-PD CC 线等串行总线常见于当今的电子设计。在许多设计中，串行总线提供丰富的数据点，以用于调试和测试。由于这些协议以串行方式传送比特数据，故使用传统的示波器会有一些限制。为符合协议要求而以手动方式转换采集到的 1 和 0，是十分耗费体力的操作。再者，传统示波器的触发功能并不足以用来指定协议级条件。

现在您可使用 Keysight N8837A USB-PD 协议触发与解码应用软件来拓展示波器功能。此应用软件让您能借助 Keysight Infiniium 示波器，轻松地对采用 USB-PD USB 协议的设计进行调试与测试。

- 只需短短 30 秒即可完成示波器设置，以显示 USB-PD 协议解码结果
- 提供一组丰富的协议触发集成功能
- 您可监测协议级的数据包，以节省时间并减少错误
- 通过时间关联性图示，针对序列协议问题快速进行疑难排除，并找出时序或信号完整性的问题根源

### 迅速找到功能

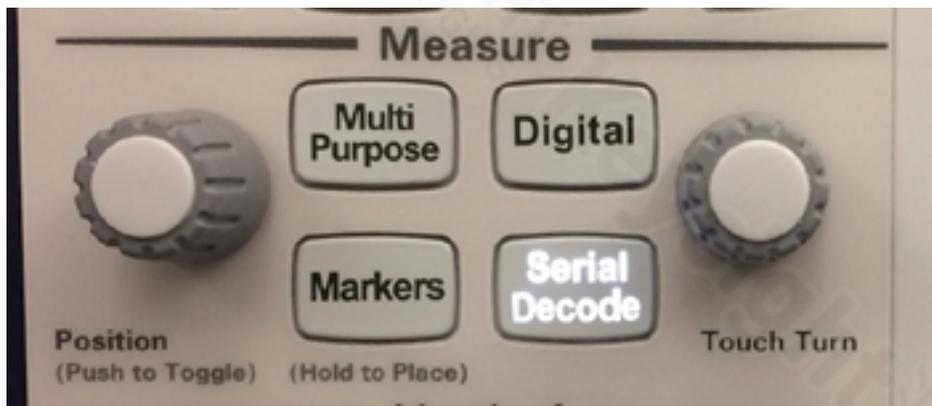


图 1：在 Setup 菜单中开启或禁用解码功能。检视内嵌于波形显示画面中或是协议监测窗口中的解码结果。

## 30 秒 USB-PD 设置

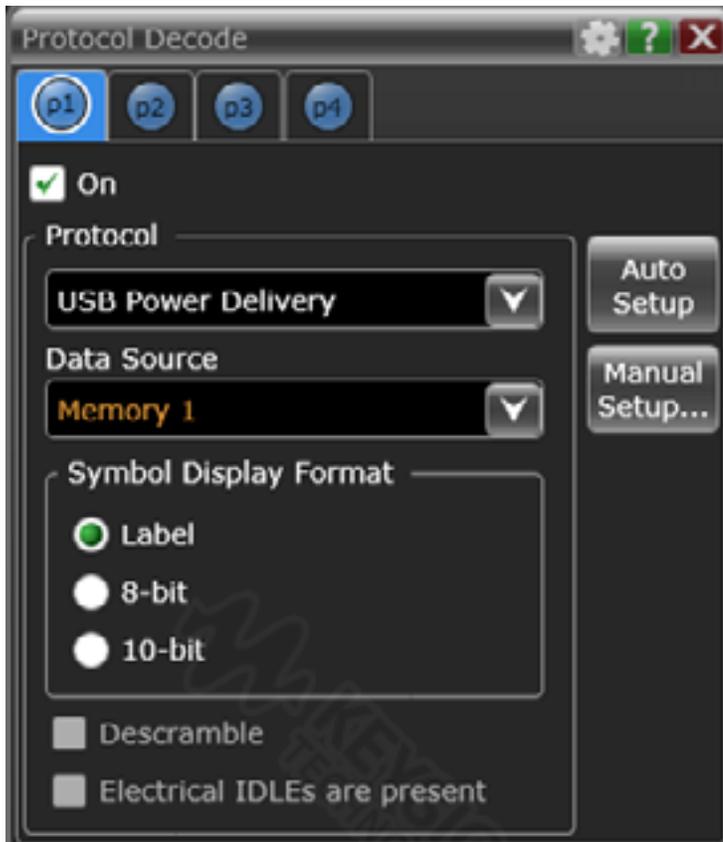


图 2：设置您的示波器，在 30 秒内显示协议解码。使用 Auto Setup 功能来自动配置采样率、存储器深度、阈值和触发电平。

## USB-PD 协议触发与搜索

使用一组丰富的协议触发集成功能。本应用软件包含一组可设置的协议级 USB-PD 特定触发条件。选择串行触发时，本应用软件可使用 Keysight Infiniium S 系列示波器内部特殊的实时触发硬件。

S 系列示波器的硬件触发功能可确保示波器在预触时，不会错过任何触发事件。该硬件可接收借助示波器通道或数字通道所采集的信号，并重组协议帧，然后对照指定的协议级触发条件来检查这些协议帧，一旦符合条件便进行触发。

## USB-PD 触发设置

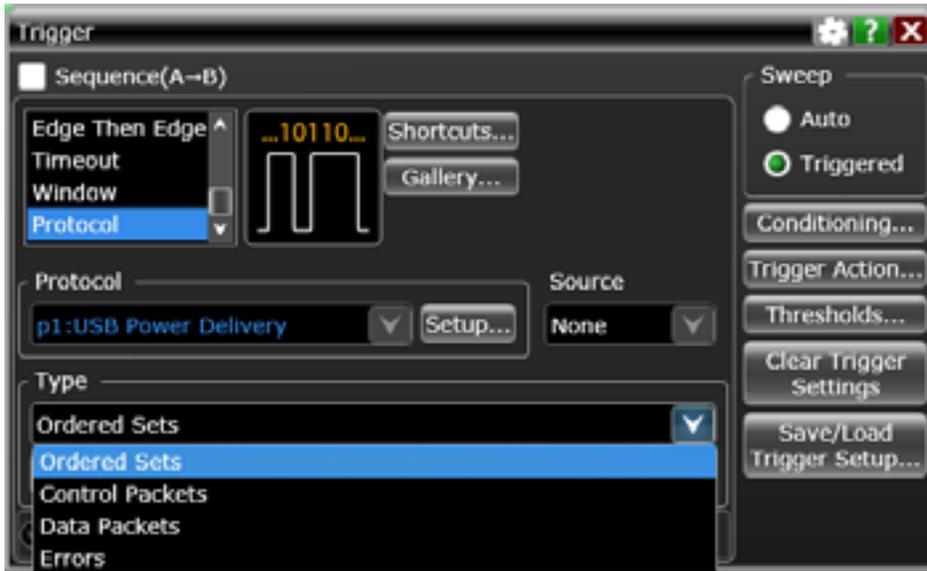


图 3：选择触发已排序集合、控制数据包、资料数据包、或协议错误。

## 迅速找到发生的事件

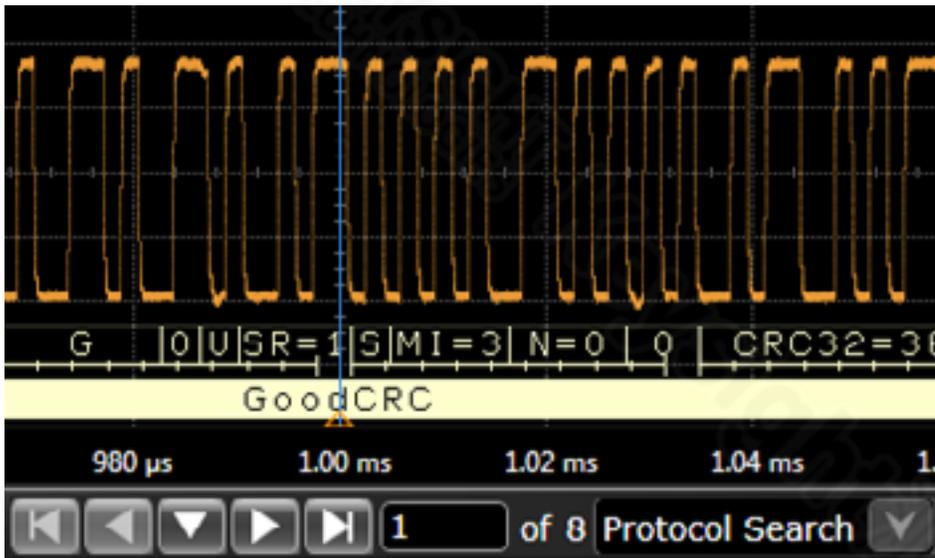


图 4：迅速移到下一个发生的指定事件。跳到下一个或前一个发生的指定事件。

Header																			
+3					+2														
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4
R	Num DO	Mess Id	P	S	P	R	Mess Type	SYNC2											
0	0x0	0x3	1	0x1	0	0	0x1	0x1											
Byte 3																			
Byte 7										CRC32									
										0x36DFF918									

图 5：Header 标签会以数据簿格式来显示数据包。

```

Details
├── Generated Fields
│   ├── Direction
│   └── Packet Length = 72
├── USB PD R2
│   ├── Physical
│   │   ├── Signaling SOP – 1888 Hex
│   │   │   ├── SYNC1 = 8 Hex
│   │   │   ├── SYNC1 = 8 Hex
│   │   │   ├── SYNC1 = 8 Hex
│   │   │   └── SYNC2 = 1 Hex
│   │   └── Message Header
│   │       └── Message Type = GoodCRC

```

图 6：Details 标签会将数据包细分成几个简单易懂的文字字段。

## 采集后搜索

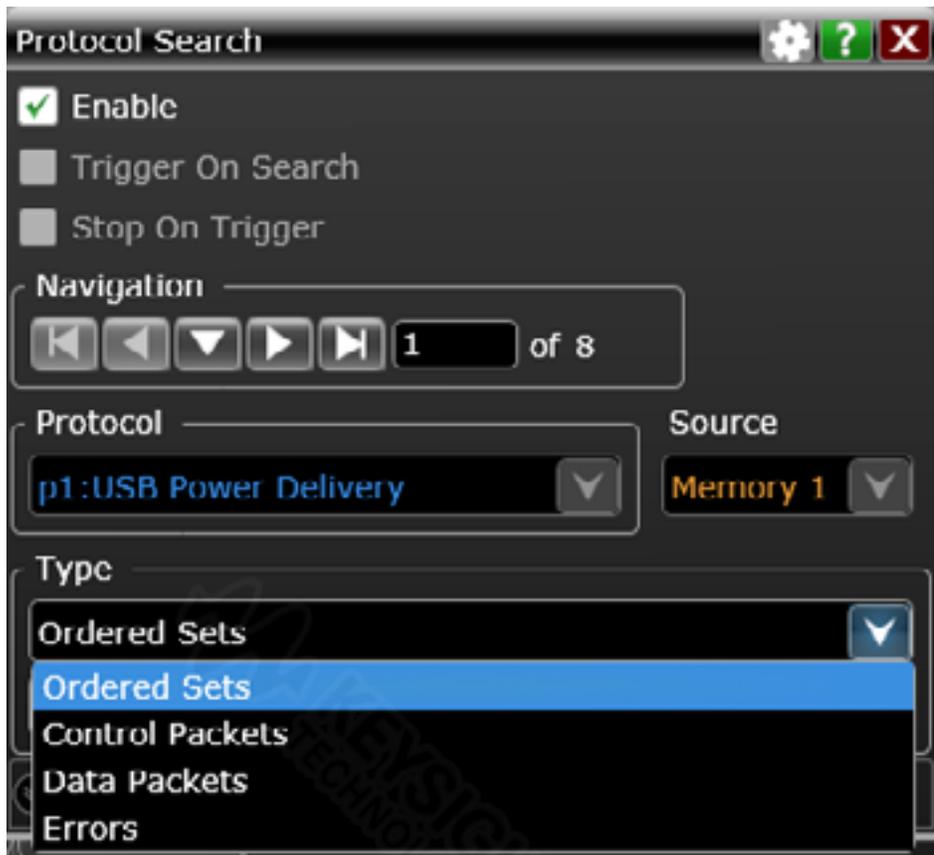


图 7：使用与触发完全相同的菜单，来搜索采集到的协议列表。

## USB-PD 协议解码

是德科技的 USB-PD 协议查看器包含波形与选定数据包之间的关联性。选定数据包（清单中以蓝色标示的那一列）与波形显示画面中的蓝色垂直线会生成时间关联性。移动波形中蓝色的时间跟踪标记时，数据包窗口中的蓝色列将会自动移到相对应的位置。或者，您可卷动数据包查看器并标示特定的数据包，时间关联的跟踪标记会移到波形中具有关联性的数据点。

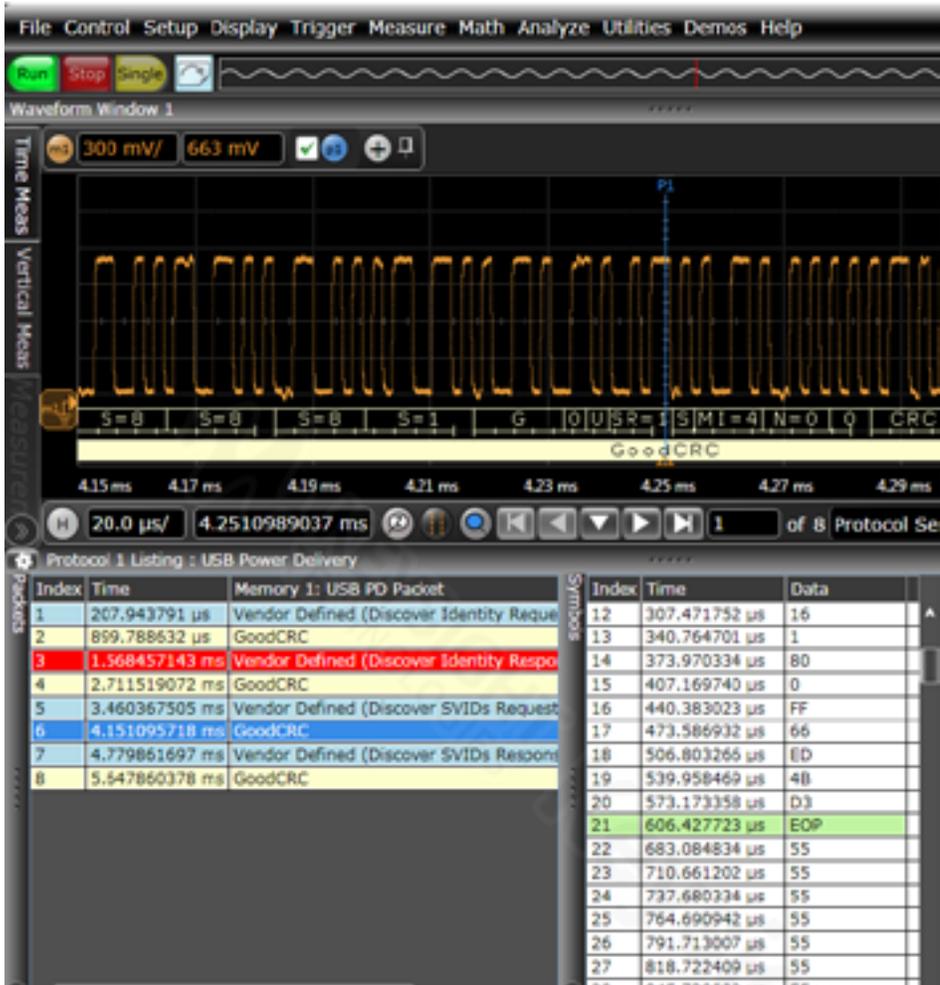


图 8：借助波形与清单之间精准的时间关联性来进行 USB-PD 协议解码。

使用全屏幕列表功能，将整个显示画面填满精简的协议信息。协议查看器窗口会在列表中，显示每个串行数据包的索引号码、时间点和数据内容。您可以滚动所有解码的串行数据包，找出想要的事件或传输中的错误。列表窗口中的数据可以存成 .csv 或 .txt 档，以供离线分析或制作文件使用。错误比特数据包是用红色来表示，有助于调试。

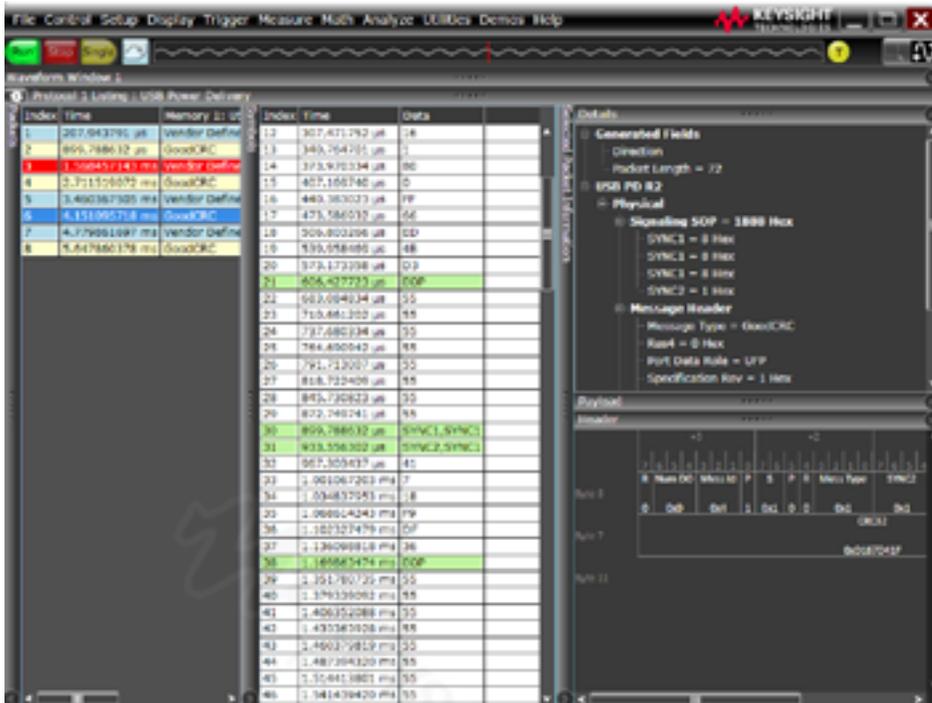


图 9：全屏幕 USB-PD 列表。

#### USB-PD 产品技术指标与特性

- 通道：模拟通道 1、2、3 和 4
- 探测：单端式
- 动设置：自动设置示波器，以执行正确的 USB-PD 解码与协议触发

## 订购信息

应用	许可证类型		Infiniium V 系列和 Z 系列	Infiniium S 系列	Infiniium 90000A 系列	Infiniium 90000 X 系列	Infiniium 9000 系列
USB-PD 协议触发 与解码	固定	出厂时安装	N8837A-1FP	N8837A-1FP	DSO90000-091	N8837A-1FP	N8837A-1FP
		用户自行安装	N8837A-1FP	N8837A-1FP	N8837A-1FP	N8837A-1FP	N8837A-1FP
	浮动式	可转移	N8837A-1TP	N8837A-1TP	N8837A-1TP	N8837A-1TP	N8837A-1TP
		服务器版		N5435A-096			

## 相关文献

#### 出版物标题

Keysight Infiniium S 系列高分辨率示波器 - 产品资料

#### 出版物编号

5991-3904EN

## 第十一章

# Tx/Rx 实测经验 - 挑战 Type-C over USB 3.1、DisplayPort、Thunderbolt 3 物理层测试

Francis Liu 刘宗琪 / Gary Hsiao 萧舜谦  
Keysight 是德科技 应用工程部 资深项目经理

Keysight 是目前唯一提出完整 Type-C 物理层测试解决方案，包括 USB3.1/DisplayPort/Thunderbolt 3 的仪器厂商，以下分别就三种应用与大家分享实测经验。

### USB 3.1

USB-IF 在 USB 3.1 Gen2 的一致性测试规范虽然还未定稿，但是 USB-IF 协会仍然接受会员通过协会专用的 USB PIL lab (USB Platform Interoperability Lab) 认证实验室来对 Gen2 速度的产品进行认证，目前已经有好多家台湾的芯片产品和主板通过认证。(参考 <http://www.usb.org/press>)

Type-C USB 3.1 目前在测试上遇到最大的挑战为 USB-IF 尚未公开出售 Type-C 测试夹具(目前仅提供 Type-A 及 Micro-B Gen2 speed 测试夹具)，因此在 TX/RX 测试所需套用的 compliance channel 若没有符合 CTS 文件规范就会影响测试结果。(下图为 Type-C CLB board, 1m cable, Type-C to Type-C board, and Mock host/Device, Rx 接收机校准连接图)



图 1：Type-C CLB board, 1m cable, Type-C to Type-C board, and Mock host/Device, Rx 接收机校准连接图。

Tx 测试方案部分，搭配 N7015A Type-C 测试夹具(见图二)，Keysight 已经在示波器自动化软件中提供符合 CTS 文件的 compliance channel transfer function，操作手法如同 USB 3.0 TX 测试，可达到与 PIL 认证实验室相符的测试结果，另外软件也集成 SCD1/SCD2/LBPS 以及 Preshoot/De-emphasis 的测试项目(见图三)，搭配多款波形发生器，来切换所需要的测试 pattern (Compliance Pattern: CP0~CP16)，可完成自动化测试，提供高度集成性可缩短测试时间与人力。

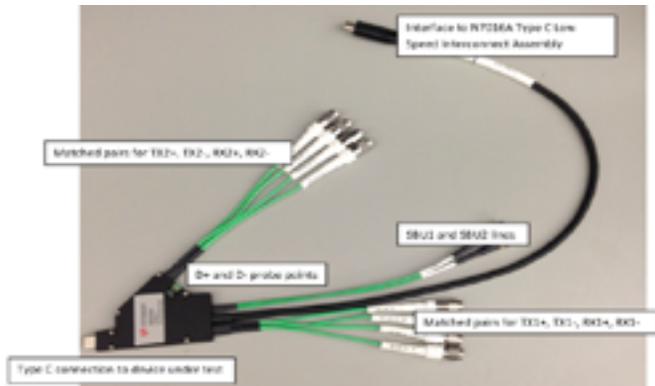


图 2：N7015A Type-C 测试夹具。

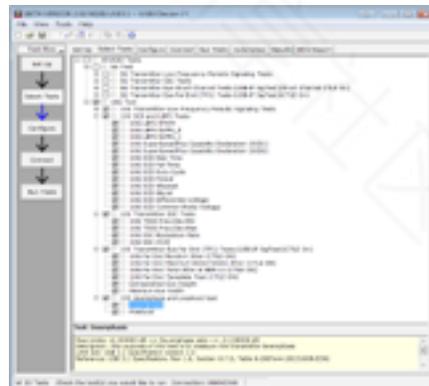


图 3：Keysight U7243B USB3.1 一致性测试软件。

在接收机 RX 测试方案部分，必须使用协会规定的 Type-C 实体测试夹具以及 loss channel/Type-C 线缆（见图四 (a)），在目前无法拿到实体测试夹具的情况下，使用 M8020A BERT 搭配 M8041A 内嵌可调整式 ISI trace（见图四 (b)），或者，外接式 M8048A ISI box（见图四 (c)），再加上 N7015A Type-C 测试夹具可达到符合 CTS 文件 compliance channel 规范要求，图五为使用 N7015A 测试夹具搭配内嵌可调整式 ISI、外部 ISI box 与 USB-IF 官方测试夹具测量 Jitter tolerance 的比对结果。在 USB-IF 官方测试夹具尚未推出之前，提供客户精准的 Pre-Compliance 测量结果，高度吻合程度可协助客户争取产品认证时效性。

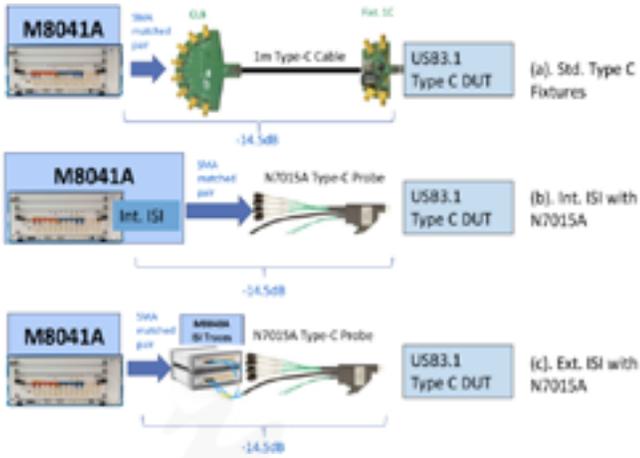


图 4：Keysight M8020A 接收机 RX 测试方案 (a). (b). (c). 连接图。

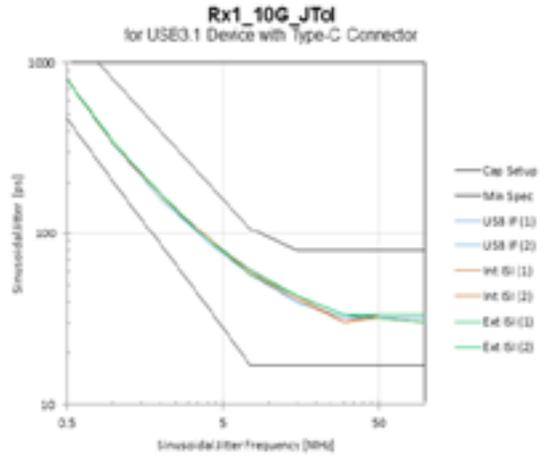


图 5：使用 N7015A 测试夹具搭配内嵌可调整式 ISI、外部 ISI box 与 USB-IF 官方测试夹具测量 Jitter tolerance 的比对结果。

USB 3.1 Type-C 接收机 RX 测试的信号校正程序非常复杂，Keysight 和 BitfEye 合作开发 N5990A USB Valiframe 接收端一致性测试软件，协助客户解决信号校正，连通性测试，生成测试报告。（见图六）

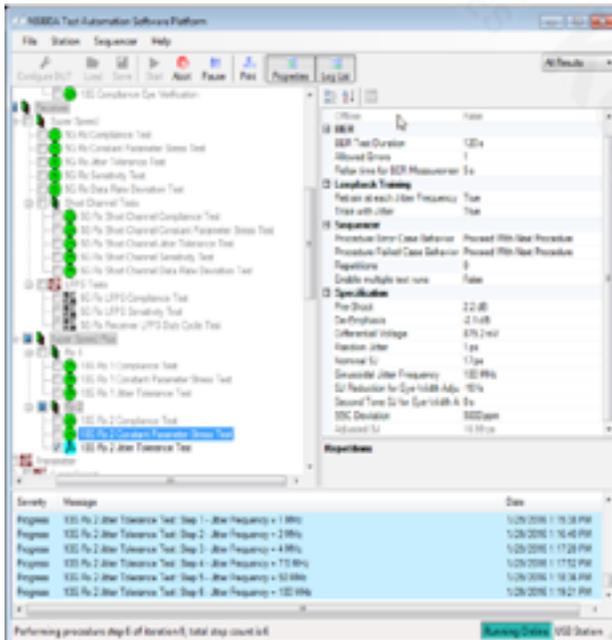
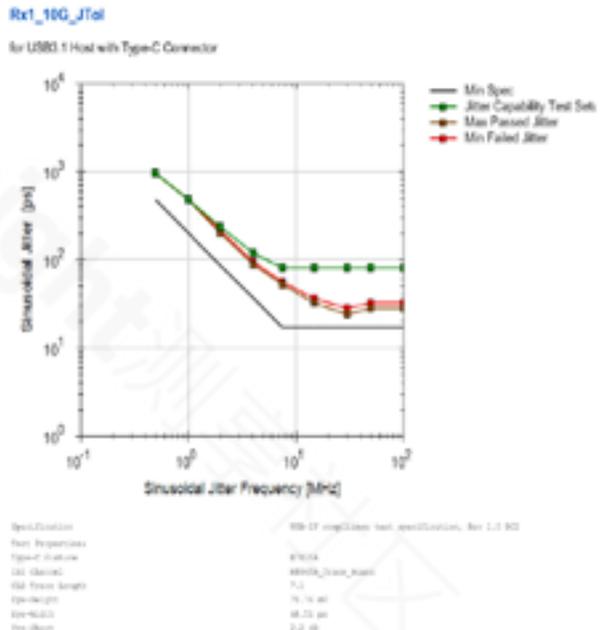


图 6：Keysight 和 BitfEye 合作开发 N5990A USB Valiframe 接收端一致性测试软件以及测试报告。



此外，目前在业内，存在各种不同的 USB3.1 芯片，每种芯片进入环回模式（loopback mode）的链路协商过程（link training）都不同，Keysight/BitiFeye 提供 USB Link Training Suite 软件，能支持业内所有不同的芯片，包含 Intel Alpine Ridge 芯片，都能 100% 的将被测件带进环回模式。（见图七）



图 7：上述 Type-C USB 3.1 测试解决方案于近期 USB-IF 协会在台湾与美国举办的插拔大会上皆已进行实测，而且 Keysight V-series 示波器以及 M8020A 误码仪已经获得美国 USB PIL 认证实验室 USB 3.1 测试唯一采用，并成功协助客户在美国 USB PIL 认证实验室取得 USB3.1 认证图标。

## DisplayPort

Type-C 定义 Alt mode 支持 DP 信号传输，在实测中最大挑战来自如何正确设置被测件进入 Alt mode 并进行 DP aux channel 沟通完成测试。

想要设置被测件进入 Alt mode 必须在 CC 脚位提供对应的 protocol 沟通，而这个角色需要通过 CC controller 协助，引导被测件进入 Alt mode 之后，后续测试的方法跟标准 DP 接口并无太大差异。

沿袭现有完整的 TX/RX 解决方案，搭配 N7015A Type-C 测试夹具与 CC controller，可顺利把被测件带入 Alt mode，再通过 aux channel 控制盒，可顺利完成 Tx/Rx 自动化测试。另一个值得关注的重点是 VESA 协会已着手制订新的 Tx 测试方法，未来可能会把现在要求 compliance pattern 的方式，改成使用 link training pattern 进行测试。

## Thunderbolt 3

沿袭 TBT 1/2 测试经验，TBT 3 物理层测试仍包含 TX/RX/Return Loss 三个类别，Keysight 仍然是业内唯一同时满足 TX/RX/Return Loss 完整测试解决方案的厂商。（见图八）

**2.2.2 Real Time Scopes**

**Required Test Equipment Capabilities**

- DC to 21+1GHz, -3db bandwidth or greater
- 50G sample/sec Sampling rate or greater, sampling 2 channels simultaneously
- Sample memory: 2 channels at 50M samples per channel or greater
- 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> order CDR capability
- Equalization for USB3.1 model capability

**Recommended Test Equipment #1**

- Keysight DSO90000X Series Oscilloscope (25GHz and above)

**Recommended Test Equipment #1**

- Keysight 11983 M8000 series - High-performance BERF, Configuration for Bench-Top 5-Slot Chassis
  - o M8001A-002 AXig chassis, 5-slot
  - o M8001A-016 Pattern generator one channel, data rate up to 16 Gb/s
  - o M8001A-002 Second channel for pattern generator, license
  - o M8001A-003 Advanced jitter sources for receiver characterization, module wide license
  - o M8002A-032 32 Gb/s Pattern generator front end
  - o M8002A-004 Multi-tap De-emphasis license
  - o M8001A-0TP Transportable License for M8000 Software

**2.2.4 Network Analyzer**

**Required Test Equipment Capabilities**

- 2 ports used simultaneously
- At least 1MHz - 15GHz bandwidth
- Dynamic range > 50db

**Recommended Test Equipment #1**

- Keysight E5071C ENA Series Network analyzer

图 8：Thunderbolt 3 的一致性测试规范所建议的 Keysight 测试设备。

测试手法上需要 Intel 专用测试工具控制被测件进入测试模式，送出信号，设置不同传输速率，以及设置 Preset 默认值。

在 TX 发射机测试面临的挑战会在测试夹具以及示波器本身 CTLE/DFE 的仿真模型，以及 Jitter/CDR 模型计算精度是否正确，由于 Thunderbolt 3 在物理层支持发射机和接收机的链路协商通信，接收机会去设置发射机最佳的 Preset 默认值，所以测试设备要能够先行寻找最佳的发射机预设值，并且仿真正确的 CTLE/DFE 的模型（见图九），设置好被测件后，再来完成后续眼图、抖动、SSC... 等测试项目。



图 9：在示波器中可以支持 CTLE/DFE 的模型。

在测试治具方面，Intel 并不对外販售 Thunderbolt 3 测试治具，但是 Keysight 已经拿 N7015A 和 Intel Thunderbolt 3 测试治具做过详细对比！N7015A 在 RF 特性方面和 Intel Thunderbolt 3 测试治具几乎完全相同，可以满足 Pre-Compliance 的测试需求。下图是 N7015A 的插入损耗的表现。



图 10：N7015A 的插入损耗的性能。

在 Receiver 接收机测试方面，大多沿袭 TBT 1/2 测试经验，不同的是，误码仪必须先完成 Preset 默认值的校准！必须先选在 16 组默认值中选出一组 DDJ 最小的默认值，然后再做后续的眼高、RJ 抖动、TJ 抖动... 等信号校准，并且要注意的是，Thunderbolt 3 在做接收机测试，有 TP2 和 TP3EQ 等两个测试点，并且还有两个测试速率，10.3125Gbps/20.625Gbps。整体来说 Thunderbolt 3 的测试无论是发射机或是接收机测试方面，都非常复杂耗时，必须仰赖仪器商的测试软件。所幸 Keysight 会在 2016 年中提供完整的测试软件，帮助客户完成所有测试。由于签署 NDA 协议，无法透露太多详细内容，如果已有 TBT 3 物理层测试需求可以直接联系 Keysight 本地代表。

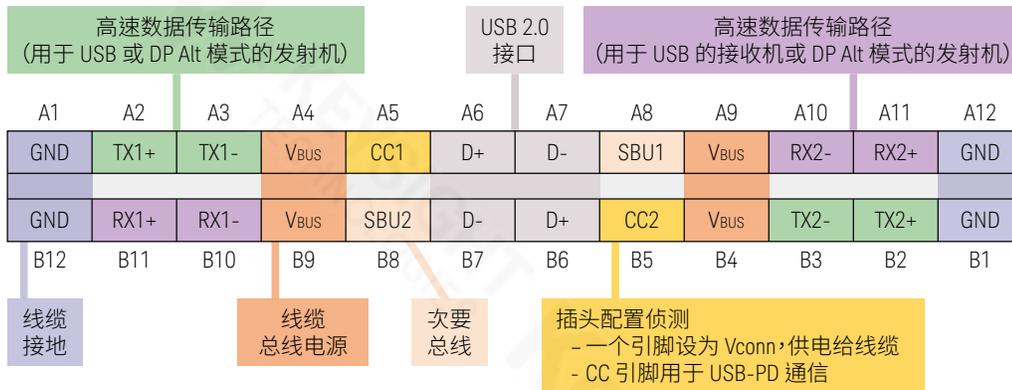
## 第十二章

# Cable 实测经验 - 挑战 USB Type-C 电缆组件互连分析之多端口测量解决方案

Joe Lin 林昭彦，Keysight 是德科技 应用工程部 资深项目经理

从 USB-IF 协会于 2014 年公布新一代接口 Type-C 之后，便受到整个业内及消费者的瞩目。其轻薄、可正反插并且与 USB 3.1 Gen2 (10Gbps)、USB PD (Power Delivery) 高度结合，这些都是现今追求轻薄、高速、多功能电子产品期待已久的特性。再加上 IT 界两大龙头 Apple 与 Google 的力推，更是让 Type-C 在短短不到两年的时间内高速增长。新的接口兴起代表在线缆与接口端的全面更新，市场上出现大量的 Type-C 线缆与转接头，但因 Type-C 拥有比过往 USB 接口更高速、更复杂的设计，连带对于线缆的需求相对提高不少。面对市面上参差不齐的产品，笔者将分享一些 Type-C 线缆在测试上的经验。

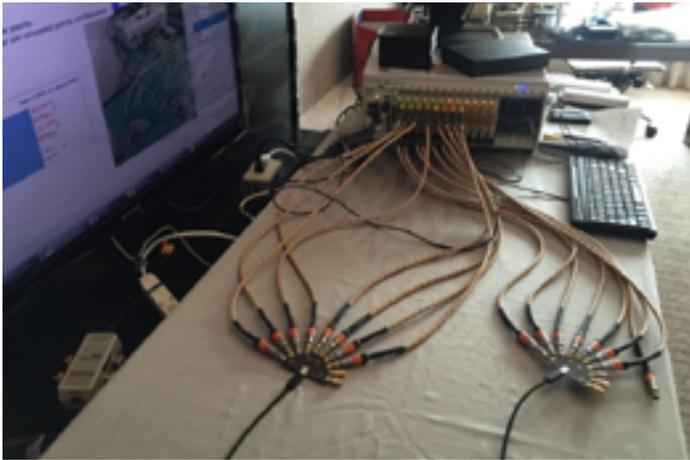
过往的 USB 接口，从 1.1/2.0 的 4 根引脚，到 USB 3.0 的 8 根引脚，到了 Type-C，则一口气增加到 24 根引脚。扣除基本电气讯号外，高速信号仍有 12 根引脚。其中有 2 对为 USB 2.0 专用，另外 4 对则可能用在 USB 3.1 Gen 1/2、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 2/3 乃至 SuperMHL。



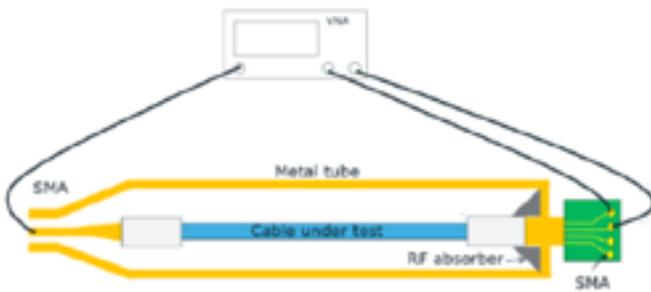
由于这几种接口的速度、传送方向等都有所不同，亦即有各自的规范，更增添 Type-C 在测试上的复杂度。目前已经在做大量测试的主要有 Type-C to Legacy Cable/Adapter、Type-C to Type-C 以及隶属 VESA 协会制定的 Type-C to DP。USB 2.0 原有的测试项如 Impedance、Skew、Delay、Attenuation 依旧存在。比较特别的是，这次 USB-IF 协会以自制的程序 InterPar 来计算 ILfitatNq、IMR、IXT、IRL、Differential to Common Mode-Conversion 等项目，而非像以往一样单纯地以网络分析仪之结果当作认证。



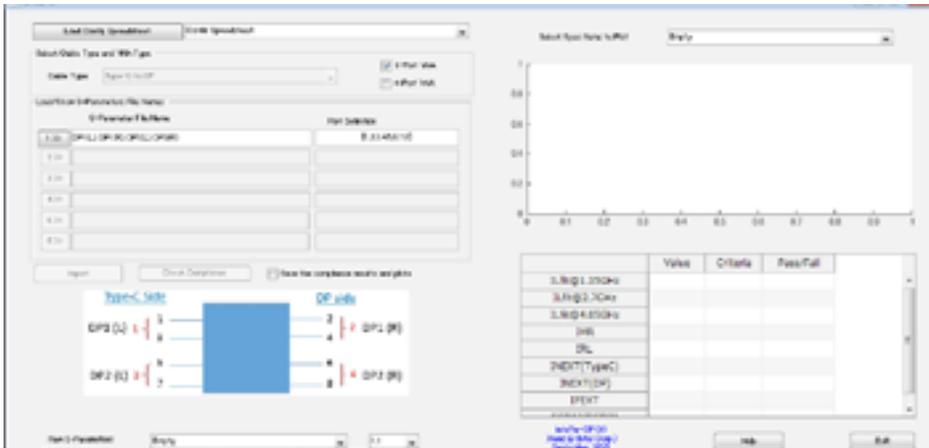
从画面中可以得知，该程序虽然支持 4/8/12 Port 的网络分析仪，但当使用 4-port 网络分析仪时，必须重复接续十来次以取得足够的 S 参数，方能输入 InterPar 作计算。这对于测量来说，不但速度缓慢，而且增加许多人为操作失误的可能性。所以最佳的测试方式还是选用 12-port 的网络分析仪。目前 Keysight 拥有模块化网络分析仪（例如 M937xA 系列），可从 2-port 到 32-port 自由搭配，可在一次完整连接下存储 S32P 参数，是测试 Type-C cable 的最佳选择。



除了以上的测试项目外，还有一项比较特殊的测试为 Shielding Effectiveness。如下图所示，该测试项需要有个特殊的金属管，将线缆置于其中作测量。



以上所谈的是以 USB-IF 协会所规范的 Type-C 线缆测试。另外关于 Type-C to DisplayPort 的部份，虽然该类型线缆是由 VESA 协会所规范，但其测试的方法极为类似。一样需要多端口网络分析仪，搭配 DP 版本的 InterPar 去作测量。以上所提的各式线缆测试有一个重点，基本上都只针对无源线缆，如果有源线缆的话，必须确定其在未供电情况下等同无源线缆方可进行测试。

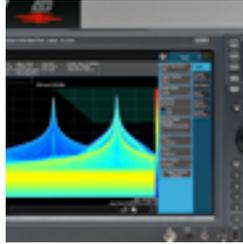


在搭配 12-port 网络分析仪时，由于官方 Type C 测试夹具属于扇形设计，所以测试线缆时要稍微注意，线缆长度、接口宽度以及柔软度最好都能提前与测试夹具连接试试，不当的线缆很容易造成测试夹具的损毁。另外，Type C 因为正反皆可插，所以在连接的时候要注意是否有接到正确的方向，在 Keysight 的线缆测试文件里有详细的说明可参考。而网络分析仪的校正也是测试上的重点，由于端口数高达 12 个，使用传统机械校准件不但费时，也容易生成人为的误差，所以还是强烈建议使用电子校准件，既有效率又有保障。

以笔者目前参与 USB 插拔大会的经验，Type C 的线缆测试规范目前持续进展中，仍有许多厂商在测试过程中无法通过认证，可见其复杂的程度。Keysight 长期参与各大高速数字接口协会的技术交流，不论是芯片或是线缆的测试，都有第一手的数据，并且长期提供合规的测试解决方案。在 Keysight 的网页上有大量的高速数字线缆测试操作文件（MOI），欢迎各位用户前往下载。此外，其他关于 Tx（发射机）、Rx（接收机）或 USB PD（USB 电力传输）等验证，Keysight 均有协会认可的完整解决方案，并领先业内推出业界最高信号完整性的 N7015A 及 N7016A Type C 测试夹具，更多信息，请访问 Keysight 是德科技官网：[www.keysight.com/find/typec](http://www.keysight.com/find/typec)。

## 从惠普到安捷伦再到是德科技

传承 75 年创新史，我们始终帮助您开启测试测量新视野。我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能帮助您实现下一次突破。1939 年成立的惠普公司起源于电子测量，是德科技将这一业务传承至今，并将继续发扬光大。



1939

未来

### myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

个性化视图为您提供最适合您的信息！



3 年保修

[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)

是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



Keysight Assurance Plans

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

10 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2008

质量管理体系

是德科技 Infoline 网站

### Keysight Infoline

[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)

是德科技的洞察力帮助您实现最卓越的信息管理。免费访问您的是德科技设备公司报告和电子图书馆。

是德科技渠道合作伙伴

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。



关注是德科技  
了解更多测试资讯

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：[www.keysight.com.tw/find/contactus](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

### 是德科技客户服务热线

热线电话：800-810-0189、400-810-0189  
热线传真：800-820-2816、400-820-3863  
电子邮件：[tm\\_asia@keysight.com](mailto:tm_asia@keysight.com)

### 是德科技（中国）有限公司

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦  
电话：86 010 64396888  
传真：86 010 64390156  
邮编：100102

### 是德科技（成都）有限公司

成都市高新区南部园区天府四街 116 号  
电话：86 28 83108888  
传真：86 28 85330931  
邮编：610041

### 是德科技香港有限公司

香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼  
电话：852 31977777  
传真：852 25069233

### 上海分公司

上海市虹口区四川北路 1350 号  
利通广场 19 楼  
电话：86 21 26102888  
传真：86 21 26102688  
邮编：200080

### 深圳分公司

深圳市福田区福华一路 6 号  
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元  
电话：86 755 83079588  
传真：86 755 82763181  
邮编：518048

### 广州分公司

广州市天河区黄埔大道西 76 号  
富力盈隆广场 1307 室  
电话：86 20 38390680  
传真：86 20 38390712  
邮编：510623

### 西安办事处

西安市碑林区南关正街 88 号  
长安国际大厦 D 座 501  
电话：86 29 88861357  
传真：86 29 88861355  
邮编：710068

### 南京办事处

南京市鼓楼区汉中路 2 号  
金陵饭店亚太商务楼 8 层  
电话：86 25 66102588  
传真：86 25 66102641  
邮编：210005

### 苏州办事处

苏州市工业园区苏华路一号  
世纪金融大厦 1611 室  
电话：86 512 62532023  
传真：86 512 62887307  
邮编：215021

### 武汉办事处

武汉市武昌区中南路 99 号  
武汉保利广场 18 楼 A 座  
电话：86 27 87119188  
传真：86 27 87119177  
邮编：430071

### 上海 MSD 办事处

上海市虹口区欧阳路 196 号  
26 号楼一楼 J+H 单元  
电话：86 21 26102888  
传真：86 21 26102688  
邮编：200083

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

© Keysight Technologies, 2015

Published in USA, June 9, 2015

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



Unlocking Measurement Insights