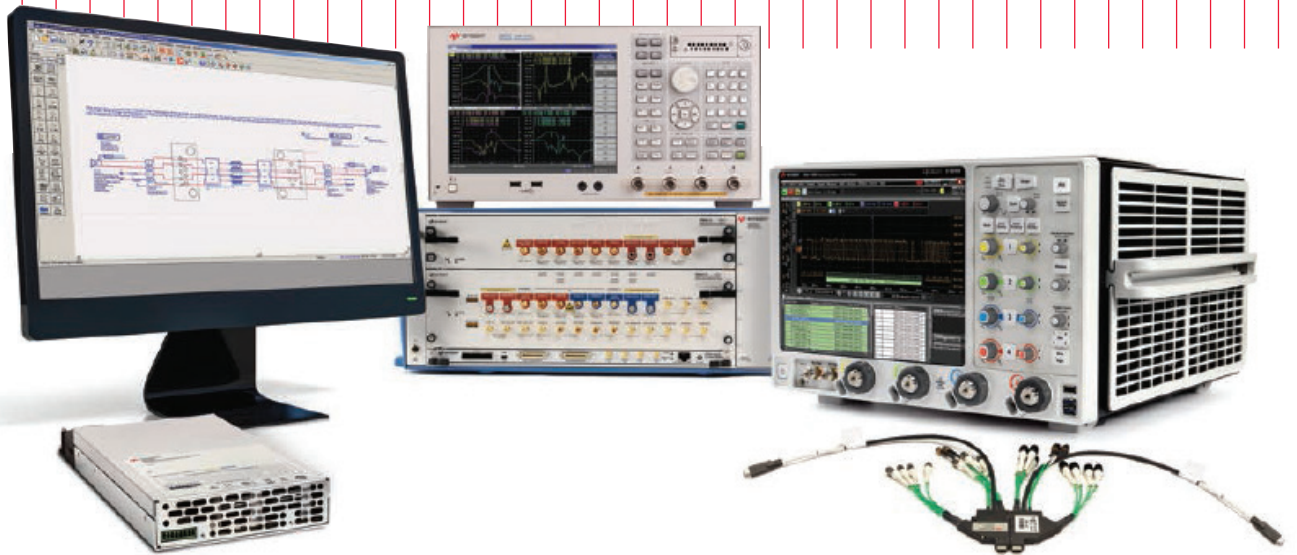


是德科技

# 轻松应对 USB Type-C™ 发射 与接收机的测试挑战

Keysight 和Type-C: 让事情变得快捷

应用笔记



## 概述

USB Type-C™ 对于电脑、平板和手机等设备而言，是一种突破性的接口标准，满足四大设计需求：轻薄、高速数据传输速率、更高的电力传输、对不同总线协议的自适应性。USB Type-C 的主要目标是创建设备间的连接通用性、实现电源管理，确保有效的高速数据传输。USB Type-C 接口提供下列功能：

- 支持USB 2.0和其它总线协议，方便动态电力和数据传输管理
- 满足未来的高速接口指标需求
- 具备向后兼容性
- 正反可插，方便易用

要将USB Type-C集成到产品中，设计和测试工程师会面临着形形色色的挑战，既要通过一致性测试，还要确保不同设备之间能够相互工作，随着数据传输速率的增加，电力传输需求的不断提高，USB Type-C一致性测试标准一直在演进，再加上其它功能的推陈出新，使得整体测试变得更为复杂，因此工程师需仰赖国际标准组织或文档中推荐的测试仪器、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：

- 传输线和连接头
- 电力传输
- 发射/接收
- 仿真和测量之间的关联性
- 交替 (ALT) 模式 (Display-Port、Thunderbolt、M-HL、HDMI) USB Type-C发射机/接收机要求

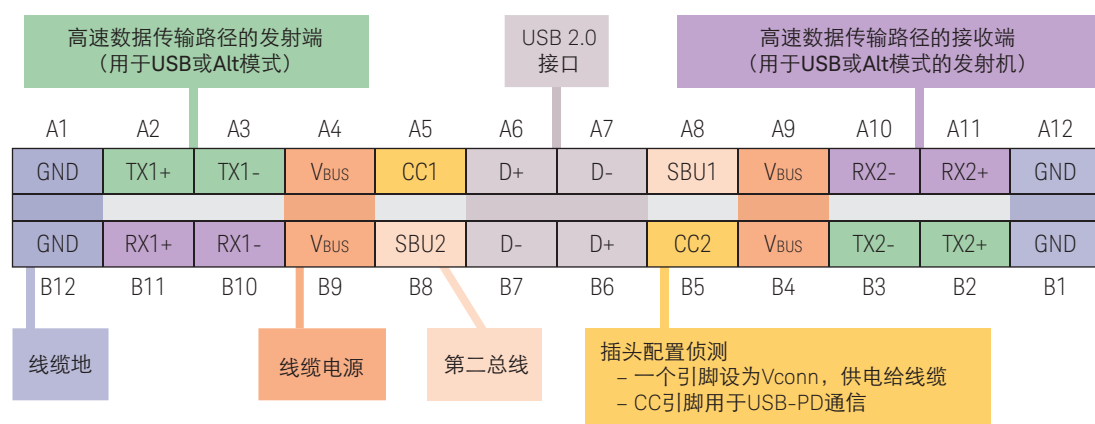


图1: USB Type-C引脚图。注意，此对称接口为可正反插拔的结构。

## USB Type-C发射机/接收机要求

USB接口从USB2.0以来，是简单的4引脚接头，支持Type A(12mm宽)，Type B(8.45mm宽)尺寸，这两种尺寸的连接管脚分布上下是不对称的，不支持正反插；到现在发展出Type C接头，是24引脚接头，连接管脚分布上下是对称的、支持正反插。USB Type-C (8.25mm宽)接口设计比传统的Type A、Type B更加灵活和强大，24个引脚中，有8个即4对，用于发射和接收高速数据，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总线协议同时进行发送或接收，或通过单一总线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，甚至40G。其电力传输能力也大力提升，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发射、接收和线缆一致性测试挑战。深入了解USB Type-C和USB 3.1的发射机和接收机测试挑战，有助于确保您的USB Type-C产品顺利通过测试。

进行测试时，测试夹具和线缆本身可能带来较大的信号损耗，被测对象数据传输速率越高，这种现象越明显，严重影响被测对象的性能测量结果。在对高速信号进行一致性测试时，工程师需使用去嵌入技术来去除测试夹具对测量的影响，以测得被测对象真实的性能。在执行去嵌入之前，要先实测夹具自身的S参数，测试夹具本身的信号完整性很重要，如果它的信号完整性不好，会产生较大的信号损耗，在做去嵌入处理时，会产生较大的本底噪声，给测量带来误差。

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发射端测试挑战

进行发射端一致性测试时，工程师需克服USB 3.1和Type-C带来的挑战。USB3.1 Type C支持更多的数据通道、可灵活配置充电等特性，以及支持正反插，这些特点给工程师带来更多的挑战，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被测对象须满足各种不同的负载和充电条件，因此测试工程师必须对被测对象进行各种配置下的所有测试，包括：

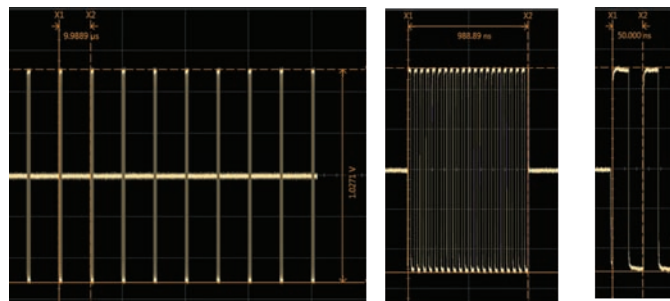
- USB 3.1 Gen 1发射端眼图测试
- 低频周期信号 (LFPS) 时序
- 发射扩频时钟 (SSC) 的传输特性
- 全新USB 3.1 Gen 2测试：
  - SuperSpeedPlus功能声明 (SCD)
  - 基于低频周期信号 (LFPS) 之脉宽调制讯息 (LBPM)
  - 信号去加重 (de-emphasis)
  - 信号过冲 (pre-shoot)

### 发射端眼图测试

发射端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，由高速实时示波器完成眼图技术指标的测试。

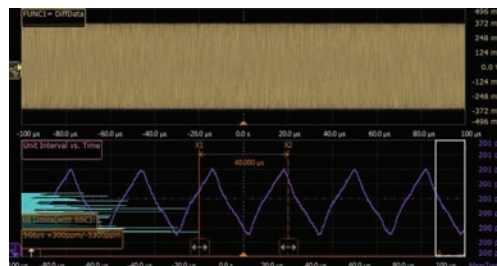
### 低频周期信号 (LFPS)

LFPS是在固定时间间隔下生成的一系列脉冲。LFPS信号测试一方面确保信号质量，另一方面确保链路协商和训练过程正确，以达到正确的数据速率。此测试加入边带通信，在SuperSpeed数据传输线上发送低频 (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初始化连结，并实现低功耗管理。



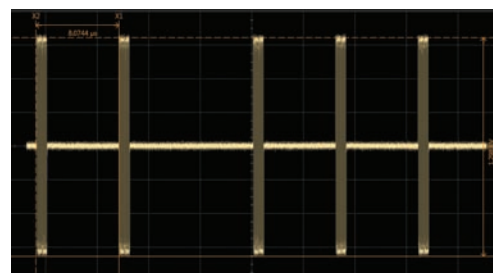
## 扩频时钟 (SSC) 调制信号

USB 3.1 Gen 1与Gen 2测试时，SSC是一个必须验证的技术项目，采用SSC技术的目的是降低电磁干扰（EMI），并确保USB设备发送的信息可以被准确接收。USB设备初始化之后，随即进入SSC模式。如何控制EMI的影响，是发射端测试的最大挑战，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，SSC技术被用来将频谱能量扩展到很宽的频谱范围，使其能量保持在测试限制值内。由于本地时钟与进来的高速数据之间存在极大的频率差异，使得时钟与数据恢复电路（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。



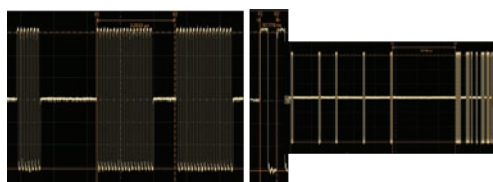
## SuperSpeed功能声明 (SCD)

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），以确保装置能够顺利进行协商，并提供正确的链路连通性（Gen 1或Gen 2）。



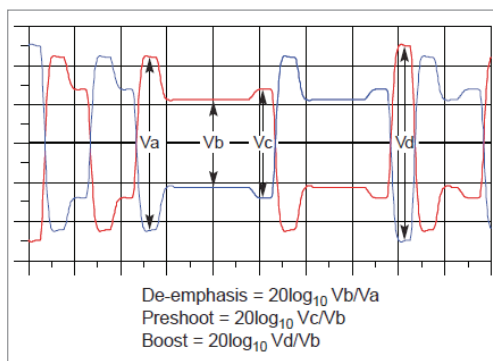
## 基于LFPS的脉宽调制讯息 (LBPM)

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（发射端）和分析仪（接收端）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，需对发射端进行去加重，以增强信号的高频分量，并张开接收端的眼图。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。



进行发射端测试时，工程师可使用高速实时示波器来测量信号质量，先是确保被测波形码型符合一致性测试规范，然后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，确定导致抖动的原因并测试抖动容限。

眼图模板测试可快速界定出信号违规的主要区域。如果信号出现在所定义的违规区域中，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也一样至关重要。对于误码率要求是 $10E-6$ 的场合，经过均衡后希望将眼高限制于70 mV，对于误码率要求是 $10E-12$ 的场合，眼高目标是30 mV。经过均衡处理后， $10E-6$ 的场合眼宽是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（若支持Thunderbolt3.0,则需要30GHz）的实时示波器。如是芯片测试，需要靠近管脚进行测量，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接收端测试挑战

使用验证过的Tx信号进行Tx/Rx链路测试，其困难处在于发射链路到达末端，即接收机位置处的状况，不好观察。即便发射端信号看起来没有问题，但是接收端眼图可能已经闭合。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 接收端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 (Sj)。在多个不同频率上执行测试，可确保接收机能够正常运行。执行接收端测试时，工程师需使用许多一致性测试码型来进行校准。接收端测试有助于分析USB设备在各种不同振幅和抖动条件下的性能。USB 3.1抖动测试要求执行误码率 (BER) 测试，这是一种抖动容限测试。将一系列Sj频率和振幅注入接收端，以便测试压力眼图的变化，而误码检测器则可监测接收端的错误或误码，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数据。然而，随着USB3.1速率增加，编码复杂度也随之升高，协议更加复杂，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；因此根据所收到的数据流恢复的时钟，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，然后在数据从接收端回送到发射端时，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进来的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，分析仪必须能够过滤掉长度可改变的128/132比特编码。



一致性测试要求接收端能够正确侦测传输的数字信号内容，即使是最差状况下的有损输入信号。要模仿在系统中传输的最差数据信号，包括一致性测试规范 (CTS) 中规定的有损信号，BERT测试仪的码型发生器 (BERT PG) 是最理想的选择。在模仿处于测试模式下的接收端，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，并提供经过校准的压力条件，例如SSC、S-J、R-J、去加重和ISI，是执行接收端测试的首选仪器。

## 发射端测试解决方案

执行USB 3.1、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 3、HDMI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，测试夹具支持20 GHz的带宽性能 (-3 dB)，如结合去嵌入处理，带宽可高达30 GHz。这些Type-C连接接口夹具，支持插头正反插，并引出测试点，除电缆连接测试外，也提供探头的探测点，方便完成发射端和电力传输的测量。

- 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。此夹具引出4对高速信号测试点，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低速测试夹具连接来自N7015A Type-C高速测试夹具的电力传输线和控制线，以满足端接要求和测试配置，并且可以和电力传输控制器相连接。通过N7016A，工程师可接入USB 3.1的信号，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USB 3.1高速通讯端口），并可引出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以模仿系统环境。
- 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端一致性测试和验证，以符合USB 3.1的规范。Infiniium V系列示波器提供业界最低的本底噪声，像USB 3.1这样的高速串行信号，设计裕量很小，因此测试仪器只身的本底噪声一定要小，关于这一点，到Thunderbolt 3.0测试会彻底发酵，您会发现有些测试规范规定仅推荐使用Keysight的磷化铟示波器完成测试。

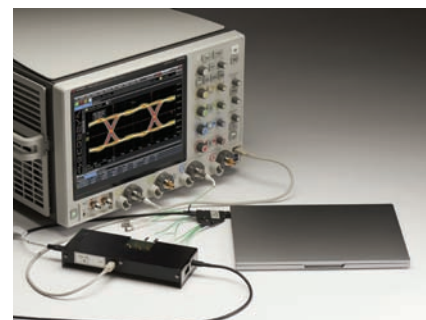


图2: Keysight N7015A/N7016A Type-C测试夹具。

## 接收端测试解决方案

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)。Keysight USB 3.1接收端测试方案使用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Pre和Post Cursor去加重，以及符间干扰 (ISI) 迹线，以获得准确且可重复的接收端测试结果。

## 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比特编码中的skip-ordered set (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)
- 仿真LFPS 3电平信号(使用内置的用于回环训练的空闲和通道来完成)
- 内置链路训练、接收机均衡处理、噪声加损、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
- 内置时钟恢复功能

## 克服接收端测试挑战:

- 接收端压力测试校准: 使用示波器的实时时钟恢复和均衡器功能来测量眼高和眼宽
- 实现BERT的非同步测试: M8020A J-BERT OS2的SKP和SKP OS过滤选项可计算USB 3.x比特误码
- 让DUT进入个别测试模式: M8020A J-BERT码型序列发生器结合BitifEye的软件可实现

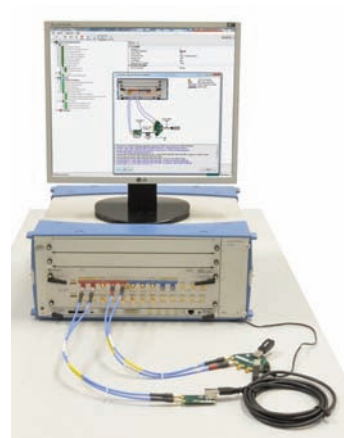
Keysight M8020A J-BERT码型发生器提供准确且可重复的接收端测试, 让您能仿真链路训练序列, 将主机或设备设成回环模式。有了M8020A, 即便没有外部信号源, 工程师也能仿真各种压力状况, 包括超出规范的状况。利用内置的校准信号源, 工程师可绘制正弦抖动 (SJ)、随机抖动 (RJ)、符间干扰 (ISI) 迹线, 并仿真通道响应。M8020A还可仿真扩频时钟 (SSC), 并提供可调式去加重功能。

Keysight M8020A可简化接收端测试的连接配置, 方便工程师分析USB设备的重新计时和编码(re-timed and coded)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发射端和接收端测试挑战。快速而准确地测量重要参数, 包括发射端眼图、LFPS和LBPM时序、发射机SSC曲线、SCD信号, 并执行去加重和过冲, 将是确保发射机通过测试的关键因素。灵活的信号生成和误码检测功能则是接收端测试验证的重点。

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)

## 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够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年

未来

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/find/contactus](http://www.keysight.com/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, 2016  
Published in USA, March 16, 2016  
出版号: 5992-1392CHCN  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

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自己的信息!



[www.axiestandard.org](http://www.axiestandard.org)

AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准，将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

局域网扩展仪器 (LXI) 将以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



[www.pxia.org](http://www.pxia.org)

PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



3 年保修

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。

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

是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2015

质量管理体系



USB Type-C™ and USB-C™ are trademarks of USB Implementers Forum.

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

