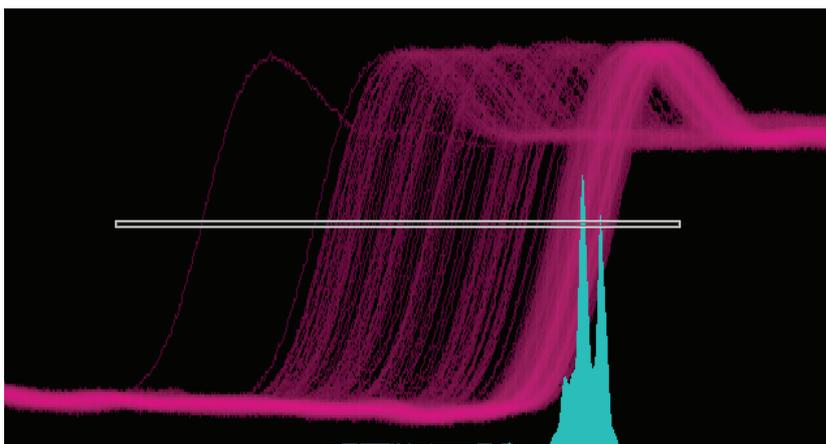
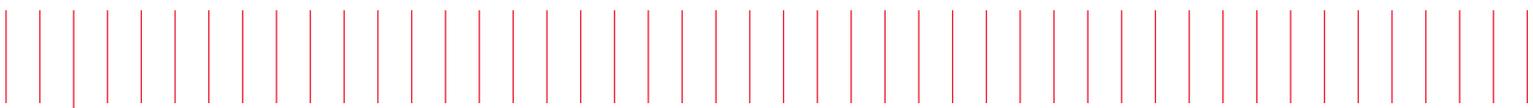


是德科技 抖动分析

InfiniiVision 6000 X 系列
与 Infiniium 系列示波器

应用指南





序言

随着数据速率的不断提高，今天的高速数字电路设计的时序冗余度越来越小。要确保接收端采集到的串行数据信号有效和稳定，工程师要熟知各种抖动分量，尤其是他们对数据有效时间窗口的影响。硬件设计工程师目前主要使用示波器捕获和查看波形的抖动。高性能示波器也大都提供抖动分析测量选件，以各种方式显示抖动，甚至能够将各种抖动分量分离出来。

本文开篇以讨论抖动的各种显示方式入手，包括波形水平方向直方图、时间间隔误差 (TIE) 直方图、TIE 趋势图和抖动频谱图；接着讨论各种时钟恢复算法、实时眼图、抖动分离和总体抖动的推演方法；结尾处，我们会比较 Keysight 6000 X 系列和 Infiniium 系列示波器如何应对这些挑战。

抖动和时钟恢复的各种显示方法

我们首先来看抖动的定义是什么。抖动是指随时间变化的信号对其当时理想位置的偏离，往往又被称作时间间隔误差 (TIE)。工程师常常把抖动看成是信号边沿相对于参考边沿 (触发点) 的“跳动” (见图 1)。在此例中，示波器触发在时钟的某个边沿上，我们观察该边沿后面的边沿，多次采集得到其抖动分布。这时体现示波器捕获和显示信号动能力的，有一个关键指标，就是波形捕获率，好的示波器可快速积累足够的波形得出抖动的极端情况。

图 1 分析的是 50% 幅度附近很窄的区域内的波形，以直方图形式给出其抖动分布。该水平直方图显示的是抖动的概率分布 (PDF)，它和波形是时间相关的。在本例中，我们可以看到抖动呈双峰分布。波形直方图测量是最简单的抖动测量方法，也是当前大部分高性能示波器 (包括 Keysight InfiniiVision 6000 X 系列和 Infiniium 系列示波器) 都提供的关键测量功能。

捕获和查看重复时钟信号的抖动较为直接，串行数据信号的抖动观察则略显复杂，特别是在没有时钟信号可用作触发的情况下。目前大部分高速串行总线都采用嵌入式时钟，嵌入式时钟必须由接收端进行时钟恢复之后才能查看。对含有嵌入式时钟的串行总线数据信号执行抖动分析，要求示波器必须能够从数据信号中恢复时钟。抖动分析选件中的软件算法可以完成这一任务。其方法是创建一个虚拟时钟，以仿真串行数据总线接收端的时钟恢复。工程师以此恢复时钟为参考，对采集到示波器存储器中的串行数据进行逐个边沿对齐，完成 TIE 测量。



图 1：基本抖动分析；通过波形直方图查看重复时钟抖动。直方图 (蓝色) 显示时钟抖动 (黄色) 呈双峰分布。

图 2 是重复采集连续串行数据信号的示例。由于除了被测信号本身，我们没有其它时钟源可以用作触发源，所以无法直接观察每个边沿的抖动。对这种应用，我们需要使用具有时钟恢复功能的示波器抖动分析选项。



图 2：在数据信号上触发时，重复捕获连续的串行总线数据信号。

使用示波器抖动分析选项，我们首先用示波器捕获多个周期的数据信号。串行数据信号的一个比特周期通常称为单位间隔 (UI)。接下来，我们根据恒定速度时钟恢复算法对数据执行 TIE 抖动分析。

图 3 中的直方图显示了抖动测量结果。不过，用于生成此直方图的机理与图 1 中所用的方法截然不同。该图使用的是每个数据边沿（上升沿和下降沿）相对于其恢复时钟（未显示）的 TIE 测量数据，而不是相对于触发点所捕获的波形数据。目前的高性能示波器除了显示直方图之外，还能够显示直方图对应的全部统计结果（参见图 3 中显示屏最右侧）。

从此直方图中我们可以看到，串行数据信号中的抖动包含非常大的高斯(随机抖动)分量，以及确定性抖动分量（双峰）。还要注意的，示波器波形显示区域右下角附近的大量的“离群点”。现在我们通过另一种显示 / 图形方式来查看这个水平时间误差，您可能会发现关于这个抖动的更多信息。



图 3：使用 TIE 直方图进行的抖动分析。

图 4 显示的是在图 3 的抖动分析结果上增加了 TIE 抖动趋势波形显示 (紫色迹线)。TIE 抖动趋势波形图显示的是数据的每个边沿相对于恢复时钟的水平偏差, 纵轴代表偏差值, 横轴代表时间。该波形与捕获的串行数据信号 (黄色迹线) 有时间对应关系。从该 TIE 抖动趋势图中, 我们可以看到数据信号是正弦调制, 与抖动直方图的双峰分布相对应。除了正弦调制之外, 我们的数据信号还偶然出现了极端正值时间偏差, 即 TIE 抖动趋势波形中的尖峰。这些尖峰对应直方图中的“离群点”。

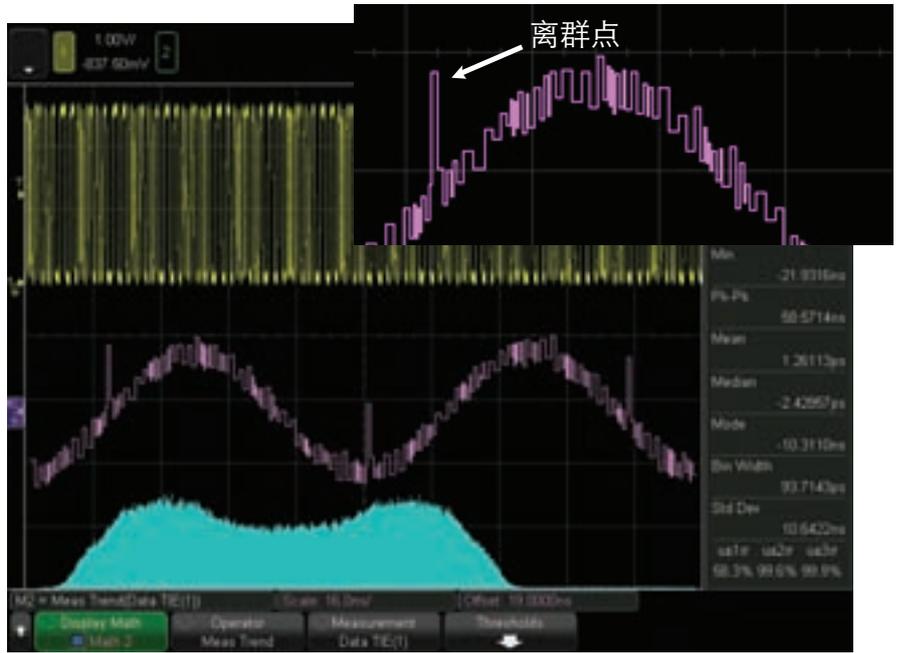


图 4: TIE 抖动趋势波形显示正弦调制和相关极端时间误差。

我们可以通过确定调制频率, 得到线索找出抖动源。某些高性能示波器, 比如 Keysight Infiniium 系列可以帮助您直接测定它们 (趋势波形测量结果) 的频率。如果您使用的示波器未提供这种功能, 那么可以换用一种简单的方法来测量——使用示波器的水平光标来手动测量正弦调制周期。另一种选择是启动图 5 所示的抖动频谱显示 (下方的紫色迹线), 它其实是 TIE 趋势波形 (上方的紫色迹线) 的 FFT 频谱波形。所有这三种方法都可以确定调制频率, 该频率在本例中正好是 20 kHz。

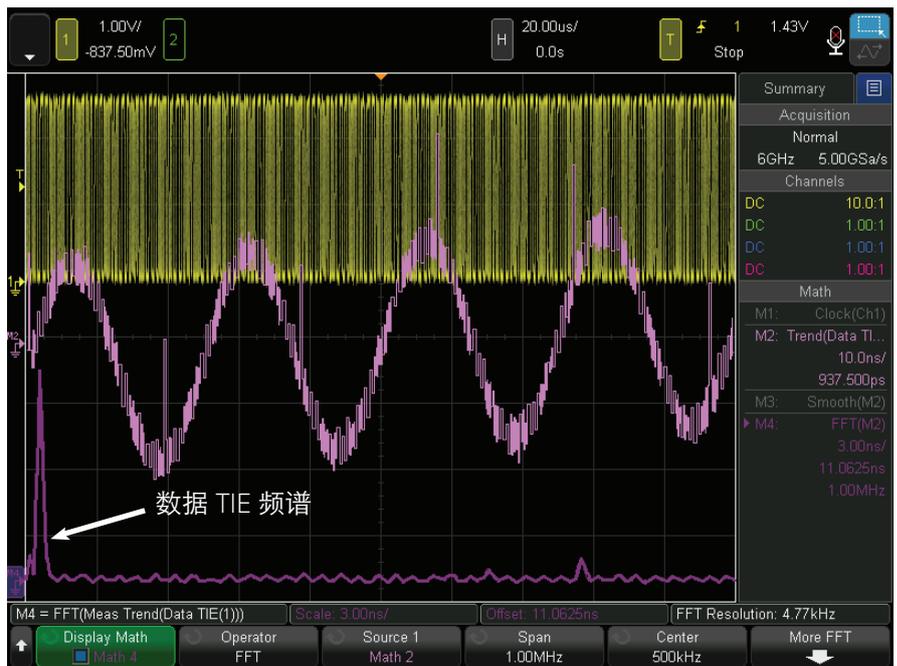


图 5: 使用抖动频谱视图显示和测量抖动调制频率, 该信号的频率为 20 kHz, 非常有助于分析查找抖动源。

在上面的抖动测量示例中, 时钟恢复算法自动根据恒定速率时钟确定串行总线信号的标称比特率。您也可选择使用一阶或二阶锁相环 (PLL) 时钟恢复算法。目前许多高速数字系统实际上会有意对发送的数据加以调制, 即扩频时钟 (SSC) 技术, 主要用途是减少电磁干扰 (EMI)。如果遇到这种情况, 应该选择使用 PLL 类型时钟恢复算法, 以仿真 SSC 系统接收机的 PLL 时钟恢复。

图 6 显示了相同串行总线数据的抖动测量结果,但此次使用一阶 PLL 时钟恢复算法,指定环路带宽为 200 kHz。对比图 4 和图 6。请注意, 20 kHz 正弦调制在图 6 的 TIE 趋势波形中消失了, 抖动直方图的双峰分布特征不明显了, 而高斯分布特征增强了。



图 6: 与图 4 相比, 使用一阶 PLL 时钟恢复算法进行的抖动测量使抖动直方图的双峰分布特征减弱, 高斯分布特征增强。



图 3: 使用 TIE 直方图进行的抖动分析。

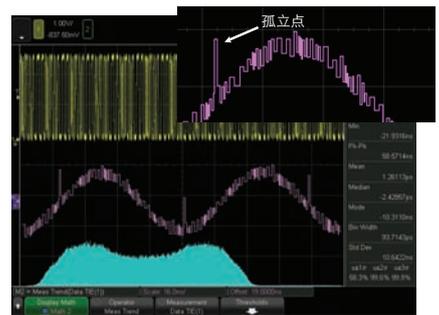


图 4: TIE 抖动趋势波形显示正弦调制和相关极端时间误差。

另一个有助于分析串行数据信号抖动的视图是将捕获的波形数据显示为实时眼图 (RTE), 见图 7。实时眼图由所有捕获到的 UI 叠加而成。基于时钟恢复, 示波器将捕获到的波形分成片段并归入单个比特周期 (UI), 然后将所有片段重叠到一个颜色分级的显示窗口中。通过这个显示窗口, 我们可以看到峰峰值边沿抖动和噪声的复合视图。我们还可以查看数据边沿极端正值位移 (深蓝色迹线)。它是造成直方图“离群现象”(图 3) 和 TIE 趋势波形尖峰 (图 4) 的原因。示波器还能够自动测量眼图高度和眼图宽度, 从而确定数据有效窗口。



图 7: 该眼图给出了边沿抖动和噪声的峰峰值信息, 图中黑色迹线表明波形边沿抖动的极端情况, 对应直方图显示的“离群现象”, 在眼图上则表现为最差情况下的眼开。

以上所有抖动和实时眼图测量都是使用 Keysight 6000 X 系列 6 GHz 带宽示波器及 DSOX6JITTER 选件完成的。使用 Keysight Infiniium 系列示波器的 EZJIT 抖动分析基础版选件也可执行相同的抖动测量，见图 8。请注意，该示波器会在独立的分格窗中分别显示波形、测量结果直方图、测量结果趋势图及抖动频谱。您可以利用每个独立分格窗口中的测量结果深入分析抖动来源。EZJIT 选件提供易于使用的向导程序，可引导您完成所有抖动测量设置。



图 8：使用运行 EZJIT 选件的 Keysight Infiniium 系列示波器执行抖动分析。

抖动分量和抖动分离

正如我们在这些测量示例中所见，总体抖动 (TJ) 通常由随机抖动和确定性抖动构成。从理论上讲，随机抖动 (RJ) 是无界的，通常以 RMS 有效值来衡量。“无界”是指如果您等待足够长的时间，并持续收集 TIE 测量数据，那么理论上峰峰值抖动将无限增长。但是随机抖动的 RMS 有效值最终将变为一个稳定值。另外，随机抖动的分布是很容易预测的。概率分布函数 (PDF) 始终为高斯分布 (钟形曲线)。当前许多高速总线和接口标准都要求除了测量总体抖动之外，还要测量随机抖动和确定性抖动，以验证您的设备或器件符合这些标准。

另一方面，确定性抖动 (DJ) 是有界的，始终可以用峰峰值测量。虽然确定性抖动的分布很难预测，但其各个分量的来源和特征很容易预测。如图 9 所示，确定性抖动可分为周期抖动 (PJ) 和数据相关抖动 (DDJ)，数据相关抖动可进一步分为占空比失真 (DCD) 和符码间干扰 (ISI)。请注意，前面测量中所示的 20 kHz 正弦调制就是周期抖动。如欲进一步了解抖动的各个分量，请参见本文末尾列出的应用指南《通过实时抖动分析查找抖动源》。

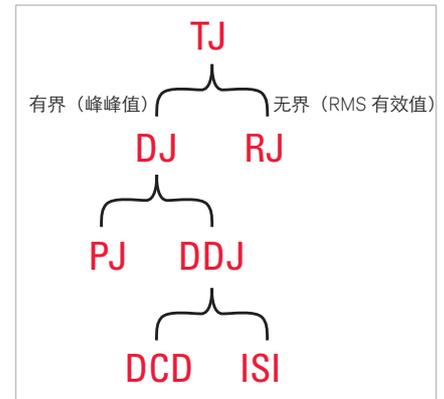


图 9：抖动分量

由于总体抖动中包含理论上无界的随机抖动分量，所以它也是无界的。直接测量总体抖动要求您必须无限期地收集数据。因此，总体抖动始终取决于用户定义的比特误码率 (BER)，该误码率通常非常小，例如为 10^{-12} 。总体抖动通常以峰峰值来表示。但是即便误码率设置很大，也是无法用示波器直接测量总体抖动的，必须根据收集到的部分数据进行推行。

在前面的测量示例中，虽然我们能够确定测得的抖动包含多种抖动分量（随机抖动和确定性抖动），但使用 Keysight InfiniiVision 6000 X 系列示波器无法分离各种抖动分量。要想分离，并根据设定的误码率推行总体抖动，需要配备了 EZJIT+ 件的 Keysight Infiniium 系列示波器，他们支持更高级的抖动分析功能。

图 10 为 Keysight Infiniium 示波器进行抖动分离的例子。使用尾部拟合 (Tail Fit) 算法，配备 EZJIT+ 选件的 Infiniium 示波器能够首先把确定性抖动从随机抖动、周期抖动中分离出来，然后再基于包含随机抖动和周期抖动的直方图，从其尾部将随机抖动分离出来。接着，它可以根据设定的误码率，由浴盆曲线推断出总体抖动。如欲详细了解抖动分离技术，请参见本文末尾列出的应用指南《使用 Keysight EZJIT Plus 软件分析抖动》。



图 10：使用配备 EZJIT+ 选件的 Infiniium 系列示波器执行抖动分离和推算总体抖动。

选择合适的示波器平台执行抖动测量

哪一款是德科技示波器平台最适合您的抖动测量，InfiniiVision 6000 X 系列还是 Infiniium 系列？这取决于您对示波器的性能要求（带宽、采样率和存储器深度）、抖动测量要求（基础或高级抖动分析与分离）、使用模式（调试或分析）和预算情况。

Keysight InfiniiVision 6000 X 系列示波器提供高达 6 GHz 带宽、20 GSa/s 采样率和 4 M 点标配存储器深度。该平台是为以调试电路为主要工作的工程师优化的，它采用实时操作系统，核心技术是为德科技第四代 MegaZoom 芯片。凭借同类示波器中最快的波形捕获率（高达 45 万个波形 / 秒），Keysight InfiniiVision 6000 X 系列示波器能够捕获其它示波器可能遗漏的偶发事件。它的价格在具有抖动分析功能（选件 DSOX6JITTER）的同等示波器中是最低的。对于关注成本，需要的性能够用即可，6000X 不失为一个很好的选择。

S 系列示波器是 Keysight Infiniium 系列示波器家族中的一员，该家族支持高达 63 GHz 的带宽和最高 160 GSa/s 的采样率，以及业内最深的存储器，深度高达每通道 2G 点（比 6000X 系列高 500 甚至 2000 倍）。该平台是为以高速信号波形分析为主要工作的工程师优化的，它采用 Windows 操作系统。如前所述，Infiniium 示波器支持抖动分析及本版 EZJIT 和高级版 EZJIT+ 选件。虽然基本版 EZJIT 选件的部分抖动测量与配备 DSOX6JITTER 选件的 InfiniiVision 6000 X 系列类似，但 EZJIT 更加灵活，支持同时查看多达 17 种测量结果趋势图和直方图。

您还可以同时分析多个波形上的抖动。抖动分析高级版 EZJIT+ 选件能够将抖动分解为各种分量，并根据 BER 系数的设定推行总体抖动。EZJIT+ 提供众多图表和工具，使您能够真正调试和分析系统中的任何抖动。



Keysight InfiniiVision 6000 X 系列示波器。



Keysight Infiniium S 系列示波器。

下表汇总了适用于是德科技 InfiniiVision 6000 X 系列和 Infiniium 系列示波器的各种抖动分析选件的功能特点：

	配有 DSOX6JITTER 选件的 InfiniiVision 6000X 系列	配有 EZJIT 软件的 Infiniium 系列	配有 EZJIT+ 软件的 Infiniium 系列
抖动的图形显示形式			
抖动趋势图	✓	✓	✓
抖动直方图	✓	✓	✓
抖动频谱	✓	✓	✓
实时眼图	✓	使用 SDA 选件 ¹	使用 SDA 选件 ¹
时钟恢复			
恒定速率时钟	✓	✓	✓
1 阶 PLL 时钟	✓	✓	✓
2 阶 PLL 时钟	✓	✓	✓
分离显式外时钟	✓	✓	✓
时钟抖动测量			
时钟 TIE	✓	✓	✓
N 个周期	✓	✓	✓
周期至周期	✓	✓	✓
+ 宽度至 + 宽度	✓	✓	✓
- 宽度至 - 宽度	✓	✓	✓
+ 占空比	✓	✓	✓
- 占空比		✓	✓
周期		✓	✓
频率		✓	✓
脉宽 (+、-、两者)		✓	✓
数据抖动测量			
数据 TIE	✓	✓	✓
数据速率		✓	✓
单位间隔		✓	✓
数据/边沿测量			
建立/保持		✓	✓
相位		✓	✓
上升/下降时间		✓	✓

	配有 DSOX6JITTER 选件的 InfiniiVision 6000X 系列	配有 EZJIT 软件的 Infiniium 系列	配有 EZJIT+ 软件的 Infiniium 系列
	抖动分离		
随机抖动 (RJ)			✓
确定性抖动 (DJ)			✓
数据相关抖动 (DDJ)			✓
符码间干扰 (ISI)			✓
占空比失真 (DCD)			✓
有界不相关抖动 (BUJ)			✓
周期抖动 (PJ)			✓
非周期有界不相关抖动 (ABUJ)			✓
总体抖动 (TJ) 估计			✓
误码率 (BER) 范围			✓
周期模式最大码型长度			✓
任意模式最大码型长度			✓
	高级抖动的图形显示形式		
误码率浴盆曲线			✓
DDJ 与比特位			✓
复合直方图			✓
总体抖动直方图			✓
数据相关抖动直方图			✓
随机抖动/PG 直方图			✓
随机抖动/PG 频谱			✓

注 1：当 Infiniium 示波器使用串行数据分析 (SDA) 选件时，不仅能够分析实时眼图，还能根据各种行业标准使用预定义模板和时钟恢复算法执行波形模板测试。InfiniiVision 6000 X 系列示波器的选件支持基于分离的显式外时钟触发进行眼图模板测试，但该选件目前不支持实时眼图模板测试。

相关文献

出版物标题	出版物类型	出版物编号
Keysight InfiniiVision 6000 X 系列示波器 (1 GHz 至 6 GHz)	技术资料	5991-4087CHCN
Keysight Infiniium S 系列示波器 (500 MHz 至 8 GHz)	技术资料	5991-3904CHCN
Keysight Infiniium 90000A 系列示波器 (2.5 GHz 至 13 GHz)	技术资料	5989-7819CHCN
Keysight Infiniium 90000 X 系列示波器 (13 GHz 至 33 GHz)	技术资料	5990-5271CHCN
Keysight Infiniium 90000 Q 系列示波器 (20 GHz 至 63 GHz)	技术资料	5990-5299CHCN
用于 Infiniium 系列示波器的 Keysight EZJIT 和 EZJIT Plus 抖动分析软件	技术资料	5989-0109CHCN
通过实时抖动分析查找抖动源	应用指南	5988-9740CHCN
使用 Keysight EZJIT Plus 软件分析抖动	应用指南	5989-3776CHCN
选择适用于 EZJIT Plus 任意数据抖动分析的 ISI 滤波器大小	应用指南	5989-4974CHCN
在 EZJIT Plus 软件中选择随机抖动带宽	应用指南	5989-5056CHCN

如欲下载上述文档，请在网址中插入出版物编号：<http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>

产品网站

如欲了解最新、最全面的应用和产品信息，请访问是德科技产品网站：

www.keysight.com/find/s-series

www.keysight.com/find/6000x-series



myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！



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。



3 年保修
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。



是德科技保证方案
www.keysight.com/find/AssurancePlans
5 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/go/quality
是德科技公司
DEKRA 认证 ISO 9001:2008
质量管理体系

是德科技渠道合作伙伴
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。

www.keysight.com/find/s-series
www.keysight.com/find/6000x-series

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

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

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

