

应用指南

避免功率计和功率传感器受损的 七项实践

引言

功率计和功率传感器等仪器在本质上非常适用于大功率射频测量应用。如果操作得当，这些仪器就会非常可靠和耐用。但是，制造商每年都会收到大量受损的功率传感器。本文以针对这些传感器做出的维修评估为基础，重点介绍了可以保护功率计和功率传感器并延长其使用寿命的几个最佳实践。

实践 1: 避免超出功率

图 1 所示为使用功率计和功率传感器测量高频功率的基本方法。功率传感器将高频功率转换为功率计可以对照射频功率电平来测量的直流或低频信号。功率计将检测到的信号显示为以 dBm 或瓦为单位的功率值。

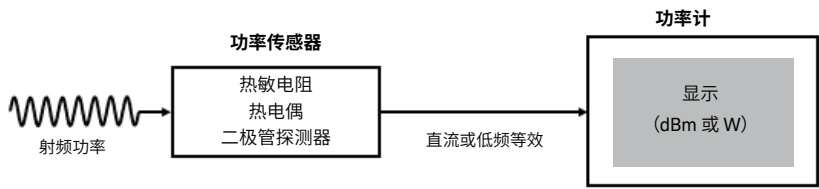


图 1. 使用功率计和功率传感器进行功率测量的基本方法

功率传感器根据型号不同，可能最大可测量功率最低可到 -60 dBm，最高可到 +40 dBm。为了提供安全裕量，最大额定功率要稍微高出这个范围。即使考虑了安全裕量，是德科技服务中心收到的故障传感器中也有一半以上是由于功率过大而损坏的。经过检查可以发现，输入级微波电路中通常会有损坏的元器件。

隔板是功率传感器中的金属部分，也是功率传感器中价格最高的模块，其单价大约会占到同一型号全新单元价格的 80% (图 2)。隔板内部有一个塑料小珠，支撑着易碎的高精度射频输入连接器中心引脚，以及一个装有终端电阻和衰减器电阻的薄膜电路盒和一个传感元件。隔板的作用是将射频输入转换为低直流电压，直流电压会与输入功率成比例变化。



图 2. 功率传感器的隔板

为防止隔板上施加的功率过大，您需要：

- 了解您测量的信号的大致信号电平
- 确保测量的功率完全处在功率传感器的动态范围之内
- 使用射频限幅器来衰减超出功率传感器限值的功率

实践 2: 避免过压

如果信号中的直流电压超过功率传感器可以处理的最高电压，就可能会损坏功率传感器的隔板。典型的直流阻隔功率传感器可以处理高达 20 VDC 的电压。像 Keysight U2004A 和 E9304A 这样的直流耦合传感器可以处理的电压则要低得多（通常为 5 V）。

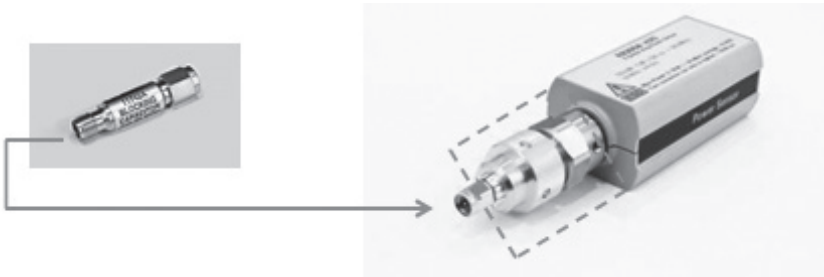


图 3. 某些功率传感器采用了内置隔直流或直流耦合设计

隔直流与直流耦合

隔直流功率传感器

隔直流传感器的传感元件前串联了一个电容器，用于抑制可能损坏或影响测量精度的低频信号。在直流偏置与射频信号共享同一路径的应用中，建议使用隔直流传感器来进行精确的功率测量。对于隔直流传感器而言，频率越低，传感器的电容就需要越大一些。

直流耦合功率传感器

直流耦合功率传感器不使用阻断电容器。因此，直流耦合传感器具有更好的电压驻波比 (VSWR) 性能，能够测量较低的频率。直流耦合传感器非常适用于计量应用，在这些应用中，可以使用电压表来测量传感器的电压，以此校准传感器并进行直接比较。

为防止出现过压，请根据功率传感器的属性来为您的应用选择最适合的传感器（表 1）。

隔直流功率传感器	直流耦合功率传感器
传感元件前串联了一个电容器	具有较好的 VSWR 性能
防止直流泄漏进入传感元件	适合用于低频到直流频率下的操作
适合用于测量有直流偏置的射频信号。	0.75 A

表 1. 隔直流和直流耦合功率传感器的属性比较

实践 3: 遵循警告提示和技术指标的规定

每个功率传感器均带有显示关键技术指标和警告提示的产品标签 (图 4)。标签提示了功率传感器可以测量的最低和最高功率电平。此功率电平的范围称为动态范围。标签还指示了功率传感器可以测量的最低和最高频率, 这就是规定的频率范围。如果功率传感器测量的是峰值功率, 那么标签还会注明视频带宽。标签上还会印制各种警告和提醒。不要超出技术指标说明书中给出的值, 或功率传感器和功率计上的黄色警告标签所指示的值。



图 4. 传感器的产品标签指示了关键的技术指标和警告提示

实践 3: 遵循警告提示和技术指标的规定 (续)

选择合适的功率传感器

选择功率传感器时，最好是选择与您要测量的信号相匹配的传感器。表 2 列出了各种功率传感器与适合应用的功率计之间的兼容情况。

		功率计							产品描述/ 传感器技术	频率范围	功率范围
		N432A/432A ¹	E4416A/17A EPM-P	N1913A/14A E4418B/9B EPM ²	E1416A VXI	N1911A/12A N8262A P 系列	8990B				
功率传感器	N8480/8480 系列 热电偶与 二极管传感器	N8482H	-	√	√	-	√	-	大功率热电偶传感器	100 kHz 至 6 GHz	-15 dBm (32 μW) 至 +35 dBm (3 W)
		8481D	-	√	√	√	√	-	二极管功率传感器	10 MHz 至 18 GHz	-70 dBm (100 pW) 至 -20 dBm (10 μW)
		8485D	-	√	√	√	√	-	二极管功率传感器	50 MHz 至 26.5 GHz	-70 dBm (100 pW) 至 -20 dBm (10 μW)
		8487D	-	√	√	√	√	-	二极管功率传感器	50 MHz 至 50 GHz	-70 dBm (100 pW) 至 -20 dBm (10 μW)
	波导功率 传感器	R8486D	-	√	√	√	√	-	波导功率传感器	26.5 GHz 至 40 GHz	-70 dBm (100 pW) 至 -20 dBm (10 μW)
		Q8486D	-	√	√	√	√	-	波导功率传感器	33 GHz 至 50 GHz	-70 dBm (100 pW) 至 -20 dBm (10 μW)
		N8486AR	-	√	√	-	√	-	热电偶波导功率传感器	26.5 GHz 至 40 GHz	-35 dBm (316 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
		N8486AQ	-	√	√	-	√	-	热电偶波导功率传感器	33 GHz 至 50 GHz	-35 dBm (316 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
		V8486A	-	√	√	√	√	-	V 频带功率传感器	50 GHz 至 75 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
		W8486A	-	√	√	√	√	-	波导功率传感器	75 GHz 至 110 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
	热敏电阻底座 传感器	478A	√	-	-	-	-	-	同轴热敏电阻底座	10MHz 至 10GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +10 dBm (10 mW)
		8478B	√	-	-	-	-	-	同轴热敏电阻底座	10 MHz 至 18 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +10 dBm (10 mW)
	USB 传感器	U2000A	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 18 GHz	-60 dBm (1 nW) 至 +20 dBm (100 mW)
		U2001A	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 6 GHz	-60 dBm (1 nW) 至 +20 dBm (100 mW)
		U2002A	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	50 MHz 至 24 GHz	-60 dBm (1 nW) 至 +20 dBm (100 mW)
		U2004A	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	9 kHz 至 6 GHz	-60 dBm (1 nW) 至 +20 dBm (100 mW)
		U2000B	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 18 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +44 dBm (25 W)
		U2001B	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 6 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +44 dBm (25 W)
		U2000H	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 18 GHz	-50 dBm (10 nW) 至 +30 dBm (1 W)
		U2001H	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	10 MHz 至 6 GHz	-50 dBm (10 nW) 至 +30 dBm (1 W)
		U2002H	-	-	√ ³	-	-	√	二极管功率传感器	50 MHz 至 24 GHz	-50 dBm (10 nW) 至 +30 dBm (1 W)
	已停产的 848x 传感器	8481/2/5/7A	-	√	√	√	√	-	热电偶功率传感器	100 kHz 至 50 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
		848xB/H	-	√	√	√	√	-	大功率热电偶传感器	100 kHz 至 18 GHz	-10 dBm (100 μW) 至 +44 dBm (25 W)
		R8486A	-	√	√	√	√	-	热电偶波导功率传感器	26.5 GHz 至 40 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +20 dBm (100 mW)
		Q8486A	-	√	√	√	√	-	热电偶波导功率传感器	33 GHz 至 50 GHz	-30 dBm (1 μW) 至 +20 dBm (100 mW)

表 2. 功率传感器与功率计的兼容性

1. 432A 型号已由 N432A 替代。
2. E4418B/19B 型号已由 N1913A/14A 替代。
3. 仅限于 N1913A/14A。

实践 3: 遵循警告提示和技术指标的规定 (续)

选择合适的功率传感器 (续)

在选择了功率传感器之后, 请根据您的应用来选择合适的功率计。U2000 系列 USB 功率传感器与 EPM 系列功率计类似, 二者都只能测量平均功率。USB 传感器轻巧便携, 非常容易安装和维护。需要标准机架设备的用户可选用 EPM 系列。EPM-P 是一款性能适中的功率计, 可以测量峰值功率。它的 VBW 为 5 MHz, 非常适合用于 GSM、EDGE 和 CDMA 测量。

P 系列为是德科技公司的高性能仪表系列。这些仪表具有 30 MHz 的 VBW, 非常适合用于 LTE、WiMAX™、MIMO 和雷达测量。N1918A 功率分析管理软件是基于 Windows 的软件, 它对某些是德科技仪表的功能进行了扩展。基础版本可从是德科技网站免费下载。

功率计	产品描述	应用
U2000x 系列 USB 功率传感器	USB 平均功率传感器	- 通用平均功率测量 - 用于安装和维护的便携式仪器 - 卫星通信测试 - 用于现场或实验室的自供电解决方案 (V3500A)
V3500A 手持式功率传感器	手持式平均功率传感器	
EPM 系列, N1913/14A	平均功率和脉冲功率	- 通用平均功率测量 - ATE 系统标准机架尺寸的设备 - 航空航天/国防和军事应用 - 测量多达 4 个信道的多信道功率
EPM-P 系列, E4416/17A	峰值, 平均值和脉冲分析, 5 MHz VBW	- 无线通信 (GSM, EDGE, cdma2000, W-CDMA)
P 系列, N1911/12A	峰值, 平均值, CCDF, 脉冲分析, 30 MHz VBW	- 航空航天/国防雷达脉冲 - 无线通信和网络 (WiMAX, WLAN, MIMO, MCPA) - 研发和制造
P 系列模块化, N8262A	峰值, 平均值, CCDF, 脉冲分析, 30 MHz VBW	- 航空航天/国防 ATE 系统 - 制造 ATE 系统
N432A 热敏电阻	连续波和平均功率	- 校准和计量实验室
N1918A 功率分析管理软件	扩展 USB 传感器和 P 系列的功能	- 无线通信和网络 - 航空航天/国防脉冲元器件测试 - 卫星通信测试 - 电子制造

表 3. 适合不同应用的功率计/功率传感器类型

实践 4: 保护射频连接器和适配器

谨慎使用可以最大程度地控制性能的下降，在使用昂贵的测量仪器连接器时，这一点尤其有帮助。受损或不合格的连接器可能会损坏与之相连的好的连接器，即使是第一次连接也是如此。因此，如果发现受损的连接器或适配器，则应当进行处理或立即送去维修。不良的连接器会导致传输和反射损耗，在断开连接或重新连接时，传输和反射损耗可能会发生变化，连接还可能变得断断续续，导致测量误差和可重复性问题。为最大程度保证质量和避免仪表损坏，建议使用是德科技原厂微波转接器。

进行连接

图 5 所示为典型的阳头和阴头连接器的横截面。我们要关注的重要部分是中心导体、外部导体（也称为配合平面）和拧紧到阴螺纹上使导体互相接触的螺母。

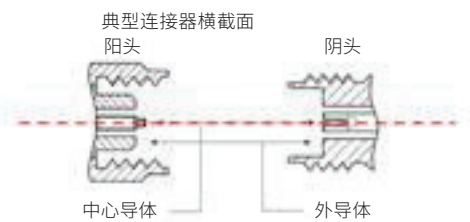


图 5. 阳头和阴头连接器横截面

进行连接时，两个连接器的中心轴应对齐（图 6）。将两个连接器推到一起，使得阳头引脚可以平稳地滑入阴头指杆。电接触通过阳头引脚外表面上的阴头中心导体的内表面与配合平面的物理接触来实现。



图 6. 正确对齐并连接以防损坏

实践 4: 保护射频连接器和适配器 (续)

进行连接 (续)

拧紧时只能旋转连接器螺母。不要转动器件或连接器主体 (图 7)。



图 7. 正确拧紧以防损坏

功率传感器也适用同样的规则 (图 8)。旋转射频输入连接器的连接器螺母，不要转动器件。



图 8. 正确进行连接以防损坏传感器

实践 4: 保护射频连接器和适配器 (续)

断开连接

断开连接时, 握住连接器主体, 防止晃动或弯曲连接器。如有必要, 用开口扳手 (最好是力矩扳手) 松开连接器螺母 (图 9)。切勿使用钳子。用手断开连接, 并将连接器笔直拉开。

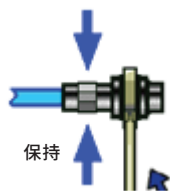


图 9. 握住连接器主体, 防止在断开连接时发生损坏。

图 10 所示为不同类型连接器上的受损阴头指杆。此类损伤是由于阳头中心导体发生旋转, 或是在连接和断开过程中未对准而导致的。



图 10. 受损的阴头连接器指杆

实践 4: 保护射频连接器和适配器 (续)

使用扭矩

尽管是德科技的许多射频/微波连接器在设计上都考虑到了其机械接口的坚固性，但用户必须注意施加到螺母上的扭矩大小，这样才能保证有长寿命和良好的信号性能。扭矩太大会使得连接器部件变形，并可能导致出现不匹配。扭矩太小则会导致 VSWR 不良，造成连接不良。表 4 显示了各种连接器所需要的扭矩值。使用正确的扭矩还可以提高测量的可重复性。

连接器类型	扭矩: 磅-英寸 (牛顿-厘米)
精密 7 mm	12 (135)
精密 3.5 mm	8 (90)
SMA	5 (56) 使用 SMA 扭矩值将 SMA 阳头连接器连接到精密 3.5 mm 阴头连接器上。使用 3.5 mm 扭矩值将阳头 3.5 mm 连接器连接到阴头 SMA (8 lb-in) 上。
精密 2.4 mm	8 (90)
精密 1.85 mm	8 (90)
N 型	如果使用扭矩扳手, 可将 1.85 mm N 型连接器拧紧。建议的扭矩为 12 lb-in (135 N-cm)。

表 4. 根据连接器类型建议的拧紧扭矩

图 11 所示为 N 型扭矩扳手示例。拧紧时应轻轻握住手柄的末端。在达到断裂点时停止拧紧。

N 型扭矩扳手示例



扭矩扳手在使用时保持笔直



当手柄开始弯曲时停止

图 11. 使用 N 型扭矩扳手可防止拧得太紧

实践 4: 保护射频连接器和适配器 (续)

将适配器用作连接器保护器

使用适配器是保护功率传感器射频输入连接器的方法之一 (图 12)。使用适配器最主要的原因是预防被测器件 (DUT) 与功率传感器使用了不同的连接器。即使被测器件确实使用同一系列的连接器, 使用仪器级的适配器也可以提供保护, 从而防止损坏, 避免昂贵的维修成本。注意: 在计量校准期间不得使用适配器, 否则会有损高精度。



图 12. 使用适配器可以保护连接器

目视检查

对连接器进行目视检查非常重要。由于连接器具有非常精密的机械公差, 因此细微的缺陷、损伤和污垢都会大大降低可重复性和精度。在进行连接之前, 目视检查是否存在明显的缺陷, 例如严重磨损的镀层, 较深的划痕或凹痕。由于金的质地比较软, 因此镀金连接器更容易受到机械损伤。

螺纹损伤通常会导致金属碎屑掉落到连接器的其他部件内, 造成严重损伤。如果连接器有明显缺陷, 请弃用或将其送去维修。对于松散的金属颗粒或小纤维之类的碎屑, 可使用压缩空气或氮气以 < 400 kPa 的低压将其吹走。

对于用压缩空气无法清除的污垢或顽固污染物, 可使用蘸有异丙醇的无绒棉签擦拭干净。不得使用其他溶剂, 否则可能会侵蚀支撑中心导体的塑料介电珠。擦拭时要径向动作, 不要打圈。注意避免将清洁棉签卡到中心导体的指杆上。

实践 4: 保护射频连接器和适配器 (续)

使用量规

连接器量规是机械检查射频连接器时采用的工具 (图 13)。它可以测量引脚的深度。由于射频连接器的机械公差非常精确, 一旦超出机械技术指标, 即使是非常干净的新连接器也可能引起麻烦 (图 14)。第一次使用连接器之前, 请记录引脚深度, 以便与将来的读数进行比较。



图 13. 连接器量规可测量引脚深度

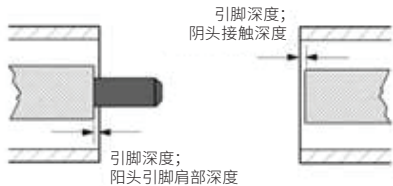


图 14. 确保测量精度需要使用适当的引脚深度

如果阳头引脚的肩部超出了外部导体的接合面, 连接会对引脚产生作用力, 导致阴头和阳头引脚受损。

处理和储存

在不用时, 请用制造商提供的保护端盖保护好连接器。切勿将连接器或校准标准件散放到盒子内。这种存储方法也是造成连接器损坏的常见原因。不要触摸接合面。皮肤油脂和微小颗粒很难从这些表面上去除。不得将连接器的触点末端朝下放置在坚硬的表面上。接触坚硬的表面可能会损坏镀层和接合面。

实践 5: 确保正确接地

始终使用功率计随附的三芯交流电源线, 这样可以确保设备正确接地。接地引脚的作用是将设备的裸露金属接地。仪器正常工作时, 设备地线中没有电流。如果发生故障, 那么设备地线会为电流提供流动路径。这样可以保护仪器和操作人员。

检查交流电源的质量和极性, 通常使用的交流电压为 100、120、220 V $\pm 10\%$ 或 240 V $+5\%/-10\%$ 。预期的典型地线电阻为 $< 1\Omega$, 零线和地线之间的电压为 $< 1V$ 。必要时可以安装不间断电源 (UPS)。

实践 6: 采取静电放电 (ESD) 预防措施

人体会积聚静电，在放电时很容易损坏敏感的内部电路元件。即使是人体感觉不到的静电放电也可能会造成永久性损伤。功率传感器标签上的 ESD 符号表示功率传感器对静电极其敏感 (图 15)。连接器中心引脚上的静电放电会使功率传感器无法工作。



图 15. 功率传感器上使用的标签，显示了其对 ESD 的敏感性

为防止 ESD 造成损伤，请确保：

- 在不使用功率传感器时，要一直把连接器的盖子盖上
- 尽可能在没有静电的工作站进行功率测量
- 只有在没有静电的工作场地中，才能进行功率传感器的清洁和检查
- 避免将静电源放在防静电工作台的一米范围内

实践 6: 采取静电放电 (ESD) 预防措施 (续)

ESD 保护设置

图 16 所示为使用接地垫和腕带的典型 ESD 保护设置。

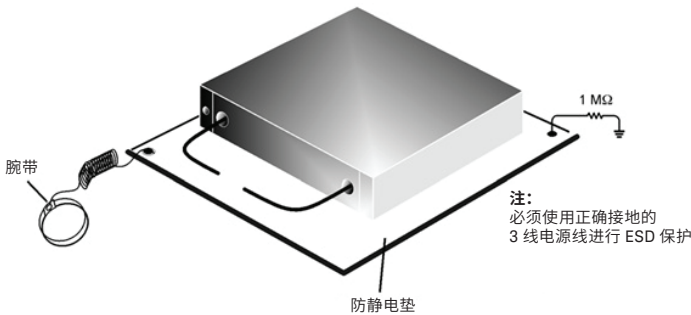


图 16. 典型的 ESD 保护配置

桌面覆盖了一层耗散垫, 通过 1 MΩ 电阻器接地。避免使用导电表面, 因为低电阻会导致类似瞬态的静电放电。与通过静电耗散材料逐渐放电相比, 快速放电对电子器件造成的危害更大。耗散垫可使释放在其表面的电荷在垫子周围流动, 让垫子的各个部分都具有相同的电荷。当垫子接地时, 这些电荷会以较慢的速率重新结合, 直到垫子上的静电全部耗散。在可能遇到的最高电压下, 为了将故障电流限制在 0.5 mA, 需要使用 1 MΩ 的电阻器。

接地的工作人员必须佩戴高电阻腕带。腕带会缓慢耗散高电阻电流, 防止电流涌入接地线导致严重伤害。腕带通常由弹性尼龙织物制成, 其内表面采用了导电纤维。

在接地地面上穿着防静电鞋可以进一步提高静电环境的防护能力。工作人员还应当穿着防静电工作服。

实践 7: 检查温度和湿度

必须妥善存放功率计和功率传感器。如果暴露在极端湿度、温度、灰尘和其他条件下，设备的性能可能会受损。功率传感器和功率计应当保存在清洁、干燥的环境中。确保设备机架通风良好。定期检查并清洁散热孔和风扇。

建议的操作和存储环境条件参见技术资料。最佳工作温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。仪器应始终存放在 $<30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下。如果在这个温度范围之外使用器件，则可能会造成测量误差。在极端温度条件下，测量仪器的内部电子元件可能会受损。

相对湿度是在给定的温度和气压下，空气中的水蒸气含量与可能的最高水蒸气含量之比。相对湿度通常被忽视，但它是造成 ESD 的重要环境因素。干燥的空气在流动时会产生大量的静电荷。

结论

强烈建议您掌握并采用本文当中介绍的做法，以延长功率计和功率传感器仪表的使用寿命，减少停机时间和维护成本。保持仪器处于良好状态，确保在应用中准确进行功率测量，这样可以缩短测试时间，提高总吞吐量。

相关文献

出版物标题	出版物编号
《选择合适的功率计和功率传感器》产品指南	5968-7150E
《四个步骤更好地进行功率测量》应用指南 64-4D	5965-8167E
《同轴系统: 微波连接器保养原则》应用指南 326	5954-1566
《射频和微波功率测量基础》(第一部分), 应用指南 1449-1	5988-9213EN
《射频和微波功率测量基础》(第二部分), 应用指南 1449-2	5988-9214CHCN
《射频和微波功率测量基础》(第三部分), 应用指南 1449-3	5988-9215EN
《射频和微波功率测量基础》(第四部分), 应用指南 1449-4	5988-9216EN
《是德科技功率计和功率传感器选型指南》	5989-7837CHCN
《了解直流耦合和隔直流功率传感器以及传感器类型选择对测量精度的影响》应用指南	5990-6745EN

如欲了解更多信息, 请访问: www.keysight.com

如需了解关于是德科技产品、应用和服务的更多信息, 请与是德科技联系。

如需完整的联系方式, 请访问: www.keysight.com/find/contactus

