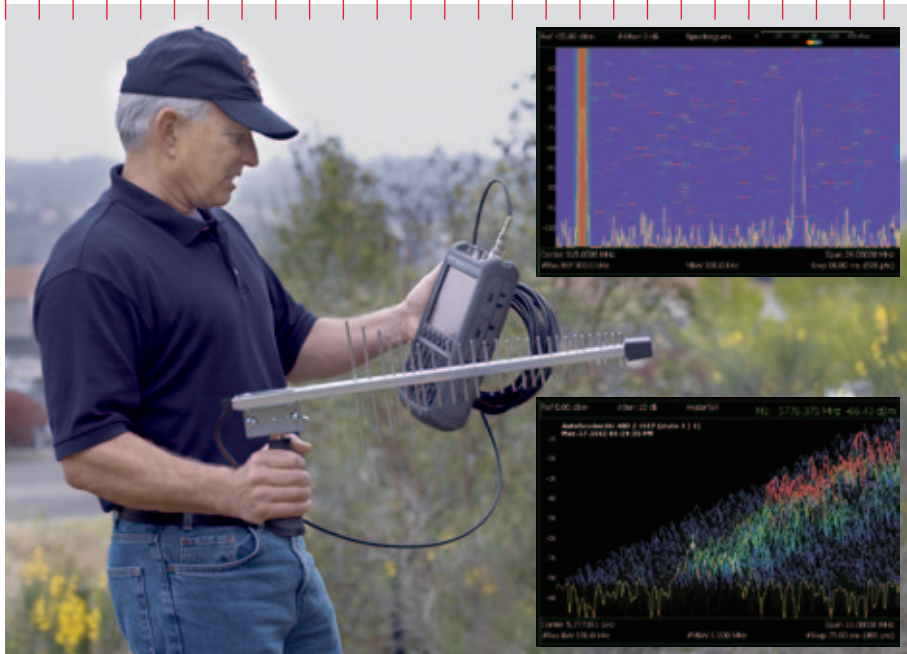


# 是德科技

## 在现场执行精密干扰测量的技巧 使用 FieldFox 手持式分析仪

### 应用指南

本应用指南讨论了运营商在现有的和新的无线环境中将会遇到的各类干扰。文中介绍了使用现代高性能频谱分析仪(例如Keysight FieldFox 分析仪)进行干扰测试的高效测量技术和仪器要求。Keysight FieldFox 分析仪具有出色的通用性和耐用性,可在条件恶劣的现场以及难以到达的地方快速进行精确测量。文中还讨论了各种干扰的分类,包括带内、同信道、带外和相邻信道干扰。 *随时随地进行精确测量。*



## 简介

微波系统运营商经常会遇到蜂窝系统和数据链路产生的干扰。由于无线频谱资源的匮乏，无线通信系统往往需要在有限数量的无线干扰下进行工作。许多现有的无线系统通过监管机构的许可控制和运营部分频谱。许可运营给服务提供商授权，允许他们确定所提供服务的采用哪种技术，还可以防止其他无线业务和服务提供商所产生的有害干扰。获得许可的无线系统将会在广泛的射频和微波载频范围内工作。获得许可的系统包括LTE蜂窝系统(通常在2GHz以下的载频内工作)、直接广播卫星(下行链路: 12GHz; 上行链路: 17GHz)以及点对点回程系统(在23GHz频段内工作)。当试图在许可频谱的有限频段内挤入大量用户时，系统内通常会产生产同信道和临近信道干扰。另一方面，非许可的运营一般被视为开放接入资源之一，当频谱需求增加时，系统干扰也会增加，从而影响到全体用户的服务质量。非许可系统的实例包括流行的Wi-Fi、蓝牙<sup>®</sup>以及使用2.4GHz频段的ZigBee系统。许多频段同时分配给许可和非许可运营。例如在美国，许多雷达平台都使用3.1至3.3GHz频段，包括AWACS等空运系统、合成孔径雷达(SAR)和Aegis等船载系统。在200MHz频段内，非许可运营可使用3.26至3.267GHz频段部分。此外，随着公共部门、商用和非商用应用中对频谱的需求不断增长，当新的无线系统问世时，无线干扰问题预计会进一步扩大。例如，新一代蜂窝通信系统将会在覆盖网络中部署“毫微微蜂窝基站”，有可能对宏蜂窝下行链路产生干扰<sup>[1]</sup>。

另一个实例是使用动态频谱接入(DSA)的系统，这些作为第二用户工作的伺机型无线系统将临时使用空闲频谱，直到主运营商开始发射信号。第二DSA用户相当于对主用户的干扰，直到第二用户重新分配到另一段可用频谱。这些DSA技术有时称为认知无线电(CR)<sup>[2]</sup>和空白频段<sup>[3]</sup>。

## 频谱使用率的增加需要更先进的测量工具

为了提高频谱利用率，某些国家和地区尝试根据消费者的需求重新分配频谱。美国政府最近决定<sup>[4]</sup>，频谱将重新分配，开放高达500MHz的新频谱用于移动和固定宽带应用。在长达数年的过渡期内，可能需要对现有系统进行频率重定位(1755至1850MHz频段<sup>[5]</sup>)，导致现有系统和新系统之间发生干扰，这种干扰直到重定位结束后才会消失。虽然所有这些现有系统和新系统都在尽量提高频谱利用率，但对更先进测量工具的需求仍不断增长，用于对不同无线系统之间的干扰程度进行测试、监测和管理。这些测量通常要求在系统接收机附近，使用坚固耐用、轻便易携、性能与传统台式仪器不相上下的测试仪器进行外场测试。

本应用指南讨论了运营商将在现有系统和新系统中遇到的各种干扰，并介绍了使用现代高性能频谱分析仪——例如Keysight FieldFox N993xA微波频谱分析仪和N991xA微波综合分析仪(电缆和天线分析仪、频谱分析仪，以及矢量网络分析仪)——测量各种干扰的高效方法。



图 1a. FieldFox 连接到定向天线，用于定位无线干扰源



图 1b. FieldFox 直接连接到无线通信系统上的馈线

## 干扰和频谱接入

在任何无线系统的无线信道中都存在干扰，它可能会降低指定信号的接收率。当无线系统接收到的干扰信号功率电平大于指定信号时，其服务质量将会降低，甚至导致服务中断。当多个无线系统使用相同的无线频谱时，有可能产生“干扰事件”。IEEE<sup>[6]</sup>对干扰事件的定义是：“干扰超过定量阈值电平的情况”，阈值电平可根据幅度、频率、时间和/或系统性能来进行设置。当调查动态无线环境中的电磁干扰的类型和起源时，高性能频谱分析仪（例如 FieldFox）是必不可少的工具，它们可根据时间、频率和位置来测量干扰信号的功率电平。

鉴于干扰测试通常需要在无线系统周围环境中进行测量和收集数据，轻便易携、使用电池供电的频谱分析仪能够在这些条件恶劣的环境中非常方便地进行现场测试。图 1a 中，技术人员正使用手持式频谱分析仪在嘈杂的

CATV 放大器附近进行现场测试。在此例中，频谱分析仪通过短同轴电缆连接到定向天线。分析仪显示的测量结果可以针对电缆损耗和天线增益进行调整。定向天线通过指向周围环境，可以测量信号幅度的变化。频谱分析仪可根据这种变化，识别干扰发射机的位置。图 1b 中，FieldFox 连接到蜂窝基地站的馈线上，以确保其回波损耗在技术指标范围内，因为电缆和天线的性能如果不高，有可能导致网络干扰。

无线系统中的干扰可能来自于各种有意、无意和偶然的辐射体。有意辐射体的定义是：包含有源发射机的设备，能够产生特定射频/微波载频和特定输出功率电平的电磁信号。有意辐射体包括手机、雷达和 WLAN 设备。无意辐射体可能使用射频/微波信号，例如无线接收机，虽然不是有意充当发射机，但是会在无意间辐射

信号。偶然辐射体不使用射频/微波信号，但是在工作中可能会辐射或调制射频/微波信号，例如电动机<sup>[7]</sup>和荧光灯<sup>[8]</sup>。虽然这种技术和测量应用程序可用于任何类型的辐射体，但本应用指南将主要介绍对在频谱中共存的、可能对目标无线系统的运行产生干扰的许可和非许可有意辐射体的测量。

许可无线系统可通过在时域、频域和/或空间域中隔离多个用户，最大限度减少干扰。非许可系统知道将会存在干扰，并通过尽可能利用时域、频域和/或空间域尝试与所有用户友好地分享频谱。在非许可频段中，通常不允许多个无线设备之间的协调，无线设备在以“先听后说”协议发送信号之前往往必须测量信道能量，例如 IEEE 802.11 系统。

## 干扰和频谱接入续

图2显示了使用FieldFox和外部连接全向天线进行“空中”测量的实例。图中显示了UHF频段内的被测频谱支持许可和非许可信号。较低的频段覆盖了美国蜂窝系统的下行链路部分。较高的频段显示了非许可频谱，其中包含FCC第15部分规定的无线通信设备以及在工业、科学和医疗(ISM)应用中的非电信设备的发射。为进行此次测量，FieldFox配备了内部前置放大器，以提高测量灵敏度；0dB内部输入衰减器，以进一步改善分析仪的本底噪声。使用游标和相关的游标表来显示每个分配频段的起始和终止频率。使用FieldFox捕获图中显示的测量结果并作为图像文件进行保存。测量扫描结果也可保存到分析仪的内部存储器、微型SD或USB驱动器中。记录测量结果，对于捕获间歇性信号而后执行进一步分析(包括信道功率、占用带宽、邻道功率和其他干扰分析)非常重要。

图2还显示，清晰地分离这两个频率范围，可以有效地防止不同类型的系统彼此干扰。鉴于频谱是如此珍贵的资源，图中所示的下行链路ISM频段(图中标记为“其他”)之间的频率范围已经分配给其他类型的无线系统，包括商用导航和陆地移动无线系统。如图所示，在这个特殊的测量位置，使用这种特殊的仪器设置，很难测量这些“其他”系统输出的信号能量。

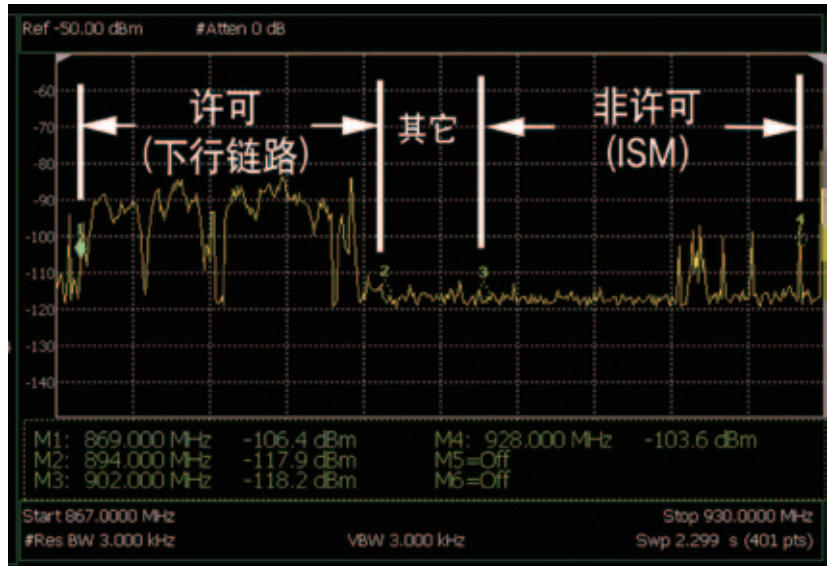


图2. 使用FieldFox对UHF频谱进行空中测量的结果，其中显示了一部分许可蜂窝频段和非许可的工业、科学和医疗(ISM)频段。

在机场、海港和其他一些地方，干扰可能中断无线和卫星信号的接收，在这些地方进行干扰测试极其重要。邻近边境的频谱用户还必须特别注意，因为无线发射可能跨越边境产生干扰，而且每个国家或地区的监管规定都是不同的。国际电信联盟(ITU)等组织开发了多种无线标准，“以确保新一代网络能够实现完美的全球通信和互通”，但是要找到跨越国界的公共频段非常困难。

无线发射机的运营商偶尔可能会恶意发送信号，以便在没有适当许可的情况下中断通信或已知的广播信号。政府机构将会对违规运营商做出惩罚，有时会没收违反频谱分配的无线设备。许多政府机构禁止“干扰发射台”的有意或恶意工作，它们的工作有可能对无线通信业务产生干扰<sup>[9]</sup>。监管

机构将记录投诉，使用无线测向设备定位干扰源，有可能对运营商课以罚款和没收设备。为了加快对干扰发射机的识别和定位，设备运营商通常使用自己的设备(包括频谱分析仪，例如FieldFox)快速定位恶意发射，通过适当的监管信道加快消除恶意干扰。

作为对系统性能进行测试和确保符合监管规定的一部分，通常需由蜂窝、广播电台和电视、雷达和卫星等行业的商业和非商业机构连续监测频谱中的已知和未知信号。由于无线系统经常会共享或重复使用频谱，当系统发射机不适当地将能量辐射到指定或其他频段中时，来自其他用户的干扰可能很快变成问题。在通过不断挤压频谱来获得最高容量和性能的所有这些情况下，识别和减少干扰对于所有无线系统的正常运行都是至关重要的。

## 干扰分类

当无线系统报告称指定信号的接收信号强度足够强但性能有问题时，很可能是某种形式的无线干扰影响到接收机的运行。频谱分析仪是一个极其有用的工具，可测量指定信道附近频率范围内的信号的幅度，验证性能降低是由工作信道还是邻近信道中的干扰造成的。无线系统中存在的干扰可以多种方式进行分类。干扰可能只影响少数用户，也可能以中断整个无线系统中所有通信的方式进行发射。下表列出了无线行业中常用的分类。

- 带内干扰
- 同信道干扰
- 带外干扰
- 相邻信道干扰
- 下行链路干扰
- 上行链路干扰

图3显示了一个理想的频谱图，其中在广阔的频率范围内有多个信号。使用信道1作为指定信号的频率范围，在频域中引入的其他信号可能会降低此系统的性能。如图3所示，带内、带外（包括相关谐波）和邻近信道干扰（用信道1和信道2之间的重叠表示）可能都会影响到信道1的系统性能。

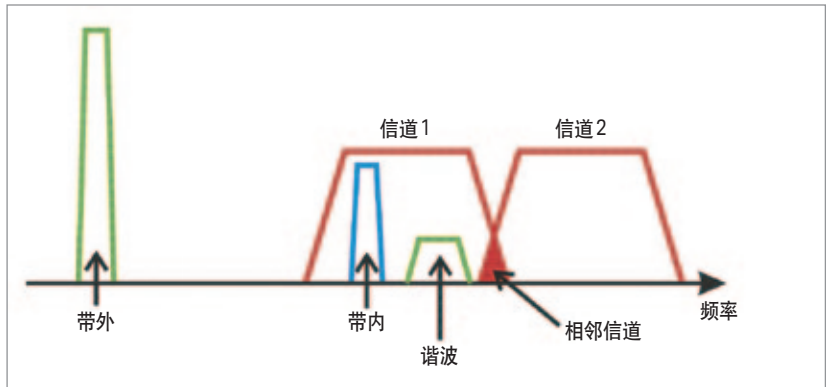


图3. 无线环境中存在多个信号，导致在信道1中出现不同程度的干扰

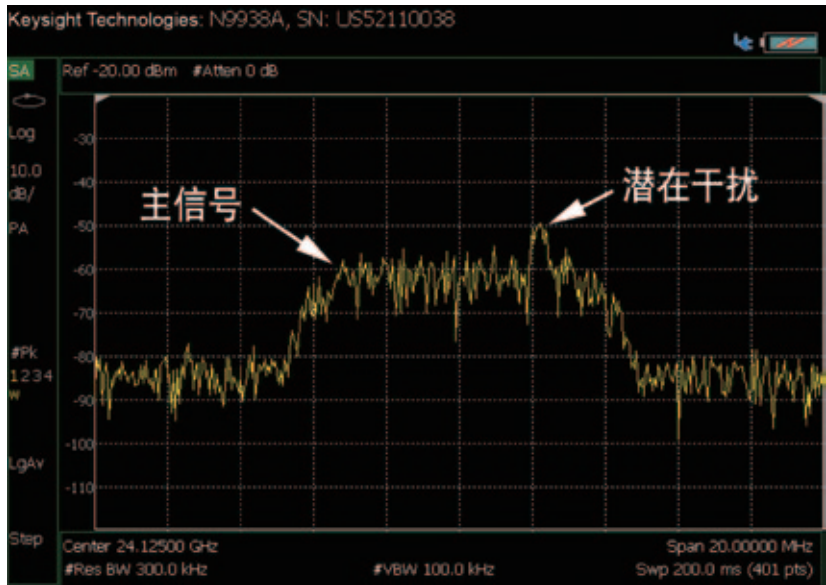


图4. 24 GHz 微波通信信号的频谱测量结果，系统性能低于预期，可能存在带内干扰

### 带内干扰

带内干扰是指由各种通信系统或无意辐射体发射的，落入指定系统工作带宽内的无效信号。这种干扰可穿过接收机的信道滤波器，并且如果干扰幅度大于指定信号幅度，那么将会对指定信号产生破坏。如果带内干扰的幅度接近或低于指定信号，那么非常难以测量，因此必须暂时关闭指定信号的发射机，以便测量干扰的特征。如果不能关闭目标发射机，那么可以在环境中移动频谱分析仪（包括连接的天线）以创造适当的信号条件，使干扰信号的幅度相比指定信号足够大，以便使用分析仪进行查看和测量。

图4显示了24.125GHz点对点微波通信系统在潜在带内干扰下进行的测量实例。系统报告称性能低于预期，于是我们使用FieldFox来测量接收机上的信道条件。如图所示，在频段中心附近有一个幅度略有不同的信号。对此系统进行故障诊断可能需要关闭主系统，以便查看和识别干扰。另一个方法是调整高增益天线的指向，以增加被测干扰的幅度，以便进行查看。高增益天线还可用于测定干扰源的物理位置——将天线指向周围环境，直到在手持式频谱分析仪上看到幅度峰值。

## 干扰分类续

### 同信道干扰

同信道干扰产生的情况特征类似于带内干扰，不同点是同信道干扰是来自同一无线系统中的其他无线设备。例如，当蜂窝基站的物理位置很远时，它们将重新使用相同的频率信道，但是某个基站发出的能量偶尔也会进入相邻的信元区域并且可能造成通信干扰。无线局域网也受到同信道干扰，由于非许可 WLAN 无线设备在传输信号前会侦听开放信道，因此有可能两个无线设备同时在同一频率信道中传输信号并产生冲突。由于系统设计者试图设计能够在少量可用频率信道内支持大量无线用户的系统，因此同信道干扰成为最常见的无线电干扰类型之一。观察同信道干扰的最简单方式是关闭指定无线设备的发射机，并使用频谱分析仪调谐至感兴趣的频率信道以搜索同一系统中的其他信号。

### 带外干扰

带外干扰——来自于在指定频段内工作的无线系统，但由于不恰当的滤波、非线性和/或泄露，干扰也会将能量发射到其它无线系统的频段中。如设计简单或滤波性能不佳的发射机产生的谐波进入较高频段时就会出现带外干扰。图 3 显示了使用最高幅度信号表示的理想化带外干扰，其二次谐波落在信道 1 的带宽中。取决于二次谐波信号性相对于指定信号的幅度，信道 1 系统的性能可能降低。通常，监管机构有一项重要要求，即正确过滤掉发射机的谐波，这样可使无线系统不会影响到更高频段中工作的其他系统。

测量谐波电平时，必须使用频率范围至少是该系统基本工作频率三倍的频谱分析仪。例如，当验证在 6 GHz 上工作的发射机的性能时，必须分别测量在 12 GHz 和 18 GHz 上的二次和三次谐波。此时，频率范围高达 9、14、18 和 26.5 GHz 的 FieldFox 是最佳的解决方案。

图 5 显示了无线通信信号的频率响应，该信号未经输出滤波，中心频率

为 8.1 GHz。FieldFox 配置为显示两条重叠的测量迹线，一条是经过适当带通滤波的发射机信号(黄色)，另一台是未经滤波的信号(蓝色迹线)。通常，这两个信号的频谱基本上是相同的，不同点在于未滤波信号(蓝色迹线)显示存在能量中心点为 16.2 GHz 的二次谐波。信号一旦发射出去，此谐波能量极有可能对在 16 GHz 频段上或其附近工作的其他系统产生干扰，例如商用机场雷达空运 SAR 系统。

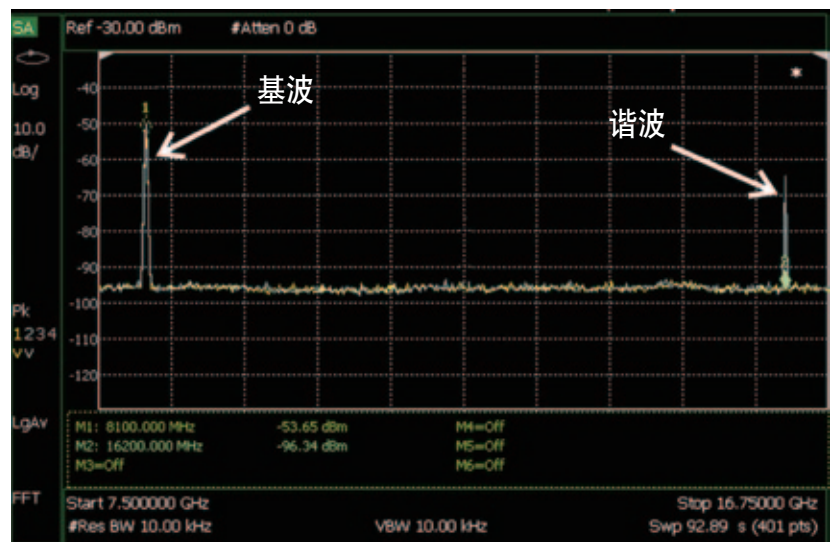


图 5. 此屏幕显示了进行了带通滤波(黄色迹线)和左侧未滤波(蓝色迹线)的 8.1 GHz 无线通信信号的测量结果。未滤波的响应显示了在 16.2 GHz 上可查看的二次谐波。

## 干扰分类续

### 带外干扰续

为进行图5所示的测量，分析仪对设置进行了优化以提供最高的动态范围，包括降低分辨率带宽 (RBW) 和内部衰减器设置，启用内置的前置放大器。一般使用窄 RBW 设置来实现最低的分析仪本底噪声，即显示的平均噪声电平 (DANL)。可惜，窄 RBW 设置会增加分析仪的扫描时间，特别是在谐波测试期间在宽频率范围上进行扫描的时候。此时，由于唯一感兴趣的信号就是预定信号及其谐波，所以可以通过调整分析仪的中心频率和扫宽，以及单独测量感兴趣的信号，显著改善总体测量时间，如图6所示，其中使用较小的频率扫宽分别对8.1 GHz 基波 (图6a) 和16.2 GHz 谐波 (图6b) 进行了测量。使用 FieldFox，用户可以将“CF Step” (中心频率步长) 设置为基波值，然后使用方向键或旋钮改变分析仪的中心频率，从而在基波和谐波之间快速切换分析仪的中心频率。

图6显示了进行带通滤波 (黄色迹线) 和左侧未滤波 (蓝色迹线) 的信号的结果。

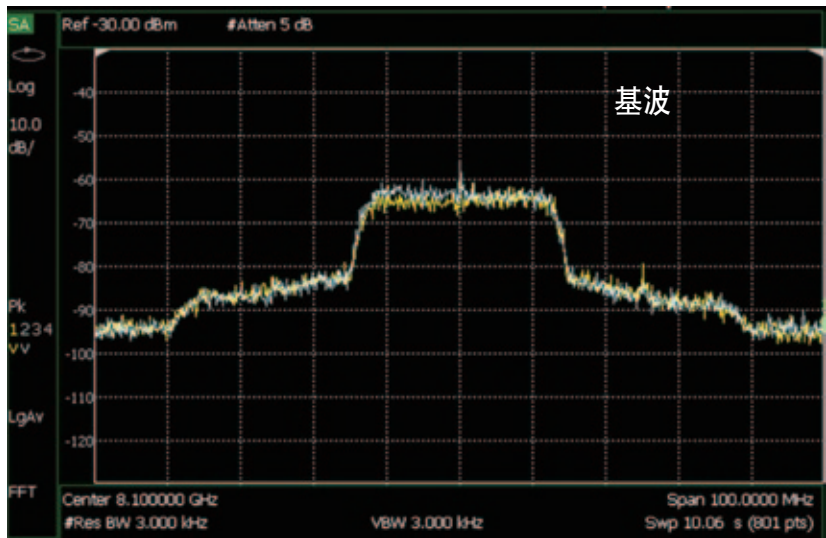


图6a. 8.1 GHz 基波信号的频率响应

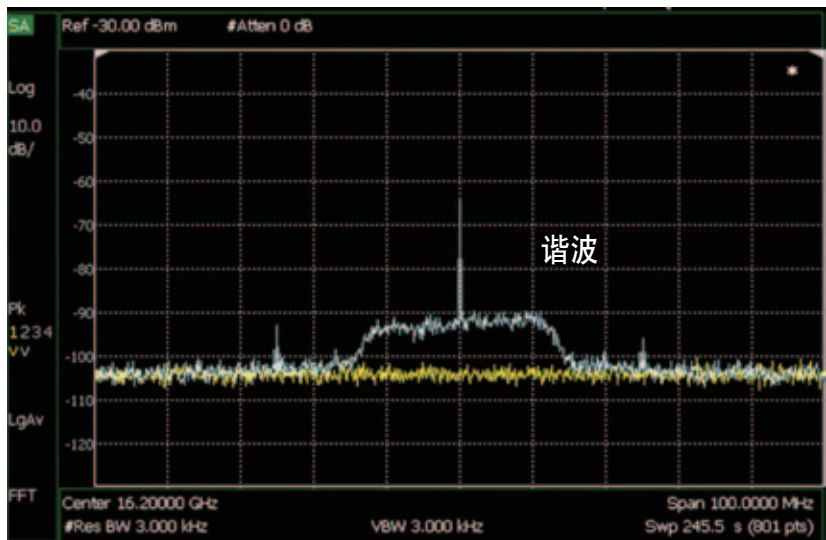


图6b. 16.2 GHz 谐波响应

## 干扰分类续

### 相邻信道干扰

相邻信道干扰——是指定频率信道中的发射在其它相邻信道中产生无效能量的结果，通常位于同一个系统中。通常，相邻信道干扰主要是由指定频率信道泄漏的能量进入周围较高或较低信道而引起的。这种能量泄漏是由调制、开关切换瞬态和互调失真引起的。在无线发射机的功率放大器中，由于功率电子元件的非线性效应，往往会产生互调失真或频谱再生。关于互调失真测试的详细信息，参见是德科技产品指南《Optimizing Dynamic Range for Distortion Measurements (优化失真测量的动态范围)》<sup>[10]</sup>。

图7中显示了两个信道相关测量的实例。被测信号是类似于有线电视中继业务(CARS)的17.725GHz调制信号。CARS经许可使用17.7至19.7GHz频段进行运营。在此频段中的CARS信道间距规定为10MHz。随后，回放并使用记录的测量结果来确定信道功率和邻近信道功率。图7a显示，在10MHz的带宽上，被测信道功率为-19.6dBm。从图7a中可以明显看到，该信号向附近的信道散发了多余的能量。图7b显示了相邻信道功率，单位是与主信号功率相对的dBc。本例中位于主信道上下两个信道也在图中显示。最大的多余邻近信道功率出现在这两个信道紧挨着主信道的一侧，相对电平大约为-23dBc。FieldFox还在“信道测量”菜单中提供了占用带宽测量，可使用即时的或记录的信号进行测量。



图7a. 信道功率测量结果

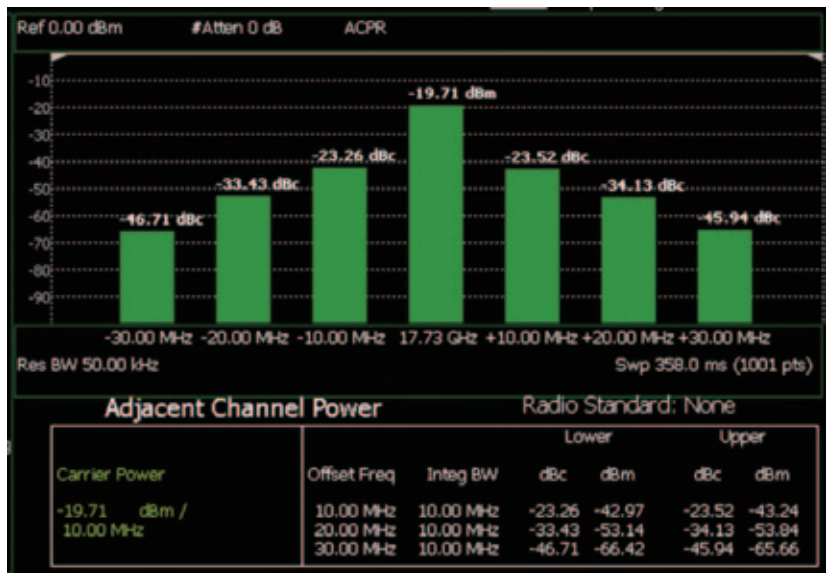


图7b. 相邻信道功率

虽然相邻信道干扰通常与发射机中的有源器件有关，但是无源器件(包括天线、电缆和连接器)也有可能产生多余干扰，例如互调干扰<sup>[11]</sup>。此类干扰通常称为无源互调(PIM)干扰，主要在使用两个或多个大功率信号的无源器件中产生。由此得到的PIM可能在通信系统的接收信道中产生干扰信号，降低接收机性能水平。在使用多载波调制的现代通信系统(包括移动

无线系统、卫星、航天探测器和船载系统中)，互调干扰是一个需要考虑的重要问题<sup>[12、13]</sup>。关于具体PIM测试设备的详细信息，请参见是德科技应用指南《使用ENA的创新无源互调(PIM)和S常数测量解决方案》<sup>[14]</sup>。

图7为使用FieldFox对17.725GHz调制发射信号的信道功率特征进行测量所得到的结果。



## 干扰分类续

### 下行链路干扰

下行链路干扰通常可能会中断基站和移动设备之间的下行链路通信。由于移动设备的间隔距离相对较宽，因此，下行链路干扰只会影响少数移动用户，而对整个系统的通信质量影响甚微。在大多数情况下，下行链路干扰表现为同信道干扰，对服务质量有很大影响。

### 上行链路干扰

上行链路干扰也称为反向链路干扰，可能影响基站的接收机以及从移动设备至基站的相关通信。一旦基站受到干扰，信元基站的整个服务区性能便会出现下降。上行链路干扰决定了每个信元站点的容量。

## 干扰测量技术

当系统没有按照预期进行工作时，假设某种形式的无线干扰是问题的根源，应使用频谱分析仪来确定工作频率信道中存在多余的信号。这个发现过程可能涉及到确定信号的类型，包括传输时间、出现次数、载波频率和带宽，可能还包括干扰发射机的地理位置。如果系统在全双工模式下运行，可能还需要检查干扰信号的上行链路和下行链路频率信道。

测量干扰——尤其是空中干扰——通常必须使用具备极低本底噪声或 DANL 的频谱分析仪。DANL 由分辨率带宽 (RBW) 设置决定，其参数值越低，噪声就越小。通常，RBW 缩小到原数的 1/10，可使本底噪声降低 10dB<sup>[15]</sup>。如前所述，分析仪的测量扫描时间是 RBW 的反函数，因此 RBW 设置越小，需要的扫描时间就越长。由于快速测量和显示低电平信号的能力与分析仪检波器的信噪比 (SNR) 有直接关系，所以降低分析仪的输入衰减量即可改善信号电平。输入衰减量越小 (通常低至 0dB)，则 RBW 就越大，从而扫描时间越短。使用内置或外部前置放大器也能改善检波器中的被测信号电平。FieldFox 在 2.4GHz 处的 DANL 技术指标值为 -138dBm (不使用前置放大器) 和 -154dBm (使用内置前置放大器)。

当降低输入衰减和测量大幅度信号时，应当对分析仪给予特别关注。大幅度信号会使分析仪前端过度激励，从而导致内部生成失真或仪器损坏。分析仪可显示内部生成的失真，就像它来自感兴趣的信号。在这些条件下，衰减器设置应当进行优化，以实现最高的动态范围。FieldFox 包含一个 30dB 衰减器，该衰减器可以 5dB 的步进进行调节，优化测量的动态范围。关于动态范围和 DANL 的其他信息，请参见是德科技应用指南《8 Hints for Better Spectrum Analysis》<sup>[16]</sup> 和是德科技网络研讨会《Interference Analysis Using Handheld Spectrum Analyzers》。

## 设备要求

在选择分析仪时，测量精度、扫描速度和分析仪便携性是极其重要的要求，因为现场测试往往是在船舶、航空航天和车载应用中极其恶劣的条件下进行，包括高海拔高度（例如户外高塔和桅杆装置）和狭窄空间等。当在现场进行干扰测试时，需要对测量设备的许多主要特性都加以考虑，包括频谱分析仪需要坚固耐用，电池使用寿命长而且能够快速更换，能够从暂停状态快速恢复到工作状态，内置GPS、直流模块和直流电压源。直流电压源与外部偏置T型接头搭配使用，非常适合对卫星应用中的低噪声模块(LNB)供电。最高频率高达26.5 GHz的高性能FieldFox分析仪能够满足在所有环境条件下进行现场测试的所有要求。

FieldFox不仅具有台式频谱分析仪的能力，还包括称为InstAlign的独有特性，一旦启动便可立即在整个射频和微波频率范围内、-10至+55°C的温度范围内提供更出色的幅度精度。InstAlign特性是以非常稳定的内置连续波(CW)幅度参考为基础实现的，该幅度参考可在仪器的整个频率范围内进行表征。此参考的幅度测量值与表征值之间的任何偏差都可作为校正数据，在对测试信号进行测量期间使用。当内部传感器探测到仪器的温度大约改变了2°C时，FieldFox可通过后台进程执行幅度校正，无需用户的操作。最终，FieldFox在高达26.5 GHz的频率范围内、-10至+55°C的温度范围内，无需经过预热，即可提供典型值小于±0.6 dB的总体绝对幅度精度。

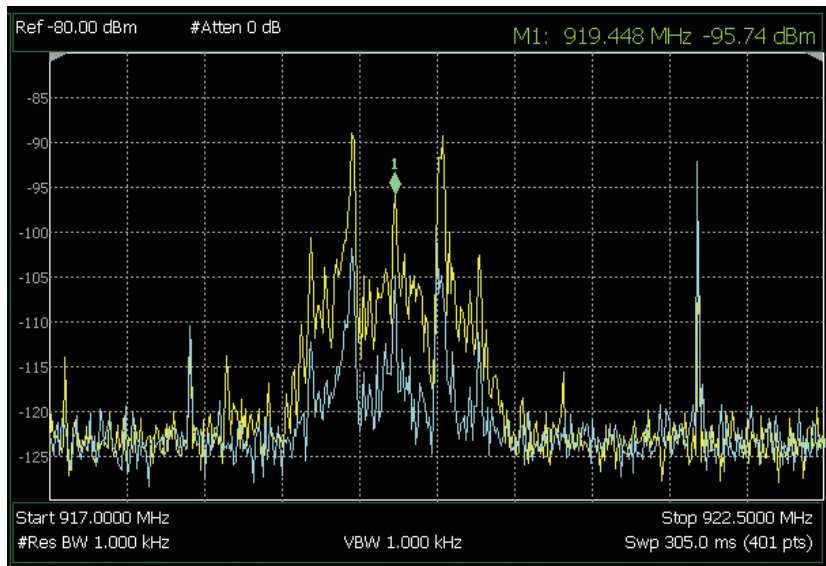


图8. 空中测量对分别使用全向天线(蓝色迹线)和高增益天线(黄色迹线)接收到的信号进行了比较

除了高性能频谱分析仪之外，还必须使用优质的测试电缆在分析仪与系统测试端口或测试天线之间建立连接。电缆的适当维护——保护和清洁分析仪和电缆上的连接器——对于执行精确、可重复测量至关重要。大多数同轴电缆具有额定的“最小弯曲半径”，电缆在存放时如果弯曲半径小于此值，有可能导致电缆内部发生断裂，使得测量断断续续。

测试天线是干扰测试元器件的另一个重要部分。它应当设计成覆盖感兴趣的频率范围，同时具备轻巧便携的特点。使用FieldFox顶部安装的N型阴头50欧姆连接器，可将天线直接连接到频谱分析仪。虽然在进行现场测试时N型连接器更耐用，不过FieldFox还提供了APC-3.5端口连接器选件。理想状况下，天线的特征应当与处于调查中的无线系统所用的测试天线类似。如果系统天线是具有垂直极化的低增益全向天线，那么频谱分析仪连接的天线也应一样。

当检测宽频率范围内的频谱时，可使用典型的窄带系统天线替代宽带鞭状天线。市场上可供选择的宽带天线有很多种，包括Keysight N9311x-500和N9311x-501（分别覆盖70 MHz至1000 MHz以及700 MHz至2500 MHz的频率范围）。当测量极其微弱的信号或对非许可发射机测向时，应将高增益定向天线连接至分析仪。是德科技提供了多种型号的定向天线，包括N9311x-504、508和518，其增益分别为4至5 dBi，频率范围分别高达4、8和18 GHz。

图8显示了两个空中测量，对使用低增益全向天线时的响应(蓝色迹线)和使用高增益9 dBi八木天线时的响应(黄色迹线)进行了比较。使用高增益天线时，未知信号的幅度测量值显著增加，但这个测量要求天线指向最高信号幅度的方向。如果这个高增益天线没有指向信号源，那么幅度会小于使用全向天线进行测量时的幅度。

## 设备要求续

### 频谱分析仪的模式和显示

间歇性干扰往往最难以测量。当测量脉冲、间歇或跳频等干扰时，频谱分析仪的显示屏可采用多种配置方式，为检测和识别这些类型的信号提供帮助。

### MaxHold (最大值保持) 模式

MaxHold 显示模式可存储和显示多次扫描中的最大迹线值。此模式位于 FieldFox 的“TRACE(迹线)”菜单下。图 9 显示了使用分析仪(配备两条活动迹线)对跳频载波进行测量的结果。迹线 1 (黄色)配有 MaxHold 模式，迹线 2 (蓝色)是标准的扫描“清除/写入”(Clr/Wr)模式。经过几次扫描之后，MaxHold 迹线相对稳定，而 Clr/Wr 迹线变化极大，这是因为跳频信号会随时间不断变化。在测量过程中我们发现，左侧显示的另一条迹线没有按照此 ISM 频段在非许可工作模式下通常的要求进行跳频。当固定频率信号与跳频信号在频域中最终发生碰撞时，前者可能是后者的干扰源。MaxHold 显示模式主要是在只需要间歇信号最大幅度的时候使用。如果需要观察信号随时间的变化，则可以使用频谱图或串接显示模式，对间歇信号结构进行更深入的分析。

### 频谱图测量显示

当使用 FieldFox 时，可在 Measure (测量) 键下的 Interference Analysis (干扰分析) 菜单中找到这些显示模式，图 10 显示了图 9 中的跳频信号的频谱图。为了显示此频谱图测量结果，在频谱图上叠加了标准的 Clr/Wr 测量迹线(黄色)。频谱图是可在同一个显示屏上查看频率、时间和幅度的独特方法。它可显示频谱随时间的变化过程，其中色标与信号幅度相对应。

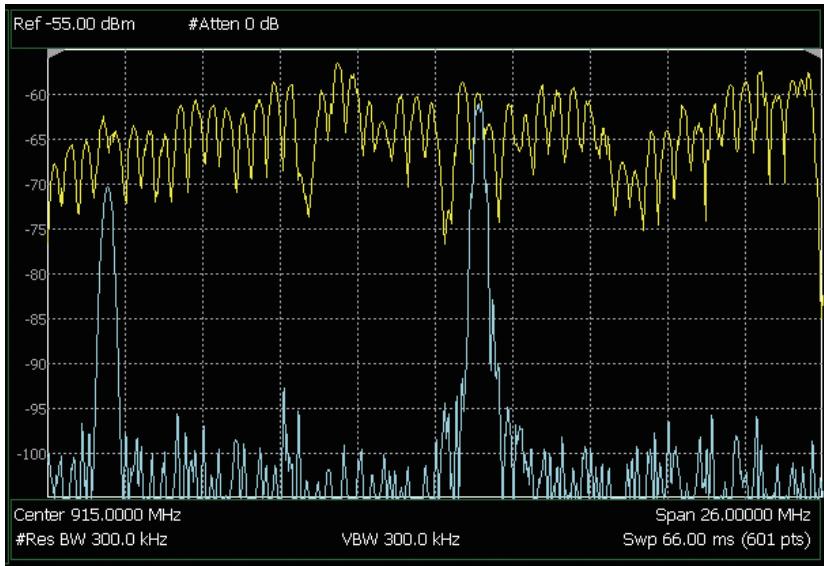


图 9. 在标准的 Clear/Write (蓝色迹线)和 MaxHold (黄色迹线)模式中显示的跳频信号的测量结果。可以看到，左侧信号是静止的。

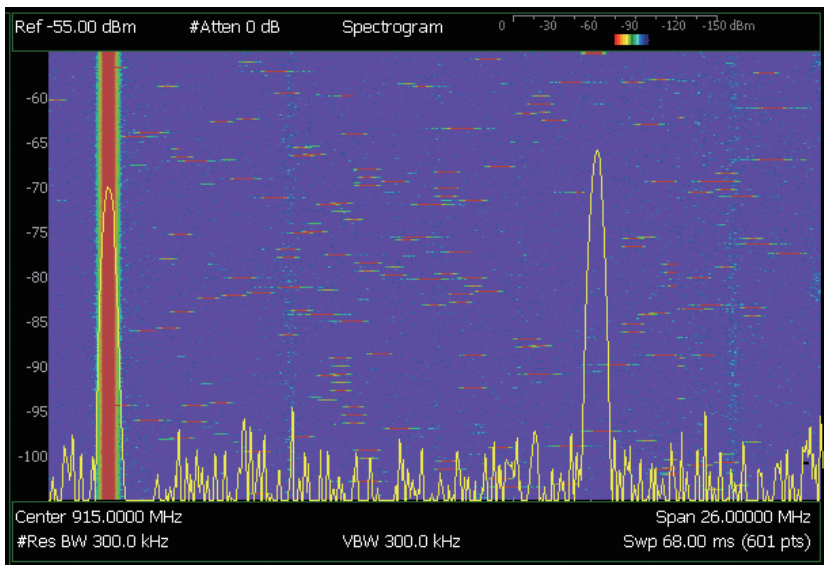


图 10. 跳频信号的频谱图，在频谱图上叠加了使用标准 Clear/Write 模式(黄色迹线)进行测量扫描的结果。

在频谱图中，每条频率迹线占用显示屏上的一条水平线(高度为一个像素)。纵轴显示持续时间，因此显示屏会随着时间向上滚动。在此图中，频谱图中的红色表示信号幅度最高的频率内容。

频谱图可以显示干扰的计时，以及信号带宽如何随时间进行变化。用户可将时间游标放置到频谱图上，以确定信号的计时特征。图 10 中的频谱图显示了类似于随机的跳频载波频率码型，并在左侧显示了幅度恒定不变的固定载波。

## 设备要求续

### 频谱分析仪的模式和显示续

#### 零扫宽模式

另一种重要的间歇性信号显示模式是 Zero Span (零扫宽) 模式。在此模式下, 频谱分析仪的中心频率调谐到固定频率, 并像频率调谐示波器一样在时域中进行扫描。RBW 滤波器经过调整后拥有充足的带宽, 可捕获尽可能多的信号带宽, 同时不会导致测量本底噪声提升到难以接受的水平。幅度触发电平可设置为像示波器一样在扫描开始时进行触发。触发功能位于 FieldFox 上的 Sweep (扫描) 键下。图 11 显示了对前面的跳频载波进行零扫宽测量的结果。如图所示, 信号幅度由跳频载波移动到分析仪中设置的相同频率时所用的时间决定。此显示界面提供了当跳频载波停留在这个频率上时, 脉冲持续时间的计时测量结果。

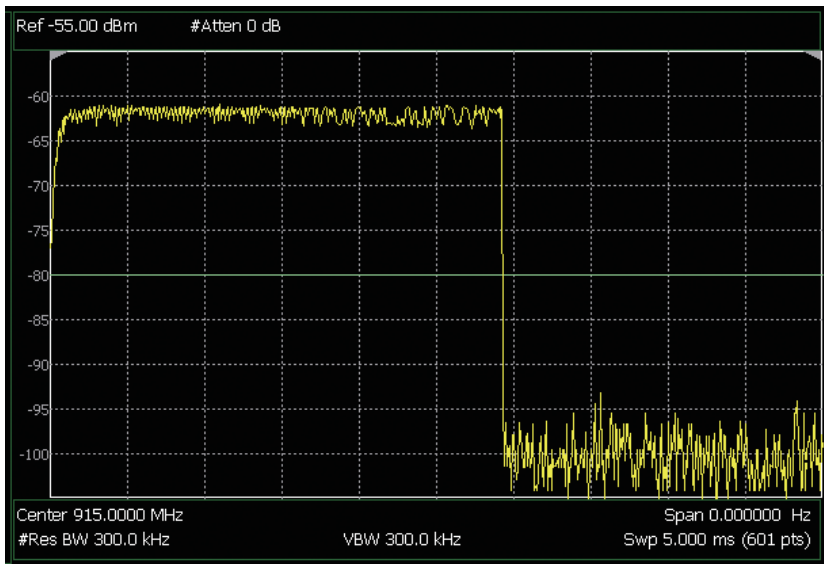


图 11. 在 FieldFox 上使用 Zero Span (零扫宽) 测量跳频载波的结果

#### 串接显示

与频谱图相似, 串接显示还提供了频谱测量结果的历史记录。串接显示通过三维彩色编码显示幅度电平随频率和时间的变化记录。时间级数沿着对角线向上移动到屏幕右侧。图 12 为时变信号的典型串接显示, 最高幅度电平以红色显示, 最低幅度电平以蓝色显示。FieldFox 将图中所示的信号捕获到其存储器中。它的迹线记录和回放能力能够对信号进行长时间的监测和分析。分析仪可以连续记录迹线, 迹线数量可以指定, 也可使用用户指定的功率和频率模板进行触发开始进行记录。

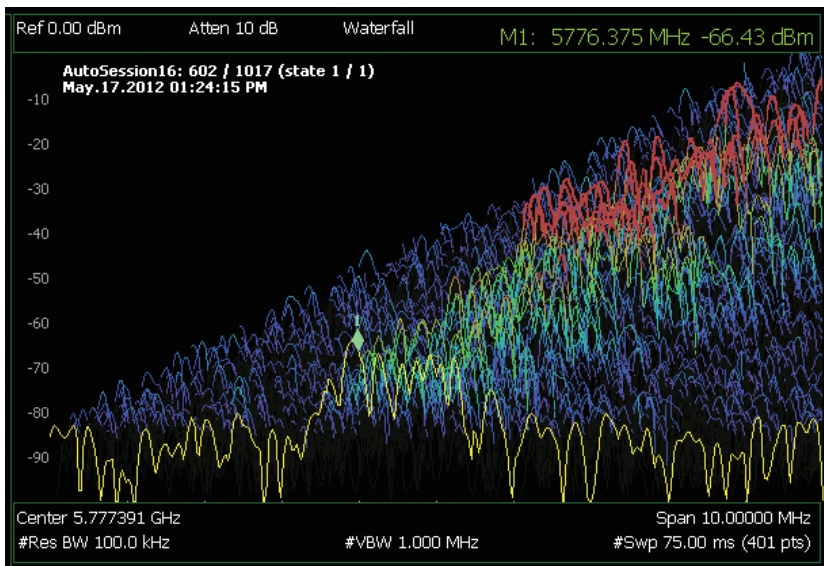


图 12. 时变信号的瀑布图显示

#### 扫描采集

FieldFox 具有 “SwpAcquisition” 功能, 位于 SWEEP 键下。该功能主要用于捕获低占空比脉冲或间歇性信号。在此模式下, FieldFox 将连续采集和处理数据, 但不显示迹线, 使得每次扫描之间的间隔更小, 增加了捕获脉冲和间歇性信号的机会。扫描采集的数量可以在 1 至 5000 的范围内进行设置, 数值越大, 分析仪生成最终迹线数据所用的时间就越长。这与扫描调谐频谱分析仪的扫描时间控制

方式类似。由于 FieldFox 不是扫描调谐分析仪, 所以 SwpAcquisition 设置可以增加每次步进的驻留时间, 增加捕获间歇性信号的概率。通过设置恰当的 RBW、衰减和接通前置放大器, 可以捕获难以检测的干扰信号。

#### 调谐和侦听

FieldFox 的 “调谐和侦听” 功能可通过解调 AM、FM、窄带和 FM 制式, 对干扰信号进行识别。解调的音频可以帮助用户确定信号类型和来源。

## 结论

本应用指南介绍了测试无线环境中的干扰所使用的测量技术和仪器要求。本文讨论了各种干扰的分类，其中包括带内、同信道、带外和相邻信道干扰。本文还通过对各种无线信号进行频谱测量，展示了手持式频谱分析仪（例如 FieldFox）在识别和定位无线干扰源方面的效能。



FieldFox 手持式分析仪可在现场测试环境中提供与台式仪器媲美的精度和符合军用标准的耐用性，覆盖了卫星通信、微波回程、军用通信、雷达系统和许多其它应用。

## 参考资料

- [1] Espino, J., Markendahl, J., 《Analysis of macro-femtocell interference and implications for spectrum allocation》，IEEE 第 20 届个人、室内及移动无线通信国际研讨会，2009 年 9 月。
- [2] 是德科技白皮书《Keysight Cognitive Radio Algorithm Development and Testing》，5990-4389EN，2009 年 8 月。
- [3] Stanislav, F., Kentaro, I. 和 Hiroshi, H., 《IEEE Draft Standard P1900.4a for Architecture and Interfaces for Dynamic Spectrum Access Networks in White Space Frequency Bands: Technical Overview and Feasibility Study》，IEEE 第 21 届个人、室内及移动无线通信国际研讨会，2010 年。
- [4] 美国《国家宽带计划》第 5 章，“Spectrum”，www.broadband.gov。
- [5] 《An Assessment of the Viability of Accommodating Wireless Broadband in the 1755 – 1850 MHz Band》，美国商务部，国家电信和信息管理局 (NTIA)，2012 年 3 月。
- [6] IEEE 1900.1-2008 标准，动态频谱接入的标准定义和概念：新兴无线网络、系统功能和频谱管理的相关术语，2008 年 9 月 26 日。
- [7] Jabbar, M., Rahman, M., 《Radio frequency interference of electric motors and controls》，1989 IEEE 工业应用学会年会会议记录，1989 年 10 月。
- [8] 是德科技应用指南，《Evaluating Fluorescent Lighting Interference on Passive UHF RFID Systems》，5990-9090EN，2011 年 11 月。
- [9] FCC DA-05-1776A1 号公告，《禁止在美国销售或使用可能妨碍、阻塞或干扰手机通信的发射机》。
- [10] 是德科技产品指南，《Optimizing Dynamic Range for Distortion Measurements》，5980-3079EN，2000 年 11 月。
- [11] Lui, P.L., 《Passive intermodulation interference in communication systems》，《Electronics & Communication Engineering Journal》，1990 年 6 月。
- [12] Betts, J.A., 《Intermodulation interference in mobile multiple-transmission communication systems operating at high frequencies (3-30 MHz)》，Proceedings of the Institution of Electrical Engineers，1973 年 11 月。
- [13] Bond, C.D. 等，《Intermodulation generation by electron tunneling through aluminum-oxide films》，Proceedings of the IEEE，1979 年 12 月。
- [14] 是德科技应用指南，《Innovative Passive Intermodulation (PIM) and S-parameter Measurement Solution with the ENA》，5991-0332EN，2012 年 5 月。
- [15] 是德科技应用指南 150，《Spectrum Analysis Basics》，5952-0292，2006 年 8 月。
- [16] 是德科技应用指南 1286-1，《8 Hints for Better Spectrum Analysis》，5965-7009E，2009 年 9 月。

## 随时随地进行精确测量。

现场套件中的每一件工具都必须证明其具有不可替代的作用。FieldFox 分析仪的设计理念是帮助我们的客户轻松进行现场测量。它们适用于常规维护、深入故障诊断等。更重要的是，无论用户需要到什么地方工作，FieldFox 都能执行出色的测量，体现是德科技仪器的卓越品质。将 FieldFox 加入工具箱中，您可以随时随地进行精确测量。

相关文献	编号
FieldFox Combination Analyzers, Technical Overview	5990-9780EN
FieldFox Microwave Spectrum Analyzers, Technical Overview	5990-9782EN
FieldFox Microwave Vector Network Analyzers, Technical Overview	5990-9781EN
FieldFox Handheld Analyzers, Data Sheet	5990-9783EN
FieldFox Handheld Analyzer, Configuration Guide	5990-9836EN
FieldFox N9912A RF Analyzer, Technical Overview	5989-8618EN
FieldFox N9912A RF Analyzer, Data Sheet	N9912-90006
FieldFox N9923A RF Vector Network Analyzer, Technical Overview	5990-5087EN
FieldFox N9923A RF Vector Network Analyzer, Data Sheet	5990-5363EN

如欲下载其它应用指南、观看视频以及了解更多信息，请访问：  
[www.keysight.com/find/FieldFox](http://www.keysight.com/find/FieldFox)