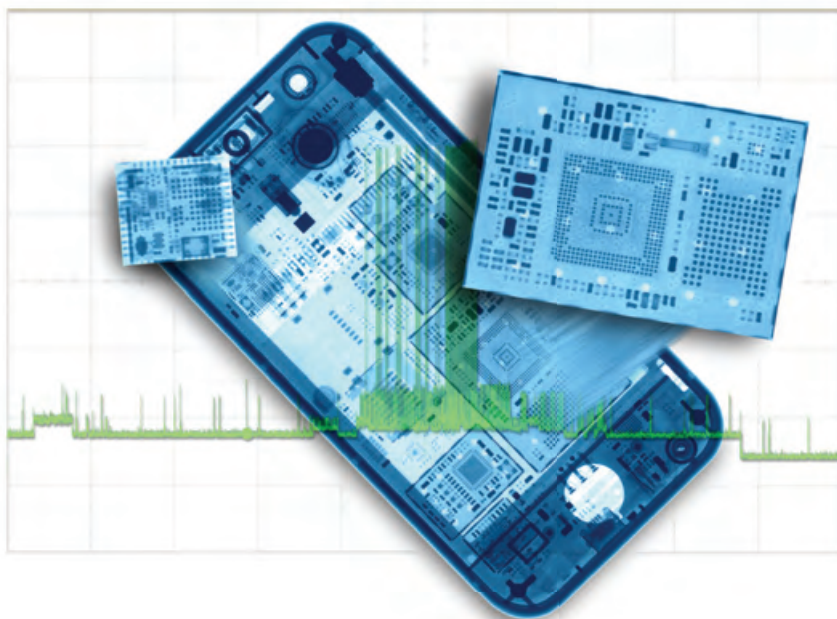




如何评估一台用于低功耗测量的示波器

应用指南



便携、移动、环保且能够长时间待机的产品越来越受用户欢迎，不断增长的市场需求推动产品创新转型。现在的时代，性能不再决定一切，低功耗才是王道！随着降低功率的需求日益增长，设计团队必须采用创新的设计方法和架构加以应对，而器件、子系统和系统级产品等领域也因此发生巨大变化。要实现低功耗创新，关键在于必须能够测量和评估器件和子系统的功耗。采用创新技术应对

低功耗测量挑战的示波器可以极大增强工程师的能力，帮助他们分析、理解、调试和评估这些设计。

本应用指南将阐述示波器中和低功耗测量相关的特点，包括软件和探头部分。我们以Agilent Infiniium S系列示波器和N2820A电流探头为例展开讨论。本应用指南中介绍的原理同样适用于其它示波器。



影响低功耗测量的限制因素

实现出色的低功耗测量涉及许多因素。有些是示波器的固有因素，有些与探头有关。电流探头是低功耗测量的基础。因为功率等于电压乘以电流 ($P=V \times I$)，对于许多低功耗应用，电压是恒定的，所以通过电流测量结果便可计算出功率。传统电流探头通常夹在电线周围，通过霍尔效应、变压器技术或结合这两种方法来测量电流值，并在示波器上显示。

低功耗测量对测试提出了多方面挑战。动态范围(受噪声影响)和灵敏度(图1)是两个最大的挑战。

传统的电流探头动态范围有限，总动态范围由探头本身及其连接的示波器决定。我们将深入分析每种因素，并提供一些最佳的实践方法，以帮助您对低功耗器件实施最精确的电流测量。

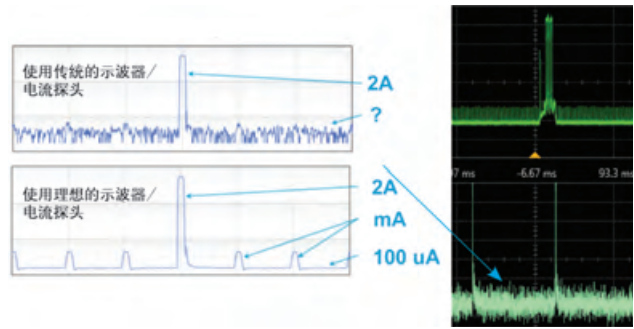


图1. 低功耗测量的关键挑战是示波器系统的垂直灵敏度。当你改变设置观察高功耗时的信号峰峰值时，通常会导致看不到低功耗时的信号细节，因为在低功耗下，信号被示波器本底噪声淹没了。

噪声

我们首先讨论示波器相关的低功耗挑战。示波器的固有噪声对其显示微小信号细节有很大影响。量程设置越大，示波器的绝对噪声越大。量程设置越小，示波器的绝对噪声越低。示波器用户将会永远看不到示波器噪声之下的信号细节。示波器本底噪声值通常由示波器厂商提供和公布。不过，电流探头插入示波器后，噪声电平将会增加。对于自身信号完整性很好的示波器，总体噪声通常更多取决于探头而不是示波器本身。只要被测信号超过示波器及所连探头的噪声电平，用户就能看到其波形。如果噪声超过了测量系统的最小分辨率，那么噪声就会成为低功耗测量的制约因素。稍后，我们会在本文中讨论降噪技术。

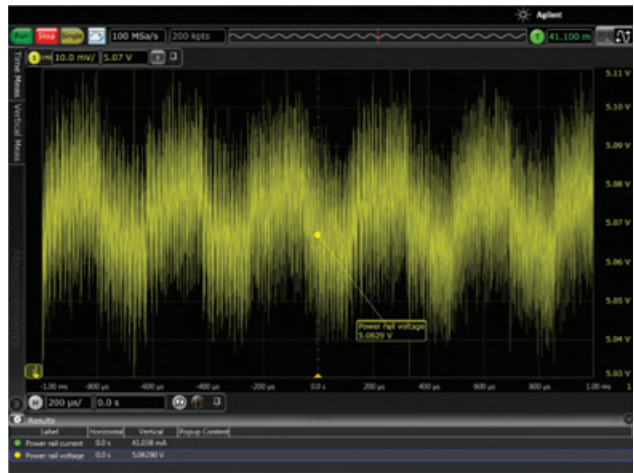


图2. 如果尝试通过放大波形电压显示以查看更多细节，很可能会遇到噪声问题。噪声会掩盖信号细节。成功的关键在于，降低示波器系统的本底噪声，将信号从噪声中剥离出来。

分辨率

示波器分辨率是限制您查看小电流信号的另一个因素。分辨率是示波器在某个特定量程设置下能够测量的最小电流值。电流测量分辨率等于全屏电流量程值除以示波器量化级数。配备8位ADC的示波器可提供 2^8 (即256)个量化级数。配备10位ADC的示波器可提供 2^{10} (即1024)个量化级数。

图3中的信号显示了手机从省电模式切换到较大功率状态，再返回睡眠模式的波形变化。要捕获该信号，示波器必须重新设置量程以捕获最大功率电平。在本例中，垂直刻度设置为200 mA/格，量程为8格即1.6 A。对于8位ADC，分辨率等于1.6 A除以 2^8 (256个量化级数)，即6.25 mA。小于此值的信号细节被噪声淹没，无法观察到，需要重新设置垂直刻度以捕获省电模式下的信号。在Infiniium S系列等10比特高清示波器上，分辨率等于1.6 A除以 2^{10} (1024个量化级数)，即1.56 mA，分辨率比8比特示波器好4倍，在200 mA/格设置下，不能观察到的是1.56 mA以下的信号。

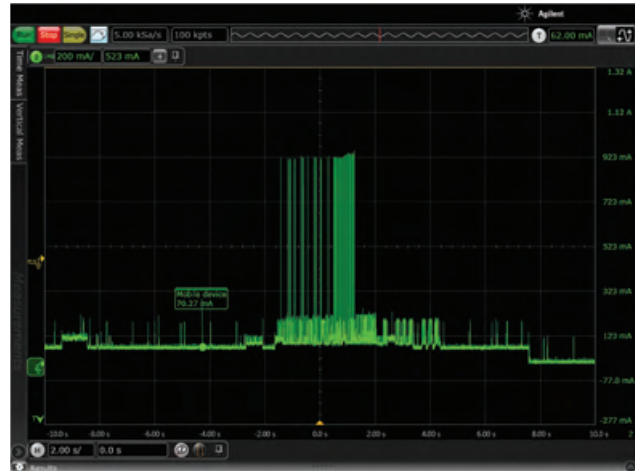


图3. 假如要想同时观察到手机在大功耗和低功耗模式下的电流变化过程，示波器的垂直刻度要设置为200 mA/格或全屏1.6 A，那么示波器的分辨率就等于1.6 A除以示波器模数转换器(ADC)的量化级数。

垂直刻度对分辨率的影响

除了示波器模数转换器的量化级数外，示波器的垂直刻度设置对分辨率也有影响。例如，放大波形使其占满整个示波器显示屏，可以最充分地利用示波器的模数转换器(ADC)。如果信号只占据8比特示波器垂直显示高度的一半，那么您其实将本是8比特的ADC只用到7比特，分辨率因此而降低。如果将波形放大到占据整个量程，就可以充分利用示波器ADC的8比特分辨率。要获得最佳分辨率，工程师必须使波形显示在屏幕之内的前提下，使用最小的垂直刻度设置。

ADC、示波器前端体系结构及使用的探头决定了示波器硬件支持的最小垂直设置。所有示波器的垂直设置都有一个转折点，超过这个点，绝对噪声就不再下降。相反，过了这个点，噪声比预想的要大很多，即使通过示波器上的旋钮选择更小的设置，也无法降低噪声。示波器厂商通常将这个点视为转折点，在该转折点后用软件放大信号，这时将示波器的垂直设置调为更小值，只

能在显示效果上放大被测信号，但无法像用户期待的那样提高分辨率。以使用50 Ω输入阻抗的示波器为例，在使用1:1电流探头为例，大部分示波器硬件支持的最小设置是10 mA/格，在这之下，都是采用软件对被测信号放大，纯属显示效果。

为了提高低功耗测量的分辨率，在执行软件放大之前，请检查您的示波器垂直刻度的最小灵敏度设置。例如在输入阻抗为50 Ω时，Infiniium S系列示波器硬件支持最小2 mV/格的垂直刻度，与上一代示波器Infiniium 9000系列相比，灵敏度提高3.5倍。

我们以使用电流探头时的分辨率和灵敏度为例。使用带100 mΩ感应电阻的N2820A电流探头时，S系列示波器的最小刻度可以达到1 mA/格，全屏标度为8 mA。分辨率等于8 mA除以1024个量化级数，即 $8 \mu\text{A}$ 。

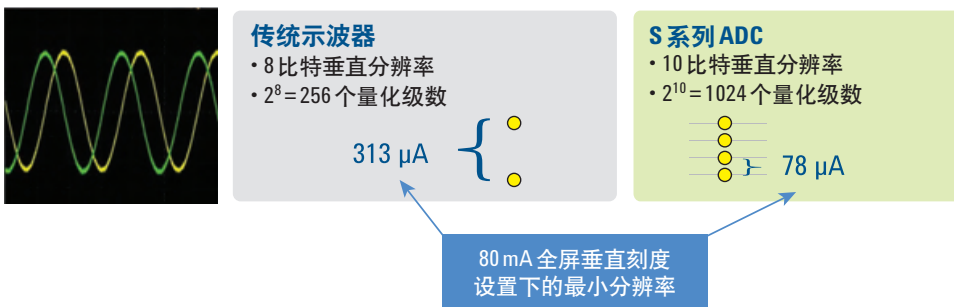


图3(a). 将垂直刻度调整为更小的设置可以提高分辨率。使用比特数更高的ADC的示波器也可以提高分辨率。在本例中，同样采用80 mA的垂直全屏量程，S系列示波器的电流分辨率是8比特示波器的4倍。

带感应电阻的电流探头

即使您拥有配备高比特ADC的高分辨率、低噪声示波器，但电流探头的动态范围和灵敏度也会限制您查看低功耗信号的细节。

为了解决动态范围限制，示波器厂商已开发出动态范围更高的电流探头。这些探头的设计原理是基于欧姆定律，无需像传统电流探头那样钳住导线才可进行测量，简化了连接。新的电流探头支持更灵活的连接方法，无论用户在设计时是否考虑到如何与电流探头想连，都能够使用它们进行测量。

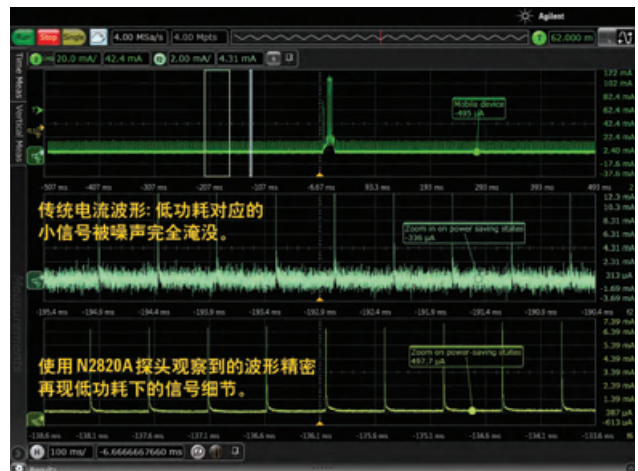
当感应电阻器探头放到被测电源处，会有电流经过探头内非常小的电阻，从而得以测量电阻器上的压降，再根据已知的电阻值，可以计算出电流值并在示波器上连续显示。这种探测技术对被测电源的电压(称为带探头负载效应的电压)的改变非常小。

带感应电阻的电流探头还能够解决动态范围限制。利用感应电阻上的压降，设计人员可以解决传统钳形电流探头无法解决的问题。带感应电阻的探头采用两个不同的增益电路，一个是低增益电路，将信号全局传送至示波器，提供类似传统示波器的电流信号观察能力，另一个是高增益电路，对波形的某个特定垂直区域进行高倍数放大，这使得探头仅针对特定垂直区域上的小范围信号波形，将该区域的信号放大后，才提供给示波器，从而使动态范围激增到 20,000:1，可显示最小 500 nA 的电流。

关于传统钳形电流探头与带感应电阻的电路探头技术在低功耗测量方面的详细比较，请参见本文末尾列出的应用指南《低功耗电路测量的创新电流探头技术 (Revolutionary Probing Technology in Current Probes to Make Low-Power Measurements)》。



4(a)



4(b)

图 4. Agilent N2820 系列电流探头就是一个采用带感应电阻的电流探测技术的例子，该系列探头配备内置 20 mΩ 和 100 mΩ 预定义感应电阻，用户也可以使用其他电阻值来定制探头。用户可查看最小 500 nA 的电流。如图 4(b) 所示，该探头支持用户同时查看全局信号和局部信号细节的放大。

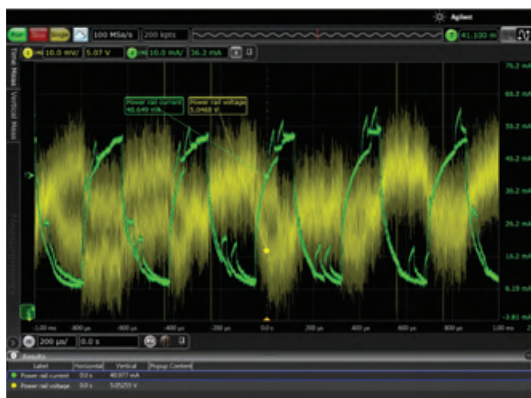
测试系统自身的噪声降低

本应用指南前面讨论了当探头/示波器的噪声掩盖了信号时，电源或电池功耗测量所面临的挑战。电流探头的噪声通常比示波器更大。示波器测试系统自身总体噪声的降低，可不可以降低，多大程度上降低，是实施低功耗测量的关键步骤。

限制带宽是降低噪声的一种方法,电流探头的频率响应对带宽有限制。例如，有的电流探头具有3 MHz的带宽，这时打开示波器的20 MHz带宽限制，虽然无法进一步降低总体带宽，但是可以消除某些多余的宽带噪声。

如果被测信号是严格周期性信号，那么可以采用平均采集方式以将被测信号中的噪声降低。这种求平均值的方法对降噪非常有效，求平均值的次数越多，降噪效果越好。用户需要牢记，平均采集模式只适用于严格周期性信号，它虽然可以影响显示的波形，但无法降低由示波器触发电路传过来的信号噪声。

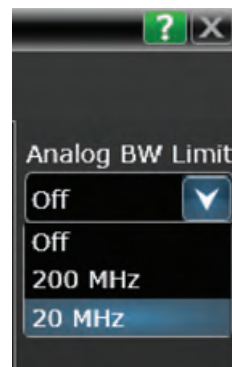
如果信号是非周期性信号，我们可以采用高分辨率模式，来降低显示的波形噪声。高分辨率模式支持单次采集，对波形中相邻的采样点去平均值，起到平滑滤波的作用，以降低噪声。高分辨率模式需要过采样技术的支持，适用于非周期性信号，且可以与平均采集方式使用。高分辨率模式的缺点是，如果示波器的实际采样率设置不是远高于带宽，那么总体带宽会下降。



未降噪的初始信号



带宽限制为20 MHz的同一信号



多次应用平均值功能的同一信号

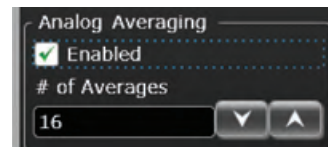


图5. 降噪技术支持示波器更好地显示和测量低功耗信号。图中显示了未采用任何降噪技术(上方)、应用了带宽限制(中间)和应用了平均值功能(下方)的低功耗USB信号。

功率计算

将电流探头一端接上被测对象，一端和示波器某个通道相连，就可给出被测对象的电流幅度。通常被测电源或电池的电压通常为近似恒定的直流，这时您可以根据电流探头测量结果相对准确地计算出功耗，无需使用额外的电压探头。但当被测对象在低功耗状态与高功耗状态之间的转化，电流会变化，也通常会引起电压变化。要实现更精确的功率测量，需要同时连接电压探头和电流探头。用户随后可使用数学功能对这些结果进行乘法计算，得到功率即时值和有效值。

低功耗测量可能需要进行额外的数学计算，特别是当测量固定时段或特殊模式中的功耗时。因此，评测示波器具有哪种数学和选通功能至关重要。例如，用户可能需要用通道1电流值乘以某个常数，用通道2电流结果乘以另一个常数，再将两者相加。用户可能还希望用电流乘以电压，再对某段时间内的功率测量结果求积分。为此，用户需要了解示波器都具有哪些数学功能。



图6. 在通道1连接电流探头、通道2连接电压探头的情况下，可使用数学功能来计算瞬态功率或有效功率。Infiniium示波器支持单位变化，可以“W”（瓦特）为单位进行以上功率计算。



图7. Infiniium示波器提供16种独立的数学函数。如上所示，使用积分功能可计算特定功率波形下的总能量。

功率计算

选通 (或波形局部截取) 作为示波器的一项重要功能, 在进行低功耗测量时非常有用。用户可以指定选通区域, 并设置只在这个指定水平区域内进行测量。当选择示波器时, 需要考察示波器的选通能力。示波器支持多少个选通区域? 对每个选通区域进行测量是否容易?

例如, Infiniium S 系列示波器支持16种独立数学函数。每种函数都可以在一个通道上使用, 也可以在其他

函数上使用。S 系列提供多种数学运算符, 包括乘法、加法、积分、微分, 及功率计算所必需的其他运算符; 可以针对通道或数学函数实施测量, 从而以容易理解的基数轻松报告测量结果。图 9 中是一个 USB 功率测量示例。测量结果中, 功率以 W (瓦特) 为单位, 电量以 C (库伦) 为单位, 能量以 J (焦耳) 为单位。示波器通过分析软件自动计算所有这些单位值, 并可识别哪些探头是电流探头, 哪些是电压探头。

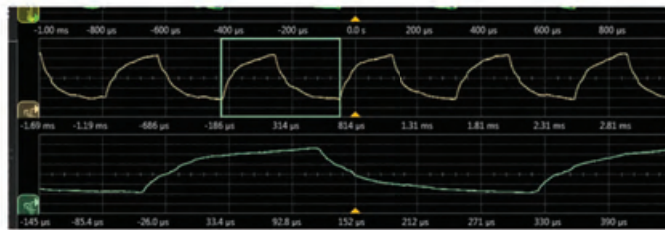


图 8. Infiniium S 系列可使用 16 种数学运算执行选通, 在选通区域或任意指定区域内实施测量。可对每个选通区域单独进行测量和分析。在上面示例中, 橙色波形上施加了选通 (或波形截取)。截取后的波形用另一和函数以绿色显示。



图 9. Agilent Infiniium S 系列提供运算、选通和测量功能, 可按照适当的单位值 (例如瓦特、焦耳和库伦) 报告低功耗测量结果。此图显示的是低功耗 USB 功率测量结果。通道 1 连接被测电源或电池以进行电压测量, 通道 2 提供对电源或电池的电流测量。您可以为指定选通区域单独设置功率、能量以及电荷测量结果。

滚动模式

示波器适用于低功耗测试的另一个重要特性是滚动模式。在滚动模式中，示波器使用较慢时基设置，连续不间断采集，波形不断被刷新显示，在屏幕上从右向左移动。用户因此可以实时查看信号在一个长时间内(通常为几十秒)的变化。例如，滚动模式下的示波器测试手机的电流信号，示波器一开始显示连续的低功耗信号，当手机与邻近基站在短时间内频繁信号交换时，则会显示高功耗信号。滚动模式使工程师能够站在更高角度实时查看功耗情况。当用户关注的事件发生时，用户可以随时按下示波器上的停止键，屏幕上将会显示导致该特定事件的信号活动。



图 10. 滚动模式使用户可以连续长时间查看系统活动波形。这种模式也特别适用于实时查看功耗的变化。

总结

当您开发低功耗技术或产品时，选用的示波器和电流探头将会极大地影响您的测试和分析能力。示波器和电流探头技术已实现了多项创新，能够为低功耗设计提供更出色的测试。Infiniium S 系列示波器和 N2820A 系列电流探头提供独一无二的低功耗测量特性,包括: 可分辨率提高 4 倍的 10 比特 ADC; 最小 2 mV/格的垂直刻度(使用 1:1 电压探头时, 这使您可更好地查看小信号细节); 用于测量小电流值的感应电阻和高增益电路; 先进的数学运算; 多达 16 个独立选通或截取区域; 针对通道波形和数学函数的测量; 带宽限制滤波器; 以及可以降噪的高分辨率和平均采集模式。

相关文献

出版物标题	出版物类型	出版物编号
Agilent Infiniium S 系列示波器 (500 MHz 至 8 GHz)	技术资料	5991-3904EN
N2820A/21A 高灵敏度、高动态范围电流探头	技术资料	5991-1711EN
新的探头技术实现高灵敏度、宽动态范围电流测量	应用指南	5991-1951EN
对低功耗测量中的电流探头如何评估	应用指南	5991-4375EN

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

产品网站

如欲了解最新、最全面的应用软件 and 产品信息，
请访问安捷伦产品网站: www.agilent.com/find/s-series

www.agilent.com
www.agilent.com/find/s-series



myAgilent

www.agilent.com/find/myagilent
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。安捷伦是 LXI 联盟的创始成员。



3 年保修

www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty
安捷伦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。



安捷伦保证方案

www.agilent.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.agilent.com/quality

Agilent Electronic Measurement Group
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

安捷伦渠道合作伙伴

www.agilent.com/find/channelpartners
黄金搭档: 安捷伦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。

如欲获得安捷伦科技的产品、应用和服务信息, 请与安捷伦公司联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问: www.agilent.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。
热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

安捷伦科技(中国)有限公司
地址: 北京市朝阳区望京北路3号
电话: (010) 64397888
传真: (010) 64390278
邮编: 100102

上海分公司
地址: 上海市虹口区四川北路1350号中信泰富申虹广场5楼、16-19楼
电话: (021) 36127688
传真: (021) 36127188
邮编: 200080

广州分公司
地址: 广州市天河北路233号中信广场66层07-08室
电话: (020) 38113988
传真: (020) 86695074
邮编: 510613

成都分公司
地址: 成都高新区南部园区天府四街116号
电话: (028) 83108888
传真: (028) 85330830
邮编: 610041

深圳分公司
地址: 深圳市福田区福华一路六号免税商务大厦3楼
电话: (0755) 83079588
传真: (0755) 82763181
邮编: 518048

西安分公司
地址: 西安市碑林区南关正街88号长安国际大厦D座5/F
电话: (029) 88867770
传真: (029) 88861330
邮编: 710068

安捷伦科技香港有限公司
地址: 香港北角电气道169号25楼
电话: (852) 31977777
传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693
香港传真: (852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

©Agilent Technologies, Inc. 2014

出版号: 5991-4268CHCN

2014年4月 印于北京



Agilent Technologies