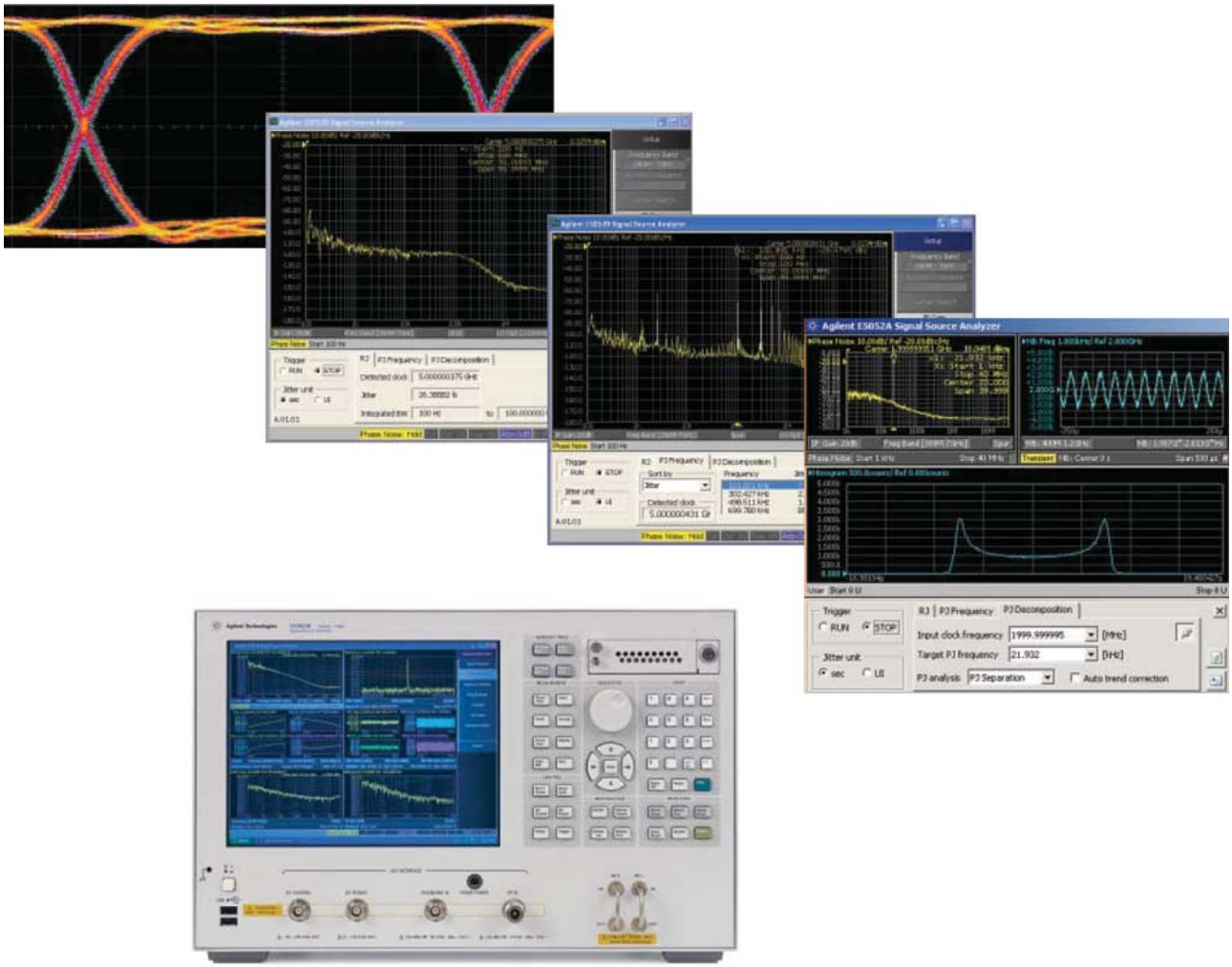
利用相位噪声测量表征时钟抖动来加速设计验证过程

白皮书



Agilent Technologies

简介

随着数据速率的提高，时钟抖动分析的需求也在与日俱增。在高速串行数据链路中，时钟抖动会影响发射机、传输线和接收机的数据抖动。时钟质量保证的测量方法也在不断发展。目前的重点是针对比特误码率(BER)建立时钟性能和系统性能之间的直接联系。

该白皮书将探讨参考时钟的作用和时钟抖动对数据抖动的影响，并讨论一种使用Agilent E5001A精确时钟抖动分析应用软件(可在E5052B信号源分析仪(SSA)上运行)的全新测量技术。该测量技术提供了前所未有的测量精度，可测量随机抖动(RJ)并对随机抖动和周期抖动(PJ)分量进行实时抖动频谱分析，以提升您的设计质量。

白皮书还探讨了解决方案的实时测量功能，此功能可加快设计验证过程。

参考时钟在高速串行应用中的作用

图1所示的是高速串行数据链路中的主要元器件。发射机通常将一组速率较低的并行信号转换成串行数据流。信号经过一条包括多个背板和电缆的传输通道进行传送。接收机通常会解释输入的串行数据，从中分离出时钟，再把串行数据重新转换成并行数据流。在许多诸如此类的说明中，参考时钟更多地被视为一个组成部分但不是关键部分，但是在高速串行数据系统中数据比特率可达数吉比特，此时参考时钟是一种关键部分。通常，参考时钟的振荡速率远远低于数据速率，并在发射机中成倍增长。发射机使用参考时钟来确定串行数据流中的逻辑变换定时。发射的数据中包括参考时钟的特征。在接收机中可能会出现两种不同的情况。如果未分配参考时钟，则接收机会利用锁相环(PLL)从数据流中还原时钟 —— 并利用该时钟定位采样时间点。如果已分配参考时钟，则接收机会同时使用数据信号和参考时钟来定位采样点。

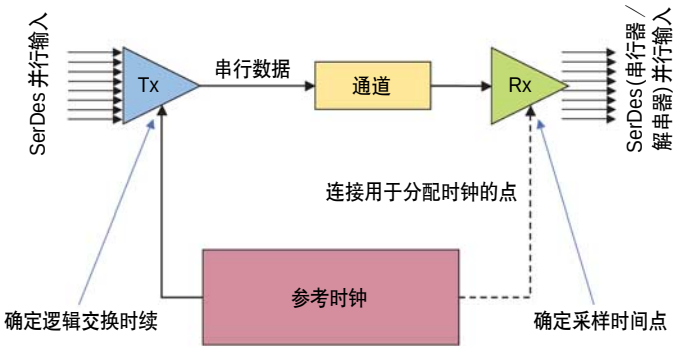


图 1. 参考时钟的作用

时钟抖动对发射机数据抖动的影响

参考时钟是最终的系统定时源。它为发射机、已分配和未分配的时钟系统提供时基，而接收机的时钟恢复电路可以重现参考时钟特征。现在我们将探讨时钟抖动如何在系统发射机中进行传输。

发射机必须用适当的因数乘以参考时钟获得数据速率，才能确定逻辑变换定时。例如，对于 100 MHz 参考时钟和 5 Gb/s 输出信号，发射机将用 PLL 给参考时钟乘以因数 50。PLL 乘法器不仅放大时钟抖动，还引入其自身的抖动，主要是 PLL 压控振荡器 (VCO) 的 RJ。频率乘以因数 n 的结果是相位噪声功率载波比乘以 n^2，所以抖动迅速变大。

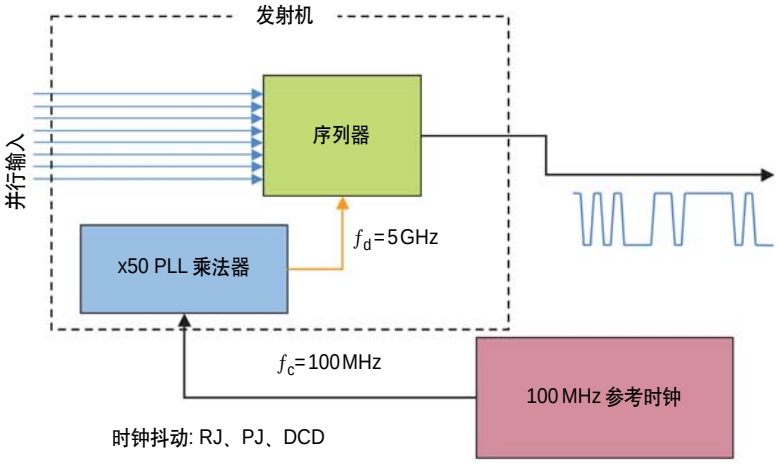


图 2. 时钟抖动对发射机的影响

发射机中的 PLL 乘法器具有一定的频率响应，通常是如图 3 所示的二阶响应。非均匀频率响应会产生一个值得注意的问题: 时钟抖动实际上有什么影响? 如果 PLL 非常出色且带宽为零，那么它将过滤掉所有的时钟抖动，从而为发射机提供无抖动时基。当然，零带宽意味着无限锁定时间，所以我们不得不综合考虑，但是 PLL 带宽越窄，参考时钟加入数据中的抖动就越小。确定时钟是否能在系统中正常工作且符合预期的 BER 要求，需要对抖动频谱进行详细测试。

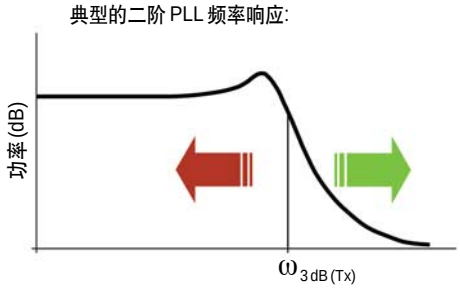


图 3. PLL 频率响应

真实的抖动源

如果观察实际环境中的高速数字电路，您会发现许多抖动源，如图4所示。跟我们前面讨论的一样，时钟信号通常分配给多个IC，时钟频率可能进行乘法和／或除法运算。即使我们假设来自晶体振荡器的参考时钟具有较低的抖动，但是由于 IC 带来的附加噪声或其他设备产生的干扰，经过乘法或除法运算的输出时钟也可能不是非常干净。

开关电源的噪声是一个主要污染源，开关频率一般为 100 kHz 到 1 MHz。开关电源噪声可能会注入时钟信号线路，它在左下角的图 4 中显示为 PJ。

其他周期抖动源可能是来自数据或时钟线路的干扰，或是在时钟线上的互调产物（见图4）。只要PJ分量出现在远离时钟频率处，就很有可能通过插入带通滤波器（或低通滤波器）来消除这些抖动。然而，当周期抖动接近时钟频率时会遇到问题，由于很难得到高频高 Q 滤波器。参考时钟的 RJ 也一样，时钟除法器可能增加宽带噪声，这可能会使输出时钟信号的 RJ 增加。

要诊断各种问题，设计人员必须表征有关电路物理布局和／或工作环境下的时钟抖动。

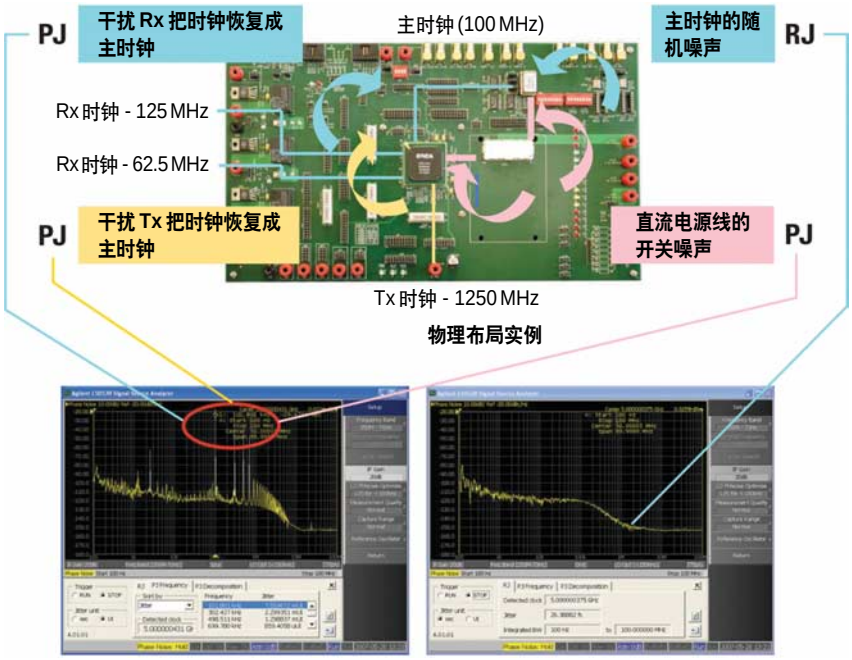


图 4. 实际环境中的抖动源

通过相位噪声测量技术表征时钟抖动

全面分析时钟信号要求达到飞秒级精度，只有相位噪声测量技术才能达到这种精度。相位噪声分析提供两种主要测量：相位频谱密度Sφ(fφ)和相位噪声φ(t)，它们根据相位噪声测量带宽限制收集时钟的所有相位信息。

在相位噪声分析仪上分析RJ可以完成两个重要目标。首先，通过集成RJ频谱，可以提取预定带宽中的相应RJ高斯分布宽度。其次，通过分析Sφ,(fφ)的幂级数行为确定RJ的主要原因。(见图5)

在相位噪声频谱中可以看到PJ分量的毛刺。所以PJ频率知识对于诊断问题非常有帮助。参考每个PJ频率的PJ rms也能帮您了解每个PJ分量对总体时钟抖动的影响，查看去除主要PJ分量之后总体抖动的变化。(见图6)

图 5. 利用相位噪声测量分析 RJ

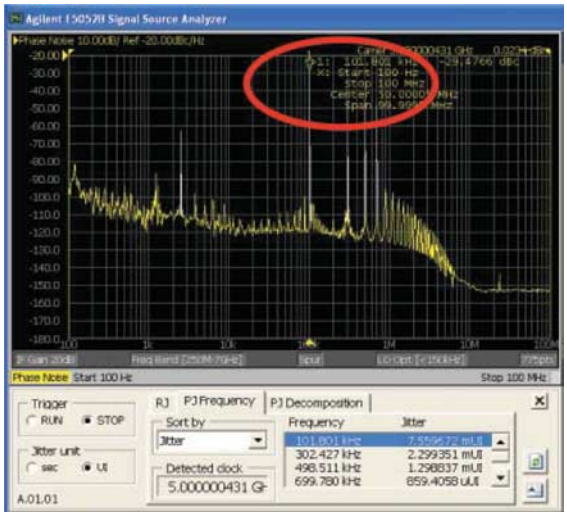


图 6. 相位噪声测量的 PJ 频率分量

通过 E5052B SSA 的先进体系结构进行实时抖动测量

与传统的抖动测量模式不同，带有 E5001A 软件的 E5052B SSA 可以对相位噪声测量进行实时抖动分析。该仪器使用 PLL 提供参考源。它能够自动检测时钟频率，在几毫秒内把内置参考源自动调谐为时钟频率，测量相位检波器保持PLL所产生的噪声信号。通过可用于100 MHz抖动带宽测量的模拟数字转换器 (ADC) 和用于频域数据的实时快速傅立叶变换 (FFT)，它可以以 250 MSa/s 的速率捕获噪声信号，从而能显著提高测量速度。例如，1 kHz 到 100 MHz 带宽的测量每次只需 0.3 秒。

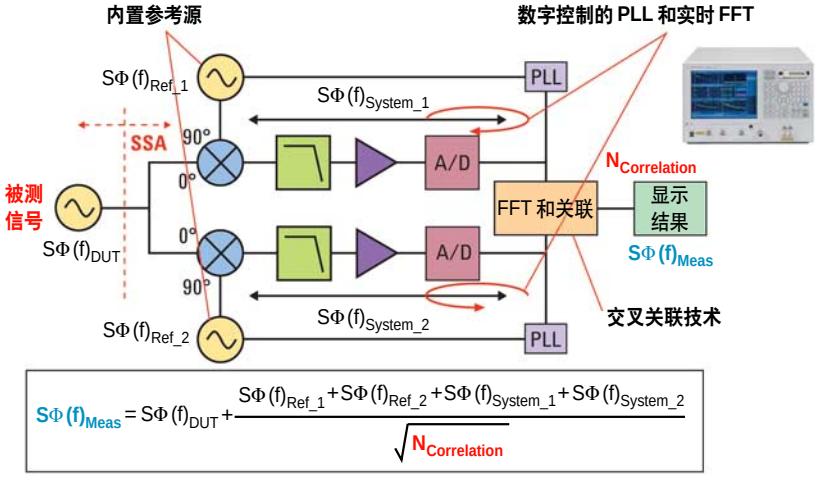


图 7. Agilent E5052B 信号源分析仪的先进体系结构

利用交叉关联技术获得前所未有的低抖动本底噪声

E5052B 抖动测量分辨率和本底噪声非常低，通常 10 Gbps 速率时的 RJ 本底噪声仅为几飞秒。由于 ADC 的动态范围有限，且其内部参考时基的残余抖动较大，高性能 (实时或采样) 示波器的抖动本底噪声通常在一百飞秒以上。E5052B 通过检测基带 (其中较大的载波信号已消除) 的相位噪声来保持宽动态范围。E5052B 利用两个独立的内部测量通道之间的独特交叉关联技术，将抖动测量极限扩大到低于其内部时基的残余抖动。(见图 7)。与目前的高性能示波器相比，E5052B 利用这种交叉关联技术把抖动本底噪声降低了 100 倍到 1000 倍。(见图 8)

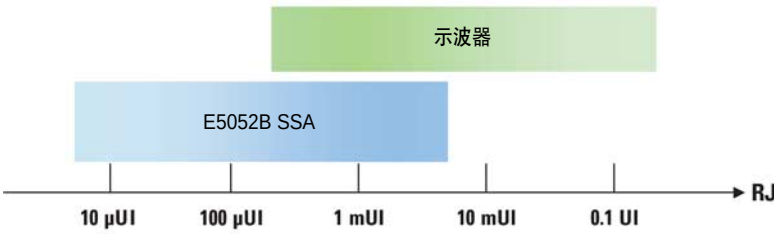
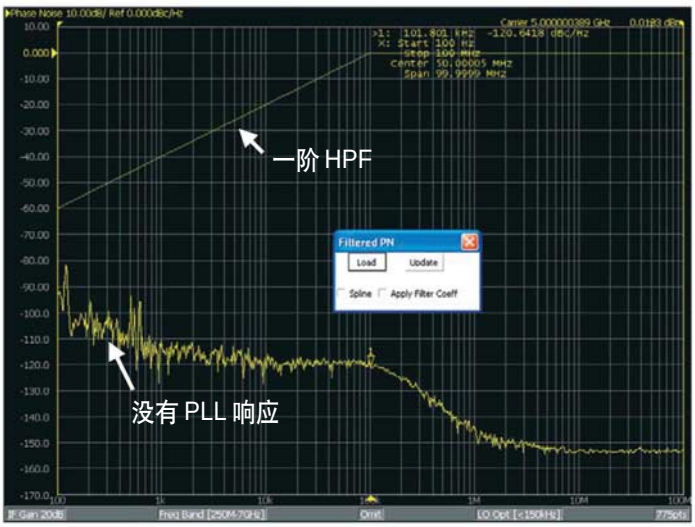


图 8. 利用交叉关联技术获得的出色抖动本底噪声

实时仿真 PLL 响应

图 9 表示直接应用于时钟相位噪声信号的 PLL 响应功能的结果。您可以看到如何消除频谱的不同部分，使您可以分析与应用相关的抖动。E5052B 对相位噪声测量的实时抖动分析功能可加快您的设计进程。E5052B SSA 可以导入任何 PLL 响应函数，使您可以轻松快速地仿真设备到设备的 PLL 响应。



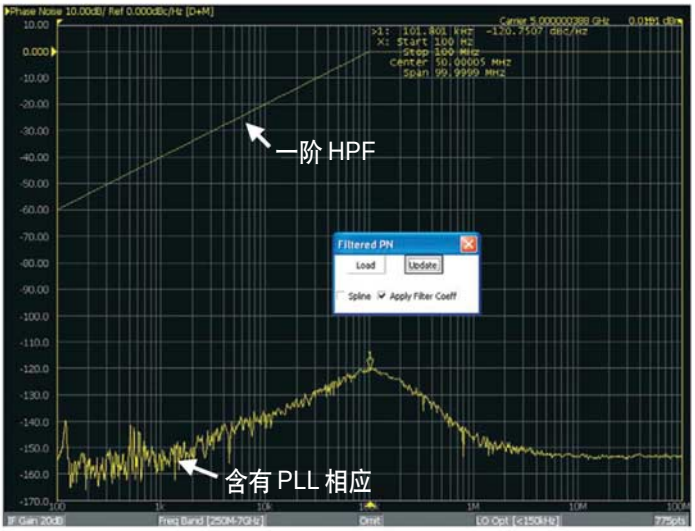


图 9. 仿真 PLL 响应

总结

对于高速串行数据应用，时钟抖动分析的主要目的是确定参考时钟的抖动对系统比特误码率的影响。最精确的方法是使用在时钟应用中最坏情况下发射机（和接收机）的传递函数，并测量获得的时钟 RJ 和 PJ。在 E5052B 上运行的 E5001A 精确时钟抖动分析软件改变了传统的抖动测量方式，它不仅能以飞秒级分辨率对时钟抖动进行全面分析，而且具有出色的易用性和实时抖动分析功能，可以帮助您加快设计验证过程。

www.agilent.com

欢迎订阅免费的

安捷伦电子期刊

www.agilent.com/find/emailupdates
得到您所选择的产品和应用的最新信息。

Agilent Direct

www.agilent.com/find/agilentdirect
高置信地快速选择和使用您的
测试设备解决方案

Agilent Open

Agilent Open 简化连接和编程测试系统的过程，以帮助工程师设计、验证和制造电子产品。Agilent 的众多系统就绪仪器，开放工业软件，PC 标准 I/O 和全球支持，将加速测试系统的开发。要了解更详细的情况，请访问：**www.agilent.com/find/openconnect**。

Remove all doubt

使您的设备恢复如新并准时送还

安捷伦承诺经我们维修和校准的设备在返回您时就像新设备一样。安捷伦设备在整个生命期中都保持其全部价值。您的设备将由接受过安捷伦专业培训的技术人员，使用全新的工厂校准规范，自动维修诊断步骤和正品备件进行维修和校准。您可对您的测量充满信心。

安捷伦还为您的设备提供各种测试和测量服务，包括入门级培训、现场培训，以及系统集成和项目管理。

要了解有关维修和校准服务的详细情况，请访问：

www.agilent.com/find/removealldoubt

Signal source analyzer
www.agilent.com/find/ssa

Jitter generation and analysis systems
www.agilent.com/find/jitter

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。
在线帮助: www.agilent.com/find/assist
热线电话: 800-810-0189
热线传真: 800-820-2816

安捷伦科技有限公司总部
地址：北京市朝阳区望京北路 3 号
电话：800-810-0189
(010) 64397888
传真：(010) 64390278
邮编：100102

上海分公司
地址：上海张江高科技园区
碧波路 690 号 4 号楼 1-3 层
电话：(021) 38507688
传真：(021) 50273000
邮编：201203

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) 86685500
传真：(020) 86695074
邮编：510613

成都分公司
地址：成都市下南大街 6 号
天府绿洲大厦 0908-0912 室
电话：(028) 86165500
传真：(028) 86165501
邮编：610012

深圳分公司
地址：深圳市福田中心区
福华一路六号免税商务大厦 3 楼
电话：(0755) 82763668
传真：(0755) 82763181
邮编：518048

西安办事处
地址：西安市高新区科技路 33 号
高新国际商务中心
数码大厦 23 层 01-02 室
电话：(029) 88337030
传真：(029) 88337039
邮编：710075

安捷伦科技香港有限公司
地址：香港太古城英皇道 1111 号
太古城中心 1 座 24 楼
电话：(852) 31977777
传真：(852) 25069256

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

E-mail: tm_asia@agilent.com

有关安捷伦开放实验室暨测量方案中心和安捷伦测试与测量技术认证，
请访问: **www.agilent.com.cn/find/openlab**

安捷伦电子测量事业部中文资料库: **http://www.tm.agilent.com.cn/chcn/**

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
©Agilent Technologies, Inc. 2008

出版号：5989-9849CHCN
2008 年 12 月　印于北京

Agilent Technologies