

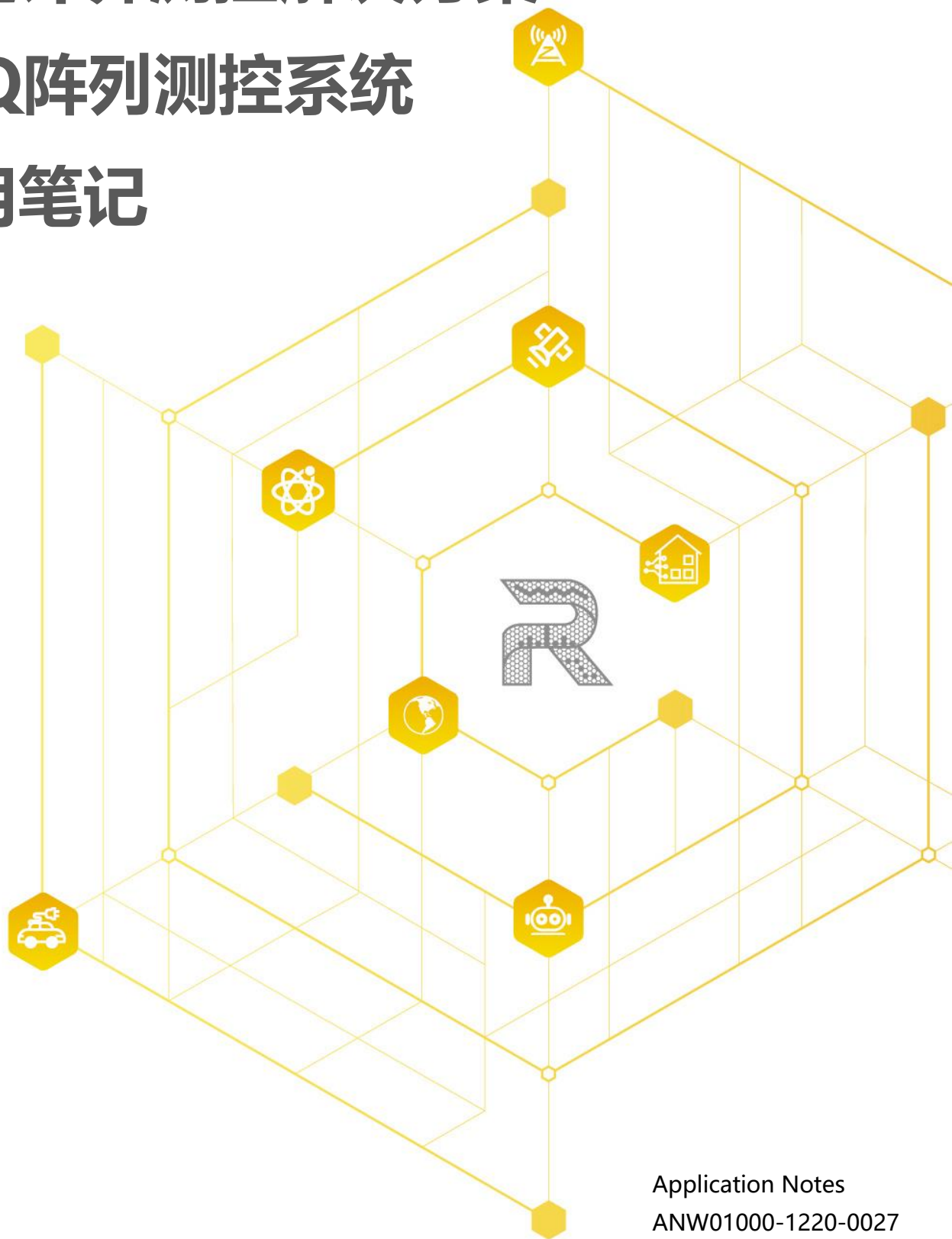


RIGOL

先进计算测控解决方案

SPQ阵列测控系统

应用笔记



Application Notes
ANW01000-1220-0027

一、应用背景：

在当今信息技术革命浪潮中，先进计算技术正逐步突破经典计算范式的边界，成为推动科技跨越式发展的核心引擎。基于新型超导材料构建的计算架构，凭借其独特的物理特性与可扩展优势，已在复杂系统模拟、密码解析优化等关键领域展现出革命性潜力，其中测控系统则是先进计算的核心电子学设备。

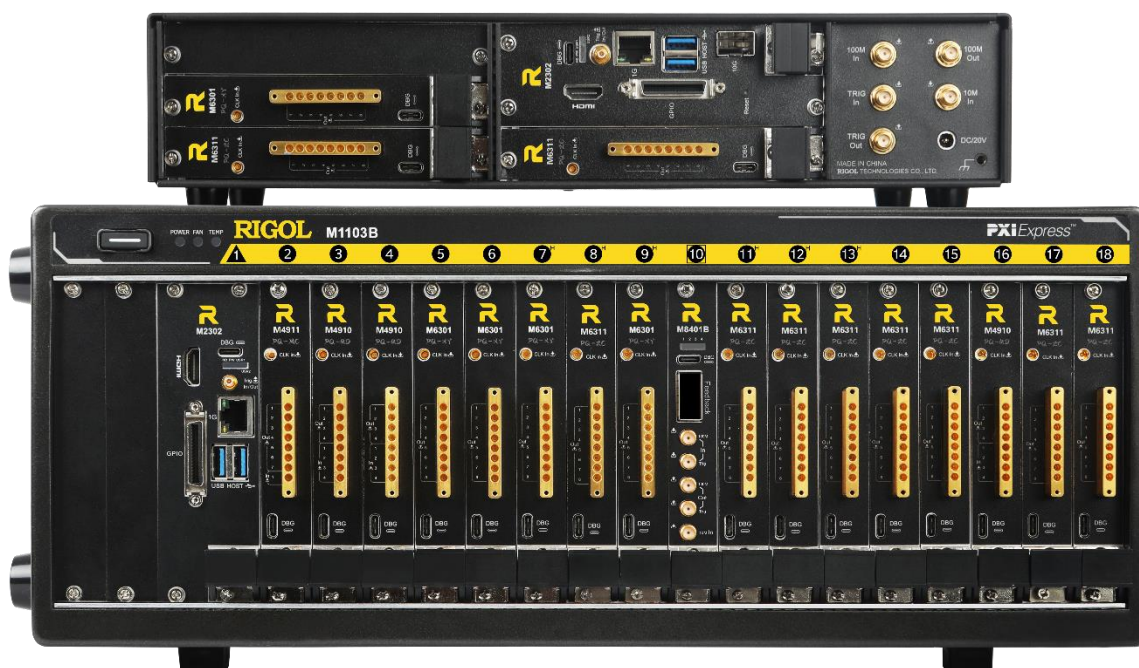
二、行业挑战：

先进计算领域仍面临多重技术壁垒：计算单元间信号串扰导致的操作精度衰减，微观环境扰动引发的系统稳定性下降，以及大规模集成时的能耗控制难题，都制约着实际应用场景的拓展。在技术实用化也面临多重挑战：一方面，高维计算单元的规模化扩展，受限于系统稳定性与错误率控制，跨模块协同与纠错机制尚未成熟；另一方面，异构算力融合、算法适配仍需突破理论与工程的双重阻碍。针对这些挑战，科研界正通过优化指标参数、引入表面编码纠错技术，持续提升计算系统的鲁棒性与可靠性。

三、解决方案：

RIGOL推出的SPQ阵列测控系统专为先进计算而生。SPQ采用了模块化的设计理念，根据测控需求划分了多种业务模块，分别具有精准且多样化的微波控制的功能、数据采集分析和实时反馈的功能、提供偏置电压并叠加微波信号的功能、时钟及触发分发的功能等等。经历多个阶段的发展，SPQ逐渐进化到以指令集为主要编译手段的先进计算专用测控系统，解决了很多传统测控设备的无法实现的痛点问题。

SPQ阵列测控系统在国内数十个研究机构均完成了部署并实现了长期稳定运行，同时也在不断演化发展，紧跟先进计算的最新功能和性能需求，成为了先进计算测控领域的标杆性解决方案。



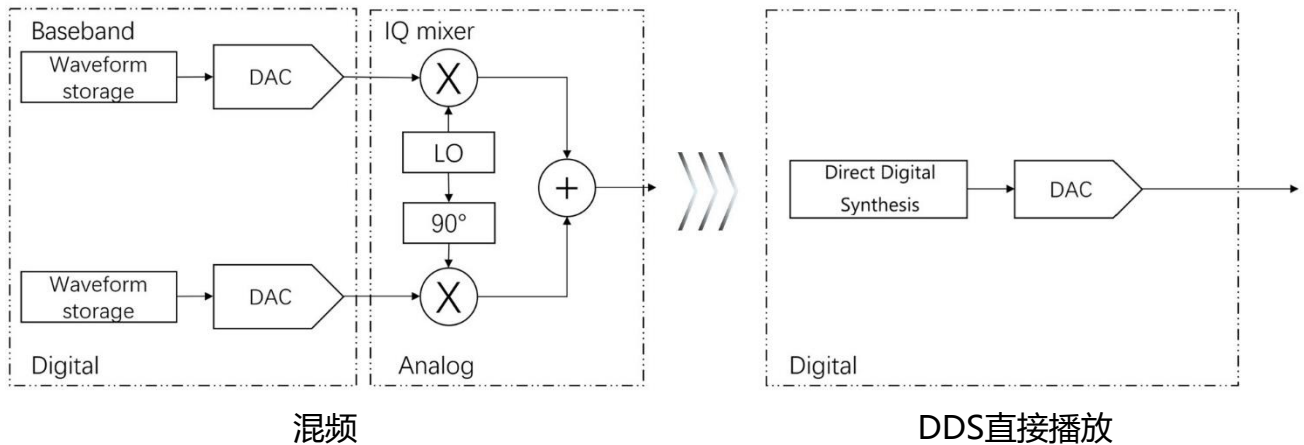
RIGOL SPQ先进计算测控解决方案 硬件正视图

四、 产品优势：

➤ 全数字化测控完成快速搭建

在传统的测控体系中，往往采用基带混频的方式产生控制波形，极易产生IQ失调以及本振泄露，污染控制波形。混频模式完成一个计算单元的控制需要多个信号通道的合成也降低了测控系统的鲁棒性，调试过程相当复杂费时，搭建完成后也极易受到线路或者多个设备的干扰而偏离调校。

SPQ的全数字化测控系统采用了高采样率直接播放的形式替代了混频，从根本上避免了本振泄露和IQ失调的问题，提升了测控信号的精度。一个计算单元的控制，仅需要连接一个信号端口，节省了系统搭建的调试时间，显然为数百个计算单元的实验测控提供了更好的解决方案。



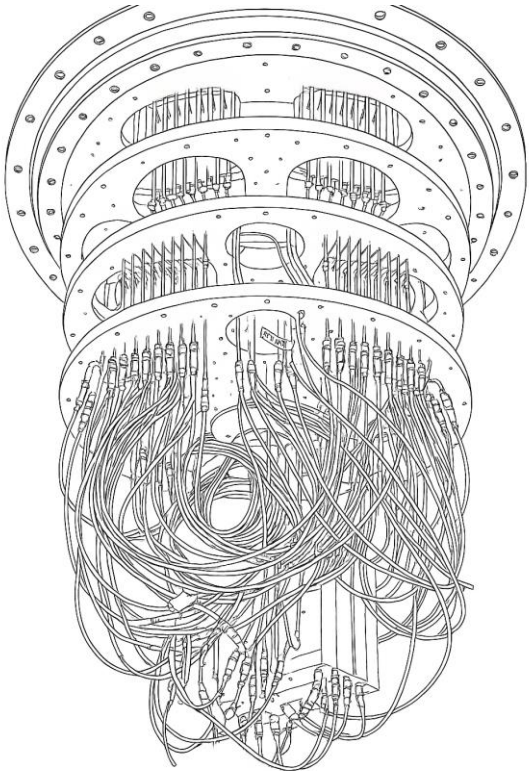
➤ 高集成度提高实验效率

基于SPQ的全数字化测控体制，SPQ得以极大地提升了先进计算测控设备的集成度，在19英寸16U的空间下实现了500+通道的微波测控，同时保证了所有通道间65dBc以上的隔离度，抑制了计算单元间的串扰。

SPQ解决方案相比于传统测控设备在集成度上提升了10倍以上，具有全栈的测控能力，接线简单，配套驱动齐全，系统稳定性强，为先进计算的大规模拓展和产品化落地提供了可能性。

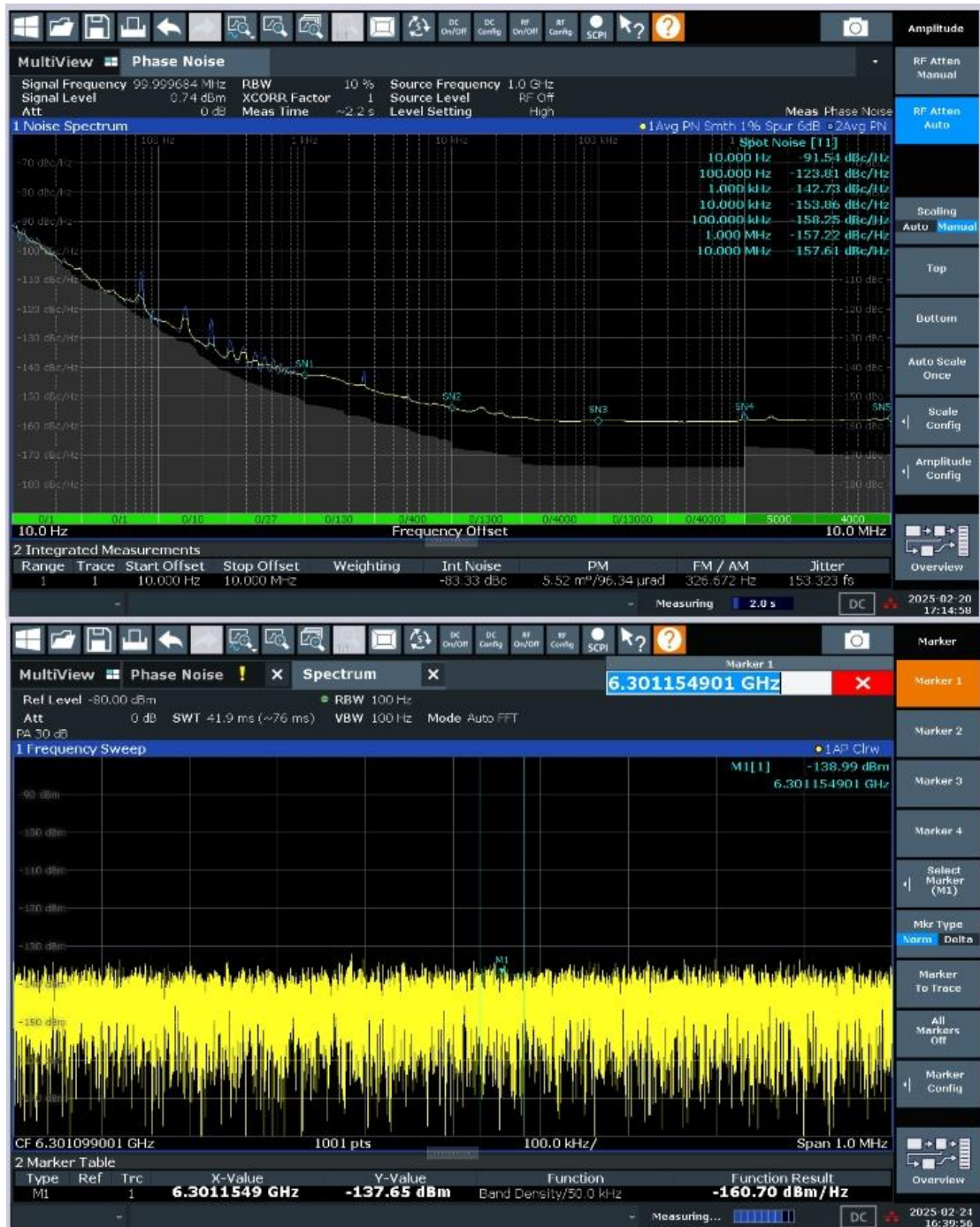
该解决方案包含了4套PQ-C16机箱和PQ-M02控制器，通过PQ-S10 Pro完成多个机箱的同步。20个PQ-XY模块提供了160个XY线的微波控制，40个PQ-ZC提供了320路Z线和耦合器的控制，最后4个PQ-RD提供了16路采集分析线路，整体形成了对160个计算单元的全栈测控。

方案产品名	订货号	数量	模块参数
PQ-C16	M1103B	4	支持16个业务模块的数字化测控机箱
PQ-M02	M2302-14	4	2槽位嵌入式主控器模块AMD V2000 CPU， 32GB， 512G SSD
PQ-XY	M6301-C8	20	8通道XY微波控制模块， 6/8/10GSa/s DAC采样率， 0.1-9.8GHz频段
PQ-ZC	M6311-C8	40	8通道高带宽Z偏置控制模块， 2/4/6GSa/s DAC采样率， DC-1.8GHz频段
PQ-RD	M4910-C44	4	4组微波读取模块， 3/4/5GSa/s ADC采样率， 0.1-9.8GHz频段
PQ-S10	M8401B	3	单机箱同步模块， 为单机箱内的16个模块提供同步时钟及触发
PQ-S10 Pro	M8402B-CT12	1	多机箱同步模块， 为在不同机箱的最多192个模块提供同步时钟及触发

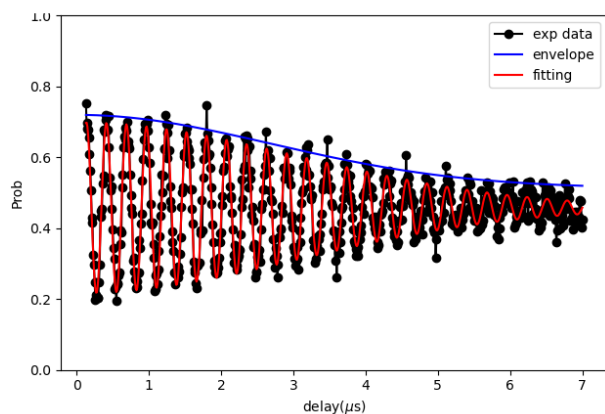


➤ 低噪声特性改善实验结果

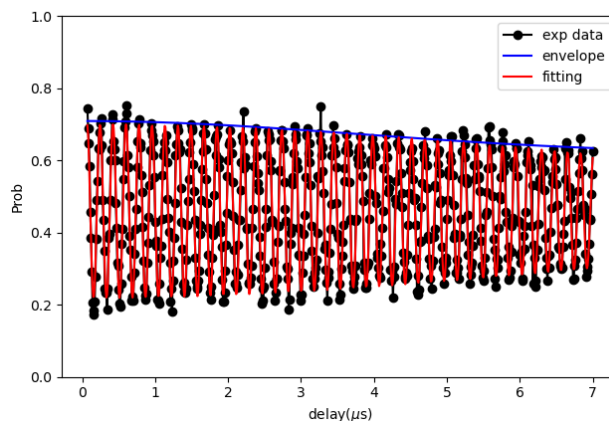
在先进计算测控中，计算单元极其容易受到噪声的干扰，因此往往采用高稳电压源提供稳定的电压偏置，再加上一个微波控制设备与其叠加，形成某个偏置电压下的局部频率调整，但两者的合路需要使用并不阻抗匹配的合路器，会带来严重的波形失真。SPQ解决方案提供了具有直流耦合的微波信号输出功能，在提供1.4Vpp的直流偏置的情况下，同时能够播放高至1.8GHz的微波信号，同时满足了高稳定性偏置及微波控制的需求。



在噪声指标上，SPQ阵列测控系统在100MHz输出频率的1KHz偏移处达到了-142dBc/Hz的相位噪声，并且具有低于-160dBm/Hz的噪声功率谱密度，这为对噪声极其敏感的计算单元提供了更加稳定的实验环境，退相干时间显著提升。相比于传统的测控设备，计算的有效时长因噪声的优化而提升了两倍以上。



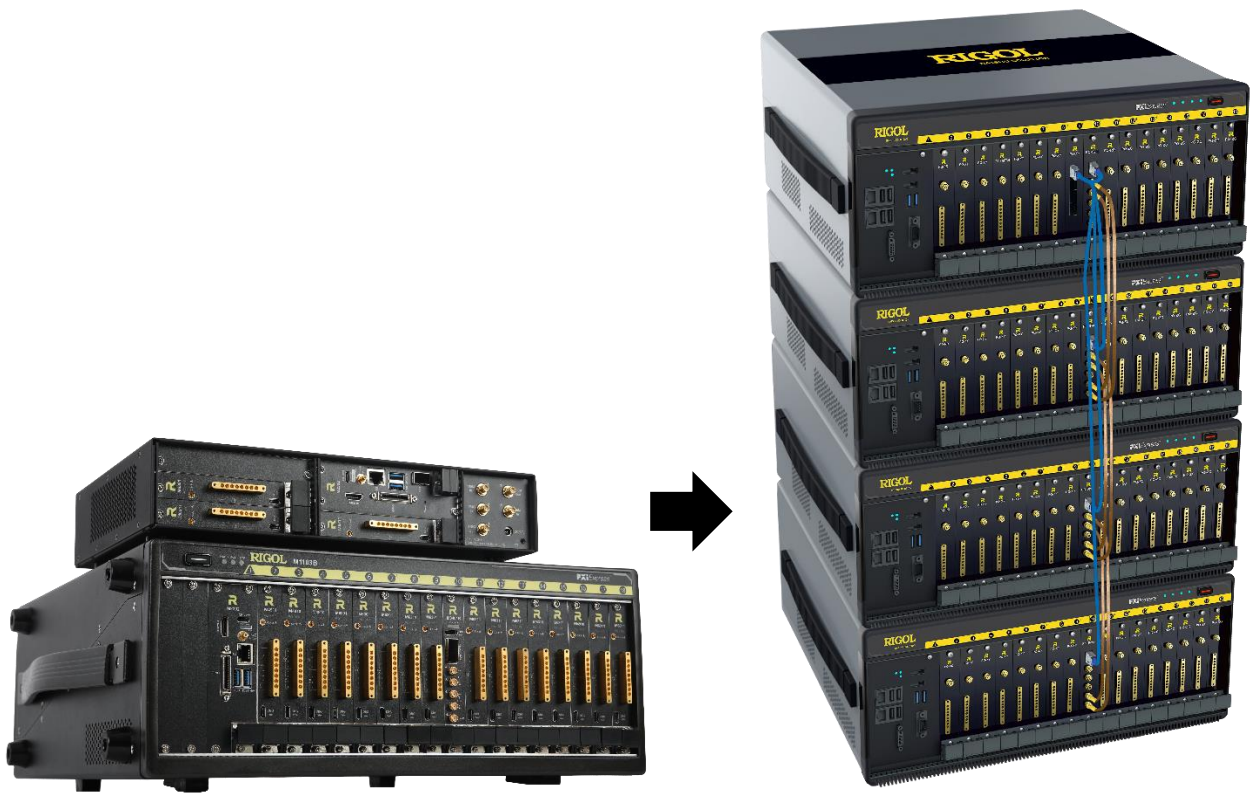
其他同类测控设备效果



RIGOL SPQ效果

➤ 灵活配置适应不同场景

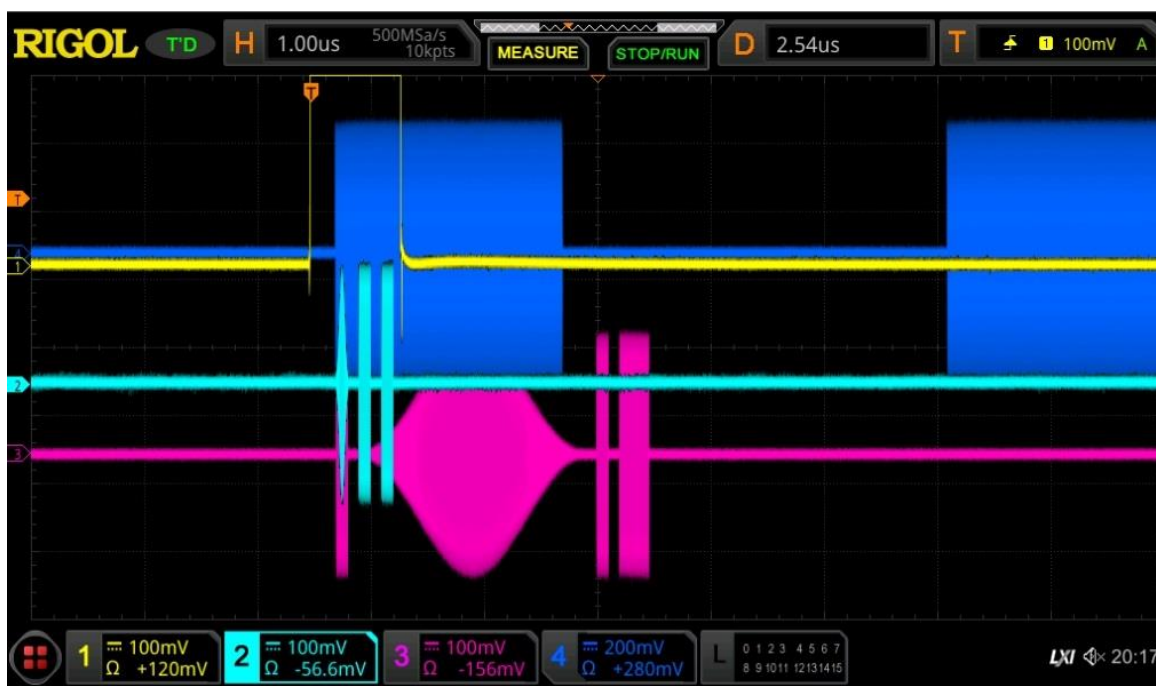
在不同的实验环境下，用于测控的通道耦合类型、频率范围和应用功能不同，所需要的通道数量也不相同，SPQ解决方案采用了模块化的设计方法，可以根据用户需求进行灵活配置，搭配的软件驱动也能够根据硬件配置进行自适应的初始化调整。随着用户实验的需求改动或规模提升，可以随时增加新的业务模块。



对于快速验证型用户，例如4个计算单元，可推荐最小系统配置。该配置采用一个PQ-C02小型测控机箱，并配备一个PQ-MC测控一体模块，兼具微波发射和数据采集分析功能。

方案产品名	订货号	配置数量	模块参数
PQ-C02	M1210	1	支持2个业务模块的数字化测控机箱
PQ-MC	M4911-C17	1	微波测控一体模块，6通道XY微波控制，1组微波读取





采用最小配置系统，完成多通道的指令集化波形生成

➤ 先进计算-经典计算融合

先进计算和经典计算的融合通过整合先进计算的高并行性、指数级状态空间优势与超级计算的大规模数值模拟能力，在算力维度上实现“质变”。例如，在材料科学领域，先进计算可精准模拟分子间效应，而超级计算负责宏观物性分析，两者协同可将新材料研发周期从数年缩短至数月。这种互补性使原本受限于经典计算复杂度的难题获得全新突破路径。

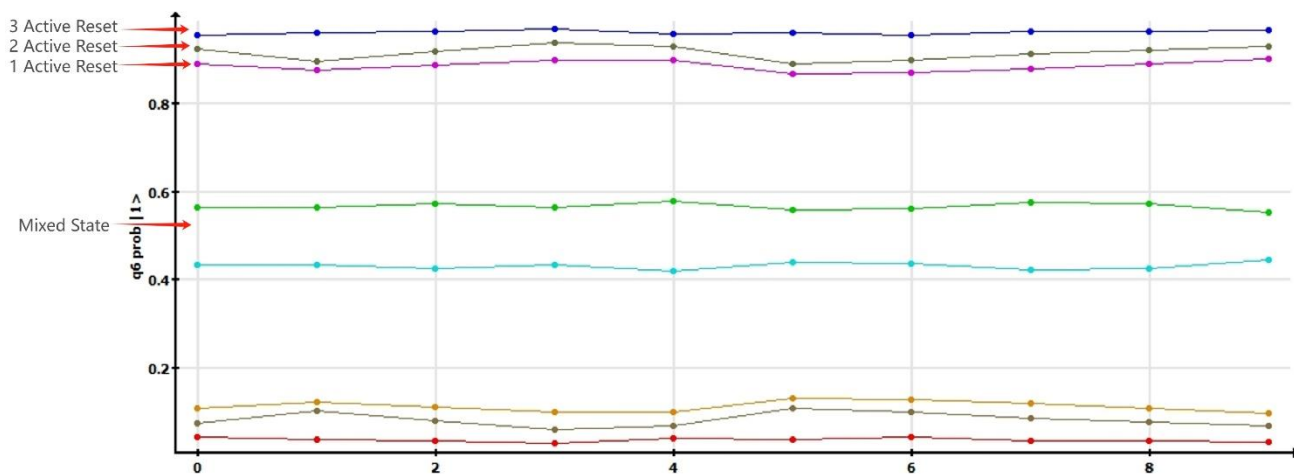
SPQ阵列测控系统具有PXIe-PCIe转接能力，可以数根光纤与超算服务器直接通过PCIe协议连接，并且软件驱动上支持以Peer to Peer（端对端）的方式进行数据交换，将两种计算架构间的数据传输延迟缩短至us量级，并提升数据传输带宽至6GB/s以上，为融合计算创造了最佳的实验环境。



➤ 专用指令集完成进阶实验

传统测控手段上，计算单元的门操作完成之后需要等待退相干冷却后再进行操作，称之为被动复位。为了进一步提升实验效率，需要在一次实验完成后迅速通过反馈播放主动复位波形。借助专用测控指令集SPQ阵列测控系统可以实现延迟低于300ns的反馈，通过反馈结果发起多次主动复位以提高实验结束后的零态概率，相比于被动复位实验效率可提升10倍以上。

该实验的完成标志着科学家们的测控手段突破了简单的波形下发和数据采集，转为对计算单元进行更加实时、多样的纠错控制，为逻辑计算单元及各种编码解码技术的研究奠定了坚实的基础。



五、结论：

先进计算的突破将依托底层硬件创新与跨学科协同，SPQ先进计算解决方案的模块化设计已展现出解决扩展性难题的潜力，灵活的配置方法为不同客户的应用场景提供了丰富的选择，为大规模任务处理提供了可行路径。该解决方案在提升系统集成度、优化实验效率方面具有显著的优势，同时在硬件指标上具有国际先进水平，专用的指令集软件也为科学家们的研究解锁了更多可能性。

SPQ阵列测控系统作为先进计算研究的基石，将持续突破操控精度与系统集成边界，为先进计算技术的规模化落地提供关键保障。这场静默的计算革命，正在重塑人类处理复杂问题的能力边界。

产品选型以及相关参数

产品型号	订货号	产品基本参数描述
PQ-C16	M1103B	支持16个业务模块的数字化测控机箱
PQ-C02	M1210	支持2个业务模块的数字化测控机箱
PQ-M02	M2302-I4	2槽位嵌入式主控器模块AMD V2000 CPU, 32GB, 512G SSD
PQ-R01	M2601-I6	单槽位远程控制器模块, 光纤, QSFP X2, 支持PCIe Gen3 X8
PQ-XY	M6301-C8	8通道XY微波控制模块, 6/8/10GSa/s DAC采样率, 0.1-9.8GHz频段
PQ-ZC	M6311-C8	8通道高带宽Z偏置控制模块, 2/4/6GSa/s DAC采样率, DC-1.8GHz频段
PQ-RD	M4910-C44	4组微波读取模块, 3/4/5GSa/s ADC采样率, 0.1-9.8GHz频段
PQ-MC	M4911-C17	微波测控一体模块, 6通道XY微波控制, 1通道微波读取
PQ-S10	M8401B	单机箱同步模块, 为单机箱内的16个模块提供同步时钟及触发
PQ-S10 Pro	M8402B-CT12	多机箱同步模块, 为在不同机箱的最多192个模块提供同步时钟及触发

全面助力智慧世界和科技创新



5G 蜂窝-5G/WIFI
UWB/RFID/ ZIGBEE
数字总线/以太网
光通信

数字/模拟/射频芯片
存储器及MCU芯片
第三代半导体
太阳能光伏电池

新能源汽车
光伏/逆变器
电源测试
汽车电子

为行业客户提供测试测量产品和解决方案

RIGOL开放实验室

地址：北京、苏州、深圳、西安

开放时间：工作日 9:00 am~6:00 pm

预约电话：400-620-0002

RIGOL客服热线：400-620-0002

官网预约网址：

<https://www.rigol.com/quote/Lab-appoint.html>



RIGOL开放实验室预约



RIGOL实验室视频号

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。
本文档中的产品信息可不经通知而变更，有关RIGOL最新的产品、应用、服务等方面的信息，请访问RIGOL官方网站：

www.rigol.com



RIGOL官方微信



RIGOL官网