

美国 Quantum Design 公司

磁学测量系统

MPMS (SQUID)

简易产品说明手册



Quantum Design 中国子公司

2010 年 6 月



美国 Quantum Design 公司简介



图 1、Quantum Design 全球总部

美国 Quantum Design 公司是 1982 年由世界上第一台 SQUID 的设计者创立，坐落于美国加州圣迭戈市。在公司成立的二十多年里，Quantum Design 公司专注于打造两种产品线——SQUID 磁学测量系统（MPMS）和综合物性测量系统（PPMS）。目前 PPMS 和 MPMS 已经成为实验数据可靠的标志，被广泛应用于物理、化学及材料科学等众多研究领域，遍布几乎所有世界一流相关实验室，在中国超过 80 台 PPMS 和 MPMS 正在服务于尖端的课题研究组。

MPMS 系统综述

SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)是 MPMS 高灵敏度的根源，因此人们常常直接以 SQUID 来称呼 MPMS。

MPMS 系统磁学测量精度最高达到 10^{-9} emu，基系统的测量温度范围为 1.9K-400K (可购买选件拓展至 0.48K-1000K)，同时设备带有超导磁体，可提供最高到 7 特斯拉的外加磁场，7T 以上的磁噪声会使 SQUID 的测量精度明显下降，因此 MPMS 系统不配备 7T 以上的磁体。

MPMS 系统由一个基系统和各种选件组成。用户首先选择一个基系统，基系统提供了一个集温度、磁场、控制软硬件部分于一体的测量平台，它还包含了基本的 SQUID 直流磁学测量功能。硬件上基本系统包含了内置超导磁体、低温杜瓦、温控系统、磁场控制系统、MPMS 系统中央控制平台，SQUID 探测单元等。在此基础上，用户进一步根据自己研究的需要选择购买 MPMS 上其他各种拓展功能的选件，来实现在此

低温强磁场平台上的更多测量功能。

Quantum Design 公司目前提供连两种 MPMS 磁学测量系统供用户选择，分别为 MPMS(SQUID)XL 系列和 MPMS(SQUID)-VSM 系列，后者也简单称为 SQUID-VSM 系列。

第一部分 MPMS XL 系列



图 2、MPMS(SQUID)XL 系列

MPMS XL 系列产品是开发比较早并且目前使用最为广泛的 SQUID 磁学测量系统，它集成了丰富的磁学相关测量功能。目前分为 XL5 和 XL7 两种型号，区别在于可分别提供最高 5T 和 7T 的高均匀度的测量背景磁场。

MPMS XL 系列产品功能强大，可以进行直流磁学测量、交流磁学测量、横向磁矩测量、巨磁矩测量、高压磁测量、各向异性磁测量、光诱导磁测量、超低低磁场测量（自动形成最低达 0.05 高斯的磁场环境）、精细磁电相关测量等，用户还可以选择高温炉拓展测量温度到 800K。

MPMS XL 基本系统

MPMS 的基本系统按功能可以分为以下几个部分：温度控制，磁场控制、直流磁学测量（SQUID 探测单元）和 MPMS 控制软件系统。基本系统的硬件包括测量样品腔、普通液氮杜瓦、超导磁体及磁体电源组件、真空泵、计算机和电子控制系统等。基本系统提供了低温（最低 1.9K）和强磁场的测量环境以及用于对整个 MPMS 系统控制部分，自带的磁学测量包含 DC 和 RSO 模式。

SQUID 探测单元

SQUID 器件是测量磁场最灵敏的装置，但



是 SQUID 器件并不直接测量样品的磁场。样品磁矩在超导探测线圈里感生出电流，感生电流与探测线圈里的磁通成正比，样品在探测线圈里的移动引起感生电流的变化，探测线圈的电流与 SQUID 感应耦合，SQUID 输出的是电压的变化。精心配置调试的 SQUID 电子探测系统可以保证输出电压正比与输入电流，因此可以把 SQUID 看作极高精度的电流-电压转换器。SQUID 的输出电压正比与样品磁矩。

SQUID 探测线圈是一种高度平衡的二阶梯度线圈，轴向长度约 3cm。这种二阶梯度线圈可以保证均匀磁场在其内几乎不产生信号，使得 SQUID 对磁场漂移相对不敏感。磁场漂移是指磁场改变到目标场后随时间的微小变化。一般的测量参数选用以探测线圈中心为中心的 4cm 扫描，就是要让样品的行程经过整个探测线圈，以得到相对完整的 SQUID 输出电压响应曲线。这个实测的响应曲线与理想磁偶极子模型在探测线圈里移动的理想响应曲线相匹配，进行数值拟合后得到的响应曲线的电压峰值（位于响应曲线的对称中心），经过公式换算就得到样品的磁矩值。换算公式里的参数通过测量已知磁矩的 Pd 标准样品标定得到。

MPMS XL 样品室

样品室的内径是 9mm，测量时样品室处于密封的粗真空或者高真空状态，样品变温是通过液氮冷却样品室的室壁、进而冷却样品室内的传导氦气来降温的（高真空时室壁接触冷却样品）。

MPMS XL 温度控制

MPMS 系统能够实现快速精准的温度控制，主要得益于 Quantum Design 多项专利技术：

1、液氮通道双流阻专利设计

可以精确连续控制液氮流量的技术，保证系统可以在 4.2K 以下实现无限长时间的连续低温测量。

2、带有两个夹层的样品腔

配合液氮通道双流阻可以精确地控制样品腔内壁底部的温度，而样品腔内壁底部的 20cm 部分用高热导的无氧铜制造，保证样品处于一个温度较稳定的大环境之中

3、高级温度控制算法

与传统的温控仪 PID 算法不同，MPMS 系

统采用了复杂的温度控制算法。系统测量样品腔上不同位置的温度计（不同类型温度计分别在不同温区工作以达到最佳控制精度）用于监视样品腔内的温度梯度分布，同时控制液氮流量，夹层真空度和 2 个线绕加热器，使得系统能够快速精确地控制样品所在区域内的温度变化，并能实现样品温度无限长时间的稳定。

● 温控系统技术参数：

温控范围：1.9~400K 连续控制

（可选 0.48k ~ 800K）

温度扫描速率：0.01 - 10 K/min

温度稳定性：±0.5%

温度控制模式：快速模式 非过冲模式
扫描模式

MPMS XL 磁场控制

MPMS XL 系统的磁场是通过浸泡在液氦里的超导磁体励磁获得的，励磁的电源为先进的卡皮察电源。由它们构成的磁场控制系统由以下特点：

◇ 磁场具有很高的均匀度

在 4cm（长）×1cm（直径）的圆柱内均匀度达到 0.01%（7T 或 9T 磁体）。

◇ 低噪声、高效率的双极性磁体电源

具有卓越的电流平滑过零性质

◇ 使用高温超导材料制造的磁体电流引线极大的降低了在励磁过程中的液氮损耗。

● 磁场控制系统技术参数

磁场大小范围：

±所含超导磁体最大场(可选)

±5T 或者 ±7T

剩磁（振荡模式）：

<5 Oe (5T 或 7T)

变场速率：最大 200 Oe/s

磁体操作模式：闭环模式和开环模式

磁场逼近模式：振荡模式

非过冲模式 磁滞模式

磁场设置精度：

	高场精度	低场精度
MPMS XL-5	1.0 Oe±5T	0.1±5000Oe
MPMS XL-7	2.0 Oe±7T	0.2±6000Oe

**MPMSXL 软件系统——MultiVu 控制软件**

MultiVu 是 MPMS 系统的专用控制软件。它基于微软 windows 操作系统，使用 windows 的通用协议，具有友好的用户界面。主要特征如下：

- ✧ 可以控制系统所有的硬件设备，实时监测并记录系统所有设备的运行状况。
- ✧ 测量程序命令由软件系统提供，用户只需要填写测量时使用的参数。
- ✧ 可以同时打开多个图形文件，用户可以把正在获得的图形数据与原来的数据进行比较。
- ✧ 新增加的选件对应的软件模块可以很容易的集成到整个控制软件中来。
- ✧ 当 MPMS 连接到互联网上，可以实现远程仪器的控制和维修服务。
- ✧ 提供软件接口，使得 MultiVu 可以轻松控制所有基于 IEEE488 总线的设备

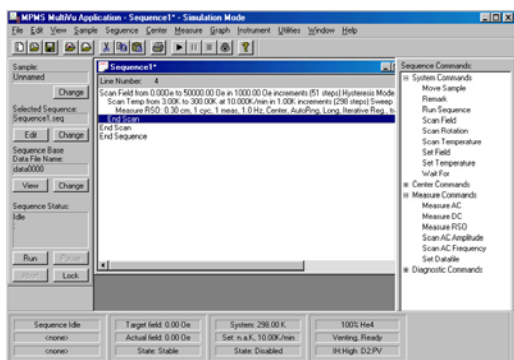


图 3、MultiVu 控制软件的测量程序界面

MPMS XL 上专利的 RSO 测量模式

MPMS XL 基系统自带的磁学测量包含 DC 和 RSO 两种模式，DC 模式用的是提拉法，而 RSO 用的是往复样品方法。RSO 模式来比起 DC 模式来有以下优点：

- ✧ 无需等待 SQUID 信号稳定，提高了测量的速度和灵敏度，快速的磁滞回线测量，速度是 DC 模式的 8 倍，
- ✧ 伺服马达精确控制样品的振动
- ✧ 高精度数据采集系统，专用数字信号处理器 (DSP)，锁相技术用于 SQUID 信号，提高了信噪比
- ✧ 振幅小样品温度、磁场均匀梯度变化小

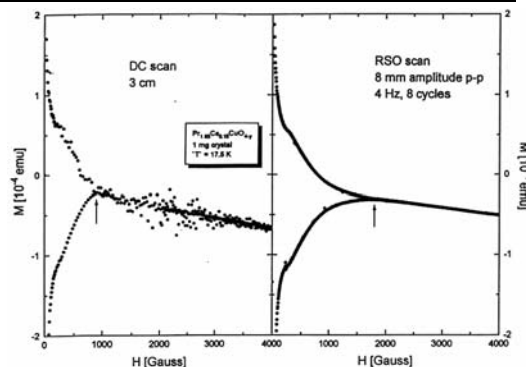


图 4、RSO 和 DC 测量数据对比

● RSO 测量模式技术参数：

频率范围：0.5 - 4 Hz

振动幅度：0.5 - 50 mm

测量灵敏度：

$< 1 \times 10^{-8}$ emu; $H \leq 2,500$ Oe, $T = 100$ K (7T 磁体)

$\leq 6 \times 10^{-7}$ emu; $H @ 7$ tesla, $T = 100$ K (7T 磁体)

量程测量范围

DC 模式 10^{-8} -5 emu (可至 300 emu)

RSO 模式 10^{-8} -0.4 emu (可至 300 emu)

MPMS XL 磁滞回线粗测模式

有别于精细但缓慢的磁滞回线测量，为了进行快速磁学测量，MPMS XL 系统专门设立了磁滞回线测试模式，用于支持用户在扫描磁场的情况下进行快速磁滞回线测量。该模式下测量过程中超导磁体一直处于励磁状态，因此会有磁噪声。一般测量精度在 10^{-5} emu 级别。

MPMSXL 上各种标准拓展功能选件

MPMS 系统的拓展功能选件非常丰富，共用下列选件可供用户选择：

- ✧ 横向磁矩测量选件
- ✧ SQUID 交流磁化率选件
- ✧ 环境磁场屏蔽选件
- ✧ 磁场重置选件
- ✧ 超低磁场选件
- ✧ 巨磁矩测量选件
- ✧ 磁学高温炉选件
- ✧ 样品旋转杆选件
- ✧ 手动插入样品杆选件
- ✧ 外部装置控制选件
- ✧ 光纤样品把持杆选件
- ✧ 高压腔磁学测量选件
- ✧ He3 极低温磁学测量选件



◇ EverCool 液氮自循环杜瓦选件

全自动和高精度兼顾是它们的共同特点，下面是这些选件的简单介绍。

MPMS XL 横向磁矩测量选件

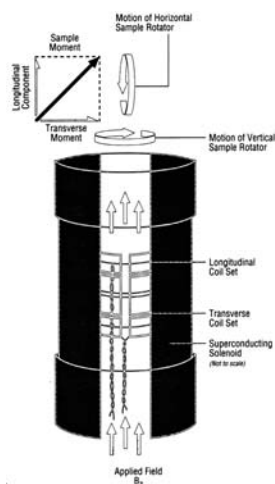


图 5、横向磁矩测量选件原理

该选件包括第二个 SQUID 器件探测系统，可测量具有各向异性的样品的垂直于磁场方向的磁矩，对横向磁矩的测量灵敏度为 10^{-6} emu

MPMS XL 交流磁化率选件

很多材料在振荡磁场中样品磁化信号的变化会相对于外磁场的变化滞后并衰减。具体特性的表征需要测量交流磁化率(交流磁化率包含实部和虚部，而其中的虚部与样品的能量衰减成比例，辅以交流磁场测量的不同相位就可分离样品磁矩的实部与虚部)。主要用来研究铁磁体和亚铁磁体磁相变温度(Curie 温度)，MPMS XL 测试系统不但可以获得 M-T 数据，而且可以直接测得 M-f(f 为频率)结果，所以可以观察超顺磁化合物(如单分子磁体 SMMs 和单链磁体 SCMs)和自旋玻璃态材料磁化强度随频率变化的关系。同时可以在交流磁化强度实部测量中得到 Neel 温度。交流磁化率测量选件可以在 0.01Hz 至 1kHz 频率范围内进行交流磁学测量。与传统的交流系统采用时间微分不同，在 SQUID 系统中，输出电压直接与测量线圈中的磁通成比例。另外由于基于 SQUID 技术，该选件在整个频率测量范围都可以保持应有的超高灵敏度，这避免了传统方法中只在高频下才能保证测量精度的缺陷。SQUID 上的交流磁化率可以提供高于 5×10^{-8} emu 的磁

矩测量灵敏度以及在整个交流测量频谱内优于 0.5° 相位角灵敏度。

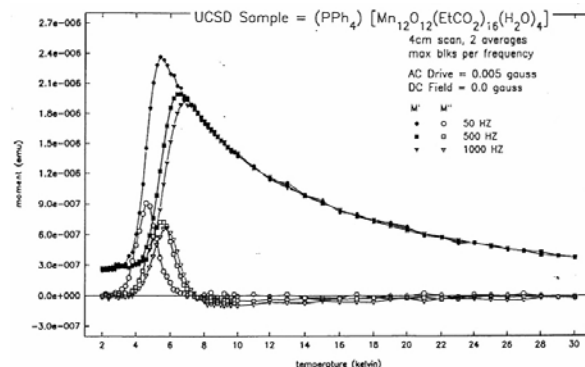


图 6、分子磁体样品的交流磁化率测量数据

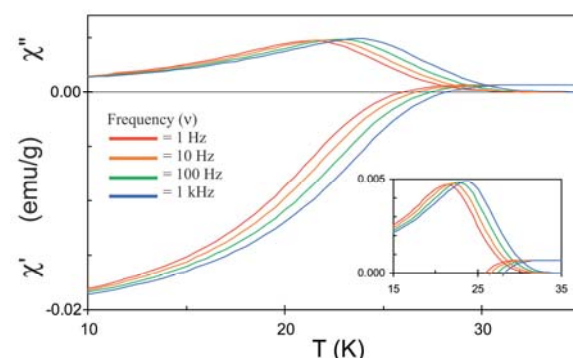


图 7、不同频率下交流磁化率实部和虚部测量数据

● 性能参数

灵敏度:	2×10^{-8} emu @ 0 Tesla
	1×10^{-7} emu @ 7 Tesla
交流频率范围:	0.01 Hz to 1 kHz
交流磁场振幅:	0.0001 to 5 Oe
直流背景磁场:	± 0.1 to 70 kOe

MPMS XL 环境磁场屏蔽选件

用于环境磁屏蔽，在杜瓦外环绕高磁导率材料，主要作用是屏蔽外部环境如地磁场等对杜瓦内部的影响，也是获取超低磁场环境的必选选件。

MPMS XL 磁重置选件

用于超导磁体的复位，磁场从高场降为零场后，由于剩磁较大，不能进行高精度的低磁场下测量，此选件利用可控失超，消除剩磁，但如需高精度的消除剩磁，需要选择超低场选件。

MPMS XL 超低场选件

所有的超导磁体都存在剩余磁场。在进行高精度测量时，例如 ZFC 测量，低矫顽力测量等，



剩余磁场的存在将会影响测量结果。超低场选件的作用就是将超导磁体的剩余磁场降至零。

该选件主要包含高斯计（fluxgate）和超低场线圈。可全自动将剩场从几个 Oe 降低为几十 mOe，对实现“零场冷”非常有意义。设置超低场的过程自动使用了磁重置功能，所以超低场选件自带磁重置选件。此外超低场选件必须和环境磁场屏蔽选件配合使用，消除外界磁场如地磁场对系统的影响，所以选择超低场选件之前，必须先选择环境磁场屏蔽选件。

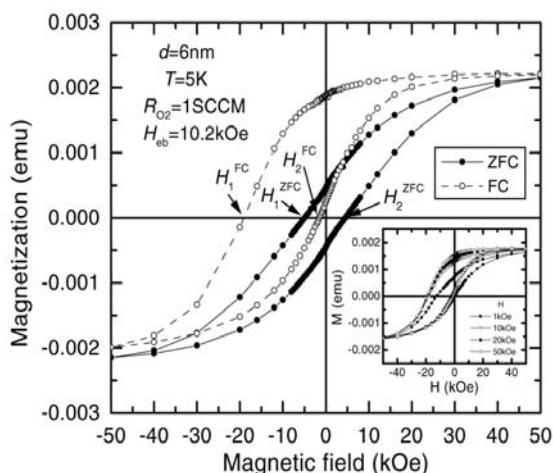


图 8、应用和不应用超低场选件下的 ZFC 和 FC 测量曲线对比

● 性能参数

剩余磁场大小：磁场中心 4cm 范围内 <0.05G

剩余磁场均匀度：磁场中心 4cm 范围内 <0.01G

MPMS XL 巨磁矩测量选件

用于扩展磁矩范围。一般情况下，DC 测量最大磁矩约为 5emu；RSO 测量最大磁矩约为 0.4emu。该选件可将最大准确测量磁矩扩展到 300emu。该选件在系统的测量过程中自动调用（如果需要），可以适用于纵向或横向探测系统。

MPMS XL 高温炉腔选件

MPMS XL 上的高温炉腔选件用于扩展磁性测量的温度区间。提供最高达 800K 高温磁学测量环境，易于安装和拆卸，带真空夹层，内置温度计和加热丝。样品腔直径约 3.5mm，温度范围 300-800K。

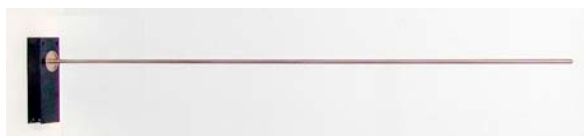


图 9、XL 高温炉插件

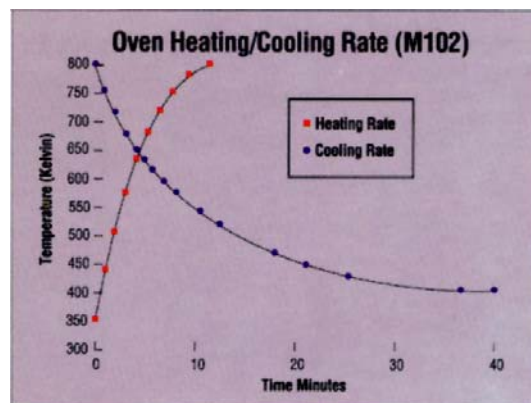


图 10、XL 高温炉测量曲线

MPMS XL 样品旋转杆选件

分为水平旋转杆选件和竖直旋转杆选件两种。

竖直旋转杆选件中任何一根标准样品杆（或称 DC 样品杆），只要安装于标准传输台（或称 DC 传输台）顶部的旋转装置上，就成为绕竖直轴旋转的垂直旋转杆。

而水平旋转杆同时具有水平和竖直旋转功能，在具有竖直旋转功能外，可把安装于标准传输台顶部的旋转装置绕竖直轴的旋转通过传动装置转化为样品绕水平轴的旋转，旋转范围 0-360 度。

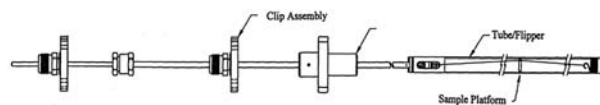


图 11、样品旋转杆示意图

● 性能参数

旋转角度为 360 度，步长为 0.1 度

最大样品尺寸：4mmX4mmX1mm

背景信号为抗磁性，在 5T 时约为 10^{-3} emu

（用户可以利用软件中集成的自动背景扣除功能降低噪声获取更高精度的测量数据）

MPMS XL 系列手动插入样品杆选件

该选件方便用于将各种电测量仪表引线引入 MPMS 系统的样品腔中进行各种电测量。安装于标准传输台，内置 10 个引线提供电输运测



量，可将样品与外部设备连接。外部设备由用户根据不同测量需求进行选择，如电压表或电流源等，需支持 GPIB 命令，Keithley 表最为常用。该选件必须结合 MPMS XL 外部装置控制软件包选件(EDC)方可对外部设备进行全自动控制。常见测量包括在此低温强磁场平台下进行霍尔系数、I-V 曲线、磁电阻、介电测量、热电测量、磁电耦合测量等。



图 12、手动插入样品杆底部和顶部示意图

外部装置控制软件包选件

使用 Borland 公司的 Delphi (Visual Pascal) 作为编程语言，提供了模板程序和例程。如果结合 MPMS XL 手动插入样品杆以及用户的外部设备，可以控制第三方设备进行各种电学测量。所有的参数控制、测量数据采集以及处理仍然是通过 MPMS XL 的 MultiView 软件实现，非常方便。

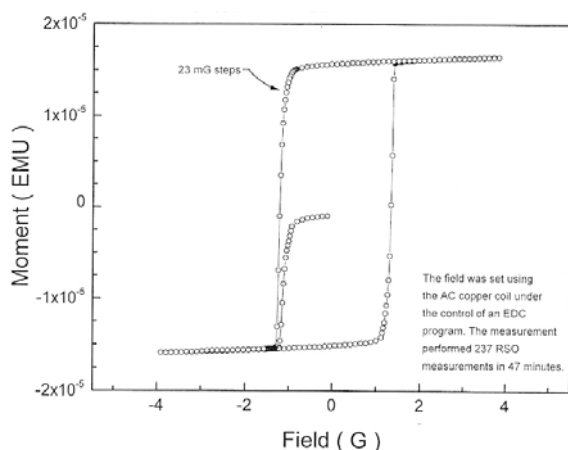


图 13、利用外部装置控制软件包实现超精细磁场控制

MPMS XL 光纤样品把持杆选件

提供了直达样品的光学信号通道（用户自备光源），可在磁测量过程中允许样品受到外部光

源照射。用于光诱导自旋交叉或自旋跃迁材料的磁性测定，是目前磁学研究领域的最热门课题之一。该选件包括两米长的光纤，分为紫外可见和可见红外两种，专用样品盒尺寸为直径 1.6mm，深度 1.6mm。



图 14、光纤样品把持杆示意图

MPMS XL 高压腔选件

磁学测量高压腔选件是由 ElectroLab 公司和 HMD 公司专门为 MPMS 系统设计和制造的，灵巧的高压硬件设计结合 MPMS 的全自动程度把传统复杂的高压物理实验变得简单、易行，这用户就可以在 MPMS 上实现变温、变磁场、变压力的三相测量环境下的磁学测量。该选件配有专门的操作工具，也可配合 PPMS 上的 VSM 选件使用（需选用大尺寸线圈），采用了全 BeCu 材料设计，磁背景更均匀。



图 15、高压腔选件全套工具箱

主要特点

- ◆ 样品安装和移除方便快捷
- ◆ 摒弃传统的铜圈封装设计，便于样品移除



- ◆ 便携箱设计，所有高压测量配件集成于一个小箱子中，便于携带
- ◆ 无需任何液压施加装置

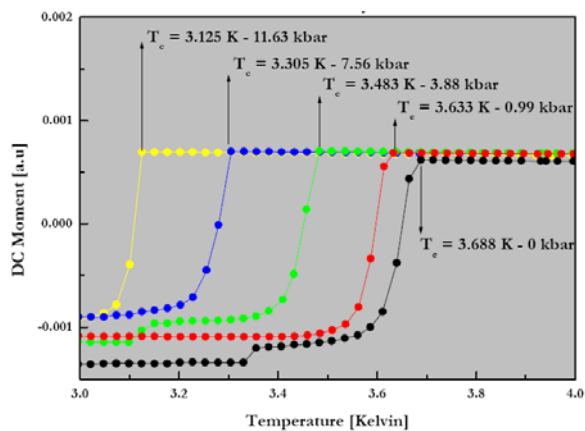


图 16、不同压力下超导样品的超导转变曲线

● 技术参数

最大压强：1.3Gpa

样品空间尺寸：Φ2.1 or 2.6 mm

样品空间长度：7mm

腔体直径：8.5mm

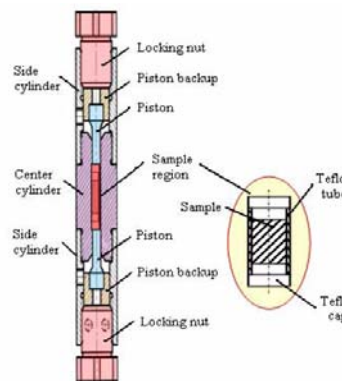


图 17、高压腔结构详细示意图

MPMS XL He3 极低温磁学测量选件

He3 极低温磁学测量选件是由 iQUANTUM 公司专门为 MPMS XL 系统设计和制造的，将系统的测量温区下限由原来的 1.9K 拓展至 0.48K，而且从 1.9K 降至 0.48K 只需 1 个小时，用户可以进行极低温下直流磁学以及低频交流磁学测量。该选件也兼容带液氮自循环系统 MPMS XL 系统，其带有独立的 He3 气体操作系统，所有的阀门操作和系统状态监视都经过液晶显示控制面板完成，使用非常方便。

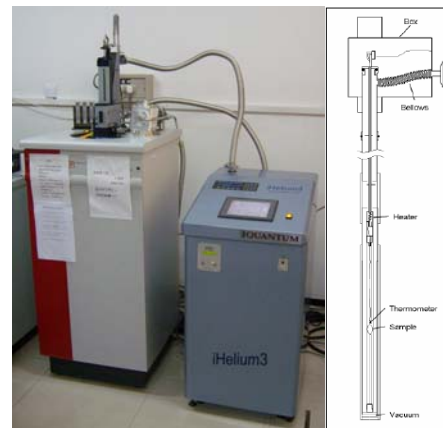


图 18、He3 选件的实物照片和设计示意图

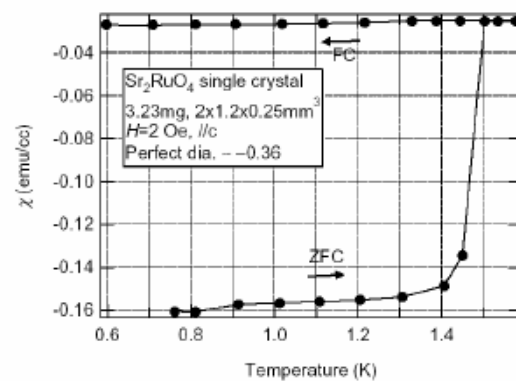


图 19、He3 选件的实际测量数据

MPMS XL EverCool 液氮自循环杜瓦选件

MPMS XL EverCool 液氮自循环杜瓦选件通过集成氦气回收、液化、减震等复杂装置，实现在 MPMS 系统上液氮的循环回收利用。这样完全消除了用户对液氮的依赖，用户不用担心液氮的损耗，而且免去了日常传输液氮的麻烦。能有效地降低 MPMS XL 系统的运行费用，非常适合使用液氮不方便的用户，其外形如图 20 所示。



图 20、EverCool 液氮自循环杜瓦
液氮自循环杜瓦选件的主要特征有：



- ◆ 完全自动的监视杜瓦中的液氮位置，自动控制液氮的自循环过程，自动保持液面最优。
- ◆ 外挂有氦气补充瓶，系统根据需要自动补充因为清洗样品腔而损失的微量氦气。
- ◆ 采用最新高温超导材料制造的电流引线，极大的减小了励磁引起的液氮损耗。
- ◆ 用户可以通过 MPMS XL 系统操作软件系统来控制液氮自循环杜瓦。例如：控制杜瓦瓶中的液氮的液位以及杜瓦中的压力。
- ◆ 在冷头工作的时候系统的测量精度为 $1 \times 10^{-7} \text{emu}$ 。在进行高灵敏度的测量时，可以在程序中关闭冷头。
- 技术参数
 - 液氮容量：36 升
 - 功率要求：9kW
 - 压缩机冷却方式：风冷
 - 补充因清洗样品室放空的氦气：1-2瓶/季度

第二部分 SQUID-VSM 系列



SQUID-VSM 是 2006 年 Quantum Design 公司在美国物理协会年会上发布的最新设计的 MPMS 磁学测量系统：该系统虽然仍旧基于 SQUID 技术，但不是 MPMS XL 系列的简单升级。SQUID-VSM 系统是 Quantum Design 公司潜心开发多年的结晶，Quantum Design 在该产品上集成了大量的新专利技术。

比起以往的 MPMS XL 磁学测量系统，其最大的特点是其惊人的测量速度和超高的灵敏度，这主要得益于该系统采用了 Quantum Design 公司专利的 FastLab 快速数据采集技术、RapidTemp 快速控温技术以及 QuickSwitch 超

导开关技术。上述这些新技术的采用使得在同样测量下，SQUID-VSM 系统的测量时间要大大地少于以往的 MPMS XL 磁学测量系统。正是因为它拥有 SQUID 的精细测量精度，同时又有 VSM 一样的迅捷测量速度，因此这个新一代的 MPMS 系统被称为 SQUID-VSM。

最新三项专利技术

- ◆ **RapidTemp™** 温控技术
系统从 300K 匀速降至 10 K 仅需 10 分钟，从 10 K 稳定到 1.8 K 也仅需约两分钟；
- ◆ **QuickSwitch™** 超导开关技术
超导开关在超导态和正常态之间的转换仅需要 1 秒时间。
- ◆ **FastLab™** 数据采集技术
SQUID 技术与 VSM 技术的结合，S-VSM 系统的超导磁体允许最大以 700Oe/s 的励磁速度，在零场下仅需 4 秒测量时间(data averaging time) 系统便能够达到 1.0^{-8}emu 的测量精度；并且系统允许用户在扫场模式下进行高精度的测量。

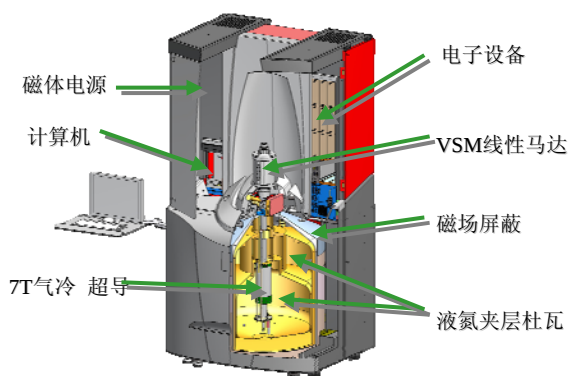


图 2 1、MPMS(SQUID)VSM 系统的一体化设计

如果用户需要，SQUID-VSM 系统上还可以配置脉冲管制冷机系统，能够实现整个 SQUID-VSM 系统从安装到运行，完全无须液氮；在只需要氦气的情况下，就可以启动并运行。长期运行，每两个月只消耗 1 瓶氦气，这样极大的缩减了运行成本，而脉冲管制冷机的超低震动以及其中的远程减震技术对整个 SQUID-VSM 系统的测量不会产生任何影响。极大方便了液氮使用不方便地区的科学家。2010 年，SQUID-VSM 系统又新推出了交流磁学测量、1000K 高温炉和超低场等拓展功能选件可供用户选择。

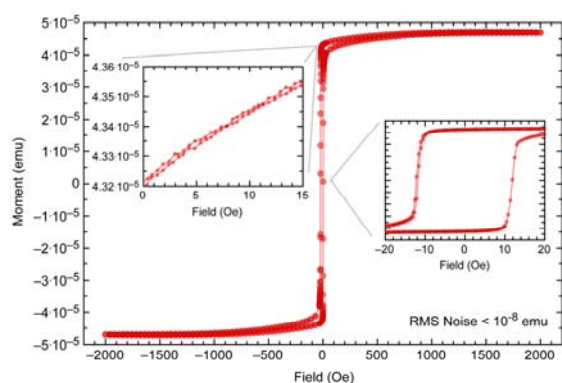


图 22、世界上最高的磁学测量精度

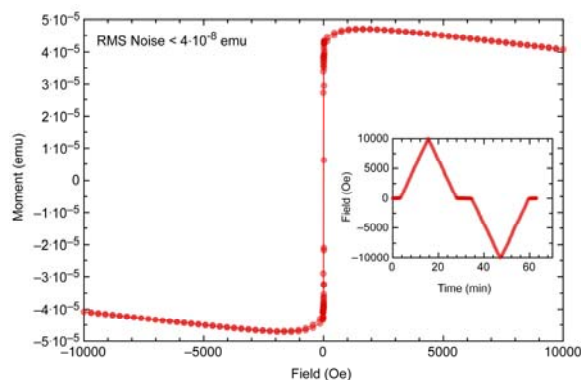


图 23、测量精度与速度的完美结合

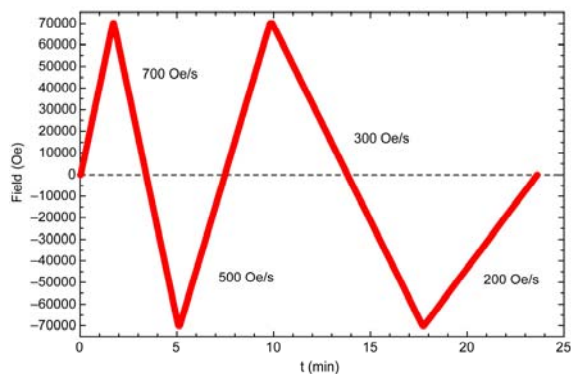


图 24、升降场速率和精度超乎想象

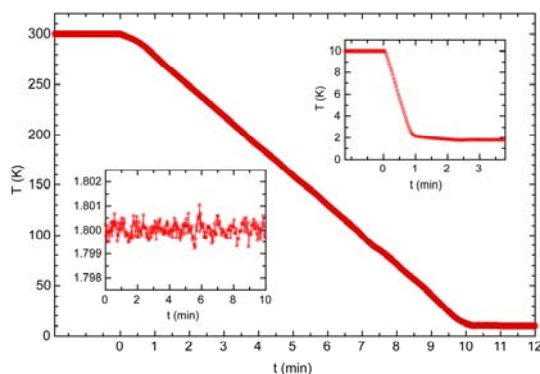


图 25、升降温速率和精度无与伦比

● 技术参数

温度区间: 1.8-400 K

降温速度: 30 K/min 300K>T>10K

10 K/min 10 K>T>1.8 K

样品腔内径: 9 mm

磁场强度: ± 7 特斯拉

磁场均匀度: 4 cm 范围内达到 0.01%

励磁速度: 1 Oe/s~700 Oe/s

最大测量磁矩: 10 emu

测量精度: $< 1 \times 10^{-8}$ emu $H=0T$ (4 秒测量时间)

$< 5 \times 10^{-8}$ emu $H=7T$ (4 秒测量时间)

SQUID-VSM 基本系统自带的磁学测量

和 MPMS XL 系列产品一样, SQUID-VSM 核心的磁信号检测仍然是 SQUID 传感器。但在样品传动、信号处理、以及磁场控制、温度控制几个方面的改进使得 SQUID-VSM 的测量速度和精度比 MPMS XL 系列产品有了很大提高。

SQUID-VSM 上的样品传动使用了超低噪声电磁驱动长程线形马达技术。具体来讲, SQUID-VSM 样品马达采用了电磁力驱动振动杆, 没有任何机械传动, 这样可以避免磨损和避免震动噪声, 同时采用微米级的光学编码定位技术, 可达到高精度的测量要求。如图 26 所示。

同时对于样品安装的方式与以往的 MPMS XL 系列也有了很大不同, 不再使用胶囊和吸管, 设计了专用针对粉末、薄膜、块材等不同形式样品的专用样品杆。如图 27 所示。

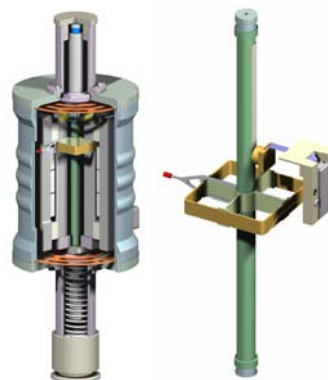


图 26、长程线型驱动马达和电磁场驱动振动杆



图 27、SQUID-VSM 样品固定杆（针对不同类型样品）

SQUID-VSM 磁学测量高温炉选件

该选件安装和移除非常方便快捷，可在室温至 1000K 区间测量磁矩。和 MPMS XL 不同，系统不再通过炉腔的方式绝热，而是使用了绝热样品杆以及真空绝热两种方式，使得样品空间更大，测量背景噪声更低。高温炉采用氧化锆绝缘样品加热杆，可装 5mm 宽样品。而系统自带的分子泵可提供高温测量所需的高真空环境，样品杆采用定点加热方式，可以最大限度的减少氦气蒸发，并且有利于样品的快速循环测量。



图 28、高温炉样品安装组件



图 29、高温炉样品杆

主要特点

- ◆ 采用碳纤维制作样品杆，用良好绝热的氧化锆制造加热杆
- ◆ 专用安装组件使得样品安装方便快捷
- ◆ 10^{-5} 托的高真空环境使得漏热极少
- ◆ 加热器和热电偶直接集成在加热杆上
- 技术参数

温度范围: 300K – 1000K

400K-1000K 升温所需时间: 15 分钟

1000K- 400K 降温所需时间: 30 分钟

噪声基 ($T=300K$, 10 秒平均时间条件下):

低场 (<2500 Oe): $\leq 1.0 \times 10^{-6}$ emu

满场 ($\sim 7T$): $\leq 8.0 \times 10^{-6}$ emu

样品测量温度精度: 温度稳定后高于 2%

温度稳定度: $\pm 0.5K$

可测量样品最大尺寸:

10mm 长 x 5mm 宽 x 2mm

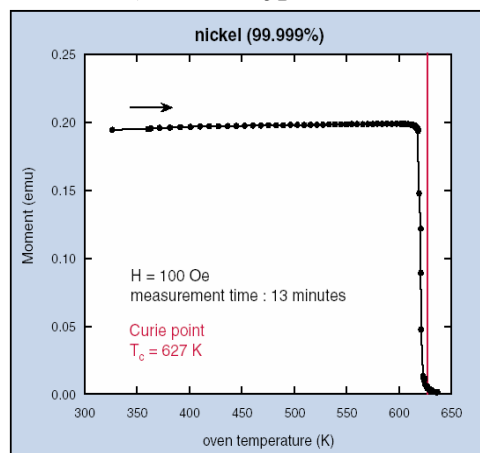


图 30、用标样 Ni 验证高温炉高温区控温精度

SQUID-VSM 交流磁学测量选件

很多材料在振荡磁场中样品磁化信号的变化会相对于外磁场的变化滞后并衰减。具体特性的表征需要测量交流磁化率(交流磁化率包含实部和虚部，而其中的虚部与样品的能量衰减成比例，辅以交流磁场测量的不同相位就可分离样品磁矩的实部与虚部)。主要用来研究铁磁体和亚铁磁体磁相变温度(Curie 温度)，SQUID-VSM 测试系统不但可以获得 M-T 数据，而且可以直接测得 M-f(f 为频率)结果，所以可以观察超顺磁 c 材料(如单分子磁体 SMMs 和单链磁体 SCMs)和自旋玻璃态材料磁化强度随频率变化的关系。同时可以在交流磁化强度实部测量中得到 Neel 温度。交流磁化率测量选件可以在 0.1Hz 至 1kHz 频率范围内进行交流磁学测量。与传统的交流系统采



用时间微分不同，在 SQUID 系统中，输出电压直接与测量线圈中的磁通成比例。另外由于基于 SQUID 技术，该选件在整个频率测量范围都可以保持应有的超高灵敏度，这避免了传统方法中只在高频下才能保证测量精度的缺陷。SQUID 上的交流磁化率可以提供高于 $5 \times 10^{-8} \text{ emu}$ 的磁矩测量灵敏度以及在整个交流测量频谱内优于 0.5° 相位角灵敏度。

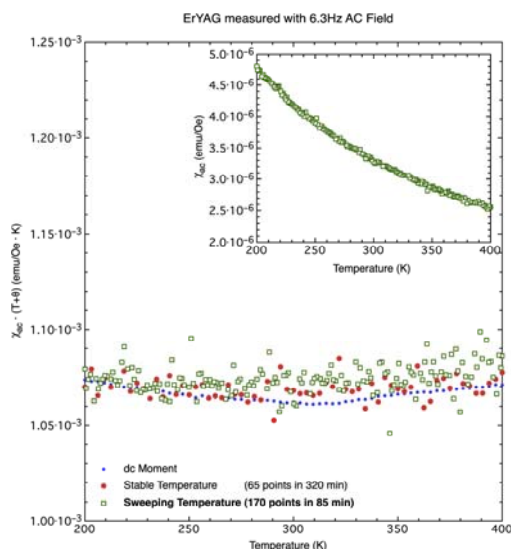


图 31、ErYAG 样品进行交流磁化率测量的数据

● 技术参数

AC 频率范围 0.1 Hz 至 1 kHz
 AC 磁场振幅 0.1 Oe 至 10 Oe
 AC 磁矩灵敏度 $\leq 5 \times 10^{-8} \text{ emu}$ (typical)
 AC 磁矩精度 $\leq \pm 1\%$ (typical)
 相位角精度 $\leq \pm 0.5$ (typical)

频率和温度对测量的影响

磁矩 $\leq \pm 1\%$ (typical)

相位角 $\leq \pm 0.5$ (typical)

SQUID-VSM 超低场选件

所有的超导磁体都存在剩余磁场，该选件可有效消除超导磁体的剩磁，是磁场达到 0.05 Gauss，这对测量高温超导样品以及自旋玻璃态材料非常有用。在进行高精度测量时，例如 ZFC 测量，低矫顽力测量等，剩余磁场的存在将会影响测量结果，超低场选件的作用就是将超导磁体的剩余磁场降至零。

该选件主要包含高斯计（fluxgate）和超低场线圈。可全自动将剩场从几个 Oe 降低为几十

mOe，对实现“零场冷”非常有意义。

● 技术指标

清零磁场空间长度：最大 10 mm

磁场均匀性：0.05 Gauss

可用设定磁场范围：5 Gauss

磁场稳定性：24 hours

磁通门技术指标

磁通门探测范围：10 Gauss

灵敏度：0.002 Gauss

精度：(0.02 Gauss + 0.5%*测量磁场)

其他技术指标

磁体剖面长度：最大 50 mm

磁场分辨率：优于 0.002 Gauss

磁场精度：(0.002 Gauss + 0.5%*设定磁场)

SQUID-VSM 最新完全无液氦杜瓦

在液氦使用日趋紧张的今天，为了一劳永逸的消除 SQUID-VSM 上的液氦传输和消耗的问题，Quantum Design 公司推出 SQUID-VSM 上的完全无液氦杜瓦选件(EverCool™)，该选件可提供一个完全无需液氦的测量环境。

与 MPMS XL 上的液氦自循环系统不同，SQUID-VSM 上的 EverCool 系统初次安装使用时也可以直接用氢气而不是液氦来冷却系统，这样在系统所有的使用过程中都不需要传输液氦，完全消除了对液氦的依赖。初次使用时只需 2 瓶氢气，30 个小时就可以将系统完全冷却。与 MPMS XL 系列上的 EverCool 选件另一个不同是：SQUID-VSM 由于采用了脉冲管类型制冷机，因此无需定期对冷头进行维护，大大降低了运行成本。

SQUID-VSM 集成的脉管致冷液氦自循环杜瓦系统，在使用过程中可将氢气在杜瓦内冷凝成液氦循环使用，用户在实际使用过程中只需使用少量氢气补充清洗样品室污染放空的微量氢气。



图 32、完全无液氮杜瓦

- 技术参数

功率：3 相 15A 最大 9KW

压缩机：水冷

初始启动：氦气 2 瓶

启动时间：30 小时

冷头维护周期： 40,000-60,000 工作小时



MPMS(SQUID)XL 系统与 MPMS(SQUID)VSM 系统对比

技术细节	SQUID-VSM (7T)	MPMS XL-7
冷却系统	两瓶氦气	100 升液氮
灵敏度	$< 10^{-8}$ emu @zero field $< 8 \times 10^{-8}$ emu@7 Tesla	$< 10^{-8}$ emu @zero field (RSO模式) $< 6 \times 10^{-7}$ emu @7 Tesla (RSO 模式)
最大测量磁矩	± 10 Emu	± 5 Emu (巨磁矩选件可扩至 ± 300 emu)
磁场均匀性	0.01% over 4 cm	0.01% over 4cm
磁场设置精度	0.33 Oe	2 G to 70,000 G 0.2 G to 6,000 G
扫场速率	40e-7000e/S	10e-2000e/S (磁滞回线粗测模式) 精细测量模式下扫场、测量不能同时进行
磁体设计	气冷磁体, 杜瓦内仅需少量液氮	磁体处于液氮中, 液面 50% 以上能扫满场
升降温速率	300 K to 10 K @ 30 K/min 10 K to 2 K @ 10 K/min	300 K to 10 K @ 10 K/min 10 K to 2 K @ 2 K/min
M-H 曲线测量 500 个数据点	1.5 小时	24 小时
300K 稳定至 2K	少于 0.5 小时	2 小时
不带液氮自循环选件 时液氮消耗	少于 4 升 / 每天(静态)	7 升 / 每天(静态)
不带液氮自循环选件 时液氮杜瓦容量	65 升	56 升
液氮自循环选件	支持氦气启动系统 脉管制冷机 (维护周期更长) 更低振动 水冷, 较高能耗	首次必须输入液氮 后期自循环使用 GM 制冷机 有少许振动 气冷, 低能耗
高温炉	1000K	800K
超低场	有	有
交流磁测量	有	有
电测量	暂无, 但系统的开放性允许用户可自行拓展	有 (手动插入样品杆+外部装置控制软件实现)
样品旋转杆	暂无	有
光纤样品杆	暂无	有
He3 极低温磁测量	暂无	有
高压磁学测量	有	有



感谢 MPMS 在中国的众多用户，他们分别是（排名不分先后）

No	用户单位	型号
1	吉林大学化学学院无机化学与制备化学国家重点实验室	MPMS XL-5
2	南京大学物理系固体微结构国家重点实验室	MPMS XL-7
3	南京大学化学系配位化学国家重点实验室	MPMS XL-7
4	中国科技大学物理系	MPMS XL-7
5	北京大学介观物理国家重点实验室	MPMS XL-7
6	北京大学化学与分子工程学院稀土材料化学及应用国家重点实验室	MPMS XL-5
7	中国科学院金属研究所	MPMS XL-7
8	中国科学院固体物理研究所	MPMS XL-5
9	中国科学院物理研究所超导实验室	MPMS XL-1
10	中国科学院物理研究所超导实验室	MPMS -5
11	中国科学院物理研究所磁学实验室	MPMS -7
12	中国科学院物理研究所磁学实验室	MPMS XL-7
13	中国科学院物理研究所磁学实验室	MPMS (SQUID) VSM
14	中国科学院地球与地质物理研究所	MPMS XL-5
15	兰州大学物理系	MPMS XL-7
16	西南交通大学超导中心	MPMS XL-7
17	清华大学物理系	MPMS XL-7
18	东北师范大学化学系多酸化学研究所	MPMS XL-5
19	中山大学化学与化工学院无机化学与材料研究所	MPMS XL-7
20	山东大学物理与微电子学院	MPMS XL-7
21	厦门大学化学化工学院化学系固体表面物理化学实验室	MPMS XL-7
22	中国科学院化学研究所有机固体中科院重点实验室	MPMS XL-5
23	南开大学化学系实验室金属与分子基材料天津市重点实验室	MPMS XL-7
24	浙江大学物理系	MPMS XL-5
25	青岛科技大学化工学院	MPMS XL-5
26	广西师范大学化学化工学院	MPMS XL-5
27	中国科学院长春应用化学研究所	MPMS XL-7
28	天津师范大学化生学院	MPMS XL-7
29	中国科学院物理研究所极端条件实验室	MPMS (SQUID) VSM
30	中国科技大学微尺度国家实验室	MPMS (SQUID) VSM
31	中国科学院半导体研究所	MPMS XL-5
32	洛阳师范大学物理系	MPMS XL-7
33	山西师范大学化学学院	MPMS XL-5
34	中国科学院国家强磁场研究中心	MPMS XL-7
35	天津大学物理系	MPMS (SQUID) VSM
36	西北大学化学系	MPMS XL-7
37	复旦大学物理系	MPMS (SQUID) VSM
38	华中科技大学国家脉冲强磁场中心	MPMS (SQUID) VSM

Quantum Design



Quantum Design 中国子公司提醒您:

此简易中文资料仅供中国大陆用户参考，一切技术信息以 Quantum Design 公司 MPMS 系统的英文详细资料为准，如需获得更详细的产品资料以及最新推出的系统选件介绍，请登录 Quantum Design 中国子公司的网站直接查询 <http://www.qd-china.com> 或致电中国子公司北京及上海办公室，欢迎垂询！

Quantum Design 中国子公司

北京

北京市东城区建国门内大街 8 号
中粮广场 B 座 502-504 室
TEL: 86-10-85120277 78 79 80
FAX: 86-10-85120276
E-MAIL: info@qd-china.com
WEB: www.qd-china.com

Quantum Design 中国子公司

上海

上海市静安区成都北路 333 号
招商局广场东楼 701 室
TEL: 86-21- 61524158
FAX: 86-21- 52282156
E-MAIL: info@qd-china.com
WEB: www.qd-china.com