



Quantum Design

Partners in Your Lab

美国 Quantum Design 公司

磁学测量系统 MPMS (SQUID)

产品说明手册



Quantum Design 中国子公司

2010 年 12 月



图1 Quantum Design 全球总部

美国 Quantum Design 公司于 1982 年由世界上第一台 SQUID 的设计者创立，总部位于美国加州圣迭戈市。在公司成立的近三十年里，Quantum Design 公司专注于打造两条主产品线——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，几乎遍布所有世界一流相关实验室。在中国超过 80 台 PPMS 和 MPMS 正服务于全国各大重点实验室和顶尖的科学研究小组。

MPMS 系统总述

SQUID（**S**uperconducting **Q**uantum **I**nterference **D**evice）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可达 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），同时设备由超导磁体提供最高到 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测量及拓展选件组成。用户首先选择一个基系统，在功能上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以及基本的 SQUID 直流磁学测量功能。其中主要包含内置超导磁体、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 公司目前提供两个系列的 MPMS 磁学测量系统供用户选择，分别为：MPMS (SQUID) XL 系列和 MPMS (SQUID) VSM，前者简称为 MPMS XL 系列，后者简称为 SQUID-VSM。

第一部分 MPMS XL 系列



图2 MPMS 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 XL 5 和 XL 7 两种型号，区别在于可分别提供最高 5 T 和 7 T 的高均匀度的背景测量磁场。

MPMS XL 系列产品功能强大，可以进行直流磁学、交流磁学、横向磁矩、巨磁矩、高温磁测量、高压磁测量、磁各向异性、光诱导磁测量、超低磁场测量（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。

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、SQUID 探测单元、直流磁学测量和 MPMS 软件控制系统。基本系统的硬件包括测量样品室、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 器件是测量磁信号最灵敏的装置，但是 SQUID 器件并不直接测量样品的磁矩。基本工作原理是：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。SQUID 电子探测系统可以保证输出电压正比于输入电流，因此可以把 SQUID 看作极高精度的电流-电压转换器。从而 SQUID 的输出电压正比与样品的磁矩。(见图 3)

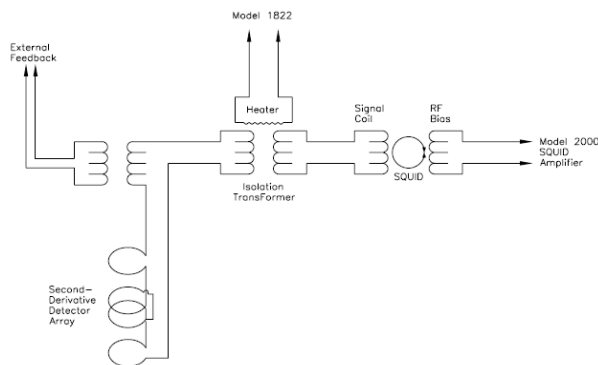


图 3 SQUID 探测单元基本工作原理图

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。(见图 4)

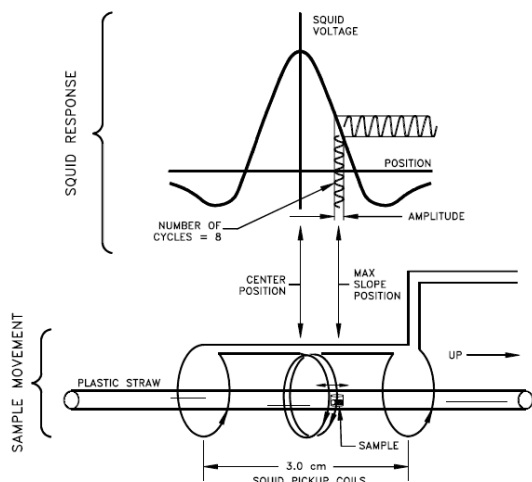


图 4 SQUID 探测线圈和完整的 SQUID 电压响应曲线

MPMS XL 样品室

样品室的内径是 9 mm。测量时样品室处于密闭的粗真空状态，样品变温是通过液氮冷却样品室的室壁、进而冷却室内的传导氦气来降温。

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

精确连续控制液氮流量的专利技术，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，并且可平滑通过 4.2K 液氮相变点。

2、带有两个夹层的样品室

配合液氮通道双流阻可以精确地控制样品室内的温度，而样品室底部约 20 cm 的部分用高导热性的无氧铜制造，保证样品处于一个温度稳定的大环境之中。

3、高级温度控制算法

与传统的温控仪 PID 算法不同，MPMS 系统采用了复杂而精准的温度控制算法。系统同时测量样品室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）用于监视样品室内的温度梯度分布，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

温度拓展选件：0.48K He3 制冷机

800K 高温炉

温度扫描速率：0.01 - 10 K/min

温度稳定性： $\pm 0.5\%$

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 系统的磁场是通过对浸泡在液氮里的超导磁体励磁获得的，励磁电源为先进的卡皮察双极性电源。由它们构成的磁场控制系统有以下特点：

◆ 磁场具有很高的均匀度

在 4cm（长）× 1cm（直径）的圆柱空间内，均匀度达到 0.01%。

◆ 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氦损耗。

- 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）
 $\pm 5\text{T}$ 或 $\pm 7\text{T}$

剩磁（振荡模式）： $< 5\text{ Oe}$ （ 5T 或 7T ）

励磁速率： $1 - 200\text{ Oe/s}$

磁体操作模式： 闭环模式 驱动模式

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	$1.0\text{ Oe @}5\text{T}$	$0.10\text{ Oe @}5000\text{Oe}$
MPMS XL-7	$2.0\text{ Oe @}7\text{T}$	$0.20\text{ Oe @}6000\text{Oe}$

MPMS XL 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。

主要特点：

- ◆ 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和环境数据。
- ◆ 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。
- ◆ 可以同时打开多个数据图形文件，用户可以把正获得的数据图形与其他数据进行比较。
- ◆ 后升级的选项所对应的软件模块可以很容易地集成到整个控制软件中来。
- ◆ 当 MPMS 连接到互联网上，可以实现仪器的远程控制和维修服务。
- ◆ 提供软硬件接口，使得 MultiVu 可以轻松控制所有基于 IEEE488 总线的设备。

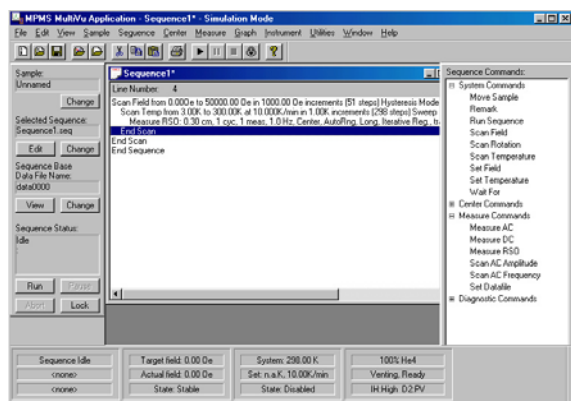


图 5 MultiVu 控制软件的测量程序界面

MPMS XL 上的 RSO 专利测量模式

MPMS XL 基系统自带的磁学测量包含 DC 和 RSO 两种模式，DC 模式使用的是提拉法，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，可进行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，样品温度和磁场均匀梯度变化小。

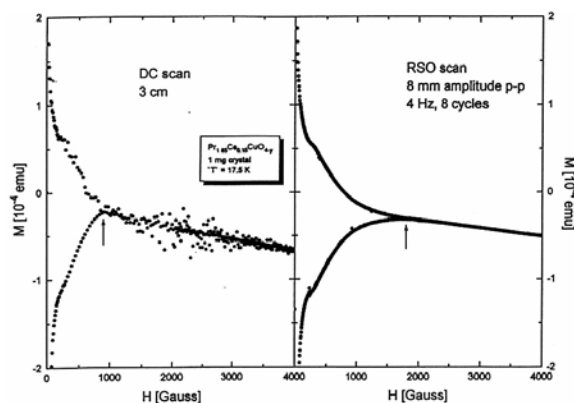


图 6 RSO 和 DC 测量数据对比

- RSO 测量模式技术参数：

频率范围： $0.5 - 4\text{ Hz}$

振动幅度： $0.5 - 50\text{ mm}$

灵敏度（ 7T 磁体， $T=100\text{K}$ ）：

$< 1 \times 10^{-8}\text{ emu @} H \leq 2500\text{Oe}$

$\leq 6 \times 10^{-7}\text{ emu @} H = 7\text{ T}$

磁矩测量范围：

DC 模式： $10^{-8} - 5\text{ emu}$ （可至 300 emu ）

RSO 模式： $10^{-8} - 0.4\text{ emu}$ （可至 300 emu ）

MPMS XL 快速磁滞回线测量模式

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 系统专门设立了快速扫描模式，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，因此会有一定磁噪声。测量精度一般在 10^{-5} emu 级别。

**MPMS XL 上各种测量和拓展功能选件**

MPMS 系统的测量和拓展功能选件非常丰富，方便不同研究需求的用户进行选择。共有以下选件可供用户选择：

- ◆ 横向磁矩测量选件
- ◆ SQUID 交流磁化率选件
- ◆ 巨磁矩测量选件
- ◆ 环境磁场屏蔽选件
- ◆ 磁场重置选件
- ◆ 超低磁场选件
- ◆ 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 液氮自循环系统选件

全自动和高精度兼顾是它们的共同特点，下面分别是这些选件的详细介绍。

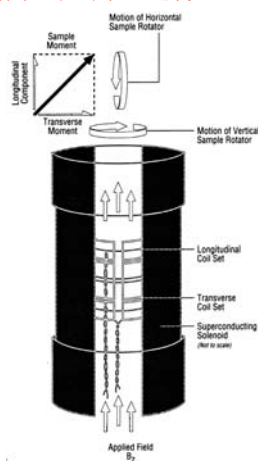
MPMS XL 横向磁矩测量选件

图7 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）等。

MPMS XL 的交流磁化率选件不但可以获得 $M/\chi - T$ 数据，而且可以直接测得 $M/\chi - f$ (f 为频率) 结果，所以可以观察超顺磁化合物（单分子磁体 SMMs 和单链磁体 SCMs）和自旋玻璃态化合物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样品磁通成比例。

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。

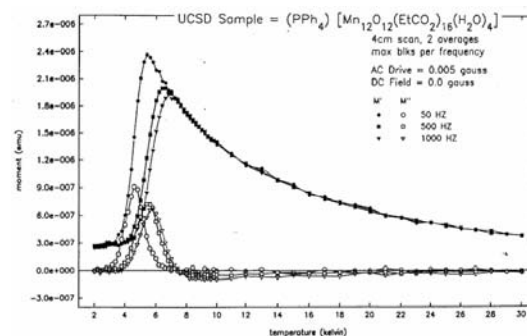


图8 分子磁体样品的交流磁化率测量数据

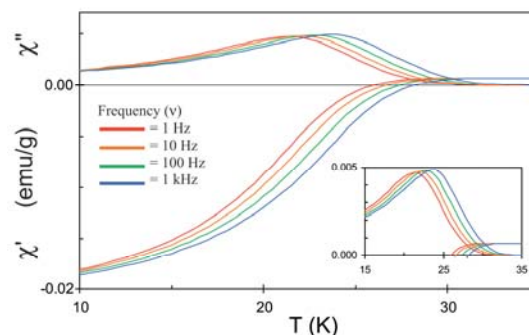


图9 不同频率下交流磁化率实部和虚部测量数据

● 技术参数

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

**MPMS XL 巨磁矩测量选件**

用于扩展磁矩测量范围。一般情况下，DC 测量最大磁矩约为 5 emu；RSO 测量最大磁矩约为 0.4 emu。该选件可在测量过程中将最大测量磁矩自动扩展到 300 emu，可以适用于纵向或横向探测系统。

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，不能进行高精度的小场测量，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。在进行高精度磁测量时，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。

该选件主要包含磁通门高斯计（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，所以超低场选件包含磁重置选件。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，所以选配超低场选件之前，必须先选配环境磁场屏蔽选件。

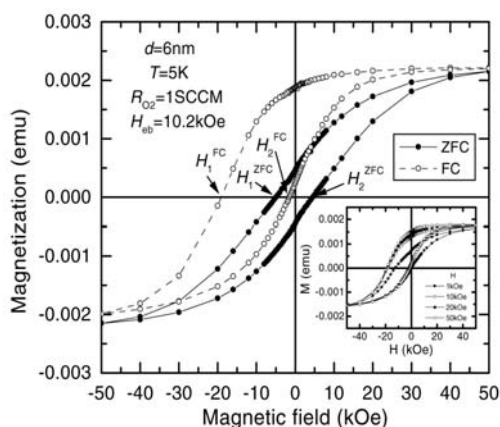


图 10 应用和不应用超低场选件下的 ZFC 和 FC 测量曲线对比

- 技术参数

剩场大小： 磁场中心 4cm 范围内 < 0.05G
剩场均匀度： 磁场中心 4cm 范围内 < 0.01G

MPMS XL 环境磁场屏蔽选件

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硬件。

MPMS XL 高温炉选件

MPMS XL 上的高温炉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 3.5 mm，温度范围 300K - 800K。



图 11 MPMS XL 高温炉插件

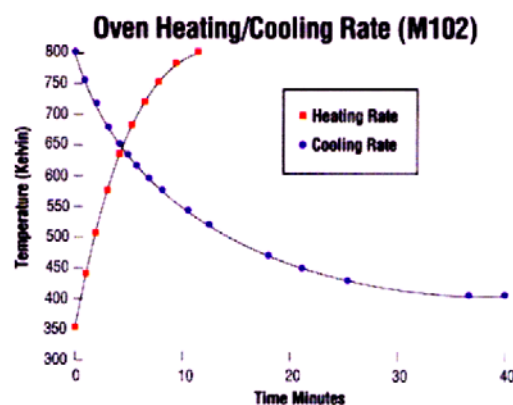


图 12 MPMS XL 高温炉测量曲线

MPMS XL 样品旋转杆选件

旋转杆同时具有水平和竖直旋转功能。安装于标准传输台（或称 DC 传输台）顶部的旋转装置上，就可绕竖直轴进行旋转。通过传动装置可把绕竖直轴的旋转转化为样品绕水平轴的旋转，这样就可实现样品的水平或竖直旋转。

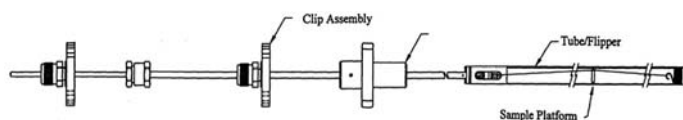


图 13 样品旋转杆示意图

- 技术参数

旋转角度： 0° - 360°
旋转步长： 0.1°
最大样品尺寸： 4mm×4mm×1mm
背景信号： 抗磁性，<1×10⁻³ emu @5T
(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 手动插入样品杆选件**

该选件可将各种电测量仪表引线引入 MPMS 系统的样品室中进行各种电测量，内置 10 根电测量引线，可将样品与外部设备连接。外部设备由用户根据测量需求进行选择，如电压表或电流源等，常用为 Keithley 表，支持 GPIB 命令。该选件结合 MPMS XL 外部装置控制软件包选件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、磁电耦合等测量。



图 14 手动插入样品杆底部和顶部示意图

MPMS XL 外部装置控制软件包选件 (EDC)

使用 Borland 公司的 Delphi(Visual Pascal) 作为编程语言，提供程序和例程模板。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测量。所有的参数控制、数据采集以及处理仍然可直接通过 MPMS XL 的 MultiVu 软件实现，非常方便。

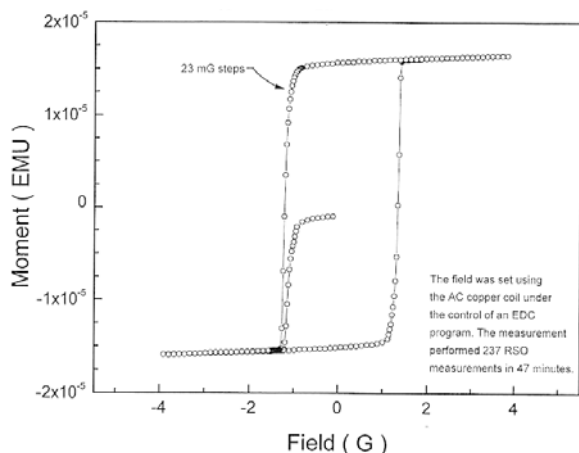


图 15 利用外部装置控制软件包实现超精细磁场控制

MPMS XL 光纤样品把持杆选件 (FOSH)

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化合物的磁性测定，是目前磁学领域研究的热门课题之一。该选件包括两米长的光纤，分为紫外到可见波段和可见到红外波段两种，专用样品盒尺寸为直径 1.6mm，深度 1.6mm。

● 技术参数：

光纤长度： 2m

样品盒尺寸：直径 1.6mm，深度 1.6mm

可选波段： 紫外-可见波段

可见-红外波段



图 16 光纤样品把持杆实物图

MPMS XL 高压腔选件 (Mcell)

磁测量高压腔选件是由日本 ElectroLab 和 HMD 公司专门为 MPMS 系统设计和制造的。灵巧的硬件设计结合 MPMS 全自动测量程度把传统复杂的高压实验变得简单易行，从而用户就可以在 MPMS 上实现变温、变场、变压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，采用了全 BeCu 材料设计，磁背景更均匀。该选件也可配合 PPMS-VSM 选件，在 PPMS 上进行高压磁测量(需选用大尺寸线圈)。

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 17 高压腔选件全套工具箱

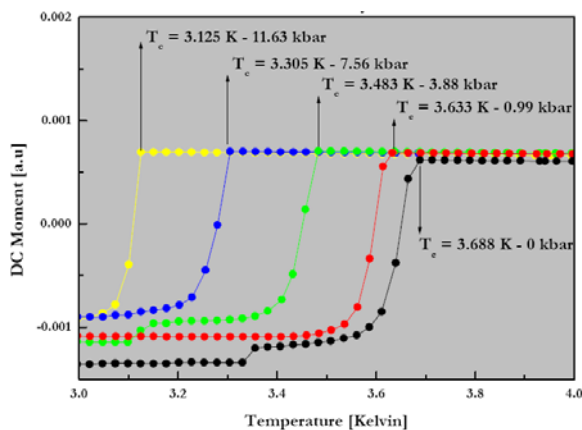


图 18 不同压力下超导样品的超导转变曲线

● 技术参数

最大压强: 1.3GPa 或更高
 样品空间尺寸: $\Phi 2.1\text{mm}$ 或 2.6 mm
 样品空间长度: 7mm
 腔体直径: 8.5mm

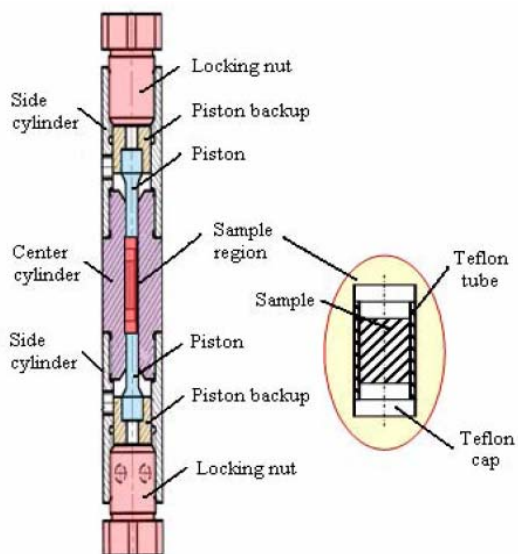


图 19 高压腔结构详细示意图

MPMS XL He3 极低温系统选件

He3 极低温系统选件是由日本 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从原来的 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。该选件可兼容 EverCool 液氮自循环系统，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。

● 技术参数

温度范围: 0.48K - 1.9K
 (兼容 EverCool 循环系统时, 最低 0.5K)
 温度稳定性: 0.5%
 冷却时间: < 6 小时
 He3 稳定运行时间: > 5 小时
 He3 插杆背景信号: $2 \times 10^{-4} \text{ emu @ 5T}$
 (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)。

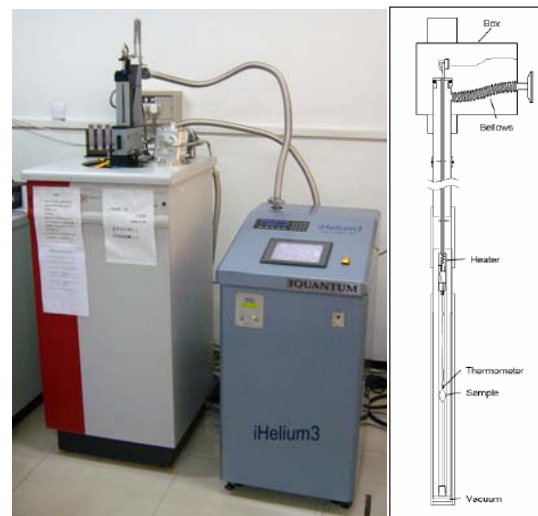


图 20 He3 选件的实物照片和设计示意图

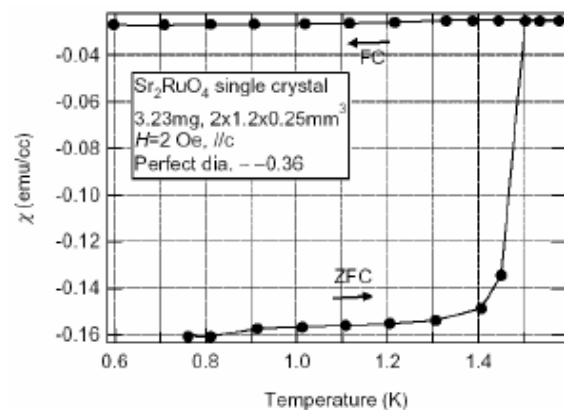


图 21 He3 选件的实际测量数据



MPMS XL EverCool™液氮自循环系统选件

第二部分 SQUID-VSM 系列

MPMS XL EverCool™液氮自循环系统选件通过集成氮气回收、液化、减震等装置，实现在 MPMS XL 系统上液氮的循环利用，从而消除了用户对液氮的长期依赖，免去了日常传输液氮的麻烦，有效降低系统的运行费用，非常适合使用液氮不方便的用户，其外形如图 22 所示。

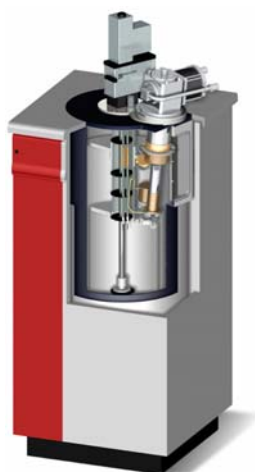


图 22 EverCool 液氮自循环杜瓦

主要特点：

- ◆ 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。
- ◆ 通过外挂氮气补充瓶，系统可根据需要自动补充因为清洗样品室而损失的微量氮气。
- ◆ 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 MultiVu 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 1×10^{-7} 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： 最大 9kW，一般情况 7.5kW

压缩机冷却方式：风冷

补充因清洗样品室放空的氮气：1-2 瓶/季度

冷头维护周期：20,000工作小时



图 23 SQUID-VSM 系列

SQUID-VSM 是 2006 年 Quantum Design 公司在美国物理协会 APS 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 探测技术，但不是 MPMS XL 系列的简单升级。SQUID-VSM 系统 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全新专利技术。

较 MPMS XL 磁学测量系统，SQUID-VSM 最大的特点是在具有超高灵敏度的同时又有惊人的测量速度。这主要得益于该系统采用了 Quantum Design 公司的 FastLab™快速数据采集技术、RapidTemp™快速控温技术以及 QuickSwitch™超导开关技术等一系列专利技术。上述这些新技术的采用使得在同样条件下，SQUID-VSM 系统的测量时间要大大地少于 MPMS XL 系统。

正是因为它将精细测量精度的 SQUID 技术和迅捷测量速度的 VSM 技术完美地结合在一起，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™** 快速温控技术
系统从 300K 匀速降至 10K 仅需 15 分钟，从 10 K 稳定到 1.8 K 也仅需 5 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-VSM 系统的超导磁体允许最大 700Oe/s 的励磁速度,在零场下仅需 4 秒数据平均时间 (data average time), 系统便能够达到 1×10^{-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。

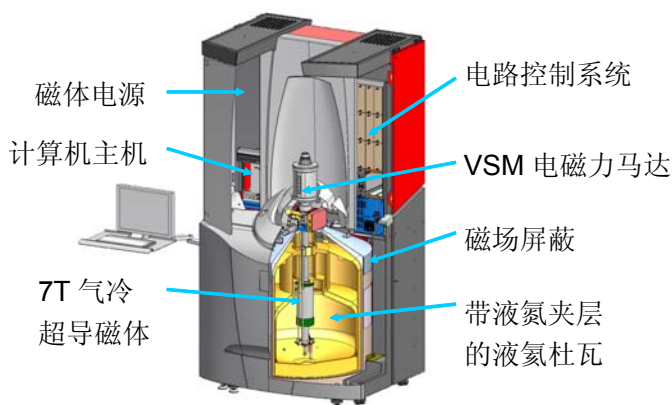


图 24 SQUID-VSM 系统的一体化设计

如果用户需要, SQUID-VSM 系统上还可以配置带脉冲管制冷机的液氮自循环系统, 能够实现整个 SQUID-VSM 系统从安装到运行, 完全无须灌装液氮, 而只需要用氦气就可以启动并运行。这样完全消除了用户对液氮的依赖, 不但免去了日常传输液氮的麻烦, 也大大降低了设备的运行成本。而且脉冲管制冷机的超低振动以及其它减振技术对整个 SQUID-VSM 系统的测量精度不会产生任何影响。

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。并且 Quantum Design 公司还正在开发在 SQUID-VSM 系统上应用的如转杆、光纤样品杆、电测量等拓展功能选件。

● 技术参数

温度区间: 1.8 - 400 K 连续控制
 降温速度: 30 K/min ($10\text{K} < T < 300\text{K}$)
 10 K/min ($1.8\text{K} < T < 10\text{K}$)
 样品室内径: 9 mm
 磁场强度: $\pm 7\text{ T}$
 磁场均匀度: 4 cm 长度范围内达到 0.01%
 励磁速率: 4 - 700 Oe/s
 励磁分辨率: 0.33 Oe
 样品振动范围: 0.1 - 8 mm (峰值)
 最大测量磁矩: 10 emu
 测量精度: $< 1 \times 10^{-8}$ emu @ $H=0\text{T}$
 $< 5 \times 10^{-8}$ emu @ $H=7\text{T}$

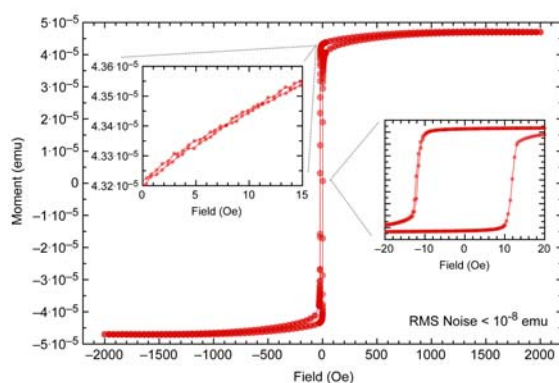


图 25 世界上最高的磁学测量精度

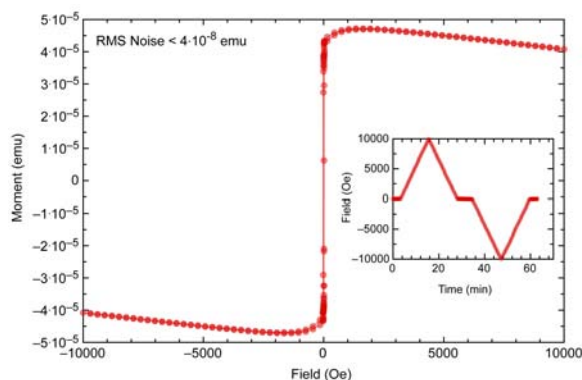


图 26 测量精度与速度的完美结合

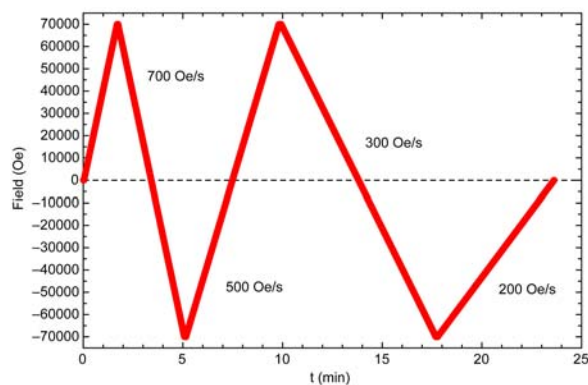


图 27 升降场速率和精度超乎想象

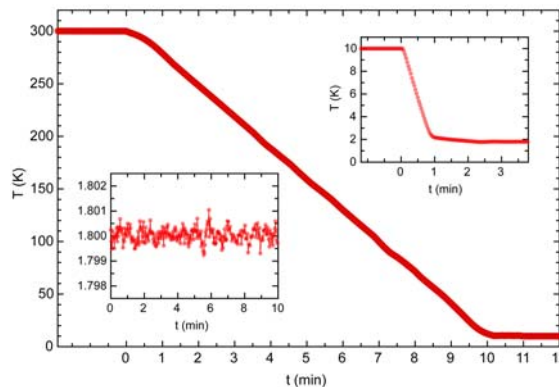


图 28 升降温速率和精度无与伦比

**SQUID-VSM 基本系统自带的磁学测量**

和 MPMS XL 系列产品一样，SQUID-VSM 系列的磁信号检测核心仍然是 SQUID 传感器。但在样品传动、信号处理、磁场控制、温度控制等方面新专利技术的运用，使得 SQUID-VSM 的测量速度和精度与 MPMS XL 系列相比有了飞跃性地提高。

SQUID-VSM 上的样品传动使用了超低噪声的电磁力驱动长程线性马达专利技术。具体而言，SQUID-VSM 的样品振动马达采用了电磁力驱动的振动杆，没有任何机械传动，从而避免了机械磨损和振动噪声，从而大大提高了测量精度，并且终身无需维护。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 29 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 30 所示。

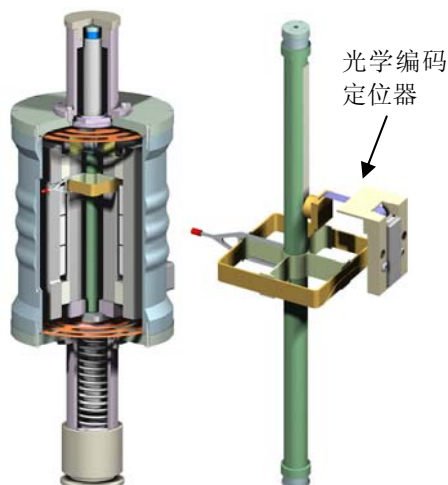


图 29 长程线型驱动马达和电磁场驱动振动杆



图 30 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 31 高温炉样品安装组件



图 32 高温炉样品杆

主要特点

- ◆ 采用碳纤维样品杆，用绝热良好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
- ◆ 加热丝和热电偶直接集成在加热杆上
- 技术参数

温度范围：300K – 1000K

变温时间：400K-1000K 升温需 15 分钟

1000K-400K 降温需 30 分钟



噪声基: ($T=300\text{K}$, 10 秒平均时间条件下):

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

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

样品测量温度精度: 温度稳定后高于 2%

温度稳定度: $\pm 0.5\text{K}$

可测量样品最大尺寸: $10\text{mm} \times 5\text{mm} \times 2\text{mm}$

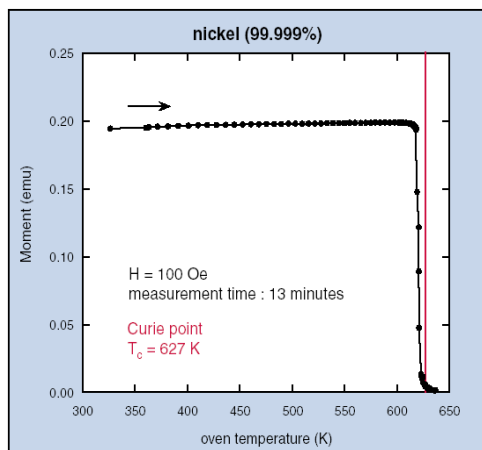


图 33 用标样 Ni 验证高温炉高温区控温精度

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) 等。

SQUID-VSM 的交流磁学测量选件不但可以获得 $M/\chi - T$ 数据, 而且可以直接测得 $M/\chi - f$ (f 为频率) 结果, 所以可以观察超顺磁化合物 (单分子磁体 SMMs 和单链磁体 SCMs) 和自旋玻璃态化合物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样品磁通成比例。

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。

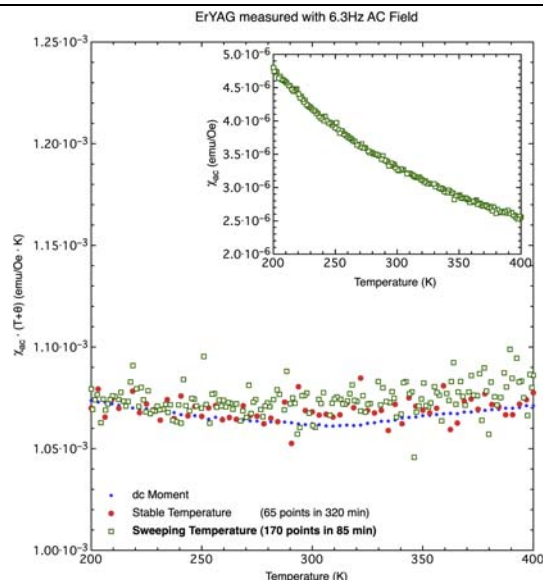


图 34 ErYAG 样品进行交流磁化率测量的数据

● 技术参数

AC 频率范围: $0.1\text{Hz} - 1\text{kHz}$

AC 磁场振幅: $0.1 - 10\text{ Oe}$

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)

SQUID-VSM 超低场选件 (Ultra Low Field, ULF)

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。这对测量高温超导样品以及自旋玻璃态材料非常有用。

该选件主要包含高斯计 (fluxgate) 和超低场线圈。系统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。

● 技术参数

清零空间: 最长度 10mm

清零磁场均匀性: $\pm 0.05\text{Gs}$

可用清零磁场范围: $\pm 5\text{Gs}$

磁场稳定性: 24 hours

磁通门探测范围: $\pm 10\text{Gs}$

磁通门灵敏度: $\pm 0.002\text{Gs}$

磁通门精度: $\pm (0.02\text{Gs} + 0.5\% \times \text{测量磁场})$

磁体剖面长度: 最大 50 mm

磁场分辨率: $< 0.002\text{Gs}$

磁场精度: $\pm (0.002\text{Gs} + 0.5\% \times \text{设定磁场})$



SQUID-VSM 最新完全无液氮杜瓦系统

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

与 MPMS XL 上的液氮自循环系统不同，SQUID-VSM 上的 EverCool 系统初次安装使用时可以直接用氦气而不是液氮来冷却系统，这样在系统的启动和运行过程中都不需要传输液氮，完全消除了对液氮的依赖。初次启动时只需 2 瓶高纯氦气，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 由于采用了无机械磨损的脉冲管式制冷机，大大降低了运行成本。

SQUID-VSM 集成的脉管致冷液氮自循环杜瓦系统，在使用过程中可将氦气在杜瓦内冷凝成液氮循环使用，用户在实际使用过程中只需外挂氦气瓶补充因清洗样品室而损耗的微量氦气。



图 35 完全无液氮杜瓦

● 技术参数

功率：	3 相 15A 最大 9KW
系统启动耗材：	2 瓶高纯氦气
启动时间：	30 小时
压缩机冷却方式：	水冷
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
灵敏度	$<1 \times 10^{-8}$ emu @H=0T $<5 \times 10^{-8}$ emu @H=7T	$<1 \times 10^{-8}$ emu @H=0T (RSO模式) $<6 \times 10^{-7}$ emu @H=7 T (RSO模式)
最大测量磁矩	± 10 emu	± 5 emu (DC 模式) (巨磁矩选件可扩展至 ± 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 Oe @70,000Oe 0.2 Oe @6,000Oe
励磁速率	4 - 700 Oe/s 可扫场下同时进行高精度测量	1 - 200 Oe/s 只能在快速磁滞回线测量模式下扫场测量
磁体设计	气冷磁体, 杜瓦内仅需少量液氮	液氮浸泡式磁体, 液面 50%以上能扫满场
M-H 测量 (500 个数据点, $\pm 1T$, 10^{-8} emu 精度)	1.5 小时	24 小时
温度范围	1.8 - 400 K	1.9 - 400 K
温度拓展	高温炉可拓展高温至 1000K	He3 制冷机可拓展低温至 0.48K 高温炉可拓展高温至 800K
降温速率	30 K/min (300K to 10K) 10 K/min (10K to 2K)	10 K/min (300K to 10K) 2 K/min (10K to 2K)
300K 至 2K 稳定	< 30 分钟	约 2 小时
不带液氮自循环系统时启动所需耗材	两瓶液氮	100 升液氮
不带液氮自循环系统时液氮消耗	< 4 升/每天 (静态)	5 升/每天 (静态)
不带液氮自循环系统时液氮杜瓦容量	带液氮夹层的液氮杜瓦 液氮 65 升	带液氮夹层的液氮杜瓦 液氮 56 升
液氮自循环选件	系统启动仅需液氮 脉管制冷机 (超长维护周期) 超低振动 水冷, 较高能耗	系统启动需输入液氮 后期自循环使用 GM 制冷机 低振动 (高精度测量时关闭冷头) 气冷, 低能耗
高温炉	1000K	800K
超低场	有	有
AC 磁测量	有	有
高压磁学测量	暂无	有
电测量	暂无 但系统的开放性允许用户自行拓展	有 可通过手动插入样品杆+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



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	复旦大学先进材料实验室	MPMS (SQUID) VSM
38	华中科技大学国家脉冲强磁场中心	MPMS (SQUID) VSM
39	大连理工大学精细化工国家重点实验室	MPMS XL-7

统计截止 2010 年 12 月

Quantum Design



By Scientist For Scientist

Quantum Design 中国子公司提醒您:

此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 **北京办公室**

北京市东城区建国门内大街 8 号
中粮广场 B 座 502-504 室
电话: 86-10-85120278
传真: 86-10-85120276
邮箱: info@qd-china.com
网站: www.qd-china.com

Quantum Design 中国子公司 **上海办公室**

上海市静安区成都北路 333 号
招商局广场东楼 701 室
电话: 86-21-61524155
传真: 86-21-52282156
邮箱: info@qd-china.com
网站: www.qd-china.com