



Quantum Design

Partners in Your Lab

美国 Quantum Design 公司

# 最新一代磁学测量系统 MPMS3

简易产品说明手册



Quantum Design 中国子公司

2013 年 05 月



World Headquarters  
6325 Lusk Boulevard, San Diego, CA 92121  
Tel: 858-481-4400 www.qdusa.com

图1 Quantum Design 全球总部

美国 Quantum Design 公司于 1982 年由世界上第一台商业化 SQUID 测量系统的设计者创立，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。在中国已有将近 200 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 系统磁学灵敏度可高达  $10^{-9}$ emu，基系统的测量温度范围为 1.9K - 400K，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 系统由基系统和各种测量及拓展选件组成。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。其中主要包含一体化设计的超导磁体、低温杜瓦、温控系统、磁场控制系统和 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。

### 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 2)

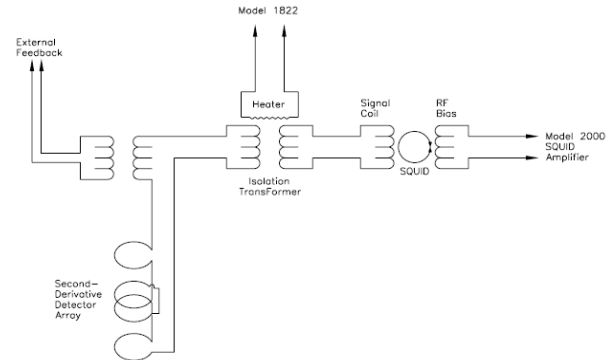


图2 SQUID 探测单元基本工作原理图

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 3)

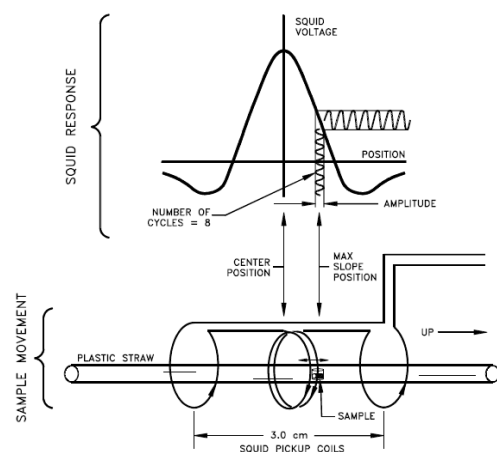


图3 SQUID 探测线圈和完整的 SQUID 电压响应曲线



MPMS3—最新一代磁学测量系统

MPMS3 是 2013 年 Quantum Design 公司在美国物理协会 APS 年会上发布的最新的 MPMS 磁学测量系统,同时 MPMS XL 系统宣布停产: MPMS 虽然仍旧基于 SQUID 探测技术,但不是 MPMS XL 系列的简单升级,该产品基于 SQUID-VSM 系统, Quantum Design 在该产品上集成了大量的全新专利技术,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。

较 MPMS XL 磁学测量系统, MPMS3 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、RapidTemp™ 快速控温以及 QuickSwitch™ 超导开关等一系列专利技术。上述这些新技术的采用使得在同样条件下, MPMS3 系统的测量时间要大大地少于 MPMS XL 系统。系统带有 3 种 SQUID 测量模式: 全新的 DC Scan 测量模式, VSM 测量模式以及可选的交流测量模式。

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

MPMS3 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,系统便能够达到  $1 \times 10^{-8}$  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。

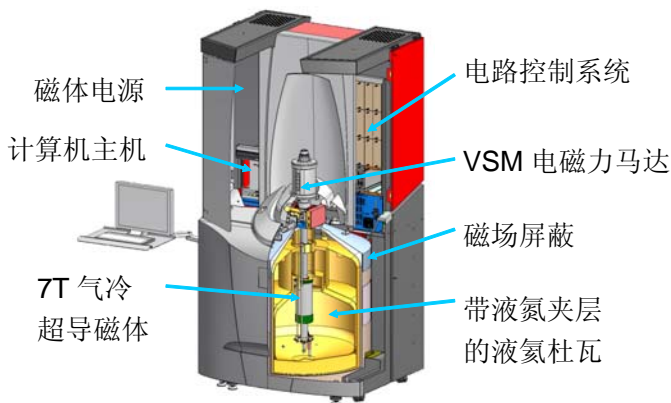


图 4 MPMS3 系统的一体化设计

如果用户需要, MPMS3 系统上还可以配置带脉冲管制冷机的液氦自循环系统,能够实现整个 MPMS3 系统从安装到运行,完全无须灌装液氦,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氦的依赖,不但免去了日常传输液氦的麻烦,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使用的减振技术对整个 MPMS3 系统的测量精度不会产生任何影响。

系统目前有交流磁学测量、1000K 高温炉和超低场等拓展功能选件可供用户选择。由于 MPMS XL 系列的停产, MPMS3 作为公司现在唯一的 SQUID 磁强计产品,测量模式和测量选件会不断更新,即将推出水平旋转杆、磁光测量以及电学测量等选件,公司会将 XL 系列上的所有功能逐步移植到 MPMS3 系统上,并全力推出新的选件。

技术参数

- 温度区间: 1.8 - 400 K 连续控制
- 降温速度: 20 K/min (10K < T < 300K)  
5 K/min (1.8K < T < 10K)
- 样品室内径: 9 mm
- 磁场强度: ±7 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
- 剩磁: ~5 Oe (从 7T 振动模式降场)
- 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=0T  
 $< 8 \times 10^{-8}$  emu @H=7T

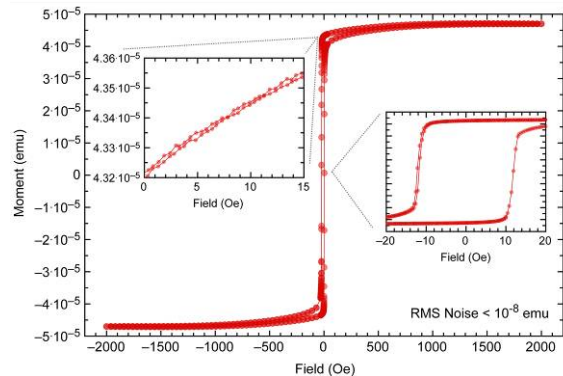


图 5 世界上最高的磁学测量精度

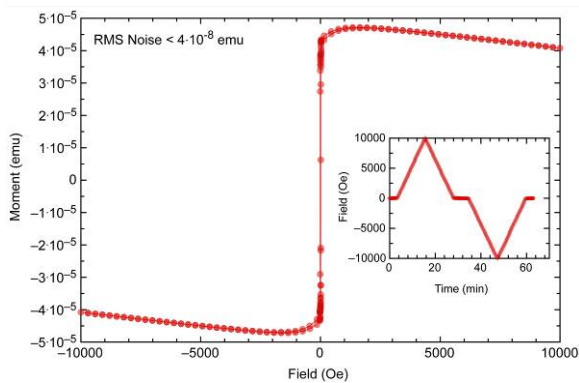


图 6 测量精度与速度的完美结合

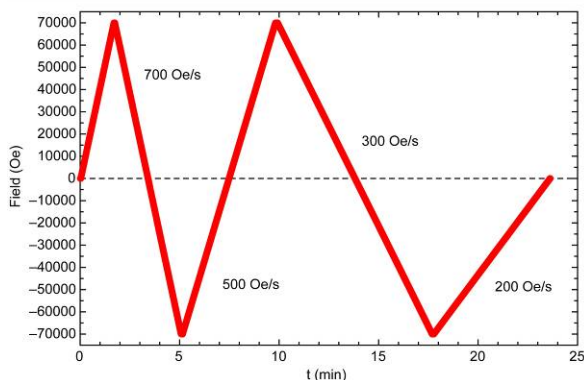


图 7 升降场速率和精度超乎想象

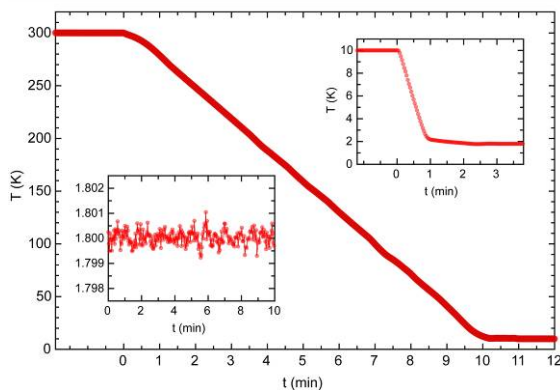


图 8 升降温速率和精度无与伦比

### MPMS3 基本系统自带的磁学测量

和 MPMS XL 系列产品一样，MPMS3 系列的磁信号检测核心仍然是 SQUID 传感器。但在样品转动、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 MPMS3 的测量速度和精度与 MPMS XL 系列相比有了飞跃性地提高。

MPMS3 上的样品转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，MPMS3 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 9 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固定板。如图 10 所示。

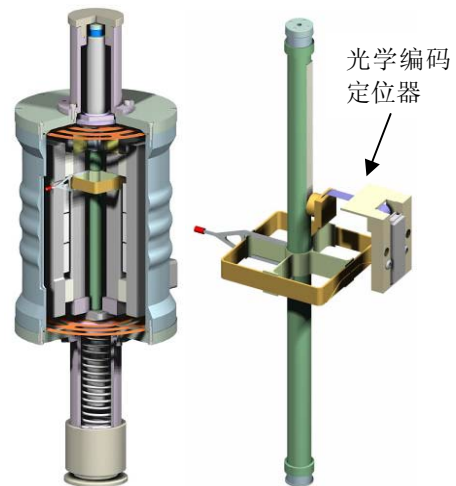


图 9 长程线型驱动马达和电磁场驱动振动杆



图 10 MPMS3 样品固定板（针对不同类型样品）

### MPMS3 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 11 高温炉样品安装组件



图 12 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=300K, 10 秒平均时间条件下)：
- 低场 (<2500 Oe)： $\leq 1.0 \times 10^{-6}$  emu
- 满场 (~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： $\pm 0.5$ K
- 可测量样品最大尺寸：10mm×5mm×2mm

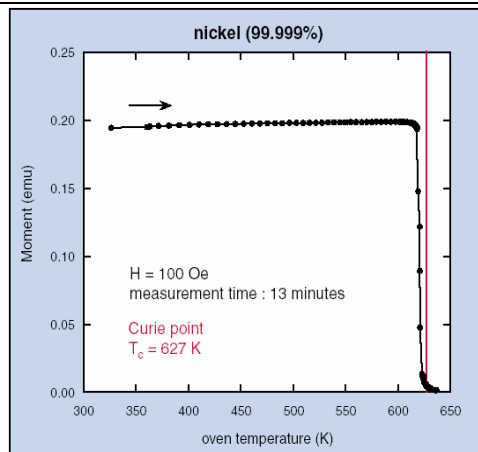


图 13 用标样 Ni 验证高温炉高温区控温精度

MPMS3 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。

MPMS3 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  $5 \times 10^{-8}$  emu 的磁矩测量灵敏度以及在整个交流测量频谱内优于  $0.5^\circ$  相位角灵敏度。

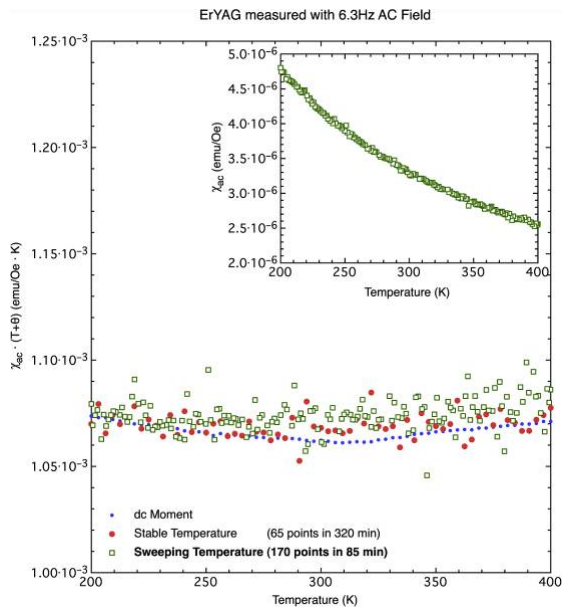


图 14 ErYAG 样品进行交流磁化率测量的数据

- 技术参数

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

### MPMS3 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: 最长长度 10mm
- 清零磁场均匀性:  $\pm 0.05$ Gs
- 可用清零磁场范围:  $\pm 5$ Gs
- 磁场稳定性: 24 hours
- 磁通门探测范围:  $\pm 10$ Gs
- 磁通门灵敏度:  $\pm 0.002$ 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:  $< 0.002$ Gs
- 磁场精度:  $\pm (0.002\text{Gs} + 0.5\% \times \text{设定磁场})$

### MPMS3 最新完全无液氦杜瓦系统

在液氦使用日趋紧张的今天，为了一劳永逸的消除 MPMS3 上的液氦传输和消耗的问题，Quantum Design 公司推出 MPMS3 上的完全无液氦杜瓦系统 (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，MPMS3 上的 EverCool 系统初次安装使用时可以直接用氦气而不是液氦来冷却系统，这样在系统的启动和运行过程中都不需要传输液氦，完全消除了对液氦的依赖。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：MPMS3 由于采用了无机械磨损的脉管管式制冷机，大大降低了运行成本。

MPMS3 集成的脉管致冷液氦自循环杜瓦系统，在使用过程中可将氦气在杜瓦内冷凝成液氦循环使用，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 15 完全无液氦杜瓦

- 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

包含水平旋转杆、磁光测量以及电学测量等选件的更多功能即将推出，敬请期待！



## 感谢 MPMS 在中国的众多用户 (排名不分先后)

1	MPMS XL-5 / (SQUID) VSM	吉林大学化学学院无机化学与制备化学国家重点实验室 (2 套)
2	MPMS XL-7 / (SQUID) VSM	南京大学物理学院和固体微结构国家重点实验室 (3 套)
3	MPMS XL-7 / (SQUID) VSM	南京大学化学系配位化学国家重点实验室 (2 套)
4	MPMS XL-7 / (SQUID) VSM	中国科技大学物理系和微尺度国家重点实验室 (3 套)
5	MPMS XL-7	北京大学介观物理国家重点实验室
6	MPMS XL-5	北京大学化学学院稀土材料化学及应用国家重点实验室
7	MPMS XL-7	中国科学院金属研究所
8	MPMS XL-5	中国科学院固体物理研究所
9	MPMS -5 / XL-1 / (SQUID) VSM	中国科学院物理研究所超导实验室 (3 套)
10	MPMS -7 / XL-7 / (SQUID) VSM	中国科学院物理研究所磁学实验室 (3 套)
11	MPMS (SQUID) VSM	中国科学院物理研究所极端条件实验室
12	MPMS XL-5	中国科学院地球与地质物理研究所
13	MPMS XL-7	兰州大学物理系
14	MPMS XL-7	西南交通大学超导中心
15	MPMS XL-7 / (SQUID) VSM	清华大学物理系和材料学院 (2 套)
16	MPMS XL-7	中山大学化学与化工学院无机化学与材料研究所
17	MPMS XL-7	山东大学物理与微电子学院
18	MPMS XL-7	厦门大学化学化工学院化学系固体表面物理化学实验室
19	MPMS XL-5	中国科学院化学研究所有机固体中科院重点实验室
20	MPMS XL-7 / (SQUID) VSM	南开大学化学系 (2 套)
21	MPMS XL-5	浙江大学物理系
22	MPMS XL-5	青岛科技大学化工学院
23	MPMS XL-5	广西师范大学化学化工学院
24	MPMS XL-7	中国科学院长春应用化学研究所
25	MPMS XL-7	天津师范大学化生学院
26	MPMS (SQUID) VSM	中国科学院物理研究所极端条件实验室
27	MPMS XL-7	洛阳师范大学物理系
28	MPMS XL-5	山西师范大学化学学院
29	MPMS XL-7	中国科学院国家强磁场研究中心
30	MPMS (SQUID) VSM	天津大学物理系
31	MPMS XL-7	西北大学化学系
32	MPMS (SQUID) VSM	复旦大学先进材料实验室
33	MPMS (SQUID) VSM	华中科技大学国家脉冲强磁场中心
34	MPMS XL-7	大连理工大学精细化工国家重点实验室
35	MPMS XL-7	北京理工大学化学学院
36	MPMS (SQUID) VSM	中国科学院宁波材料技术与工程研究所
37	MPMS XL-5	东北师范大学化学系多酸化学研究所
38	MPMS (SQUID) VSM	聊城大学化学学院
39	MPMS (SQUID) VSM	吉林师范大学物理学院
40	MPMS (SQUID) VSM	南阳师范学院化学系
41	MPMS (SQUID) VSM	黑龙江大学化学学院

统计截止 2013 年 4 月 (未包含所有用户)

# 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、上海和广州办公室,欢迎垂询!

### Quantum Design 中国子公司 北京办公室

北京市朝阳区霄云路 26 号  
鹏润大厦 B 座 2503-2505 室  
电话: 86-10-85120277/78/79/80  
传真: 86-10-85120276  
邮箱: [info@qd-china.com](mailto:info@qd-china.com)  
网站: [www.qd-china.com](http://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: 86-21-52280980  
传真: 86-21-52282156  
邮箱: [info@qd-china.com](mailto:info@qd-china.com)  
网站: [www.qd-china.com](http://www.qd-china.com)

### Quantum Design 中国子公司 广州办公室

广州市海珠区江南大道南 362 号  
达镖国际中心 1202 室  
电话: 86-20-8920 2739  
传真: 86-20-8920 2750  
邮箱: [info@qd-china.com](mailto:info@qd-china.com)  
网站: [www.qd-china.com](http://www.qd-china.com)