MICROTRAC
a VERDER company

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小

BELSORP MINI X

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

For simple, fast and highly accurate characterization of porous materials

Microtrac's BELSORP MINI X's outstanding features result in world class repeatability, with significantly reduced measurement time. The MINI X is equipped with up to 4 sample measurement ports and new high-throughput functions including multi-device control.

The BELSORP MINI X is meticulously designed to measure specific surface area, pore size distribution and pore volume with extreme accuracy. Equipped with dedicated pressure sensors on each sample measuring port and a dedicated port for saturated vapor pressure, it enables completely independent simultaneous measurements. The new measurement software improves user productivity by streamlining measurement procedures with in software step-by-step instructions, displaying the measurement progress and sending the measurement results via e-mail. Depending on your sample throughput, a 3-port and 4-port models are offered. Additionally, the new analysis software (BELMASTER™) enables structural evaluation of a wider range of materials than ever before.

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

WORLD CLASS LEVELS OF REPRODUCIBILITY

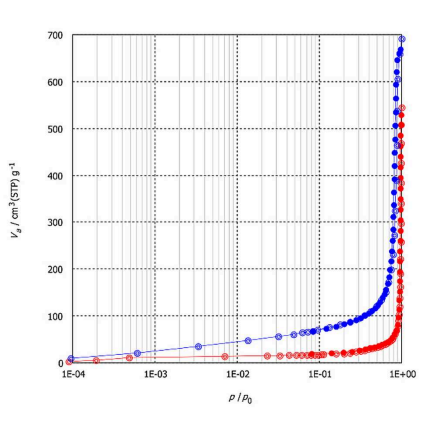
- 多达 4 个独立测量端口和 1 个用于饱和蒸汽压测量的专用端口
- 紧凑设计、轻量化结构
- 专利 AFSM™ 具有无与伦比的重现性
- Gas adsorption isotherm & NET adsorption measurement through AFSM™2 without the need of He-gas
- Multiple Measurement Methods: High-precision measurements, multi-sample measurement, and quick BET measurement modes to suit your purpose
- Dedicated pressure transducer for each port
- Simultaneous control of up to 20 measurement ports via multi-device control (5 units)
- Short measurement time with GDO
- IoT: Process monitoring via e-mail notification system
- 通过分子探针法进行可选的微孔分析
- 可选的 FDA 21 CFR Part 11 合规性

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

主要功能

BET specific surface areas from 0.01 m^2/g ~ (N_2) and pore size distribution from 0.7 ~ 500 nm (option: 0.35 ~ 500 nm by molecular probe method).



Simultaneous Measurement of Multiple Samples

Up to 4 specimens can be measured simultaneously, enabling the measurement times for multiple samples to be shortened significantly.

Multiple Measurement Options

This instrument brings together highly accurate measurements with several high throughput modes (e.g. Quick BET mode, Gas Dosing Optimization). It can be used flexibly depending on customer needs, while integrated step-by-step instructions make it easy to use even for inexperienced users.

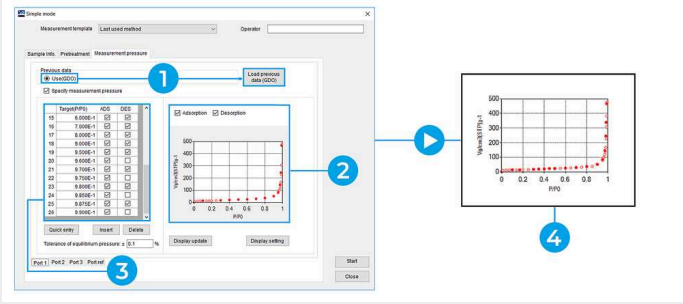
© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

Ease of Use: Simple Setting of Measurement Software

The BELSORP MINI X is a fully automatic measurement system that enables the user to easily set the measurement conditions using Simple Mode. This mode allows for accurate measurements with minimal sample information (e.g. pre-treatment conditions and measuring range). This is particularly useful for unknown materials. Detailed measurement configurations can be set by experienced users in Professional mode. This system allows anyone to easily obtain accurate measurement results.

Gas Dosing Optimization (GDO)

Simple Mode includes the Gas Dosing Optimization (GDO) option, which automatically calculates the optimal gas dosing amount from previous measurement results. With this function, the measurement set points can be reliably obtained and the measurement times can be reduced significantly.



1. 加载现有等温线 | 2. 显示预期等温线 | 3. 测量范围输入 | 4. 自动优化条件，例如气体引入量 |

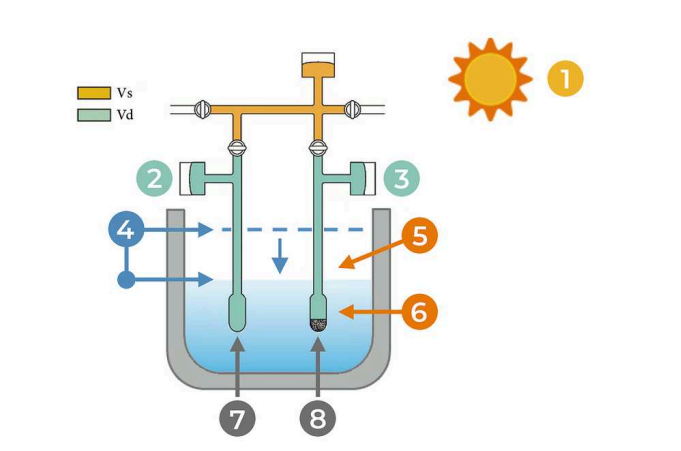
© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

Innovative Free Space Measurement for Highest Accuracy (AFSM^{TM})

With AFSM^{TM}, the level control of liquid coolant (e. g. liquid nitrogen or argon) is not necessary anymore. Instead, we have adopted our groundbreaking, continuous free space measurement method, the patented Advanced Free Space Measurement (AFSM^{TM}). This method has achieved highest reproducibility by using a reference cell (empty sample cell; same type of sample cell used for measurement) to follow the second-to-second changes of free space. Our instrument determines an initial free space of the sample cell and reference cell. Since the change of the free space is equal in both cells (same environmental conditions), the free space change can be continuously followed by the pressure change of reference cell. Free space fluctuations caused by environmental factors can be considered:

- LN_2 level changes
- Atmospheric temperature / pressure changes
- Temperature changes of coolant due to oxygen dissolution

With this superior technique, environmental factors can be taken into account that were not considered before.
For more information, please use our knowledge base.



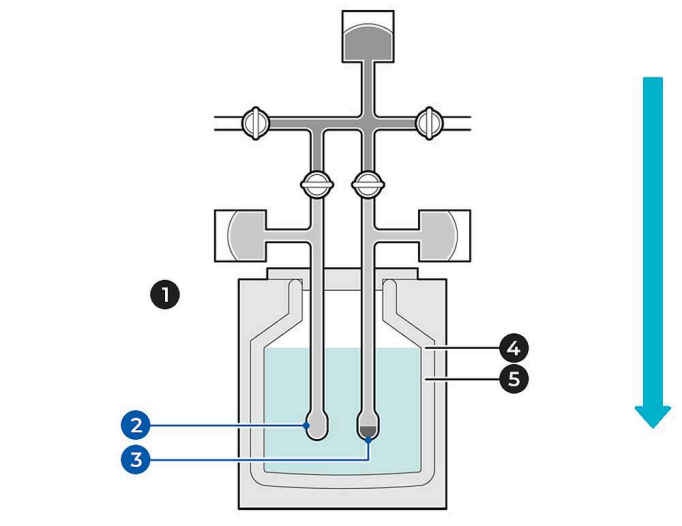
1. 房间温度变更 | 2. P_{ref} | 3. P_{smp} | 4. 初始压力 | 5. 样品管温度会随着 LN_2 水平的变化而变化 | 6. 液氮温度因氧溶解而发生变化 | 7. AFSM | 8. 样本

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

Adsorption Measurement Without Using Helium Gas (AFSM™2)

In a first step the free space measurement for a blank sample cell and a blank reference cell is performed with the adsorptive gas at the appropriate adsorption temperature. Then, the adsorption measurement can be achieved by utilizing both cells without using helium gas. In the same measurement condition, since the free space changes for both cells are same, the measurement results can be obtained in shorter measurement time. There is no need for time consuming operations such as keeping the liquid level of coolant constant between the blank measurement and adsorption measurement of the free space.

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利



1. 用于连续测量自由空间内波动的参考池 | 2. 参考单元格 | 3. 样品池 | 4. 液位 1 | 5. 液位 2

AFSM（基于 He 的方法）

1. **样品排气**
2. 样品自由空间（@room温度）测量
3. 样品排气
4. **参比管，p_0管气体引入**
5. 样品自由空间（@adsorption温度）测量
6. 样品排气
7. **吸附测量、自由空间变化采集**
8. **样品排气**
9. **清除**

AFSM2 （无 He 法）： 第 1 步 -->4 -->7 -->8 -->9

Compact & Lightweight

Through complete optimization and rationalization of the materials, we succeeded in reducing the device size and weight.

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

Optional Pretreatment of Samples at Measurement Port

For an accurate adsorption measurement, a pretreatment of the samples is required. The pretreatment process (often called an activation process) is usually performed by applying vacuum under heat to remove adsorbed gas and/or water molecules from the surface of the material without affecting the sample structure (avoid denaturation). Microtrac offers two options for sample pretreatment. Firstly, it can be performed externally using BELPREP VAC II or VAC III, which is usually preferred to increase sample throughput. Alternatively, the activation process can be performed directly at the measurement port of the BELSORP MINI X using a heater (see accessories list). Using the heater accessory, a transfer from the external pretreatment device to the measuring port can be avoided, which is an important option for sensitive (e.g. hydrophilic) samples.

Data Analysis

The analysis software BELMASTER allows users to obtain a wide variety of analysis results through operations, such as displaying adsorption / desorption isotherms, evaluating specific surface areas using BET method etc., evaluating pore volumes (from ultra-micro- to meso- and macropores) by applying the t-plot or αS method. Further, conducting mesopore analysis using the DH and BJH methods, micropore analysis using the HK or SF methods, or optional GCMC / NLDFT analysis are possible. Even more analysis options are given in our BELMASTER analysis software.

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

BELCONTROL：新的作软件

BELSORP 设备的多功能性确实是世界知名的。直观且用户友好的作软件 BELCONTROL 补充了众多特性和功能。它指导用户逐步完成分析过程。这包括设置分析条件、执行测量、何时填充和设置液氮或其他浴槽、何时更换气瓶、脱气步骤等等。该软件旨在使所有人（包括没有经验的用户）都能使用和作仪器。

对于没有经验的用户或未知样品的测量，BELCONTROL 只需要基本的样品信息（名称、质量等）、前处理条件（如果不在外部进行）和测量范围。

可以对配置和测量设置进行详细控制，以优化测量条件（例如 剂量设置、平衡标准、泄漏测试选项等）。这允许用户根据自己的需要完全定制样品分析。

贝尔控制		
快速下注	是	在 20 分钟内获得多点 BET 表面积
无氦测量	是	AFSM™ 2 可实现无 He 测量，精度无与伦比
吸附动力学	可选量程	用于扩散分析的吸附测量速率

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

更多 BELCONTROL 功能

- 叠加吸附/解吸等温线，并在测量过程中比较各个端口之间的测量数据
- 所有压力、温度、阀门驱动等都存储在趋势数据中，以便立即检查
- 系统检查功能可用于诊断仪器状态
- 电子邮件通知自动传输测量状态和结果
- 日语或英语的交互式程序确保作简单、可靠
- 广泛的帮助功能，包括作过程中的分步说明

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

附件和选项

Microtrac 为其整个气体和蒸汽吸附产品线提供各种不同配件。

标准耗材

标准耗材包括取样单元、填充棒、过滤器、O 形圈、盖子和称重平台。还可以购买不同尺寸规格的取样单元、快锁机构和其他可选耗材。

水浴

轻松将杜瓦瓶更换为水浴，测量温度范围为 -10°C 至 70°C。 需要一个冷藏/加热的循环器。

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

加热器

样品在 50°C 至 450°C 的温度下进行原位预处理。 使用此选项，可以直接在测量端口对样品进行预处理，而无需在分析前转移样品池。特别适用于敏感样品。

气体选择器

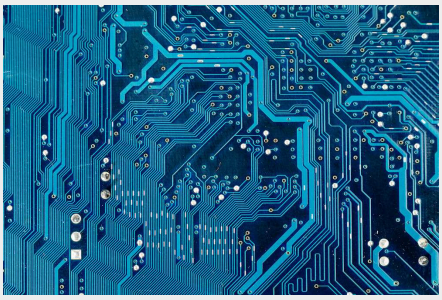
气体选择器可同时连接多达 4 个吸附物（1 x 氦气 + 4 x 吸附剂）。

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

典型应用

Microtrac 的气体吸附分析仪适用于许多领域。其中包括催化剂、电池、纤维、聚合物材料、沸石、燃料电池、化学品、颜料、化妆品、MOF-CP、磁粉、分离膜、过滤器、调色剂、水泥、陶瓷、半导体等等。



- 电池材料
- 催化剂
- 沸石
- 陶瓷
- 碳

- 电子元件
- 燃料电池
- 调色剂
- 水泥
- 医药品

- 二氧化硅
- MOF / PCP
- 色素
- 化学品

...等等！

体积吸附测量的原理在我们的知识库中进行了解释：

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

技术参数

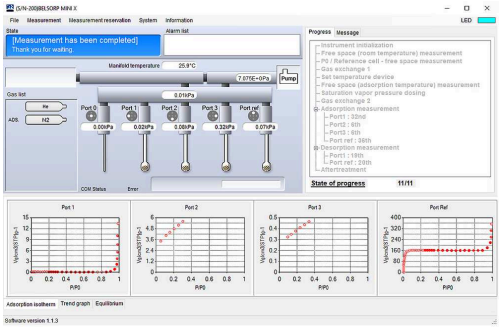
测量原理	体积法+AFSM™
吸附气体	氮气 （N_2）、氩气 （Ar）、甲烷 （CH_4）、乙烷 （C_2H_6）、二氧化碳 （CO_2）、氢气 （H_2）、 正丁烷 （n-C_4H_{10}）、异丁烷 （iso-C_4H_{10}） 和其他非腐蚀性气体
气体端口	2个端口（最多5个端口）
测量次数（高精确度模式）	最多4个端口 同时有4个端口（高精度模式下有3个端口）
测量范围(比表面积)	0.01 m2/g及以上(N2) (取决于样品密度)
孔径分布（直径）	0.7 - 500 nm，可选：可通过分子探针法实现 0.35 nm
低压等温线	p/p0 = 10^-4 (N2 @77K, Ar @87K)
压力传感器	133 kPa (1000 Torr) x 6个单位
真空计/泵	旋转泵
样品管	标准管，约1.8cm3（可选：5cm3）。
杜瓦罐	体积：2升 保持时间。30 h
预处理加热器	50 - 450°C （4 个端口）
水浴锅	-10 - 70°C (4个端口)
分析软件BELMaster™ 7	吸附等温线，BET比表面积类型I（ISO9277）BET自动分析，Langmuir比表面积，BJH，DH，CI，INNES方法
分析软件BELMaster™ 7续	t-plot, NLDFT / GCMC (OP BELSim™), MP方法, Dubinin-Astakhov方法, 分子探测, as-plot
设备尺寸（宽x高x深）	280 x 650 x 465 mm (不包括真空泵和电脑)
重量（主体）	38公斤（不包括真空泵和电脑）
公用事业 - 燃气	He, N2 (99.999%或更高纯度), 0.1 ± 0.02 MPa, joint: 1/8" Swagelok Exhaust: 旋转泵排气口，ø11毫米
实用工具--电源	单相，AC 100~240 V（50/60 Hz）/10A（包括R.P.），50/60 Hz
通过CE认证	是
推荐显示器	全高清显示器

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

作软件

在开发软件时，我们专注于简化作，并为其配备了许多功能，以提高劳动生产率。由于 BELSORP 仪器提供了如此多的功能，因此使这些功能易于使用非常重要。我们的软件将指导您逐步实施多个程序，即执行测量、更换气瓶和吹扫歧管。分步说明允许各种经验水平的用户安全有效地使用机器。根据用户体验的级别，提供两种模式：简单模式和专业模式。简单模式通过降低测量的可定制性来简化作 – 您唯一需要的信息是样品标记、选择预处理条件（如果外部完成，则可跳过）和测量点。这种低维护测量方法非常适合测量未知样品。如果先前的测量具有类似的吸附行为，则可以使用 GDO 功能来缩短测量时间。专业模式为用户提供了测量的详细配置，即加样设置、平衡标准、泄漏检查选项等。

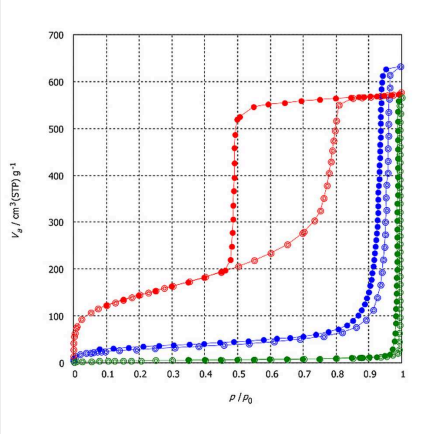


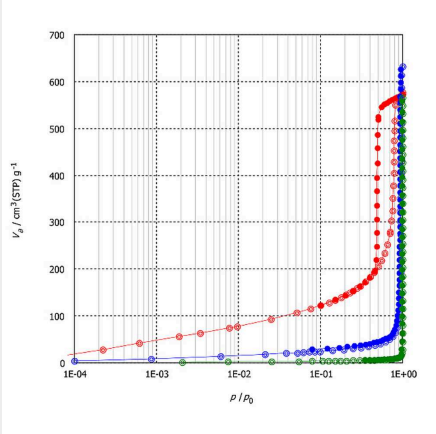
© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

多孔 &无孔材料：MOF、沸石、碳等

评估软件 BELMASTER

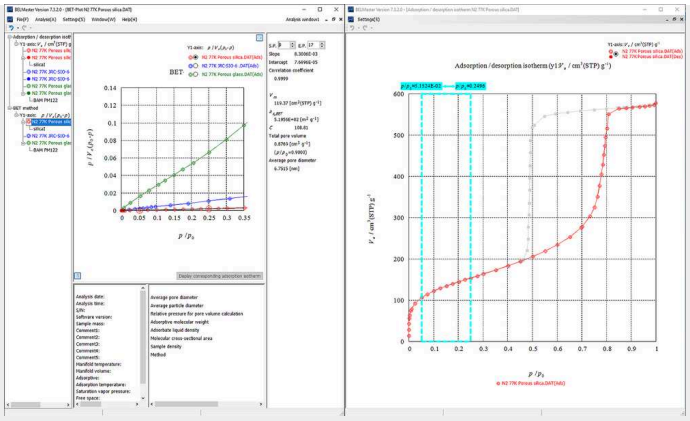
吸附等温线定义为吸附剂上的吸附量与吸附气体在恒定温度下的平衡压力（通常与饱和蒸气压有关）之间的关系。气体吸附等温线（例如氮气）提供有关被测材料的比表面积、孔径分布和孔体积的信息。在下图中，显示了一些示例性的吸附等温线。





比表面积 （SSA） 是指样品的可接近表面积，在吸附、均相和非均相催化反应中非常重要。比表面积可以根据 ISO 9277 使用 BET 方法（BET：Brunauer、Emmett 和 Teller）或 Langmuir 方法计算。下图显示了在我们的 BELMASTER 软件中根据 BET 方法对比表面积进行的示例性评估：

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利



选择正确的压力范围 （多点 BET） 或测量点 （单点 BET），表面积将自动计算。此外，我们的 BELMASTER 软件还提供根据 ISO 9277 附录 C（也称为 Rouquerol 图）的 BET 表面积计算，推荐用于微孔材料。

BELSORP MINI X 能够在不需要氪气的情况下高精度测量低表面积样品（无需额外的压力传感器或低温温度控制器），其“快速 BET 模式”允许用户在大约 15 分钟内获得四个样品的 BET 比表面积（例如三点 BET），巩固了其作为世界级气体吸附仪器的地位。孔径分布从 0.7 到 500 nm（可选 0.35 nm）也可以通过 BELMASTER 软件从获得的等温线中获得。

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

以极小的表面积实现高的精度

AFSM™

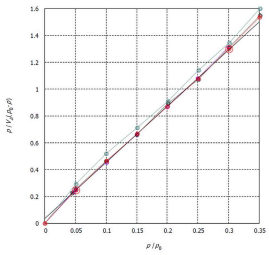
以下测量是使用我们获得专利的高级自由空间测量 （AFSM™） 进行的。该方法通过使用参比池来跟踪自由空间体积的变化，从而实现高重现性。我们的仪器可测量样品池和参比池的初始自由空间。由于两个电解槽中自由空间的变化相等（相同的环境条件），因此参比电解槽的压力变化可以连续地伴随着该变化。

在产品测试中，认证参考物质 CRM-170（无孔 α 氧化铝;氮 BET 比表面积认证值 SSA： 1.05 ± 0.05 m^2/g） 用于检查低总表面积 （TSA） 测量中的测量精度。尽管 TSA 从大约 2 m^2 降低到低于 0.4 m^2，但确定的 BET 比表面积 SSA 几乎保持不变。

专利 AFSM 技术的优势

- LN_2 级别的维护不太重要
- 提高表面积和孔体积的可重复性
- 无需使用氮气即可实现低表面积材料的吸附等温线（总表面积低至 0.1 m^2）

样品	吸附	单元格中的总表面积 [m^2]	样品量 [g]	SSA 投注 [m^2/g]*1	C 常数
BCR-170_1	N_2	~2 m^2	~1.94	1.03	114
BCR-170_2	N_2	~1 m^2	~1.12	1.02	143
BCR-170_3	N_2	~0.7 m^2	~0.75	1.03	101
BCR-170_4	N_2	~0.4 m^2	~0.38	1.02	50



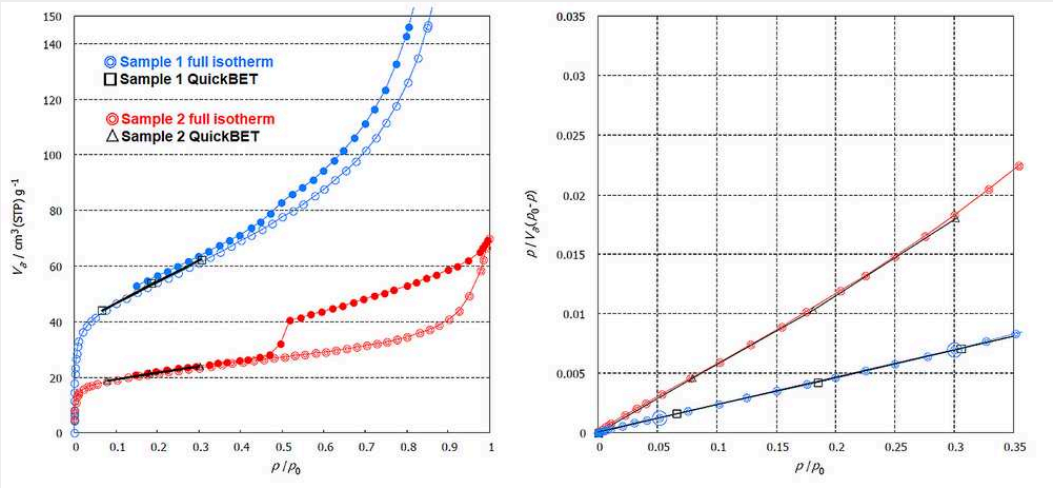
*相关系数 0.9995 或更高

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

快速下注模式

Quick BET 模式可用于提高 BET 比表面积测量的样品通量。在这种模式下，可以在大约 15 分钟内测量 4 个样品的 3 个 BET 吸附点（需要样品密度）。此外，快速投注模式提供两种类型的可用空间测量：首先，可用空间输入选项为您提供了节省时间的机会。一旦确定了样品池的可用空间，自由空间测量文件（dvd 文件）就可以重新用于未来的快速 BET 测量。其次，可用空间可以通过实际测量来确定。下图和表格比较了从全等温线测量（标准模式）和快速 BET 模式获得的 BET 表面积：



样品	吸附	多点投注 SA [m²/g]		单点投注 SA [m²/g]	
		标准模式	快速下注	标准模式	快速下注
1	N_2	189.9	190.5	188.1	190.3
2	N_2	75.7	77.4	74.7	75.7

*p/p0 范围为 0.05 - 0.30 的多点投注，p/p0 为 0.20 的单点投注

假设在标准模式下通过多点 BET 获得的测量结果是准确的结果。与标准模式相比，Quick BET 模式下的多点和单点 BET 表面积测量可提供完全可比的结果，尽管三个样品（多点 BET）的测量时间显著缩短至约 15 分钟。建议使用此功能来优化样品通量，例如在质量控制中。

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利

BET 分析仪用于测量比表面积和孔径大小 BELSORP MINI X

作用原理

通过 NLDFT 和GCMC 方法

经典孔径分布 （PSD） 是通过 INNES 方法（狭缝形状）和 BJH、DH、CI 方法（圆柱形）计算的，它们根据毛细管缩合理论评估中间孔。HK （狭缝）、SF （圆柱体） 和 CY （笼） 方法也可用于基于吸附电位理论评估微孔。DA 方法以及 DR 方法也常用于孔隙体积评估和孔隙结构评估。新的 PSD 和容量评估方法 NLDFT 和 GCMC（BELSORP MINI X 可选）用于 ISO15901-2 中规定的宽范围分析（从微孔到中孔和大孔）和更准确的方法。

理论	交互作用 表面 和 气体	吸附物	适用孔径范围
BJH、CI、DH、INNES 方法	开尔文方程（表面张力和接触角）	散装液体密度	《尺寸》2 nm 中孔和大孔
HK、SF、CY 方法	Lennard-Jones 势（相互作用力和排斥力）	散装液体密度	0.4 - 2 nm 微孔
NLDFT、GCMC	统计热力学模型		0.35 - 500 nm 全孔径范围

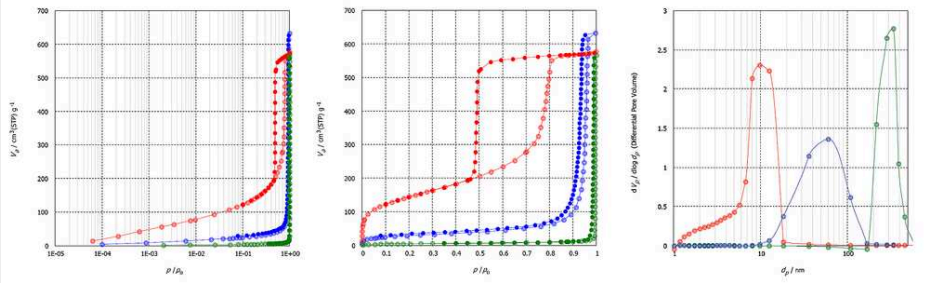
*[1] BELSORP MINI X 配备 1000 torr 压力传感器;等温线从 $1x10^{-4}$
*[2] 的 ~p/pp/sub> 开始选项：通过分子探针方法可能达到 0.35 nm

近年来，人们的注意力集中在使用计算机模拟的孔隙结构评估方法上，例如新颖的孔隙分布分析 NLDFT（非局域密度泛函理论）和 GCMC（大正则蒙特卡洛）方法，它们可以使用统一的理论分析微孔到中孔和大孔。从相同吸附等温线获得的孔径分布在经典和新型 PSD 分析之间是不同的，甚至在新方法之间也是不同的，因为从每种理论获得的填充压力不同。麦奇克提供的评估方法涵盖各种孔径和各种吸附物，如N_2 （77.4 K）、Ar （87.3 K） 和 CO_2 （298 K）。它使用狭缝、圆柱体和笼孔模型的 NLDFT / GCMC 内核，带有碳和金属氧化物表面原子，从而对多孔材料进行适当的描述。

BELMASTER 软件可以轻松比较实验和模拟等温线，模拟等温线作为 PSD 计算的基础。

在下面的部分中，给出了用 BJH 方法计算孔径分布的示例：

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利



www.microtrac-mrb.cn/belsorp-mini-x

© Microtrac Retsch GmbH - www.microtrac.com
保留技术变更和出错的权利