

## 第 1 包 双球差校正透射电子显微镜

### 1.货物需求一览表

包号	设备名称	数量（台/套）
1	双球差校正透射电子显微镜	1
	场发射透射电子显微镜	1

### 一、主要技术指标（需实现的功能或者目标、需满足的质量、安全、技术规格、物理特性等）

#### （一）双球差校正透射电子显微镜：

##### 1. 运行环境：

1.1 房间温度：15 ~ 25 °C

1.2 实验室面积约 50 平方米，推荐 60 平方米实验室

1.3 相对湿度：小于 60 %

1.4 适用电源：单相 230V（+6%，-10%）；频率 50/60Hz ±1%，单相容量：主机 12KW，要求连续供电

1.5 水冷机电源：220VAC/50Hz/32A，，循环水 6KW

1.6 地线：接地电阻 0.5 到 0.6 Ω

1.7 中标商须负责对用户现有实验室进行改造，保证达到设备要求，整个工程为交钥匙工程

2. 设备用途：材料在亚埃尺度结构，电场及应力解析与成像；超低压原子结构分析；电子束敏感材料成像与结构解析；材料元素及原子配位环境分析；轻重元素同时成像；晶体结构分析

##### 3. 技术规格

■3.1 组成：主机（包括真空系统、电子枪、聚光镜球差校正器、物镜球差校正器、磁透镜、控制器、电子探测器、能量损失谱、X-射线探测器、电子光学系统），冷却循环水系统，配套显示设备；

3.2 分辨率：

■3.2.1 TEM 信息分辨率： $\leq 60\text{pm}(300\text{kV})$ ； $\leq 90\text{pm}(80\text{kV})$ ； $\leq 160\text{pm}(40\text{kV})$ ；

★3.2.2 扫描透射模式分辨率： $\leq 53\text{pm}(300\text{KV})$ ； $\leq 96\text{pm}(80\text{KV})$ ； $\leq 136\text{pm}(40\text{kV})$ ；

■3.2.3 背散射电子分辨率： $\leq 1\text{nm}$

### 3.3 加速电压

■3.3.1 加速电压：最高 300kV；电镜主机、球差校正器和附件系统均在 40kV、80kV、300kV 加速电压下完成合轴；

■3.3.2 加速电压稳定度： $\leq 0.4\text{ppm/min}$ (峰峰值)；

### 3.4 电子枪

★3.4.1 电子枪类型：冷场发射电子枪；无需使用单色器，保证低能量发散度下的大束流；

■3.4.2 束流： $0.136\text{nm}$  束斑电流 $\geq 0.6\text{nA}$ ；

■3.4.3 亮度： $\geq 10^9\text{A/cm}^2\text{ sr.}$  (300kv, 300pA)；

★3.4.4 能量分辨率： $<0.35\text{eV}$  (300kV, 束流： $1\mu\text{A}$ )； $<0.32\text{eV}$  (80kV, 束流： $1\mu\text{A}$ )；

■3.4.5 加速管出口真空度： $<10^{-9}\text{Pa}$ ，发射体处极限真空度： $<10^{-12}\text{Pa}$

▲3.4.6 配有 Flash 系统，Flash 时间仅需 3 秒，Flash 后无需合轴对中，保证成像和分析质量的相邻两次 Flash 时间不短于 10 小时。

### 3.5 真空系统

■3.5.1 配有机械泵、扩散泵和离子泵、化学吸附泵，共 4 级。

■3.5.2 大容量液氮冷阱：添加一次可使用 20 小时。

■3.5.3 电子枪出口真空度：优于  $10^{-9}\text{Pa}$

■3.5.4 样品室真空度：优于  $2\times 10^{-5}\text{Pa}$

▲3.5.5 具有镜筒自动烘烤功能，可去除镜筒污染

### 3.6 聚光镜与物镜

▲3.6.1 提供最先进的十二极子球差校正器，在不增加色差的前提下减少球差

■3.6.2 物镜电流稳定度： $\leq 0.5\text{ppm/min}$ (峰峰值)；

■3.6.3 自动球差校正软件：点击鼠标，只需主要校正一个参数，无需旋转样品，无需标准样品。

### 3.7 放大倍率和相机长度

■3.7.1 TEM放大倍数： $\times 60$ – $\times 2,000,000$ ；

■3.7.2 STEM放大倍数： $\times 200$ – $\times 150,000,000$ ；

■3.7.3 Lorentz 模式下： $\times 60^{\sim}\times 40,000$ ；

■3.7.4 标准相机长度：80mm–1500mm（300KV）

### 3.8 测角台（无缝衔接压电驱动）

■3.8.1 倾斜角度： $X \geq \pm 30^{\circ}$ ； $Y \geq \pm 27^{\circ}$ ；

■3.8.2 样品移动范围： $X: \geq 2\text{mm}$ ； $Y: \geq 2\text{mm}$ ； $Z: \geq \pm 0.2\text{ mm}$ ；

■3.8.3 样品漂移： $\leq 0.5\text{nm/min}$ ；

■3.8.4 应具有(X/Y/Z)三轴压电控制样品台(Piezoelectric Controlled Stage)

■3.8.5 可存储和复位样品台的五维 ( $x, y, z, \text{TiltX}, \text{TiltY}$ ) 坐标；

■3.8.6 配备单倾杆/低背景双倾杆各一根

### 3.9 一体化的扫描透射(STEM)系统

■3.9.1 全新高角环形暗场探测器，采用对高能和低能电子均敏感的复合型材料，高低电压下信号量相对单一材质可提升 1.5 倍

■3.9.2 第二暗场探测器 DF2:1 套

■3.9.3 明场探测器 (BF): 1 套；

▲3.9.4 多分割探测器(SAAF):1 套

■3.9.5 低剂量成像单元 OBF 系统: 1 套

■3.9.6 CBED 模式下，会聚角( $2\alpha$ ):  $\geq 1.5 - 100\text{ mrad}$ ；

■3.9.7 CBED 模式下，接收角： $\pm 10^{\circ}$ ；

■3.9.8 BEI 背散射电子探测器: 1 套，分辨率 $\leq 1\text{nm}$  可与 HAADF、BF、ABF 同时成像

■3.9.9 具有 STEM 模式下晶体样品的自动调节功能

■3.9.10 图像分辨率最高  $4\text{K} \times 4\text{K}$ ，最快扫描速度  $0.083\text{ns/pix}$

■3.9.11 最大视野：低倍下  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ ，高倍下  $1\text{微米} \times 1\text{微米}$

### 3.10 高性能直接探测器系统

■3.10.1 传感器有效面积： $\geq 12.7\text{mm} \times 12.7\text{mm}$ ；

■3.10.2 传感器像素尺寸： $\geq 48\text{ }\mu\text{m} \times 48\text{ }\mu\text{m}$ ；

■3.10.3 最高读出速度： $\geq 2000\text{f/s}$ ；

■3.10.4 动态范围： $\geq 10^7$ ；

- 3.10.5 最高电流： $\geq 2\text{pA/pixel}$ ;
- 3.10.6 适用电压范围：30 - 300kV;
- 3.10.7 可实时收集单一或系列衍射斑;
- 3.10.8 支持在其他电脑上离线分析数据;
- 3.10.9 提供与旋进电子衍射和晶体取向/相分布分析系统的通信接口并及相应的软件、硬件配合。

### 3.11 EDM 电子剂量调节系统

- ▲3.11.1 配备超快快门系统，可以无光路改变，连续调节束流强度;
- ▲3.11.2 最大脉冲频率 500kHz@300KV;
- ▲3.11.3 过渡时间 $< 50\text{ns}$ ;
- ▲3.11.4 最小脉冲宽度：100ns;
- ▲3.11.5 配备单独控制软件及剂量控制旋钮键盘

### 3.12 电镜操作

- 3.12.1 数字化操作系统，基于 Windows 的计算机控制系统，在用户图形界面上完成电镜的操作控制。配备远程遥控 CCD 相机系统，可对电镜进行远程遥控操作。
- 3.12.2 能比较方便地实现常用功能，包括样品移动、光束移动、改变放大倍数、模式切换、聚焦、合轴操作等。
- 3.12.3 全自动光阑系统：包括全自动化一级、二级聚光镜光阑；选区光阑和物镜光阑带位置记忆功能

### 3.13 样品杆干燥泵

- 3.13.1. 极限压力：好于  $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$
- 3.13.2. 采用机械泵和分子泵
- 3.13.3. 可同时支持 5 根样品杆的安装

### 3.14 透射电镜样品杆用等离子清洗仪

- 3.14.1 工作压力：35-40 Pa
- 3.14.2 真空尺寸：直径 120mm，高度 40mm
- 3.14.3 放电电压：可调
- 3.14.4 时间可选：1, 5, 10, 15, 30, 60min

■3.14.5 气源：空气或其他氢气、氧气等。

### 3.15 数字化成像装置

■3.15.1 数字化 CMOS 相机系统；

■3.15.2 相机可以采集 TEM 像、衍射花样等图像，并可以实时动态显示、记录图像和视频；

■3.15.3 耦合方式：闪烁体及耦合光纤；

■3.15.4 安装位置：底部安装；

■3.15.5 像素数：感应尺寸 $\geq 4096 \times 4096$  像素；

■3.15.6 记录速度：图像尺寸为  $4K \times 4K$  时： $\geq 25f/s$ ；图像尺寸为  $512 \times 512$  时： $\geq 300f/s$ 。

■3.15.7 动态范围： $\geq 16\text{-bit}$ ；

### 3.16 电子能量过滤系统

■3.16.1 基本功能：最新一代的能量过滤系统，包括能量过滤透射电镜成像 (Energy Filtered TEM, EFTEM) 和电子能量损失谱 (EELS) 分析。通过能量过滤，提高成像质量，尤其厚试样和断层成像 (Tomography) 的图像质量，分析材料的化学价态、电子结构、元素组成及其面分布等。

■3.16.2 过滤器光阑：9.0/5.0mm /2.5mm EELS 光阑

■3.16.3 工作电压：40kV~300kV

■3.16.4 能量分辨率：优于(<) 0.3eV

■3.16.5 能量范围：3000eV

■3.16.6 全分辨率下成像速率：90fps

■3.16.7 采谱速度及占空比：8000 谱/秒

### 3.17. 具有原子级分辨能力的电制冷能谱仪 EDS：

▲3.17.1 双探测器总面积： $\geq 316\text{mm}^2$

▲3.17.2 固体角： $\geq 1.4\text{sr}$ ；

3.17.3 取出角： $26^\circ$

■3.17.4 可伸缩设计，可根据样品类型调整工作距离，带有自保护

■3.17.5  $\text{MnK}\alpha$ 分辨率：优于 133eV；

3.17.6 Fe/Ni 比： $< 1.5\%$

■3.17.7 峰背比： $\geq 4000:1$

3.17.8 具有原子级漂移矫正功能

3.17.9 具有 Playback 时间回放功能，实时提取电子束驻留时的每一帧图像与成分信息，利用此功能，操作人员可以得到被电子束污染前的成分信息。

3.17.10 标配 winner 过滤器，可对 1-2nm 颗粒样品进行突出表征。

3.17.11 最短驻留时间： $10\mu s/\text{像素}$ ，最大像素可达  $4K \times 4K$

## （二）场发射透射电子显微镜：

### 1. 运行环境：

1.1 房间温度： $15 \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

1.2 实验室面积约 30 平方米，推荐 40 平方米实验室

1.3 相对湿度：小于 60 %

1.4 适用电源：单相 230V (+6%, -10%); 频率 50/60Hz  $\pm 1\%$ ，单相容量：主机 12KW，要求连续供电

1.5 水冷机电源：220VAC/50Hz/32A，，循环水 6KW

1.6 地线：接地电阻小于  $1\Omega$

1.7 中标商须负责对用户现有实验室进行改造，保证达到设备要求，整个工程为交钥匙工程。

2. 设备用途：材料的原子结构研究及样品的元素分析；轻重元素同时成像；电子束敏感材料成像；晶体结构分析；磁性材料磁畴分析

### 3. 技术规格

#### 3.1 场发射透射电镜基本单元

##### 3.1.1 电子枪

■3.1.1.1 电子枪类型：高亮度冷场发射电子枪

■3.1.1.2 亮度：超高亮度电子枪，亮度 $\geq 8 \times 10^8 \text{A/cm}^2/\text{sr}$ .

■3.1.1.3 束流： $\geq 2.5\text{nA}$  (束斑尺寸为  $0.7\text{nm}\phi$  时)

■3.1.1.4 最大束流： $\geq 100\text{nA}$

##### 3.1.2 分辨率

★3.1.2.1 点分辨率： $\leq 0.23\text{nm}@200\text{KV}$ ;

■3.1.2.2 线分辨率： $\leq 0.10\text{nm}@200\text{KV}$ ;

■3.1.2.3 信息分辨率： $\leq 0.12\text{nm}@200\text{KV}$

■3.1.2.4 束斑漂移： $<1\text{nm}/\text{min}$

■3.1.3 加速电压：20-200kV

■3.1.4 稳定度

加速电压稳定性： $\leq 1\text{ ppm}/\text{min}$ （峰峰值）

物镜电流稳定性： $\leq 1\text{ ppm}/\text{min}$ （峰峰值）

★3.1.5 TEM 模式下放大倍数：50- 20,000,000 $\times$

■3.1.6 放大倍数重复性： $<1.5\%$

3.1.7 物镜

■3.1.7.1 球差系数： $\leq 1.0\text{mm}$

■3.1.7.2 色差系数： $\leq 1.4\text{mm}$

■3.1.7.3 最小聚焦步长： $\leq 1.4\text{nm}$

■3.1.7.4 焦距：2.3mm

■3.1.8 束斑尺寸：0.5-20nm

■3.1.9 相机长度：15 - 2000mm

■3.1.10 最大会聚角 CBED：1.5-100mrad

■3.1.11 最大衍射角： $\pm 20^\circ$

■3.1.12 样品移动：X： $\geq 2\text{mm}$ ； Y： $\geq 2\text{mm}$ ； Z： $\geq 0.4\text{mm}$

■3.1.13 最大双倾杆倾斜角 X： $\geq \pm 35^\circ$ ，Y： $\geq \pm 30^\circ$

■3.1.14 最大测角台倾斜角： $\pm 90^\circ$

■3.1.15 样品杆直径 $\geq 12\text{mm}$

■3.1.16 全自动光阑系统，可以通过计算机系统直接控制。

■3.1.17 远程遥控模式标配，配备样品室侧装相机，可在显示器上操作电镜，寻找样品。

★3.1.18 样品可自动更换，同时支持手动换样模式

3.2 扫描透射附件(STEM) 技术规格

■3.2.1 明场分辨率： $\leq 0.16\text{nm}$ （200kv）；

■3.2.2 暗场分辨率： $\leq 0.16\text{nm}$ （200kv）；

■3.2.3 HAADF 分辨率： $\leq 0.16\text{nm}$ （200kv）；

■3.2.4 STEM 模式放大倍率： $\times 100 - 150,000,000$

■3.2.5 标配先进的探测器系统，可快速得到高分辨明场 BF 像，STEM 能快速拍摄高质量的暗场 DF 像和高角环形暗场 HAADF 像。

■3.2.6 TEM、SEI、STEM 模式通过软件简单点击即可快速切换，保证 SEI 图像、BF、DF 和 HAADF 图像采集的无缝式切换。

### 3.3 二次电子像技术规格

▲3.3.1 二次电子分辨率： $\leq 1.0\text{nm}$  (200KV)；

■3.3.2 SE 模式放大倍率： $\times 100 - 150,000,000$

■3.4 样品杆：配备单倾杆一根，双倾杆一根

### 3.5 配套显示设备配置

■3.5.1 CPU:4 核，2.26GHz

■3.5.2 内存大于 16G

■3.5.3 硬盘大于 500GB

■3.5.4 Win7 或以上操作系统

■3.5.5 27 寸显示器

### 3.6 X 射线能谱分析仪技术规格

▲3.6.1 探测器类型：电制冷型探测器，面积 $\geq 200\text{ mm}^2$ ，无窗型

■3.6.2 探测器为可伸缩型，探头不用时可退出镜筒，避免污染和辐照损伤探测器

▲3.6.3 能量分辨率：优于 133eV

■3.6.4 元素分析范围：4B 至 92U

▲3.6.5 EDS 立体角： $\geq 1.7\text{sr}$

■3.6.6 取出角： $\geq 21^\circ$

■3.6.7 峰背比： $\geq 4000:1$

### 3.7 CMOS 数字化照相系统

■成像相机是透射电镜的必要附件，用于透射电镜形貌像和电子衍射花样的数字化像的记录，具有数字化图像处理的功能，具有快速的连续记录功能，与所购电镜完美匹配，实现各种自动功能。

■3.7.1 安装位置：底装式



■3.7.2 CMOS 相机最大像素： $\geq 4k \times 4k$

■3.7.3 读取速度不限。DM 软件写入速度： $\geq 25\text{fps}@4k \times 4k$ ， $80\text{fps}@2k \times 2k$ ， $160\text{fps}@1k \times 1k$ ， $320\text{fps}@512 \times 512$ ，除硬盘容量外不存在其它限制记录长度的因素。

■3.7.4 软件功能包括但不限于：常用图像（分析几何形状测量，强度测量，图像数学运算，数据格式转换，文字标注）；可变尺寸实时傅式变换；电子衍射分析；图像实时自动漂移校正。

■3.7.5 具有大的动态范围，高达 16bit，可以快速直接拍摄衍射花样和低剂量图像

■3.7.6 像素尺寸： $\geq 15 \times 15 \mu\text{m}^2$

■3.7.7 防漂移等高级功能：自动漂移校正

### 3.8 真空系统

■3.8.1 典型换样时间： $\leq 2$  分钟

■3.8.2 电子枪真空度 $\leq 10^{-8}\text{Pa}$

■3.8.3 样品室真空度 $\leq 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$

■3.8.4 镜筒烘烤：一键设定，用户可自行完成

■3.9 配备随机工具及两年备品备件一套。

### 3.10 软件操作

■3.10.1 双模式操作，既可以全数字化操作系统，基于 Windows 计算机控制系统，所有图像都在 24 寸显示器上显示。对电镜进行远程操作，无需荧光屏，不需要暗室。同时保留了荧光屏，还可以在荧光屏上直接观察寻找样品。

■3.10.2 具有演示视频和操作说明，即使初学者在学习后很容易完成学会电镜的操作。

■3.10.3 具有专用的用户图形界面和操作键盘。可以通过鼠标、键盘、以及专用的操作键盘完成电镜的所有操作。可以方便实现包括样品移动、光束移动、放大倍数、模式切换及探测器切换、聚焦、合轴操作等。能非常便捷的将数据、软件各模块在两台液晶显示器之间显示。

■3.10.4 操作可以实现自动化和程序化，抽真空后，可自动实现亮度对比度、自动调节样品 Z 方向位置、自动样品倾斜、自动聚焦、自动象散校正的调节，搜

寻观察区域然后完成图像观察和记录。各种模式例如 SEI、TEM、STEM、DIFF 可以实现鼠标点击（或功能键盘控制）的瞬间快速切换。

■3.10.5 可以实现 SEI、TEM、STEM-BF、STEM-HAADF 的同时采集和记录，最多一次可以同时显示四副图像，方便对比观察。

■3.10.6 具有实时显示的电镜状态图，实时显示电子束的状态，光阑的进出情况，并可以通过鼠标直接切换光阑，完成光阑的对中。

## **二、采购标的需执行的国家相关标准、行业标准、地方标准或者其他标准、规范：**

通过 ISO 9001: 2015 质量体系认证和中华人民共和国国家标准 QC05J0086 等。

## **三、售后服务要求（应包括采购标的需满足的服务标准、期限、效率等要求：**

1.安装。厂家应在合同生效后的 1 个月内向用户提供详细的安装要求并提供技术咨询。投标商负责仪器在用户处的安装和调试。仪器到达用户所在地后，在接到用户通知后一周内进行安装调试，直至通过验收。投标商派技术人员到用户处现场进行设备安装调试，并对设备开箱、吊装、管线接口匹配的正确性负全部责任。应自备安装调试所需的检测及其它专用工具。投标商应对任何由于不当包装或防护措施不利而导致的商品损坏、损失、锈蚀、费用增长等后果负责。用户应提供安装所需的其它辅助设备和功能，如安装调试现场及所需的电、气及辅料等。

2.技术培训。厂家负责仪器在用户处进行现场培训，被培训人不低于 3 人/次。培训内容包括基本原理、仪器结构、硬件操作、软件使用、数据处理、维护保养及简单故障排除等，确保被培训人能熟练操作和使用仪器。培训期内厂家人员的差旅费、食宿及其它费用应由厂家自理。仪器使用一段时间视用户需要，可再进行 1~2 次高级培训

3.要求厂家在北京设有自己的电镜应用或维修点。确保对用户地区仪器使用问题的及时响应，其中必须有专业维修球差校正透射电子显微镜仪器经验的高级服务工程师；必须配备专业应用支持团队，团队具有长期的球差校正透射电子显微镜应用分析基础。

4.维修响应时间。投标商和厂家同时应在 24 小时内对用户的报修申请做出响应。

一般性问题应在 48 小时内解决；对于在 48 小时内无法解决的其它较大的问题，应在 3 天内给以解决；对于在 3 天内不能解决的问题，应提出明确的解决方案，得到用户的认可后，在预定的期限内解决问题。否则，投标商和厂家同时应赔偿由此而造成的损失。

5.厂家提供仪器最新信息及应用资料。适时提供优质技术服务，协助用户做好设备开发应用工作。长期提供技术资料和技术支持，一切费用由厂家承担。

6.质保期。设备自安装、调试、验收合格并签署验收文件后开始计算质保期。设备的主机质保期不得少于 36 个月，其他附件不低于 12 个月。保修期间工程师工时费、维修及零件更换费用由厂家负担。保修期满前 1 个月内厂家负责一次免费全面检查，并写出正式报告，如发现潜在问题，应负责排除。

#### **四、采购标的验收标准：**

1.运输：运输方式：陆运（公路或铁路）或海运

包装要求：应符合陆运或海运要求；

包装必须适应所采用的运输方式的要求。

包装必须要便于各环节有关人员进行操作。

在保证包装牢固的前提下节省费用。

零件要固定在箱体内，避免内部晃动。可适当的放干燥剂。

在包装箱上四个侧面的两个较大面上分别标记向上、怕湿、禁止翻转和吊装位置等符号，应清晰、可长期保持。并清晰注明收货地址、收货人和发货地址，合同号、重量、包装箱的承重点等。

2.现场安装调试、验收方式、手段：

2.1 设备预验收在设备制造商(厂家)所在地进行，主要对以下几方面进行验收和检查：

2.1.1 设备功能、指标能力验收。应包含对设备技术要求所列条目的测试和检验。

2.1.2 资料验收。应检查并确认按合同规定所应提供的资料是否齐全，资料应包括设备的预验收结论。

2.2 仪器到达用户所在地后，主要对以下几方面进行验收和检查：

2.2.1 设备验收前发生的消耗性部件失效或者损坏，由投标商免费提供全新替换。

2.2.2 投标商须保证其提供的设备（包括主机、配件、附属部件等）是全新的，

符合其出厂标准。

**2.2.3** 在正确安装、合理操作和维护保养条件下，投标商应保证其设备在寿命期内运转良好。

### **3.质保要求**

**3.1 质保期：**厂家和投标商同时提供主机 36 个月，其他附件 12 个月免费保修，保修期自仪器验收签字之日起计算。

**3.2 质保期内，**投标商负责安排专业工程师进行巡访，每年不低于两次，每次不少于一周。

**3.3 质保期过后，**仪器若出现故障需工程师上门维修，投标商不得收取任何人工差旅费及服务费，只收取零部件更换的成本费。

**五、交货地点：**北京大学综合科研楼。

**六、交货期：**合同签订后 210 日内交货并安装完毕。

### **七、付款方式：**

#### **国产产品：**

合同正式生效后，甲方支付乙方合同总额 30% 的合同款；设备全部到货并验收合格后，甲方支付乙方合同总额 60% 的合同款；质保期满后，甲方支付乙方合同总额 10% 的合同款。

#### **进口产品：**

合同正式生效后，甲方将 100% 货款支付到指定进口代理公司。指定进口代理公司将 100% 货款向合同卖方开具不可撤销信用证，卖方凭发货单据承兑 90% 货款；货物到货并验收合格后，卖方凭甲方签字并加盖公章的验收报告承兑 10% 验收尾款。

注：外贸合同签订以投标报价币种要求为准，如必须以外币签订，外贸合同签订金额以开标当日零点现汇卖出价汇率折算。