

1 概述

1.1 总则

1.1.1 本设备技术规范书适用于中核北方核燃料元件有限公司包覆层厚度及光学各向异性检测系统的功能设计、结构、性能、供货、技术服务、安装和试验等方面的要求。

1.1.2 本设备技术规范书提出的是最低限度技术要求，并未对一切技术细节做出规定（具体采购以技术协议为准），也未充分引述有关标准和规范的条文，供方应提供符合本规范书和工业标准的优质产品。

1.1.3 如果供方没有以书面形式对本规范书的条文提出异议，则意味着供方提供的设备完全符合本技术规范书的要求。如有异议，应在报价书中以“同规范书的差异”为标题的专门章节中加以详细描述。最终形成设备采购技术协议。

1.1.4 本设备技术规范书所使用的标准如遇与供方所执行的标准不一致时，按较高标准执行。

1.2 设备设计、制造执行的标准和规范

包覆层厚度及光学各向异性检测系统的设计、制造、安装、实验、检测、包装严格执行以下（但不限于）标准，本项目中以下所述标准未涵盖或已更新的部分均按国家相关标准执行。

GB/T6948-2008	煤的镜质体反射率显微镜测量方法
GB/T8899-1998	煤的显微组分和矿物测定方法
GB50168-2018	电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
GB50054-2011	低压配电设计规范
GB 5226.1-2008	机械电气安全机械电气设备
GB18209.1/2/3-2010	机械安全、指示、标志和操作
GB 50169-2016	电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
GB/T 20878-2007	不锈钢和耐热钢牌号及化学成分
GB/T 16938-2008	紧固件螺栓、螺钉、螺柱和螺母通用技术条件
GB/T13306-2011	标牌

1.3 工艺过程

本系统主要用于包覆燃料颗粒包覆层厚度及光学各向异性检测，其工作流程为：

1.3.1 包覆燃料颗粒各层厚度检测

- （1）将制备好的金相样品放置在金相显微镜的 10 倍物镜下，拍照获得一定数量的单颗粒图片，要求每个颗粒完整且与周围颗粒相切；
- （2）使用图像处理软件对图片进行分析，获得单个颗粒各层厚度的测量值，统计全部颗粒各层厚度的均值和标准偏差，用于表征该批次样品的各层厚度测量结果。

1.3.2 致密热解炭层光学各向异性检测

- （1）使用反射率标准样品对显微光度计进行校准，获得仪器校正系数；
- （2）将制备好的金相样品放置在显微光度计载物台上，选择 50×物镜，分别在入射光偏振方向为 0° 和 90° 时，测量包覆颗粒内外致密层该的反射率值；
- （3）通过不同偏振方向获得的反射率值和仪器校正系数计算得到单个颗粒内外致密层的各项异性度；
- （4）测量一定数量颗粒的各向异性度并计算平均值，用于表征该批次样品各向异性度。

1.3.3 样品信息

- （1）金相样品尺寸：直径约 30mm，样品厚度约 10~15mm，测量面平面度 ≤0.8mm，底部或侧面刻有二维码，尺寸约 5cm*5cm；
- （2）反射率标样：方形，35mm*35mm*10mm（长*宽*高）。

2 系统名称、型号、规格、数量

设备名称：包覆层厚度及光学各向异性检测系统；
数量：1 套；
型号：非标。

表 1 系统主要硬件组成、数量及用途

序号	名称	数量	单位	用途
1	包覆颗粒各层厚度检测系统	5	台	用于包覆颗粒各层厚度的测量
2	致密热解炭层光学各向异性检测系统	5	台	用于包覆颗粒内外致密层光学各向异性度的测量

3 系统功能及技术参数

3.1 系统功能

3.1.1 包覆颗粒各层厚度检测系统

本系统用于包覆颗粒各层厚度检测，通过自动上、下料机构与 AGV 小车的自动对接，将金相样品料盘自动转移至样品缓冲工位后，再将金相样品逐个转移至测量工位上，完成自动扫码，即可开始各层厚度的测量。使用金相显微镜对金相样品中的包覆颗粒进行自动扫描和图像采集后，由图像处理软件先后完成颗粒图像的可测性分析、图像分割、各层厚度测量统计等，最终生成检测记录并将数据上传至分析检测集控中心。

3.1.2 致密热解炭层光学各向异性检测系统

本系统用于包覆颗粒内外致密层光学各向异性检测，通过自动上、下料机构与 AGV 小车的自动对接，将金相样品料盘自动转移至待检工位后，再将金相样品逐个转移至测量工位上，完成自动扫码，即可开始各向异性度的测量。使用偏光显微镜对金相样品中的包覆颗粒进行自动扫描和图像采集，由图像处理软件先后完成颗粒图像的可测性分析、图像分割、反射率测量点定位后，最终由偏光显微镜和光度计完成光学各项异性度的测量，最终生成检测记录并将数据上传至分析检测集控中心。

3.2 系统技术参数

3.2.1 包覆颗粒各层厚度检测系统

3.2.1.1 系统整体性能指标

- 1) 设备尺寸：长 $\leq 1.5\text{m}$ ，宽 $\leq 1.0\text{m}$ ，高 $\leq 1.5\text{m}$ ；
- 2) 待检工位数： ≥ 12 个；
- 3) 检测效率：优于 25min/批（每批检测 200 个颗粒）；
- 4) 测量精度： $\leq 1.0\mu\text{m}$ ；

- 5) 颗粒可测性分析准确率：≥95%;
- 6) 颗粒识别错误率：≤3%;
- 7) 分界层打点偏差：≤3 个像素;
- 8) 分界层定位准确率：≥98%;
- 9) 单颗粒测量结果重复性：RSD≤1%;
- 10) 单批次测量结果重复性：RSD≤3%;
- 11) 防震大理石台：厚度≥10cm;
- 12) 稳定运行：可实现 7 天 24h 连续运转。

3.2.1.2 自动上下料单元

1) 扫码机构

- 最小可识别 5*5mm 二维码;
- 对样品上的编码进行识别，准确率≥99%。

2) 机械臂

- 机械运转失误率：≤1%;
- 自由度：≥6;
- 臂展：≥600mm;
- 工作半径：≥500mm;
- 负载：≥3kg;
- 定位精度±0.02mm;
- 额定寿命：≥30000h
- 协同操作安全要求：根据 ISO10218-1: 2011 进行协同操作，具备“安全适用的受监控停止”“拖动示教”以及“功率与力限制”等协作机器人安全功能。

3) 金相样品料盘

- 可存放直径 30mm 的待测样品不少于 12 个;
- 可拓展存放 35mm*35mm 尺寸的两个标样;
- AGV 对接准确率：≥99.9%。

3.2.1.3 图像采集单元

- 1) 物镜：半复消色差-高清物镜（5 X、10 X、20X），5 倍物镜数值孔径（NA）≥0.12; 10 倍物镜数值孔径（NA）≥0.30, 20 倍物镜数值孔径（NA）≥0.50;

- 2) 电控物镜转换器: ≥ 4 孔, 切换速度 $\leq 1s$, 物镜重复切换精度 $\pm 2\mu m$;
- 3) 亮度均匀性: 视野内灰度值应保持一致, 拼接图像无色差;
- 4) 目镜 (选配): 三目镜筒, $10\times$ 目镜, 视场数 ≥ 20 ;
- 5) 像元尺寸: $\leq 3.4\mu m \times 3.4\mu m$;
- 6) CCD 分辨率: ≥ 1200 万像素;
- 7) 视野: 10 倍物镜下, 视野尺寸 $\geq 1200 \times 1200\mu m$;
- 8) 自动载物台: 横向和纵向移动精度 $\leq \pm 2.0\mu m$, Z 轴移动精度 $0.1\mu m$, 最小步长 $\leq 1\mu m$, 重复定位精度 $\leq \pm 2.0 \mu m$ 。

3.2.2 致密热解炭层光学各向异性检测系统

3.2.2.1 系统整体技术参数需求

- 1) 设备尺寸: 长 $\leq 1.5m$, 宽 $\leq 1.0m$, 高 $\leq 1.5m$;
- 2) 待检工位数: ≥ 12 个;
- 3) 检测效率: 优于 30min/批 (每批检测 12 个颗粒);
- 4) 颗粒可测性分析准确率: $\geq 95\%$;
- 5) 测量点定位准确率: 大于等于 99%;
- 6) 系统对中性: 物镜切换前后, 视场中心坐标位置复现性, $RSD \leq 0.5\%$ 。
- 7) 反射率测量精度: $\pm 0.01\%$ 。
- 8) 反射率测量重复性: $RSD \leq 3\%$;
- 9) 防震大理石台: 厚度 $\geq 10cm$;
- 10) 稳定运行: 可实现 7 天 24h 连续运转。

3.2.2.2 自动上下料单元

- 1) 扫码机构
 - 最小可识别 $5*5mm$ 二维码;
 - 对样品上的编码进行识别, 准确率 $\geq 99\%$ 。
- 2) 机械臂
 - 机械运转失误率: $\leq 1\%$;
 - 自由度: ≥ 6 ;
 - 臂展: $\geq 600mm$;
 - 工作半径: $\geq 500mm$;

- 负载：≥3kg;
- 定位精度±0.02mm;
- 额定寿命：≥30000h
- 协同操作安全要求：根据 ISO10218-1: 2011 进行协同操作，具备“安全适用的受监控停止”“拖动示教”以及“功率与力限制”等协作机械人安全功能。

3) 金相样品料盘

- 可存放直径 30mm 的待测样品不少于 12 个;
- 可拓展存放 35mm*35mm 尺寸的三个标样;
- AGV 对接准确率：≥99.9%。

3.2.2.3 图像采集单元

1) 高清物镜：半复消色差-高清物镜（5 X、10 X、20X），5 倍物镜数值孔径（NA）≥0.12；10 倍物镜数值孔径（NA）≥0.30，20 倍物镜数值孔径（NA）≥0.50；

2) 偏光物镜：半复消色差-偏光物镜（半复消色差去内应力物镜）（50X），数值孔径（NA）≥0.8；

3) 50 倍物镜下，视场光阑调节到最小时，其外接圆直径 $20 \pm 3 \mu\text{m}$ ；

4) 电控物镜转换器：≥4 孔，切换速度≤1s，物镜重复切换精度 $\pm 2 \mu\text{m}$ ；

5) 亮度均匀性：视野内灰度值应保持一致，拼接图像无色差；

6) 目镜（选配）：三目镜筒，10×目镜，视场数≥20；

7) 像元尺寸：≤ $3.4 \mu\text{m} \times 3.4 \mu\text{m}$ ；

8) CCD 分辨率：≥1200 万像素；

9) 视野：10 倍物镜下，视野尺寸≥ $1200 \times 1200 \mu\text{m}$ ；

10) 自动载物台：横向和纵向移动精度≤ $\pm 2.0 \mu\text{m}$ ，Z 轴移动精度 $0.1 \mu\text{m}$ ，最小步长≤ $1 \mu\text{m}$ ，重复定位精度≤ $\pm 2.0 \mu\text{m}$ ；

11) 起偏器：自动起偏，调节精度可达 0.1° 。

3.2.2.4 反射率测量单元

1) 检测器：光电倍增管（PMT）；

2) 灵敏度：300mA；

3) 电压范围：包括 1、10、100 和 1000 倍；

- 4) 基线漂移： $< \pm 1\%h$ （开机 2 小时后）；
- 5) 信噪比： $< \pm 0.5\%$ （使用 3%反射率标样和 5Hz 扫描速度）；
- 6) 光度计滤光装置的单色性：滤光装置的透射峰波长范围应在 (546 ± 10) nm，半峰宽小于 30nm；
- 7) 内置照明：2 个白 LED 灯，SMA 规格光导纤维接口；
- 8) 测量波长：可测量 546nm 波长单色光的强度；
- 9) 波长精度： $\pm 1\text{nm}$ 。

4 设备组成、设计及配置要求

4.1 包覆颗粒各层厚度检测系统

系统主要由机壳、自动上下料单元、图像采集单元、监控单元、图像处理及控制系统等组成。

4.1.1 设备总体要求

1) 设备整体应牢固可靠，结构紧凑，最大限度减少占地面积，同时应预留足够的操作、维护及维修的空间，各类配件、工装、电气元件及耗材等应便于拆卸安装。

2) 设备整体采用三级减震设计，即地面减震、工作台面减震、显微镜局部减震，显微镜安装区域采用大理石台面，且与下料机构安装区域结构独立；

3) 机械手运动覆盖区域设置安全光幕，并与机械臂连锁，避免人员误操作等情况带来的安全隐患。

4.1.2 自动上下料单元

4.1.2.1 功能介绍

自动上、下料机构包含：扫码机构、机械臂、金相样品料盘和料盘缓冲工位，用于金相样品料盘和单个金相样品的自动转移。

4.1.2.2 设计要求

1) 可与 AGV 小车自动对接，将金相样品料盘自动转移至样品缓冲工位，并将料盘中的金相样品逐个转移至显微镜载物台上；

2) 单个金相样品检测完毕后可将样品原位返回至料盘中，并将下一个金相样品转移至图像采集单元载物台上；

3) 料盘中全部金相样品均完成检测后，可与 AGV 自动对接完成料盘的自动下料；

4) 料盘结构与缓冲工位和 AGV 小车结构匹配，便于上下料操作；

5) 扫码机构可自动识别待测金相样品底部或侧面的二维码信息，并具备手动扫码功能，操作失败时，可重新进行自动扫码或由操作人员手动扫码。

6) 如图像采集单元载物台上料方式为逐个上料，则需设置压平工位，单个金相样品上料前需进行测量面的压平，如上料方式为批次上料，则金相料盘需具备样品找平功能。

4.1.3 图像采集单元

4.1.3.1 功能介绍

图像采集单元主要结构包括镜体、光源、物镜、载物台、相机、起偏器等，用于包覆颗粒图像的自动扫描、图像采集，获得清晰有效的样品图像信息。

4.1.3.2 设计需求

1) 光路系统：采用无限远光学系统，可同时消除轴向和径向色差；

2) 配置反射光 4 位功能模块盒，具有明场、及偏光观察功能和预留功能位置，功能转换方便，增减功能操作简捷；

3) 配置电动物镜转换器，带有位置编码，可电动调节物镜放大倍数，自动调节各倍数下的光源亮度；

4) 具有物镜放大倍数自动识别功能，切换物镜后控制端自动识别物镜放大倍数；

5) 具备光强管理功能，配有光源专用控制器，当转换物镜时，光强可自动调节至预设的亮度；

6) 照明系统与光源：满足柯勒照明的全消色差反射光路，采用长寿命高亮度 LED 光源，使用寿命 $\geq 50000\text{h}$ ；

7) 配置自动载物台及聚焦控制器，可控制 XYZ 的移动及聚焦，移动速度快慢速可调，也可软件通过软件调节移动及聚焦速度，聚焦精度优于 $0.1\ \mu\text{m}$ ；

8) 相机：具备调整、自动曝光、增益调节、一键单击白平衡、影像色品调整、饱和度调整、伽马校正、亮度调节以及对比度调整等功能。

4.1.4 监控单元

4.1.4.1 功能介绍

监控单元主要由高清摄像头、录像机及显示器等组成，用于设备各关键机构运行状态的监控。

4.1.4.2 设计要求

- 1) 至少配备 1 个高清晰彩色摄像头，监控范围需覆盖自动上下料单元和载物台；
- 2) 将多个视野集成到统一画面，可以同时观察到各机构的运行状态，需观察局部机构的运行状态时，可切换显示画面并放大观察；
- 3) 监控视频保留至少 30 天。

4.1.5 图像处理及控制系统

4.1.4.1 功能介绍

用于整体检测系统的流程控制、图像采集处及数据处理。由定位标记、可测性分析、图像自动采集、各层厚度测量、数据处理与检索、手动测量等功能模块组成。人机交互界面可显示图像采集和处理过程，可直观展示颗粒表面地图模型、图像采集、图像分割及测量等实时信息，可设置样品信息及检测参数设置等，并预留人为调整界面。

4.1.4.2 设计要求

- 1) 定位标记
 - 通过确定金相样品中心位置，建立坐标系，自动标记并记录金相样品中全部颗粒的坐标位置；
 - 在已建立的坐标系内，规划遍历扫描路径，对金相样品进行整体扫描，并完成图像拼接，建立样品表面地图模型，并给出每个颗粒的坐标值；
 - 不同瓷相样品的颗粒坐标值需按样品批号进行保存，结合样品夹持工装及标记的方式，保证瓷相样品重新上机测量时其包覆颗粒与保存的坐标值一一对应；
 - 图像拼接后无肉眼可见拼接痕迹和拼接色差。
- 2) 可测性分析
 - 可对瓷相样品中颗粒的可测性进行判断，同时记录可测颗粒的坐标值。

选出的可测颗粒需同时满足核芯及包覆层完整且与周围至少一个颗粒相切的标准。

- 颗粒相切性算法：相邻颗粒外边缘的两弧线间最短距离；
- 颗粒相切标准： $\leq 15\mu\text{m}$ ，该参数可设置；
- 颗粒完整性：核芯未脱落且完整、各包覆层无明显脱落和裂纹、各层分界线清晰且结合紧密；
- 可测颗粒需同时满足相切性和完整性要求；
- 需增加人机交互的深度学习算法训练模块，图像采集后，人工挑选出不满足颗粒完整性要求的颗粒，并保存至数据库中用于识别算法的训练。通过人机交互的训练过程，可逐步完成机器学习算法。

3) 图像自动采集

➤ 按照定位标记及可测性分析模块给出的可测颗粒位置信息，控制载物台及调焦机构对可测颗粒图像进行扫描、聚焦及采集，最终完成可测颗粒的图像拍摄并保存；

- 图像清晰度：包覆颗粒、核芯边缘及各层分界轮廓清晰；
- 成像位置：包覆颗粒整体轮廓全部处于视场中。

4) 各层厚度测量

➤ 包覆颗粒图像自动采集过程中，各层厚度测量模块同步运行，对已采集的可测颗粒图像进行快速的分割和测量；

➤ 各层厚度测量：完成对核芯质心的定位并提取包覆颗粒各层分界轮廓，过核芯质心等角度设定 12 条（可设置）测量线，计算测量线与各层分界交点之间的间距，用于表征该批次样品的各包覆层厚度；

- 测量线可旋转已避开裂纹等因素干扰；

➤ 统计可测颗粒的半径、各层厚度值，并计算均值及标准偏差，最终生成检测记录。

5) 数据处理与检索

- 检测数据与样品批次、颗粒坐标、颗粒图像一一对应，便于检索。
- 检测人员在设备运行过程中，可同步进行数据、图像的检索查看，针对打点偏移、识别错误的图像可以人为调整打点位置或删除图片，系统可自动更新

对应检测数据；

➤ 检测数据、颗粒图像、颗粒坐标等信息可上传至分析检测集控系统，检测人员可在集控系统软件中快速查询历史数据、检测记录等。

6) 手动测量

➤ 在自动检测故障或需进行单独颗粒测量时，可启用该功能；

➤ 实时预览、拍照：可预览显微镜下样品状态，并进行实时拍照；

➤ 具备三点定圆心、建立十字坐标系、设定测量线、标出各层分界交点、计算各层厚度值、导出测量记录等功能。

4.2 致密热解炭层光学各向异性检测系统

系统主要由机壳、自动上下料单元、图像采集单元、反射率测量单元、监控单元、图像处理及控制系统等组成。

4.2.1 设备设计要求

1) 设备整体应牢固可靠，结构紧凑，最大限度减少占地面积，同时应预留足够的操作、维护及维修的空间，各类配件、工装、电气元件及耗材等应便于拆卸安装。

2) 设备整体采用三级减震设计，即地面减震、工作台面减震、显微镜局部减震，显微镜及光度计安装区域采用大理石台面，且与下料机构安装区域结构独立；

3) 机械手运动覆盖区域设置安全光幕，并与机械臂连锁，避免人员误操作等情况带来的安全隐患。

4.2.2 自动上下料单元

4.2.2.1 功能介绍

自动上、下料机构包含：扫码机构、机械臂、金相样品料盘、料盘缓冲工位，用于金相样品料盘和单个金相样品及反射率标样的自动转移。

4.2.2.2 设计要求

1) 可与 AGV 小车自动对接，将金相样品料盘自动转移至样品缓冲工位，并将料盘中的金相样品逐个转移至显微镜载物台上；

2) 单个金相样品检测完毕后可将样品原位返回至料盘中，并将下一个金相样品转移至图像采集单元载物台上；

3) 料盘中全部金相样品均完成检测后，可与 AGV 自动对接完成料盘的自动下料；

4) 料盘结构与缓冲工位和 AGV 小车结构匹配，便于上下料操作；

5) 扫码机构可自动识别待测金相样品底部或侧面的二维码信息，并具备手动扫码功能，操作失败时，可重新进行自动扫码或由操作人员手动扫码。

6) 如图像采集单元载物台上料方式为逐个上料，则需设置压平工位，单个金相样品上料前需进行测量面的压平，如上料方式为批次上料，则金相料盘需具备样品找平功能。

4.2.3 图像采集单元

4.2.3.1 功能介绍

图像采集单元主要结构包括镜体、光源、物镜、载物台、相机、起偏器等，用于包覆颗粒图像的自动扫描、图像采集，获得清晰有效的样品图像信息。

4.2.3.2 设计要求

- 1) 光路系统：研究级偏光系统，光路内置石英透镜，光路及镜头均采用消除内应力的组件，并提供证明资料；
- 2) 配置反射光 4 位功能模块盒，具有明场、及偏光观察功能和预留功能位置，功能转换方便，增减功能操作简捷；
- 3) 配置电动物镜转换器，带有位置编码，可电动调节物镜放大倍数，自动调节各倍数下的光源亮度；
- 4) 具有物镜放大倍数自动识别功能，切换物镜后控制端自动识别物镜放大倍数；
- 5) 具备光强管理功能，配有光源专用控制器，当转换物镜时，光强可自动调节至预设的亮度；
- 6) 照明系统与光源：满足柯勒照明的全消色差反射光路，采用长寿命高亮度 LED 光源，使用寿命 $\geq 50000\text{h}$ ，亮度均匀性优于全视场范围内 90%，应采用有足够亮度、且输出稳定的光源；
- 7) 光源可根据测试要求进行自动开启关闭，同时具备光强记忆功能，各操作环节光强设定后，可根据测试要求自动切换；
- 8) 配置自动载物台及聚焦控制器，可控制 XYZ 的移动及聚焦，移动速度速

可调，也可软件通过软件调节移动及聚焦速度，聚焦精度优于 $0.1\ \mu\text{m}$ ；

9) 相机：具备调整、自动曝光、增益调节、一键单击白平衡、影像色品调整、饱和度调整、伽马校正、亮度调节以及对比度调整等功能；

10) 自动起偏：可电动切换偏光角度，进行 0° 和 90° 的自动转换，调节精度可达 0.1 度，此处切换的镜片应为同一个偏光镜片；

11) 光路对中性核查：可对系统对中性进行定期核查，当对中性不满足要求时提醒人员进行手动调节。对中性要求包括目镜十字线中心、光源中心、视场光阑中心、孔径光阑中心、光度计测量光阑中心五个中心点的对中；

12) 视场光阑自动调节：可进行视场光阑大小的自动调节；

13) 需配置红外截止滤片；

14) 镜头接口：可与光度计分光器连接，光度计分光器接口参数参考：直径 3cm ，高度 1.2cm ；

15) 电动载物台、电动聚焦、电动物镜转盘、LED 照明光源、偏光组件、光阑配有专用的控制器，可实现通讯协议调用，可通过软件自定义编辑调用，来上述硬件的控制。

4.2.4 反射率测量单元

4.2.4.1 功能介绍

用于样品反射率的测量。

4.2.4.2 设计要求

1) 可以与显微镜兼容，测量光阑可调节，内置 C 型适配器，可以连接显微镜上的相机；

2) 可接受 $546\text{nm} \pm 10\text{nm}$ 反射光到 PMT 检测器；

3) 符合 ASTM D2789-99 和 ISO74045 国际标准；

4) 快门和滤光转换器：连接显微镜主机和显微镜反射光光源，快门开关可自动控制；

5) 自带软件可储存、输出、处理检测数据。

4.2.5 监控单元

4.2.5.1 功能介绍

监控单元主要由高清摄像头、录像机及显示器等组成，用于设备各关键机构

运行状态的监控。

4.2.5.2 设计要求

- 1) 至少配备 1 个高清晰彩色摄像头，监控范围需覆盖自动上下料单元和载物台；
- 2) 将多个视野集成到统一画面，可以同时观察到各机构的运行状态，需观察局部机构的运行状态时，可切换显示画面并放大观察；
- 3) 监控视频保留至少 30 天。

4.2.6 图像处理及控制系统

4.2.6.1 功能介绍

用于整体检测系统的流程控制、图像采集处及数据处理。由定位标记、可测性分析、图像自动采集、反射率测试、数据处理与检索、手动测量等功能模块组成。人机交互界面可实时显示图像采集和反射率测量过程，可直观展示颗粒表面地图模型、图像采集、反射率测量等实时信息，可设置样品信息及检测参数设置等，并预留人为调整界面。

4.2.6.2 设计要求

- 1) 定位标记
 - 通过确定金相样品中心位置，建立坐标系，自动标记并记录金相样品中全部颗粒的坐标位置；
 - 在已建立的坐标系内，规划遍历扫描路径，对金相样品进行整体扫描，并完成图像拼接，建立样品表面地图模型，并给出每个颗粒的坐标值；
 - 不同瓷相样品的颗粒坐标值需按样品批号进行保存，结合样品夹持工装及标记的方式，保证瓷相样品重新上机测量时其包覆颗粒与保存的坐标值一一对应；
 - 图像拼接后无肉眼可见拼接痕迹和拼接色差。
- 2) 可测性分析
 - 可对瓷相样品中颗粒的可测性进行判断，同时记录可测颗粒的坐标值。选出的可测颗粒需同时满足核芯及包覆层完整且与周围至少一个颗粒相切的标准。
 - 颗粒相切性算法：相邻颗粒外边缘的两弧线间最短距离；

- 颗粒相切标准： $\leq 15\mu\text{m}$ ，该参数可设置；
- 颗粒完整性：核芯未脱落且完整、各包覆层无明显脱落和裂纹、各层分界线清晰且结合紧密；
- 可测颗粒需同时相切性和完成性要求；
- 反射率测量区：以核芯质心为中心，过中心设定相互垂直的两条测量线，在测量线与内、外致密层居中位置的交汇处，选定约 $4\mu\text{m} * 4\mu\text{m}$ 的区域作为反射率的测量区；
- 对可测颗粒反射率测量区内的黑点比例进行分析，若满足测试要求则标定为测量区并记录其坐标信息，若不满足测试要求，则就近搜索可测区域；
- 需增加人机交互的深度学习算法训练模块，图像采集后，人工挑选出不满足颗粒测量要求的颗粒及反射率测量区，并保存至数据库中用于识别算法的训练。通过人机交互的训练过程，可逐步完成机器学习算法。

3) 图像自动采集

- 可测颗粒图像采集：按照定位标记及可测性分析模块给出的可测颗粒位置信息，控制载物台及调焦机构对可测颗粒图像进行扫描、聚焦及采集，最终完成可测颗粒的图像拍摄并保存；
- 反射率测量区图像采集：按照定位标记及可测性分析模块给出的反射率测量区位置信息，在反射率测量过程中，同步完成反射率测量区图像的拍摄并保存；
- 图像清晰度：可测颗粒和反射率测量区轮廓清晰；
- 成像位置：包覆颗粒整体轮廓全部处于视场中，反射率测量区处于内、外致密层居中位置。

4) 反射率测量

- 仪器校准：首次开机或连续运行一定时间（可设定）后，需进行反射率测量单元的自动校准，获得仪器的校正系数，校准结果满足要求后方可开始样品反射率的测量；
- 样品测量：按照定位标记及可测性分析模块给出的反射率测量区位置信息，对可测颗粒的反射率测量区进行测量；
- 仪器校准和样品测量过程中，标准样品的转移和更换、图像采集单元的

聚焦、视场光阑调节、光源亮度调节、光源的开关及起偏角度的切换以及反射率测量单元的开关、通道的切换、反射率的测量等环节均为自动控制，整个过程无需人为干预；

➤ 分别记录入射光偏振方向为 0° 和 90° 时每个颗粒的反射率值，两则相比单个颗粒的光学各项异性度值，除以仪器校正系数即可获得单个颗粒的光学各项异性因子，计算全部颗粒的均值，用于表征该批次样品的光学各向异性因子。

5) 数据处理与检索

➤ 检测数据与样品批次、颗粒坐标、颗粒图像一一对应，便于检索。

➤ 检测人员在设备运行过程中，可同步进行数据、图像的检索查看，针对测量区偏移、识别错误的图像可以人为删除图片，系统可自动删除对应检测数据；

➤ 检测数据、颗粒图像、颗粒坐标等信息可上传至分析检测集控系统，检测人员可在集控系统软件中快速查询历史数据、检测记录等。

6) 手动测量

➤ 在自动检测故障或需进行单独颗粒测量时，可启用该功能；

➤ 可手动操作软件及各硬件单元完成仪器的校准及样品的测量，自动生成检测记录。

7) 多种测试模式

➤ 包含多种测试模式可选，分别包括各层厚度测量模式、各向异性测量模式、一体化测量模式；

➤ 各层厚度测量模式：具备 4.1.5 中全部功能要求；

➤ 各向异性检测模式：具备 4.2.5 中 1) 至 6) 项全部功能要求；

➤ 一体化测量模式：在各层厚度测量过程中的可测性分析中同步完成可测颗粒中反射率测量区的分析并给出位置信息，10 倍物镜下完成各层厚度的测量后，切换至 50 倍物镜启动各项异型称量模式；

➤ 测量完成后，分别自动生成各层厚度和各项异性检测记录。

4.3 主要配置要求

4.3.1 设备外观

设备主色调为 RAL 色卡-7035，外形美观大方，外表面可采用静电粉末喷涂工艺处理，涂层应具有良好的吸附力，表面涂层应均匀、牢固，不应有气泡、挂

漆、擦伤剥落、锤痕等缺陷。

4.3.2 材质、部件配置要求

- 1) 对设备检测精度有较突出影响的定位部件，需有调节机构以利于快速调节、快速锁紧；
- 2) 所用衔接部件均采用耐腐蚀材料或防腐蚀处理；
- 3) 设备基座稳定可靠，并装备有可调地脚等机构，利于对设备进行安置调平；
- 4) 机械臂运动区域设置有坚固、利于观察和维修的护栏或护罩；
- 5) 观察窗除特殊要求外，均采用钢化玻璃材质；
- 6) 所采用传感器及显示仪表，均应采用国际单位制显示参数；
- 7) 所采用连接螺纹、紧固件、气管等均应采用公制产品，管螺纹可采用硬制螺纹；
- 8) 运动控制部件如变频器、伺服控制器、伺服电机等参照西门子、欧姆伦或三菱品牌；
- 9) 所用扫码枪，采用霍尼韦尔、基恩士、康耐视或其他性能相当的品牌；
- 10) 电磁阀、气动三联件、减压阀、快插接头、气压表等气动部件参照 FESTO、SMC、ASCO 品牌，配用同品牌传感器；
- 11) 低压电器参照施耐德、西门子、德力西品牌或其它性能相当的品牌；
- 12) 各机械运动部件、气缸等配置到位连锁保护传感器及保护部件安全的限位保护装置；
- 13) 包覆颗粒各层厚度检测系统图像采集单元参照莱卡 DM4M、蔡司 Scope5、系列、奥林巴斯 BX53M 系列或其他性能相当的品牌型号；
- 14) 致密热解炭层光学各向异性检测系统图像采集单元参照莱卡 DM6M、蔡司 Imager 系列、奥林巴斯 BX53M 系列或其他性能相当的品牌型号；
- 15) 所用机械臂参照敖博、节卡、新松或其他性能相当的品牌型号；
- 16) 图像采集单元需配置交流稳压电源，品牌参照德力西、正泰、上海人民或其他性能相当的品牌型号。

4.3.3 电气控制系统

4.3.3.1 电气系统配置要求

由控制系统和工控机等组成。关于本装置配套的控制系统其他相关要求详见《工程工艺系统（或设备）配套控制系统技术与接口要求》，上位机、触摸屏组态画面设计要求详见《工程监控画面设计规定》。

1) PLC 控制系统

设备配属的 PLC 控制系统应至少预留至少 30% 的模拟量（如有）和数字量输入输出点，为后续改进或数据传输预留接口。

2) 工控机及 HMI 系统

➤ 设备配属必要的工控机、HMI 设备及实体按钮进行操作。应能利用配属的 HMI 界面、工控机显示屏及实体按钮完成模式切换、手动、启停、故障处理、故障诊断、急停等功能操作；

➤ 工控机系统主要用来监控、显示、记录，同时实现在线参数设定、实时工艺模拟显示、结果显示和报警显示处理等功能；

➤ 工控机操作系统参照 windows 7 系统，组态软件推荐使用西门子 WINCC 软件开发上位机监控程序，并支持 OPC UA 功能，要求正版开发及组态软件授权（使用硬件加密狗），工控机硬件配置至少满足《工程工艺系统（或设备）配套控制系统技术与接口要求》中的标准。此外，工控机预留至少 3 个独立 MAC 地址的网口。

➤ 设备控制程序设置管理员与操作员两级密码，设备管理员为最高权限，可以进行所有参数的设置和操作。

4.3.3.2 设备和数据采集系统通讯接口要求

设备供方须为需方分析检测信息化系统调试，提供满足数据采集要求的通讯接口和数据，并提供人力、物力支持，直至满足需方信息化系统对设备的数据采集、控制要求。具体要求如下：

1) 通讯接口要求

➤ 内部通讯协议优先使 PROFINET/MODBUS-TCP 通讯协议，其次可使用 MODBUS-RTU/PROFIBUS-DP 系列协议、OPC-UA 协议，若使用 OPC-UA 协议需要设备厂商开放授权且提供技术支持。

➤ 为使成套设备能够与分析检测集控中心进行数据交互，要求 PLC 与外部设备的通讯协议统一采用 MODBUS-TCP 协议。

➤ 硬件接口要求：在硬件接口方面，要求设备所使用的 PLC、上位机等硬件需具备至少两套互相独立的网络硬件（即 PLC 配有单独 CP 通信模块，上位机配有双网卡），用于与本工程信息化系统进行对接，其中上位机须支持 OPC UA 协议，PLC 支持 MODBUS TCP 协议。

➤ PLC 程序要求：供应商需提供设备交付时的终版 PLC 原始程序、组态画面原始程序，并不得对相关程序进行加密或限制，并提供相应的编程软件及编程电缆，设备所使用的所有软件及硬件均应为无限制的永久授权（需提供硬件加密狗），不得使用破解版、有期限版软件，可使用光盘备份程序以及编辑及修改程序所需要的全部软件。

➤ PLC 程序点地址：供应商需提供设备详细的 PLC 点位地址，并提供对应点位的详细注释说明。

➤ PLC 报警信息说明：需提供详细的 PLC 报警信息说明，并提供对应的处理建议。

➤ 端口号要求：控制器需对外开放两个及以上软件端口号，同时支持直接和外部通信；

➤ 设备通讯模块、PLC、上位机等硬件 IP 地址、网关等网络配置信息需按照需方要求进行统一配置；

➤ 设备在安装调试过程中，应预留信息系统的接口并完善相应 PLC 程序逻辑。

➤ 其他要求：设备可以接收数据采集系统的指令，执行进行相应的控制，并满足公司《工程工艺系统（或设备）配套控制系统技术与接口要求》。

2) 采集数据要求

➤ 设备应留有数据采集、控制等功能接口。设备主要提供运行状态数据、报警数据、以及必要的控制；采集原则为“应采尽采”，即设备所产生的所有的输入输出变量、中间变量、图像等均应具备采集功能。

➤ 分析检测集控中心对设备的正常运行产生影响，所有外部通讯点位应存储于单独的数据块中，对此数据块中的数据进行修改，不应对设备的正常运行产

生任何影响。

➤ 对于影响到设备安全运行的重要信号（如：射线源开关、传输线缓冲区上下料等），分析检测集控中心与设备间的信号交互方式为硬接线，工艺成套设备应使用信号分配器等方式为分析检测集控中心预留硬接线端子。

➤ 设备应预留足够点位，以满足分析检测集控中心对设备远程控制的需要，同时，在控制逻辑方面至少应包含启动、停止、复位、急停四种信号。

➤ 设备参数信息除了提供设定值外，还需提供实时数据；

➤ 提供的 PLC 点位需尽可能详细，数据类型采用通用数据类型，数据点位应说明单位；

➤ 系统运行状态数据：包括但不限于设备名称、设备编号、开关机信号、故障信息（故障码）、故障描述，设备运行（设备整体或关键零部件）等数据；

➤ 系统运行参数数据：包括但不限于检测批次统计、设备运行率，设备故障率等数据；

➤ 检测数据：包括但不限于检测开始及结束信号和时间、产品批号及编码，人员编号、产品数量、检测结果、不合格球体图像等；

➤ 如数据来源于外部，需要根据公司要求采用人工录入或者扫码等方式录入，保证数据传递的完整性；

➤ 基础资料：包括但不限于工业模型设计源文件（.x_t、STEP、SLDPRT 等格式）、设备检测过程视频文件、高清图片等资料。系统提供数据内容和格式需满足上层信息化系统的需求。

➤ 其他要求须满足《工程工艺系统（或设备）配套控制系统技术与接口要求》。

4.3.3.3 工控机配置要求

1) 图像采集处理工作站

➤ 数量：10 台（配合检测系统使用）；

➤ CPU：i7-13700KF(或更优)；

➤ 固态硬盘：500GB 或以上；

➤ 内存：32G 或以上；

➤ 显卡：NVIDIA GeForce RTX -3060Ti12G 或以上；

- 显示屏：联想 27 英寸 1 个；
- 配备网络拓展卡，网口 3 个；
- USB 接口 3 个；
- 机械硬盘 10TB，数量不少于 10 个，检测结果照片需存放 5 年以上，匹配存量硬盘。

2) 数据处理服务器

- 用途：远端数据集中处理；
- 数量：2 台；
- CPU：12 核；
- 内存：64G；
- 显示屏：联想 27 英寸 1 个；
- 固态：1T；
- 机械硬盘：128T（8*16T，可拓展至 256T）；

4.3.4 安全报警及联锁保护系统

应包含下表 1 所列的报警装置和联动装置用来系统控制，自动执行相应的保护措施。

表 1 装置安全报警联锁表

序号	设备名称	报警内容
1	包覆颗粒各层厚度检测系统	AGV 对接失败
		单个样品上料失败
		机械部件过载、断路
		物镜转换故障
		载物台移动故障
		光路系统异常
2	致密热解炭层光学各向异性检测系统	AGV 对接失败
		单个样品上料失败
		机械部件过载、断路
		物镜转换故障

		载物台移动故障
		光路系统异常
		反射率测量单元异常
3	其他	压缩空气压力过低（如有）
		通信故障
注： 以上报警内容出现时，如有防错设计，系统启动防错机构，设备不停止运行，如无防错设计且对后续工序运行会造成风险或存在安全风险的情况下，设备需停止运行，并根据具体报警内容提供设备故障诊断处理信息，用户可以根据信息提示处理设备故障。		

4.4.5 工控信息安全的相关要求

设备自带的上位机终端应具备安装工控信息安全终端防护软件的能力，应自带工业防火墙或安全接入网关等，能够实现在与分析检测集控中心或其他工程信息化系统交互过程中，实现边界防护的能力。关于工控信息安全的其他要求，具体要求详见《工程工艺系统（或设备）配套控制系统技术与接口要求》。

4.3.6 随机附件

随机附件应包含以下（但不限于）部分：

- 可自动调节视场光阑：2个；
- 自动起偏器：2个；
- 50倍偏光物镜：2个；
- 所用金相样品料盘：30个；
- 反射率测量单元：1套；
- 校准所用反射率标准样品（Yttrium- Aluminium- Garnet）：6个，带检定/校准证书；
- 校准所用反射率标准样品（Strontiumtitanate）：6个，带检定/校准证书；
- 校准所用反射率标准样品（spirel）：6个，带检定/校准证书；
- 像素校准工装：经专业机构检定/校准合格的物镜微米尺及相关工装2套，带检定/校准证书；
- 对中校准验证工装：经专业机构检定/校准合格的标准圆微米尺及相关工装2套，带检定/校准合格证书；
- 设备光源：≥10个；

- 设备所用电动载物台及相关配件1套；
- 设备所使用气缸、电磁阀，每种3件；
- 设备所使用仪表、传感器，每种各3套；
- 设备所使用软道、气管、电线、线槽、快插接头等耗材1套；
- 非标工装：在装置组装过程中涉及的非标配件及工装、消耗材料需提供图纸及2套同标准备件；
- 提供全部非标工装图纸（带编审批）、备品备件清单、规格型号、货号、参考单价、采购联系人等信息；
- 相含量分析软件一套：基于图像处理技术，识别物相轮廓，对不同物相进行染色处理，进行含量计算；
- 维修专用工具2套,用于维修安装设备使用,第一套含58件机械维修套组,需包含：320W交流电钻、冲击钻头、麻花钻头、木工钻头、碳刷2副、6寸迷你锯弓、0.5LB羊角锤、8寸活动扳手、6寸碳钢老虎钳、5M卷尺、9间卫星螺丝批组套、6×100mm一字螺丝刀、3×75mm一字螺丝刀、#2×100mm十字螺丝刀、3×75mm0#十字螺丝刀、145mm试电笔、165mm美工刀、4-5-6-8mm螺丝零件、塑料零件盒、美工刀片10片、电工胶布、防水胶布；第二套含35件机械维修套组，320W交流电钻、冲击钻头、麻花钻头、木工钻头、100mm美工刀、3M卷尺、6×100mm一字螺丝刀、#2×100mm十字螺丝刀、3×75mm一字螺丝刀、#0×75mm十字螺丝刀、活动扳手8寸、9间内六角扳手（1.5-10mm）、145mm试电笔、零件盒6个、电工胶布；
- 打印机：1台，惠普M281fdn彩色激光一体机，带4套全系墨盒。

5 设备外部接口条件和要求

- 5.1 厂房已配套排风系统；
- 5.2 厂房湿度：相对湿度≤85%；
- 5.3 环境温度：10~40℃；
- 5.4 电源：动力电源 三相 AC 220V ±10%电源频率 50Hz±1Hz；
- 5.5 压缩空气：（0~0.6）MPa。

6 安全生产标准化要求

6.1 电气部分

6.1.1 安装接线规范，绝缘材料无破损，接线牢固可靠、线束横平竖直、层次分明、整齐美观。

6.1.2 开关、仪表、接地、回路等标识齐全完整、柜门跨接接地、线缆颜色正确、图纸与实际相符。

6.1.3 其它参考低压开关设备和控制设备国家标准。

6.1.4 外露线缆有护套管且与设备/部件连接处配置配套接头，接头根据使用环境要求，采用防水型、防爆型或者葛兰头等形式。

6.1.5 控制柜按钮标识清晰、标识与控制功能相符，标识符合需方生产现场标识管理要求。

6.2 仪控部分

6.2.1 仪表齐全，设备仪表指示正常、工作正常，在有效期内。

6.2.2 控制线缆接线规范，报警联锁、报警灯笛等系统有效。

6.2.3 按钮标识清晰、标识与功能相符，标识符合需方生产现场标识管理要求。

6.3 机械部分

6.3.1 设备传动灵活，稳定可靠，润滑或密封完好，无异常声响。

6.3.2 安全防护装置齐全有效。电机、齿轮、链条等旋转部件设置安全防护罩，防护罩应有足够的强度，厚度大于 1mm，并有明显旋转标识。

6.3.3 机械设备的行程限位、保护装置、安全联锁、报警装置、紧急制动装置和附件等完好、可靠。

6.3.4 急停按钮位置符合要求，灵敏、醒目、有效。

6.4 其它

6.4.1 设备外观完好。本体无磨损变形等情况；管道、阀门等无气体渗漏；螺栓齐全紧固，垫片数量、安装方向，螺栓露头长度等符合螺栓连接基本要求。外露线缆有护套管且与设备/部件连接处配置配套接头。

6.4.2 设备标识齐全。管道、阀门等标识符合需方生产现场标识管理要求

6.4.3 设备卫生干净，内外部卫生干净清洁。

7 质量保证要求

7.1 制造质量

7.1.1 供方应按照 GB/T19001 质量保证要求或等效标准建立适用于合同产品制造的质量保证体系，合同产品制造过程必须按质保要求进行，确保对所承担的各项工作质量进行有效控制，使之达到规定的质量要求。

7.1.2 投标方需在投标文件中列出详细的设计方案，以证明满足第 3、4 章节的要求。设计方案完成后应经需方的设计评审，需方同意后方可进行加工。

7.1.3 本系统涉及的标准配件都应附出厂合格证书或检测报告，合同产品所涉及的计量器具（测量设备）均需附带国防一级或国防二级计量技术机构出具的证书（加盖国防计量技术机构印章），其他仪表均出具校准证书。

7.1.4 需方有权派代表到供方进行合同产品制造的过程监督，供方应为需方实施的过程监督提供便利。对于需方在监督中提出的问题，供方应及时给予答复和解决，必要时进行原因分析，制定纠正措施，直至问题得到处理和关闭。如交货期受到影响，需方有权追究赔偿损失。

7.1.5 供方应对合同产品制造过程的所有质量记录（制造、检验）进行保存，需方有权查阅和要求供方提供。

7.1.6 合同产品相关部件制造完毕，需在生产厂商组装、运行测试的，供方应编制合同产品的预验收（源地验收）大纲，并提交需方审核认可后执行出厂验收，验收通过后方可发货。

7.1.7 合同产品交付时应提交全套质量证明文件，质量证明文件按本技术规范要求执行。

7.2 安装质量

设备运抵需方现场后，由设备供方技术人员在现场进行指导安装。

供方应编制安装调试大纲，提交需方审核后实施，安装调试的结果应形成报告。若安装调试指标不合格，则供方应在限定时间内解决，并提供再次验证合格的证据，相关费用由供方承担。如供方提供的设备技术性能达不到要求造成验收失败或超期完成验收，需方有权追究赔偿损失。

8 培训

8.1 培训方式

厂家专业培训（包含现场调试培训）。

8.2 培训内容

设备供方从设备安装开始对需方人员全程进行培训，培训内容包括：

设备的基本理论、基本操作方法，设备的各种技术性能、设备的安全操作规程、设备的日常维护保养及定期维护保养、设备的故障分析及处理、设备的控制系统和 PLC 程序应用。使操作者能够熟练掌握生产线设备的调整和操作技能，掌握机器的日常保养和一般故障的修理排除，了解生产注意事项等内容，达到独立操作、保养和维护的水平。

8.3 培训时间

安装调试开始后至设备验收前，设备供方完成上述内容培训。

8.4 培训人员

培训人数由设备需方确定，包括管理人员、现场操作人员和维修人员。

9 技术资料明细

9.1 设计说明及计算资料

设备厂家需在投标文件中提供以下资料：

- 1) 装置成像精度的计算说明，应综合考虑顶点盲区及旋转角度，并给出最大盲区尺寸；
- 2) 装置整体检测效率的计算说明；
- 3) 装置关键机构的验证报告。

9.2 资料明细

序号	项目	数量
一	设备制造阶段资料	

1	设计方案（合同签订后 25 天）	1 份
2	设备基础图（方案评审后 10 工作日）	1 份
3	设备平面布置图（方案评审后 10 工作日）	1 份
4	设备外部接口条件（方案评审后 10 工作日）	1 份
二	预验收阶段资料	
1	预验收大纲（源地验收前一周）	1 份
2	预验收报告（源地验收后 2 日内）	1 份
三	设备随机资料	
1	装箱单	2 份
2	产品合格证，包括整机合格证、外购件出厂合格证等	1 套原件 1 套彩印
3	设备相关图纸（包括不限于总图、零部件图、电气原理及接线图等）	2 套
4	备品备件清单	2 套
5	易损件清单	2 套
6	主要外购件说明书	1 套原件 1 套彩印
7	外购件清单	2 份
8	主要原辅材料材质证明文件	1 份
9	设备设计计算书	2 份
10	设备配置的仪器仪表及安全装置，附带国防二级及以上计量技术机构出具的检定/校准证书	1 份
四	安装调试阶段	
1	设备开工报审表	2 份
2	企业及人员资质报审	2 份
3	施工方案	2 份
4	设备开箱验收记录	2 份

5	设备安装报审表	2 份
6	设备安装检验记录	2 份
7	设备调试报审记录	2 份
8	设备单体调试记录	2 份
9	设备验收报审表	2 份
10	设备验收报告	2 份
11	产品说明书（含软件操作、维护及故障处理部分）	2 份
12	验收和调试大纲	2 份
13	设备培训记录	2 份
14	电子版 U 盘（包括 CAD 或 CAXA 图纸、控制源程序，附带完整注释的 PLC 控制程序）	2 份

10 验收

设备验收分为源地验收、到货开箱验收和用户现场安装调试验收及质保验收。

10.1 设备源地验收

设备发货前，需方派遣技术人员赴设备制造厂进行源地验收，源地验收依据为双方签订技术协议。源地验收内容主要确认设备制造计划关闭情况，详细如下表所示：

序号	内容	验收标准
1	一致性	设备主要部件与技术协议要求的符合情况。
2	整体外观检查	材料、设备没有损坏，供货范围与双方签订的合同一致（包含备品备件）。
2	文件验收	① 合同中所规定的文件完整无缺（使用说明书，维修图及说明书，备品备件清单）。 ② 设备外购件的合格证、设备合格证等其他按技术协议要求交货时所需提供的资料准备情况。 ③ 相关验证文件。
3	备品备件	按照技术协议要求，交货时所需提供的备品备件准备情况。

4	设备性能	源地验收按照技术协议进行，结果要符合技术要求。
---	------	-------------------------

10.2 设备开箱验收

设备运抵需方安装现场后，在供需双方代表在场的条件下，开箱对照装箱清单对设备、部件及随机文件进行逐一验收登记。如发现部件数量短少、锈蚀、变形、破损，同时质量不符合技术规范所要求的质量标准，供方应负责在 14 日内补充、修理、更换并承担由此产生的费用；如因需方保管不善造成设备的损坏，由供方修复或更换，由此产生的费用由需方负担。

序号	内容	验收标准
1	整体检查	设备部件、配件、备品备件外观完好，设备整体外观完好，供货范围与双方签订的合同一致（包含备品备件），材质满足《技术协议书》的要求。
2	随机资料	按技术协议要求交货时所需提供的资料文件齐全完整。
3	装箱单	装箱单与到货物资一致。

10.3 设备安装调试验收

序号	内容	验收标准
1	设备机械部分	设备机械部分符合技术协议要求
2	设备电气部分	设备电气部分符合技术协议要求
3	设备性能	设备空运转合格，设备负荷运转合格。按照技术协议第三章相关内容要求进行有关精度验收，结果要符合要求。

10.5 设备最终验收合格

在安装调试验收合格后进行终验收（含试生产 1-3 个月），并且在处理完善试生产中发现及整改的各项问题后进行。依据技术协议书对设备的性能指标进行验收，并按照最终验收结果出具最终验收文件。

10.6 质保期验收合格

10.6.1 设备质保期为设备最终验收合格后 12 个月，在此期间由于非人为因素造成故障，所产生的维修费用（含配件更换）和人工费用由供方承担。供方需保证零部件供应和提供维修服务。

10.6.2 如果在保质期内，发现部件的质量或规格与合同规定不符合，或证明货物有缺陷（包括潜在的缺陷或使用不合格的材料等），需方有权向供方提出索赔。

10.6.3 供方应有完备的售后服务团队，设备出现质量问题或硬件故障问题，供方必须在接到信息后 24 小时内积极有效响应，供方将协助需方提供技术支持，尽可能帮助需方人员独立完成一般维修任务。若出现在供方帮助下，需方不能完成的设备故障，供方人员在 1 个工作日内到达需方项目现场，对设备故障进行排除。如因需方使用不当而造成的质量问题，供方须提供服务进行修复，其费用由需方承担。

11 知识产权

该设备为非标准研发类设备，卖方不得私自申报专利、发表文章、申报成果等，必须由双方协商并达成一致后方可实施。

12 供货周期

交货期（到货）：合同生效后 8 个月内；

交货地点：中核北方核燃料元件有限公司。