采购需求

前注：

1.本采购需求中提出的技术方案仅为参考，如无明确限制，投标供应商可以进行优化，提供满足采购人实际需要的更优（或者性能实质上不低于的）技术方案或者设备配置，且此方案或配置须经评标委员会评审认可。

2.投标供应商应当在投标文件中列出完成本项目并通过验收所需的所有各项服务等明细表及全部费用。中标供应商必须确保整体通过采购人及有关主管部门验收；投标供应商应自行踏勘项目现场，如投标供应商因未及时踏勘现场而导致的报价缺项漏项废标或中标后无法完工，投标供应商自行承担一切后果。

3.如涉及商品包装和快递包装，投标人应当执行《关于印发〈商品包装政府采购需求标准（试行）〉、〈快递包装政府采购需求标准（试行）〉的通知》（财办库〔2020〕123号）、《安徽省财政厅关于贯彻落实政府绿色采购有关政策的通知》（皖财购〔2023〕853号）的要求，提供符合需求标准的绿色包装、绿色运输，同时，采购人将对包装材料和运输环节作为履约验收条款进行验收。

4.本章中标注“▲”的产品为主要标的（包括核心产品）。采购人（代理机构）在编制招标文件时必须将采购的主要标的（包括核心产品）标注“▲”。

5.采购需求中：标注▲的产品，投标供应商在投标文件《主要中标标的承诺函》中填写名称、规格、型号、数量、单价等信息，承诺函随评审结果一并公告。

6.如本项目涉及到参考品牌的，参考品牌不得少于三个，对于采购人参考品牌的材料、设备，投标供应商可选用参考品牌或不低于参考品牌技术性能指标的其他品牌；采用其他品牌的应在投标文件中注明并提供相关技术性能指标或业绩等供评标委员会评审，未在投标文件中注明且未提供相关技术性能指标或业绩，或经评标委员会评审未通过的，中标后只能从采购人参考品牌中进行选择，合同价格不予调整。

7.（1）招标投标阶段，如投标供应商对本章无标识条款设置有异议的，请在招标文件规定时间内向采购人或采购代理机构书面提出，否则视为投标供应商同意并接受无标识项条款的全部内容。

（2）合同履行阶段，投标供应商供货时采购人有权核实，如不满足招标文件要求或经整改后仍无法满足采购需求的，采购人有权要求其在指定期限内整改并重新组织验收。经整改后仍验收不合格，采购人有权终止合同，由此产生的一切后果由中标人自行承担。

一、货物需求

序号	货物名称	技术参数及要求	数量（套）	所属行业	是否为节能产品		是否为优先采购环境标志产品	标的性质（货物/服务）	备注
					强制采购	优先采购			
1	超大型高压/温逾屈服承载总成	详见下文	1	工业	否	否	否	货物	

二、技术参数

2.1、设备的主要用途及功能

本项目建设超大型热等静压设备-超大型高压/温逾屈服承载总成主要面向大尺寸包层模块研制需求，可完成大尺寸 RAFM 钢构件内部流道成型、大面积钨-钢异种材料的一体化扩散连接，实现大尺寸、高热载荷包层第一壁的制造；通过建立适配该类聚变结构材料的热等静压工艺规范，填补平台在大尺寸包层部件热等静压制造领域的能力空白，支撑 8 米高包层原型件制造成型，为 CFEDR 关键包层部件研制提供强有力的装备保障。

2.2、供货范围及接口要求

供货数量为 1 套超大型高压 / 温逾屈服承载总成，包含筒体、上下塞及上下塞升降驱动装置、加热隔热系统等主机核心部件。

接口要求：

建设前，乙方需要进行实地踏勘，形成场地大小、地基承载、地坑尺寸、吊装荷载、环境温湿度、用电容量、接地、供气、供水、排水、通风和检修空间要求等相关的接口文档。

2.3、工作条件

（1）安装位置：氚项目园区包层楼包层原型模块先进制造平台大厅。

（2）环境温度：工作温度-20℃到+50℃，放置温度-40℃到+70℃。

（3）厂房面积：长：40 米，宽 30 米，钩下高度＞20 米，内有大于 400 平米深地坑。

（4）环境压力：1 个标准大气压。

（5）环境湿度：30-70%。

（6）供电：设置 5 处 AC380V 供电点，采用 TN-S 接地系统，上进线方式，总供电容量

大于 6800kW。系统配套 UPS 不间断电源，为 PLC、仪表、安全联锁等关键控制回路供电，保障断电后关键测控系统持续工作。

（7）冷却水：外部冷却水流量不小于 600t/h，入口水温不高于 32℃，入口压力为 0.3～0.8MPa。

2.4、技术性能指标要求

2.4.1 总体技术要求

超大型高压 / 温逾屈服承载总成筒体采用预应力钢丝缠绕超高压主机结构，核心有效热区直径≥2600 mm、高度≥4500 mm，工作台最大承载 45 t；最高工作温度 1400 ℃，最高工作压力 150 MPa，可在高纯氩气高温高压环境下完成大型工件固态扩散焊接和铸件的致密化处理。整套系统由主机系统、加热隔热系统、气体加压回收系统、气源气库系统、真空系统、冷却系统、液压系统、电气控制系统八大子系统组成，各子系统通过管路、电气及安全联锁协同完成装料、抽真空、升温升压、保温保压、降温卸压、气体回收、开炉出料全工艺流程。

设备具备多区独立控温、双冗余压力与温度测量、完整工艺自动控制、报警安全联锁、分级权限管理、工艺数据记录追溯等功能；同时针对超高压、高温、高压惰性气体窒息风险、大型机械运动、有限空间地坑作业开展专项安全设计，配置安全阀、爆破片、紧急泄压、氧含量监测、应急冷却发电机组等多重安全保护。

项目设计遵循特种设备相关法规、压力容器、超高压容器等国家及行业标准，设计输出覆盖总体架构、各子系统详细方案、装配方案、安全设计、调试试运行、验收方案、风险识别。设备后续将依次开展冷态液压试验、热态性能试验与试运行，分阶段完成到货安装检查、冷态验收、热态性能验收、最终验收，保障设备满足聚变堆大尺寸包层和偏滤器部件关键连接技术开发的功能与性能指标要求。

设备核心性能指标如下表所示：

序号	指标	目标值/要求
1	有效热区	直径≥2600 mm
		高度≥4500 mm
2	最高工作温度	1400 ℃
3	最高工作压力	150 MPa

4	温度均匀性	≤±10 ℃
5	压力测量精度	≤0.5% F.S.
6	压力控制精度	±1 MPa
7	升压/升温时间	≤16 h
8	冷却时间	≤20h
9	工作台承载	45 t

2.4.2 分系统具体要求：

（1）筒体

缠绕筒体是承受高压的重要部件，筒体的轴向力由上下塞传给框架，筒体不承受轴向力。缠绕筒体是由高强度芯筒、缠绕高强度钢丝和上下法兰组成。将钢丝按预应力曲线缠绕到芯筒上，使之承受压应力，在缠绕钢丝的外端有保护罩板，以保证钢丝不受机械损伤且具有密封作用。

缠绕筒体最高工作压力 150MPa。芯筒采用 36CrNi3MoV IV 锻件制造，按正火+淬火+回火的热处理状态交货,采用超声波探伤和内外表面磁粉探伤，保证其质量。

缠绕筒体两端装有固定法兰、上固定法兰上开有吊装孔便于缠绕筒体吊装，下端固定法兰开孔便于超高压容器调平；法兰侧面开进出水孔与水套连通，冷却水下进上出，对筒体进行冷却。缠绕筒体采用外水冷结构，即在筒体外部配有冷却水套进行水冷，防止筒体超温。通过上述设计可以保证缠绕筒体安全可靠，且疲劳寿命高。缠绕筒体采用高强度钢丝预应力缠绕结构，其设计、制造、检验、试验等符合中国相关标准：严格执行 TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》，GB/T34019-2017《超高压容器》等。

筒体内壁具备变形检测功能，即在筒体内壁上设有测量应变片，在缠绕过程中，按照缠绕层数，进行实时变形检测，达到设计变形要求。并保存原始变形数据。在使用过程中，依据地方监检部门的检验要求，利用测量应变片实现过程检测和应用定期检测，实时对比原始数据。

（2）上塞体

上塞装置有上塞体、上塞体水冷板、密封件、连接件等组成，位于筒体的上端，与缠绕筒体之间无任何连接。当加压时，上塞自由回位，与框架的上垫板紧密贴合，使得可以顺利传递轴向力给框架。上塞配置专用冷却装置，可对上塞装置本体以及上主密封密封圈安装

区域进行强制冷却，及时带走工作过程产生的热量，同时该部件设置多层挡热结构，形成多级热屏障，阻隔热源向上塞本体及密封区域传递，在冷却装置和挡热装置的共同作用下，控制主密封区的工作温度。上塞装置有单独的液压升降机构，用以实现上塞装置的升降。

上塞采用 35CrMo IV 合金钢锻件制造，水冷板采用 36CrNi3MoV IV 合金钢锻件制造。主密封采用自适应超高压组合密封，能够自动适应等静压机在工作过程中缠绕筒体因承压而产生的内径变化，确保密封效果。

（3）下塞体

下塞装置有下塞体、下塞体水冷板、密封件、连接件等组成，位于筒体的下端，与缠绕筒体之间无任何连接。当加压时，下塞自由回位，与框架的下垫板紧密贴合，使得可以顺利传递轴向力给框架。下塞配置专用冷却装置，可对下塞装置本体以及下主密封密封圈安装区域进行强制冷却，及时带走工作过程产生的热量。

下塞设置有加热电极、热电偶引出装置、进出水冷却口、真空阀、进出气口及配套超高压密封件等，冷却装置设计及要求与上塞一致。可实现设备加热、测温、冷却、抽真空与气体通断功能等。下塞装置配备独立的液压升降机构，由液压系统提供动力驱动下塞整体垂直升降，实现下塞装置与筒体的贴合和分离，升降运行平稳可控。。下塞需要脱出超高压容器进行检修时，需先将下塞各连接铜排、管路和线缆拆除，使允许下塞脱出信号工作，方可进行下塞移出动作。

下塞采用 35CrMo IV 合金钢锻件制造，水冷板采用 36CrNi3MoV IV 合金钢锻件制造。主密封采用自适应超高压组合密封，能够自动适应等静压机在工作过程中缠绕筒体因承压而产生的内径变化，确保密封效果。

（4）上塞体升降装置、下塞体升降装置

上塞升降装置整套机构用以驱动上塞装置完成垂直升降动作。固定支架固定安装于框架装置的上半圆梁上，作为整套升降机构的安装承载基体；上塞托板与上塞本体可靠连接，将油缸输出动力传递至上塞，带动上塞同步升降。设备采用液压伺服控制系统，对 升降油缸实施同步控制，保证多缸动作一致性，有效抑制升降过程中的偏载与倾斜，使上塞升降运行平稳，保证上塞与工件端面的对中精度，满足高压工况下的压紧定位要求。

本设备采用的安装在框架上半圆梁的四缸同步上塞装置液压升降装置，特别适用于特大型热等静压机，其主要有点如下：

a) 安全性

传统上塞升降装置，在打开上塞前，需要先移开框架，此时上塞就脱离框架的覆盖，若筒体内余压未卸干净或管道内漏造成炉内压升，则上塞装置有飞出风险。而此型结构，其

动作顺序为：先拉出垫块，再提起上塞，之后上塞随框架一起平移。上塞始终处于框架覆盖之下，无上塞飞出风险。

b) 先进性

四缸同步液压伺服系统是国际上一流的先进技术，在液压系统的控制精度和性能方面具有领先优势。采用这种先进的控制系统，可以提高热等静压机的生产稳定性和效率。

c) 高精度控制

四缸同步液压伺服系统可以实现对四个液压缸的同步控制，能够准确控制提升装置的高度。其控制精度可达到±1mm，能够满足对上塞升降高精度要求，使其更加平稳、安全、可靠。

d) 易于精准定位、安全联锁

四缸同步液压伺服系统配备了联锁保护功能，能够实时监测和保护液压系统的工作状态。一旦系统出现异常，会自动停机并发出警报，确保操作人员的安全，易于实现升降精准定位，实施安全联锁，更加容易保证上塞升降的安全可靠。

e) 结构合理紧凑、设备操作及维修便捷

四缸同步液压伺服系统采用先进的电子控制技术，使整个液压系统的结构更加简洁、紧凑合理，同时，上塞随框架平移后，上塞口操作空间大，利于装出料和维护操作，操作及维修便捷。

f) 外形美观：

四缸同步液压伺服系统，可以减少传统液压系统中复杂的平移小车和升降机构，使整个液压系统的外形更加简洁美观。

（5）加热隔热系统

加热隔热系统是热等静压设备的核心热区模块，集成电加热单元、多层复合隔热结构、温度监测与热场调控组件，用于在高温高压工艺工况下对舱内工件实施可控加热，并在升压、保温保压等全工艺阶段稳定维持工件所需的目标温度环境。

系统依靠多层复合隔热结构形成热屏障，通过抑制辐射传热、传导传热与气体对流换热，衰减热区热量向主机承压筒体、法兰等承压构件传递，大幅降低承压壳体的热输入与热负荷。一方面保障热区内部温度场均匀性满足粉末冶金、材料致密化等工件工艺指标要求，减小工件不同位置温差，保证产品组织与性能一致性；另一方面严格限制法兰、密封槽等密封区域的工作温度，避免高温导致密封圈、密封组件发生热老化、蠕变失效，防止密封泄漏风险。

该模块通过热场与隔热结构协同设计，兼顾工件工艺温度需求、承压壳体热安全边界

以及密封件使用温度限值，在热等静压高温高压耦合极端工况下，保障主机承压结构与密封系统长期稳定可靠运行，同时降低设备整体热损耗，提升能量利用效率。

加热隔热系统主要由加热装置、隔热屏、工作台、电极装置、热电偶组件、加热控制器件及系统等组成。加热隔热系统设计合理，整体布局整齐清晰，以实现有效加热区域内温度均匀性。加热系统和冷却系统进行安全互锁。当冷却系统各冷却水测温点温度达到要求、流量满足要求时，加热系统才能启动。该系统主要技术指标如下：

（1） 最高工作温度：1400℃；

（2） 最高常用工作温度：≥1250℃

（3） 有效均温区直径：≥Φ2600 mm

（4） 有效热区高度：≥4500 mm；

（5） 加热丝材料：钼镧合金；

（6） 工作台最大承重：45t；

系统整体采用 "中心加热 — 四周隔热 — 底部电极供电 — 多点测温反馈" 的圆筒同轴布局结构，由加热装置、隔热屏组件、工作台及支撑结构、电极引入装置、热电偶测温组件、加热电源与控制系统六大子系统组成。各子系统在容器内沿径向自内向外依次布置，轴向上下对称，整体结构紧凑、装拆维护方便。

加热装置由发热带、支撑连接件、电极引入及绝缘组件等部分组成，整体采用环绕式圆筒结构布置，与热区轴线同轴，形成对称圆柱状加热场。发热体材料选用钼镧合金带材，经螺旋卷绕成型为连续圆筒形加热带。带材宽度与厚度依据额定功率密度与电阻匹配计算确定，卷绕螺距沿轴向均匀分布，保证周向发热连续均匀。隔热屏内筒壁沿圆周方向均布铆接钼镧合金支撑架，支撑架沿轴向分层布置，与隔热屏内表面可靠固定。螺旋卷绕成型的发热带直接嵌挂于各层支撑架的定位卡槽内，实现径向定位与轴向支撑。发热带与支撑架采用同种钼镧合金材料，高温下热膨胀系数匹配，不存在异质材料界面反应风险；装配时发热带可整体套装就位，定位便捷，运行中发热带无位移、无下垂，结构稳定可靠。

隔热屏组件包裹于加热装置外围，径向与轴向连续封闭，形成完整的圆筒形热屏障，是阻隔热区热量向承压壳体传递的核心部件。隔热屏整体采用 "金属反射屏 + 软质隔热毡" 复合结构，自高温侧向低温侧依次叠装，各层功能明确、协同衰减辐射、传导及高压气体传热。隔热屏与加热装置、工作台、电极之间预留合理间隙，既保证高压氩气充填通畅，又避免层间摩擦损伤。

隔热整体为倒杯式结构。采用多层设计，主体为由钼 TZM 合金及不锈钢制成的防对流整体倒杯筒，层间保留均匀间隙，利用高温金属表面对辐射能的反射作用衰减辐射传热，

内部充满低密度保温材料作为保温层，依靠材料本身低导热系数阻隔固体传导与层间气体传热。毡体密度与厚度按热流密度计算确定，兼顾隔热性能与空间利用率，可以保证高温时能够隔断冷热区间的气体对流和传导，以达到良好的隔热效果。各层之间通过钼合金或石墨压圈沿圆周方向压紧固定，层间不出现松动窜动；高压氩气充放气过程中毡体不发生位移、不粉化脱落。顶部与底部轴向隔热屏与径向隔热屏端部搭接，形成封闭热腔。顶部隔热屏直接面对上端盖密封区，层数与厚度在径向屏基础上加强布置，重点削减向上盖方向的热泄漏，保证法兰密封面温度处于密封材料许用范围。

2.5、技术服务要求及质保要求

2.5.1. 技术资料

中标方需提交的技术资料包括：

a) 设计资料（三维模型和图纸、详细设计报告、分析报告、控制系统原理图、电气控制原理图、控制软件源代码等）；

b) 生产加工图纸、质量控制计划、制造工艺方案、开工报告（MRR）、验收报告、相关资料文件等；

c) 详细的测试方案及测试报告；

d) 设备清单（部件、电气元器件、轴承等）及制造厂家信息；

e) 提供设备使用说明书，控制系统操作及维护手册。

2.5.2.运输、安装和调试

（1）设备由中标方负责包装、运输、安装及调试；包装物应符合国家环保要求。

（2）包装须防震、防水、防锈；中标方对运输过程中的设备安全负责。

（3）设备到达招标方后，招标方通知中标方到现场共同开箱检查。

（4）招标方提供用于设备卸载、定位和装配的通道、工具、起重设施以及相应的水电气条件，并安排人员配合中标方的安装调试工作。

（5）安装调试及终验收所用的专用工具、量具由中标方自备。

（6）安装调试期间中标方应该详细全面解答招标方提出的操作、维修、工艺和控制等方面的全部技术问题。

2.5.3.售后和质保

设备保修期为签署终验收报告之日起 24 个月。在设备保修期内，中标方对设备出现的各类故障应及时免费提供维修服务。对非人为造成的各类零件损坏，应及时免费更换，所更

换部件保修期从更换日期起重新计算。

中标方负责解决招标方在技术设备及控制系统实施过程中的现场技术问题，并在收到招标方问题 24 小时之内给出回复或到达招标方设备使用现场。

培训在招标方设备安装场地进行，对招标方的技术人员、操作人员（操作、保养、维修等）安排培训指导，至招标方相关人员可以独立操作使用设备系统。

2.6、交付验收

2.6.1 验收依据

（1）招标文件、双方签订并确认的技术协议、技术要求及合同相关文件。

（2）经确认的设备设计文件、总图、系统原理图、管路图、电气图、控制逻辑及相关技术文件。

（3）设备制造、检验、安装、调试过程中形成的质量记录、检测报告和合格证明文件。

（4）适用的国家法律法规、压力容器及压力管道相关标准、机械电气安全标准和其他适用的国家及行业标准。

（5）双方确认的验收大纲、试验方案、验收记录表及问题整改清单。

注：除水电气等基础条件及本招标文件明确由招标人提供的外，本项目所有环节的验收所需人员、检测设备、配套系统等均由投标人自行配置和提供，并负责整体安装与集成，相关全部费用已包含在投标报价中，均由中标人承担，所有相关费用已计入投标总价，招标人无需另行支付任何费用。

2.6.2 验收程序

合同签订后 24 个月完成最终验收，以签订合同为 T0，关键时间节点如下：

T0+2 个月：完成设计评审和开工评审（MRR）；

T0+12 个月：完成筒体锻件的生产和出厂验收；

T0+18 个月：完成筒体缠绕；

T0+20 个月：完成设备的冷态测试；

T0+22 个月：完成设备的热态测试；

T0+24 个月：完成设备的最终验收交付。

具体验收流程如下表所示。

表 1 验收流程

验收阶段	时间节点	验收大类	验收内容	要求
第一阶段预验收	T0+2 个月	设计和制造文件审查	设备设计方案、设备参数、结构安全分析报告资料完整性核查+评审；设备机械、电气、管路等加工制造图纸、制造工艺路线、制造与检测计划、项目团队设置等文件核查+技术评审	形成评审报告
第二阶段筒体锻件出厂验收	T0+12 个月	设备整体外观检查	外观检查+尺寸测量	设备表面无明显划痕、变形、锈蚀，涂层均匀无脱落；设备整体尺寸符合设计图纸要求，偏差≤±5mm
		出厂资料验收	部件合格证、出厂检验报告、使用说明书初稿资料核查	提供完整的部件合格证、出厂检验报告、使用说明书初稿，资料齐全、真实有效
第三阶段筒体缠绕验收	T0+18 个月	筒体缠绕质量验收	筒体缠绕方案报告、缠绕过程记录、缠绕过程检测记录以及最终成品测量数据	① 缠绕方案评审报告 ② 缠绕过程记录齐全，形变测量数据记录齐全； ③ 变形控制和设计指标一致。
第四阶段冷态验收	T0+20 个月	设备常温承压测试	设备筒体整体密封、管路/电气安装检测	① 设备表面无明显划痕、变形、锈蚀，涂层均匀无脱落；设备安装符合安装图纸要求，腔体焊缝平整无缺陷，无裂纹、气孔；密封面贴合紧密，无明显间隙； ② 管路布局合理，无弯折、扭曲，介质流向标识清晰；阀门安装

				方向正确，开关灵活无卡滞；管路压力测试无渗漏，压力降符合设计要求； ③ 常温下筒体打入液体，在压力达到 150MPa 条件下，保压 24 小时无泄漏、变形和异响。 ④ 特检院出具检测报告。
第五阶段热态验收	T0+22 个月	设备热态试车	设备筒体热态密封、加热和隔热系统测试	① 筒体内部最高温度达到 1400℃，压力达到 150MPa，保压 24 小时无泄漏、变形和异响。 ② 测试验收前，确保主机外辅助系统安装调试结束，并且其他辅助系统在热态试车过程中无异常。
第六阶段最终验收	T0+24 个月	最终资料验收	技术资料、测试报告、运维手册等全套资料核查	提供完整的设计图纸、使用说明书、维护保养手册、测试报告、部件合格证等，符合国家核安全相关规范。

1、 冷态试车说明

冷态试车在不进行高温工艺运行的条件下开展，重点验证设备动作、系统运行、控制逻辑、压力控制、真空功能、辅助系统及安全联锁。冷态试车循环不少于 3 个循环，具体试验步骤及判定标准按双方确认的试验方案执行。

（1）主机系统：检查承压筒体及相关机构、装卸料准备系统、活动部件和辅助机构的动作及状态反馈。

（2）液压系统：检查油泵、阀组、执行机构、压力和温度监测、动作顺序、运行稳定性及异常报警。

（3）气体加压与回收系统：检查压缩机启停、阀门动作、压力采集、升压与降压控制、保压补压、回收流程、排气消音及异常状态处理。

（4）气源与储气系统：检查液氩储罐、低温液体泵、汽化器、高压气罐及配套仪表和安全附件的状态、供气流程和压力监测功能。

（5）真空系统：检查抽空流程、真空度测量、阀门切换、压力保持及真空系统与高压气路之间的隔离和联锁功能。

（6）加热与隔热系统：检查加热控制回路、温度测量、分区控制、参数设定、温度曲线显示和记录功能。

（7）冷却及快冷系统：检查冷却介质流量、温度和压力监测、阀门动作、冷却流程及状态反馈。

（8）电气与控制系统：检查操作界面、自动/手动模式、数据采集、报警、权限管理、历史数据记录、参数曲线存储与调用功能。

（9）安全保护与联锁：验证关键压力、温度、阀位、设备状态及故障信号的报警和联锁响应；检查急停、断电及控制异常情况下的安全处置逻辑。

（10）氧气监测与通风联动：检查安装地坑和设备控制间固定式氧气检测仪的显示、报警及与现场通风设施的联动信号。

2、 热态试车说明

热态试车在冷态试车及相关安全检查通过后开展。热态试车用于验证设备在升温、升压、保温保压、自然冷却及快冷等工况下的综合运行能力。试验温度、压力、保压时间、负载、循环次数和合格判据以热等静压设备经确认的技术协议及双方批准的试验方案为准，不直接套用其他型号设备的专用试验参数。

（1）空载热态试车：按照确认的试验工况运行，检查预真空、抽空时间、升温升压过程、温度与压力控制、保压期间压力波动、自然冷却及快冷功能。

（2）满载热态试车：采用双方确认的代表性工艺和装载条件，验证设备在实际负载下的温度、压力、保压、冷却及工艺运行能力。

（3）载荷试验：按确认的装载方案进行载荷运行，检查装卸料、承载及相关机构运行情况。

（4）炉温均匀性测试：在双方确认的温度、压力及测点布置条件下开展测试，测温点数量、有效热区范围、温度偏差限值及测试方法以技术协议和批准的测试方案为准。

（5）工艺实物验证：采用双方确认的代表性产品及工艺参数进行加工测试，检查产品外观及双方约定的质量指标，并形成工艺验证记录。

（6）热态试车过程中，完整记录温度、压力、时间、控制参数、报警事件、冷却过程及其他约定的数据，形成可追溯的试验曲线和报告。

2.6.3 技术指标和功能验收

甲乙双方依据招标文件以及经确认的设计指标，对设备的主要性能进行检验。检验项目包括但不限于：工作压力及压力控制能力、升压和降压过程、保压稳定性、气体回收功能、真空性能、最高工作温度、升温能力、炉温均匀性、冷却与快冷功能、系统运行稳定性、在线监测、联锁保护、远程控制、通讯及数据记录功能。

在线监测采集、联锁保护、安全监测保护、远程控制和通讯等功能应进行重复验证；参数曲线自动记录、存储、查询和调用功能应通过实际操作确认。

针对各项技术指标验收，需要编制验收大纲，包括规定测试方法、测试设备、测试次数、试验工况及判定方式等，并记录测试数据，形成测试报告。为了更好开展技术指标验收，特对主要技术指标制定如下验收方案：

表 2 主要技术指标验收方案

验收内容	主要指标	验收方案	备注
筒体内部尺寸	有效温区直径≥2600mm；有效温区高度≥4500mm；	① 准备一个外径 2600mm，高度 4500mm 的装料工装； ② 确保该装料工装可以安全吊装入承载总成内。	装料工装由乙方提供。
最高工作温度	1400℃	① 采用内置热电偶开展温度测量； ② 要求测温点不少于 8 个； ③ 加热炉体，记录温度曲线； ④ 升温时间≤16h；（空炉，室温到 1400℃用时） ⑤ 当达到最高温度后，8 个热偶测试的最低温度不能低于 1400℃； ⑥ 8 个热偶测试温度之间的误差不大于±10℃； ⑦ 冷却时间≤20 小时。	① 发热体材料采用钼镧合金； ② 热电偶装置采用组合式结构：炉内测温端为铠装热电偶探头，伸入热区各监测位置；筒体内至下塞体盖外部之间的信号传输段采用补偿导线，保证热电势信号在传输过程中不产生附加误差。
最高工作压力	150MPa	① 压力传感器采用设备自用压力表，并经过校准标定；	① 压力测量精度：≤ 0.5% F.S.

		② 冷态试车采用常温液体打压到150MPa，保压 24 小时，无泄漏、变形和异响； ③ 高温试车，采用气体打压，温度1400℃，压力达到 150MPa，保压 24 小时，压力波动±1MPa； ④ 升温和升压同时进行，加压时间≤16h；（空炉，大气压～150MPa） ⑤ 打压结束，回收氩气，要求实现气体回收率：≥80%。 ⑥ 采用系统配备的真空计测试真空度，要求系统空载极限真空度≤200 Pa； ⑦ 记录真空曲线，从大气压抽到200Pa 的时间不大于 120 分钟。	② 加压时间测试条件：同时加温加压，压力从大气压升至150MPa，温度从室温升到 1400℃；
工作台承载重量	承载重量≥45 吨	采用装料工装，将重 45 吨的工件吊装入筒体内部，并正常完成一次抽真空、打压和升温；降温降压后，可以正常开炉，工作台无损伤。	
设备功能验证	可实现 1.5m×1.5m×2.5m 包层原型模块的热等静压焊接	采用装料工装，将外形尺寸为 1.5m×1.5m×2.5m 的包层第一壁工件吊装入筒体内部，并正常完成一次抽真空、打压和升温；降温降压后，可以正常开炉，工作台无损伤，并实现包层第一壁流道焊接成型。	包层第一壁工件由甲方提供。

2.6.4 最终验收

设备在完成安装调试、冷态试车、热态试车、技术指标检验及工艺验证后开展最终验收。双方依据技术协议和验收记录对设备完整性、系统功能、技术性能、工艺验证结果、安全保护功能及技术资料进行综合确认。对验收过程中发现的问题形成清单，记录问题描述、整改措施、责任方及复验结果。

当约定的验收项目全部完成，测试结果满足技术协议要求，相关问题完成双方确认的处理，技术资料移交及操作维护培训完成后，双方签署《设备验收报告》，作为设备最终验收完成的依据。