# 采购需求及技术规格要求

# 1、货物需求一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 数量 | 规格型号 |
| PF7磁体测试装配集成及辅助外协服务 | 1套 | 以下见详情 |

注：本项目为交钥匙工程。投标人负责磁体测试前的准备工作、测试工作、测试后的包装运输等所有工作。本项目合同价包括了合同签订后至完成测试工作全部工作内容，包括但不限于项目所需的人工费、设备材料费、机械费、措施费、管理费、利润、税金、规费、安全文明施工费、环境保护等所有投入以及工期延误和其他明示或不可预见的所有风险、费用在内。

## 1.1主要用途及功能

超导磁体系统作为聚变装置的重要系统，在装置内安装完成后，不可拆卸。为保证超导磁体的可靠性，超导磁体完成制造后需要进行出厂验收测试，但受测试条件限制，出厂测试不能检测超导磁体的全部性能。故需要磁体性能测试装置进行超导磁体常低温测试，从而检验“真实工况”下的性能参数，包括但不限于接头电阻值、强磁下的力学参数、绝缘耐压以及失超特性保护参数。从而评估磁体强电磁干扰下的可靠性、稳定性及安全性。

PF7测试将在CSMC测试装置中进行，该平台低温恒温器，直径5.5m，高6m，管板式冷屏采用液氮降温，屏体测量点温度不高于100K；平台拥有6台3600L/s，常温条件下，能够提供10-2 Pa量级的真空环境；1kW低温系统能够提供3-6 bar迫流氦，且流量不低于150g/s；电源系统，最大通电能力不小于50kA；场地示意如图1.1所示。



图1.1 PF 7测试场地

PF7测试内容主要包括耐电压测试、气密性测试、热工水力测试、应变测试、低温通电测试等。测试流程如图1.2所示



图1.2 PF7测试流程

测试过程主要包括PF7磁体杜瓦外集成，PF7磁体杜瓦内集成、磁体测试中相关工作以及磁体测试后拆除及包装运输等工作。除主体测试工作外，需要添加相应的设备和人员完成拆装集成等相应辅助工作。

# 2、PF7磁体测试外协服务范围

PF7磁体测试外协服务内容包含但不限于以下内容。

## 2.1 PF7磁体杜瓦外集成

1. 磁体运输至8#厂房，安装夹具，吊装放置在磁体支撑上。
2. CERNOX 低温温度计安装，磁体外、上、下表面各4个，共12个；磁体内表面第11、12、13、14层各2个，共8个；低温管道主进出口2+2个，中间两支路进口2+2个，共8个；不低于28个。
3. 测量应变花安装，磁体内侧表面上、中、下各4个，补偿片4个，共16个；磁体外表面中平面4个，补偿片1个；不低于20个。
4. 低温流量计焊接安装，不低于5个，分别安装在磁体进汇总管，中间两支路进液管以及电流引线4.5K进液管。
5. 霍尔安装，2个，分别在磁体内表面中平面位置对称安装。
6. 失超探测与保护高压线缆，更换9根测试杜瓦至机房电缆（耐压等级不低于30kV），单根长度约110米；更换桥架内部绝缘保护垫满足绝缘耐压30kV。
7. 失超探测与保护设备调试，进行各种处理设备之间的弱电信号的传输放线及标签标识，完成各类设备连接接头的焊接及制作以及完成测试前设备调试工作。

## 2.2 PF7磁体及支撑吊装转运

1. 使用厂房内行车转运磁体及磁体支撑件。

## 2.3 PF7磁体杜瓦内集成

1. 磁体低温进出液低温管道焊接、测量元器件低压测量引线连接、高压测量引线连接、馈线与磁体连接超导接头制作。
2. Paschen放电，现场10台相机支撑及电连接
3. 冷屏屏体吊装及螺栓连接、低温进出液管连接、温度测量引线连接。

## 2.4 电源系统恢复

1. 恢复拆除的母排，水路和开关系统。
2. 更换部分母线绝缘件（不低于10套）。

## 2.5 诊断系统调试

1. 测量元器件的表示和区别，形成相应关系对照。
2. 完成失超探测、真空、低温、电源等系统测量连接，并对各系统连接支路进行信号测试，如电压、电阻等信号。

## 2.6 磁体测试服务相关工作

PF磁体测试主要包括耐电压测试、气密性测试、热工水力测试、应变测试、低温通电测试等。根据磁体测试进度提供人员、小型设备等服务支持。

## 2.7 磁体测试后拆除及包装运输

1. 杜瓦卡钳拆除及上盖起吊至指定位置。
2. 冷屏屏体螺栓连接拆除、低温进出液管切割、温度测量引线拆除以及屏体起吊至指定位置。
3. 磁体低温进出液低温管道切割、测量元器件低压测量引线拆除、高压测量引线拆除、馈线与磁体连接超导接头拆除。
4. 磁体支撑拆除并起吊至指定位置。
5. 拆除完成后进行磁体包装，运输至指定地点。

# 3、技术要求

本文所提出的技术要求并不完全包括国家规范和标准的全部要求，投标人除必须满足本文中所提出的各项要求外，还应满足相应的国家及行业标准、规范和其他相关标准、规范要求。关于PF7磁体测试外协服务项目，供应商需根据采购合同与技术协议的设计输入提交过程规范，现场安装及运行人员配置等内容。

## 3.1 通用要求

### 3.1.1 杜瓦内工作要求

1. 进入杜瓦内工作，需保证杜瓦内环境清洁，不带入有污渍的工具或其它设备。完成工作清洁工作区域，并带走相应废弃物。
2. 进入杜瓦，需要进行人员、工作区域、工作内容报备。工作前需熟悉工作流程，拆卸部件进行统一归纳，且标识。

### 3.1.2 人员要求

1. 行车操作人员及引导人员需具备大型重型设备起吊经验。
2. 无损检测人员，射线等检测需具备II级以上资格。
3. 测量引线连人员，了解常见接口类型及协议规范，能熟练使用万用表、示波器、信号发生器、逻辑分析仪等设备校准仪器精度，设置合理的量程与采样率；具备电路故障定位能力，如断路、短路、接触不良等，能过波形分析、数据对比等方式验证信号质量。

### 3.1.3 磁体及相关部件吊装及转运要求

磁体及相关部件，在磁体接收和磁体测试（吊入杜瓦）需要使用行车，主要要求如下：

1. 起吊前，检查起重机（桥式、梁式等）的轨道、电机、钢丝绳、吊钩、限位器、制动器等关键部件，确保无磨损、变形或裂纹。
2. 确认轨道无障碍物，工作区域无人员滞留，光线充足。
3. 测试起升、行走、限位等功能是否正常。
4. 严禁超载，平稳操作。
5. 具体起吊及转运线路由中标方实勘，制订起吊及转运计划。

### 3.1.4 低温管道焊接要求

在杜瓦外或杜瓦内安装低温管道和压力引管时，需采用氩弧焊接方式进行连接管道，主要要求如下：

1. 提供连接管和焊材。焊接管材选择适用于低温的316L无磁不锈钢，确保管材在低温下无韧性-脆性转变；填充焊材，需与母材匹配。
2. 管道焊接前，对焊接部分进行打磨，清洗，确保焊接区域清洁无污染。
3. 管道焊接时，控制热输入，（低电流/电压、快焊速），避免晶粒粗化；必要时采用多层多道焊减少热应力。此外，对重要焊缝采用双层气体保护（背面氩气）防止氧化。
4. 焊接时，焊接采用对接焊接，平面度≤0.1mm/m，同轴度误差≤0.05mm。
5. 焊接完成后，进行表面清理后使用液氮进行冷冲击，释放焊接应力。
6. 焊接完成后，100%进行氦质谱检漏，焊缝漏率小于1×10-9Pa·m3/s，示踪氦气使用方式与甲方进行协商。
7. 焊接完成后，进行渗透和射线检测的焊缝，执行标准为NB/T47013.2二级要求(不允许出现裂纹、未溶合和未焊透)和JB/T 47013.5一级要求（线性缺陷不允许，圆形缺陷d≤2，且在平定框(35×100)≤1个）,若使用其他无损检测方法，需和甲方进行协商。

## 3.2 PF7磁体杜瓦外集成主要要求

### 3.2.1 磁体及支撑夹具安装

1. 根据甲方提供相关模型完成磁体及支撑安装方案。
2. 磁体支撑安装，支撑顶部平面高度差不高于1mm。

3） 根据磁体与支撑下夹具空间位置关系，调整支撑位置，调整精度不低于1mm。

### 3.2.2 低压测量器件安装

1. 低压测量器件主要包括低温温度计、应变花、霍尔传感器以及低温流量计。
2. 中标方应提供测量元器件安装方案，并根据甲方提供的相应位置完成相应安装工作，应做到焊接无虚焊、粘贴不脱落、测量准确性。
3. 中标方提供5-6个低温流量计，并完成相关标定工作，本体材料应为316L不锈钢，工作时，主管道测量流量为72 g/s，支路管道及馈线系统测量流量为12 g/s。制造完成后进行耐压和气密性检测，流量计耐压不低于2MPa。真空-正压法进行氦气密性检漏，氦漏率要求小于1×10-9Pa·m3/s。
4. 对于迫流氦流经流量计，建议水平安装，或垂直安装自下而上流动，避免气体积聚。

### 3.2.3 失超检测与保护高压线缆室内线路铺设

1. 完成9根测试杜瓦至机房电缆（耐压等级不低于30kV）室内铺设。
2. 根据使用要求，完成安装测试及调试工作，要求各类设备连接接头的焊接及制作，要求连接可靠性达到100%。
3. 完成测试前设备调试工作，系统无故障正常运行周期不低于7天。

## 3.3 PF7磁体杜瓦内集成主要要求

### 3.3.1 低温管道和压力引管焊接

1. 杜瓦内采用焊接方式连接低温管道和压力引管，相关技术要求见3.1.4。

### 3.3.2 低压测量引线连接

1. 中标方应提供低压测量引线安装方案，做到焊接无虚焊、标记明显、测量准确性。
2. 引线应有长度冗余过渡段以释放机械应力，此外，需固定于杜瓦内部支撑结构，避免因磁体冷却收缩或外部振动导致位移。
3. 在杜瓦内部通过铜块或其它冷部件进行多次热锚定，逐步冷却以减少热梯度。此外，热锚点应设计在低温区（如冷屏或磁体冷质量上），避免热量直接传导至超导线圈。

3.3.3 内馈线**制造及安装**

1. 中标方须提供内馈线制造及连接方案，提供2根过渡馈线，每根长度约5m，
2. 2根包含接头的过渡馈线（每根端头上有2个接头盒，通流能力 不低于60kA）。
3. 制造完成后最小弯曲变径不低于400mm。耐压等级不低于17kV，绝缘电阻大于500MΩ。
4. 使用激光跟踪反向定位电流引线传输线和磁体接头，根据空间位置，进行过渡内馈线结构设计。
5. 采用接头搭接方式制作接头盒，连接电流引线传输和磁体。搭接采用铟丝压接工艺连接，接头电阻＜2nΩ。
6. 搭接后的加强固定结构必须满足外部接头冷收缩和磁体洛伦兹力综合作用下的强度要求。
7. 搭接固定后，双接头氦管采用氩弧对焊，完成焊接后，进行表面清理后使用液氮进行冷冲击，释放焊接应力。焊接完成过后，进行氦质谱检漏检漏，焊缝漏率小于1×10-9Pa·m3/s。
8. 采用G10材料填充夹具间隙后，然后绝缘湿包处理。
9. 电学性能测试（耐压等级不低于17kV，绝缘电阻大于500MΩ）。

### 3.3.4 失超检测与保护部件安装

1. 失超检测及保护部件主要为高压集线器(SD)和高压电缆，中标方提供现场安装方案。
2. SD安装数量18个，将8根PI线与1根PI缆进行对接，对接采用毛细钢管压接连接（拉力＞30N）
3. 高压线缆从杜瓦内高压缆从SD位置出来拉到杜瓦法兰口，距离约8米，不少于9根。
4. 高压缆外面用PI聚酰亚胺薄膜包绕，高压缆需要在端部和中间位置固定。

### 3.3.5 Paschen放电设备集成

1. 10台相机对PF7的绝缘薄弱区域进行监控，每台相机配套2根网线和1个网口真空法兰。
2. 设计，加工及安装相机支架，360度旋转，90度角度调整。
3. 提供千兆网线和千兆网口真空法兰，协助数据网络安装调试，协助完成相机安装及视场调试工作。

### 3.3.6 冷屏及管道安装

1. 冷屏及冷却管焊接，冷屏安装时，需确保安装界面存在绝缘垫片，保证冷屏各部分绝缘独立。
2. 冷却管及低压引线连接见通用相关要求。

## 3.4 电源系统恢复主要要求

1. 按照拆除标记，恢复拆除的母排，水路和开关系统，更换破损绝缘件等部件。
2. 母排恢复后，对地耐压＞10kV，对地绝缘电阻＞100MΩ。
3. 进行水路系统耐压测试，测试水压7.5kg@6h无明显泄露。
4. 具体恢复方案乙方需按照甲方要求，制定详细恢复计划。

## 3.5 诊断系统调试主要要求

1. 完成连锁保护主机至失超探测、真空、低温、电源等系统连接，并对各系统连接进行信号测试。
2. 测量前对系统进行开路和短路校准，消除系统偏移和噪声。
3. 具体调试方案乙方需按照甲方要求，制定详细调试计划。

## 3.6 磁体测试服务主要要求

1. 磁体服务要求：提供人员（具备相关测试经验）辅助进行磁体相关参数测试；对测量设备提供设备校准服务（如直流耐压测试仪、压力传感器、真空规管、电流传感器等）。
2. 其它系统服务要求：附属系统指真空、低温、电源以及失超保护系统。能够提供专业人员（具备相关专业能力，熟悉相关系统操作流程）辅助进行系统调试和磁体测试过程中，系统设备及控制系统24小时巡查和维护；提供必要的设备耗材（如专用工装、氦气、泵油等）。
3. 具体服务方案乙方需按照甲方要求，制定详细服务计划。

## 3.7 磁体测试后拆除及包装运输主要要求

### 3.7.1 磁体拆除

1. 磁体拆除主要包括高低电压引线拆除、低温及压力引管拆除以及超导接头拆除，中标后，应提供详细磁体拆装方案。
2. 高低电压测量引线拆除：应避免拉扯，防止接口针脚变形或线缆内部断裂，拆除后对测量引线进行编号/标记，记录位置与功能，以便后续恢复。
3. 低温及压力引管拆除：采用割管道进行低温及压力引管拆除，切割完成后对切口进行标记和封口。
4. 超导接头拆除：超导接头应按照绝缘拆除，夹具拆除，接头端子脱离顺序进行拆除。

### 3.7.2磁体包装运输

1. 磁体包装包含必要工装，运输工装包含必要的防撞、减震、防共振措施，结构需满足部件在运输过程中能够承受各方向至少5g加速度载荷的要求。同时应该满足用于中转的吊运要求。
2. 需要具有一定刚性的保护罩，保护罩内部包括用于接头、管道等的临时支撑来对部件进行固定，满足运输过程要求。
3. 管道内，以及密闭空间内需分别充惰性气体进行保护，压力值约0.12MPa，压力值需要仪表监测。
4. 具体方案已方需按照甲方要求制定。

## 3.8 质量控制要求

提供质量计划，安装检测计划，制造及完工后的各项检测记录等质量文件，具体工作进度和关键技术节点等相关工作报告周期为每月一次。

为了PF7磁体测试外协服务过程中重要工艺活动的质量过程得到有效控制，在外协合同签订时，将制定质量计划并设置质量控制点，质量计划生效后，采购人将严格按照质量计划确认的流程、节点进行相应活动，对质量计划设置的 R（报告/记录检查点）、W（现场见证点）、H（停工待检点）控制点，供应商应根据系统研制进度及时通知相关方进行见证、检查，签字确认放行。当项目、先决条件、作业过程等发生重大变更时，质量计划应重新修订。

# 4、商务要求

## 4.1 交付要求

## 4.1.1进度要求

PF7磁体测试外协服务谈判及合同签订之日生效之日起为（T0）：

T0 +7天，制造商提供具体工作进度及关键技术节点；

T0 +15天，完成PF7磁体测试外协服务各流程工作方案；

T0 +20天，完成原磁体拆除和放置；

T0 +30天，完成PF7磁体杜瓦外集成；

T0 +40天，完成PF7磁体杜瓦内集成；

T0 +50天，完成各系统集成后调试。

T0 +80天，完成磁体测试。

交货地点：安徽省合肥市采购人指定地点。

# 4.1.2质保期及售后服务要求

质保期1年。售后服务电话响应时间：6小时内；现场维修或维护响应时间：48小时内。

## 4.2验收要求

## 4.2.1 技术指标验收要求

主要技术指标的验收按照“三、技术要求”中规定的内容，并同时覆盖本章的其它内容要求。

## 4.2.2 验收方式

### 4.2.2.1 磁体杜瓦内集成验收

采购人人员至供应商现场对系统现场集成完成后状态进行验收。主要根据采购合同及技术协议中规定，确定所有部件集成状态，相关验收应按照验收程序以下要求进行:

a)验收组成员组成：由甲乙双方有关人员共同组成；

b)验收的依据是国家标准或合同双方指定的其它标准，双方签署的技术文件；

c)验收的主要内容：合同设备技术文件涉及的所有内容逐一检验，主要进行以下检验：

a) 确认部件外观无破损；

b) 参数检验：对部件主要技术参数进行检验；

c) 查验技术文件，要求文件内容完整，记录翔实。

d)问题处理：在预验收中发现的问题，验收组应协助供应商分析、解决；不能及时解决的，双方应签署备忘录，涉及商务技术条件改变的，由双方按合同规定协商解决；

e)验收报告：验收合格后，方可磁体测试工作。

### 4.2.2.2 终态验收

终态验收及现场验收，供应商按照要求现场安装后，并进行调试，和采购商共同进行验收，终验时供应商应提供符合本章要求的备件及文件资料。

终态验收的主要验收内容有：

1. 磁体测试完成报告；
2. 人员服务使用记录证明。

c）双方签署验收报告。

## 4.2.3 供应商提供资料及工具

a)采供应商购置设备的合格证、说明书等文件，关键部件的检验证书，测量设备校准证书等。

b）采购供应商提供服务内容技术规程方案。

c）人员服务使用记录证明。