CRAFT TF磁体超导接头制造采购需求

**1、货物需求一览表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **货物名称** | **数量** | **预算（万元）** | **交货期** |
| 1 | CRAFT TF磁体超导接头制造 | 1项 | 450 | 合同签订后16个月内 |

**2、工程技术要求**

**2.1、设备的主要用途及功能**

超导磁体接头作为TF磁体的重要部件，其超导接头采用内部接头和外部接头两种形式，用于磁体内部超导导体间以及磁体本身和外部馈线之间的电连接和冷却介质的通路连接。

内部接头起到连接导体的作用，其位于高、中场绕组内部，因此称为内部接头。为了降低内部接头所承受的电磁力作用，内部接头位于磁场强度较低的区域。为了满足绕组绕制轮廓度一致性需求，内部接头与导体截面尺寸趋于一致。

外部接头负责将高场、中场和低场绕组串联成一个整体线圈，绕组导体终端制作有盒式外部端子，然后通过两个外部端子之间的锡焊搭接形成外部接头，以完成不同绕组之间的电连接。而低场绕组的两个子绕组则通过相邻的两个外部端子锡焊搭接成一个外部接头，实现低场绕组内部的串联连接。

因此为完成TF磁体制造，需进行TF磁体超导接头制造采购。

**2.3、 工作条件**

超导接头工作温度4.2K，背场不大于5T。

**2.4、 技术性能指标要求**

（一）外部接头制造技术要求

1. 外部端子被压缩后的超导线缆空隙率设计值要求18%±2%；
2. 导体铠甲与端子盒之间的焊缝结构、楔形块与端子盒之间的焊缝结构均为全焊透设计，焊缝质量需满足ISO 5817-B要求。其余焊缝结构设计需满足局部焊透要求；
3. 端子焊接过程中，NbTi导体超导缆表面温度不得超过250℃；Nb3Sn导体超导缆表面温度不得超过200℃；（注：乙方不需要进行焊接工艺评定工作，但需要根据甲方提供的附录1《氩弧焊人员资质要求》和附录2《TF磁体超导接头焊接工艺规范》进行人员培训，且培训的人员需经过甲方考核后方可进行焊接工作，培训人员不得少于3人。培训过程中所需的部件均由乙方负责准备。）；
4. 焊材规格为ER317LN，执行标准AWS A5.9，1.4453，技术要求详见附录3《不锈钢焊材技术要求》；
5. 焊缝及HAZ磁导率≤1.05，测试执行标准（或等同标准）：ASTM A342；铁素体小于0.5FN，测试执行标准（或等同标准）：ISO 849；
6. 焊缝无损检测：
7. 100%漏率检测（LT，Leak Test），执行EN 13185，验收标准P=3.0MPa，漏率＜1×10-9Pa.m/s；
8. 100%渗透检测（PT，Penetration Test），执行EN ISO3452-1，验收标准EN ISO 23277；
9. 100%射线检测（RT，Radiographic Test）执行标准：EN ISO17636:2013，验收标准：EN ISO 10675-1:2013；
10. 接头制造所需不锈钢为316LN，不锈钢材技术要求详见附录4《316LN奥氏体不锈钢技术要求》；
11. 复合板制造所需铜材为TU0（C10100），软态或半硬态，RRR大于100，铜材技术要求详见附录5《无氧铜技术要求》；
12. 制造过程中所用管材技术要求详见附录6《奥氏体不锈钢管技术要求》；
13. 端子盒制造用铜钢复合板技术要求详见附录7《铜钢复合板技术要求》；
14. 制造过程中所用G10材料技术要求详见附录8《G10材料技术要求》；
15. 端子盒部件加工完毕后，需进行400℃真空热处理，升温速率20℃/h，保温时长大于6h；
16. 超导缆被置入端子盒内后，需进行超导缆节距修复，修复后的超导缆节距不得大于初始节距的110%；
17. NbTi外部端子制造时，需对超导缆表面进行电化学去镍处理（或机械去镍，是否采用机械去镍由甲方决定，机械去镍方法及要求由甲方确定），镍层去除范围为150°~180°。镍层去除后，需在超导缆表面进行电化学镀锡处理，详见附录9《NbTi导体超导缆表面电化学处理技术要求》；
18. Nb3Sn外部端子制造时，需对超导缆表面进行电化学去铬处理（或机械去铬，是否采用机械去铬由甲方决定，机械去铬方法及要求由甲方确定），铬层去除范围为150°~180°，详见附录10《Nb3Sn导体超导缆表面电化学处理技术要求》；
19. 对于NbTi外部端子的端子盒，其铜底面内侧和外底面需进行镀锡处理；对于Nb3Sn外部接头端子的端子盒，其铜底面内侧不需要进行镀锡处理，但外底面需要进行镀锡处理，详见附录11《端子盒铜底面镀锡技术要求》；
20. 外部端子焊接工艺规范详见附录1《氩弧焊人员资质要求》及附录2《TF磁体超导接头焊接工艺规范》；
21. Nb3Sn外部端子超导缆与端子盒铜底面之间不进行锡焊处理；
22. NbTi外部端子超导缆与端子盒铜底面之间进行锡焊处理，锡焊料为Sn93.5Ag6.5，锡焊料需符合标准ASTM B32-08，详见附录12《锡焊料技术要求》。需涂抹助焊剂，助焊剂不得含有卤素，助焊剂需符合标准EN 29454-1或GB/T 9491-2002；
23. 外部端子之间的锡焊连接，锡焊料为Sn63Pb37，锡焊料需符合标准ASTM B32-08或GB 3131-88，详见附录12《锡焊料技术要求》。需涂抹助焊剂，助焊剂不得含有卤素，助焊剂需符合标准EN 29454-1或GB/T 9491-2002；
24. 外部端子之间的搭接接触面积需大于60%，需使用显色压敏薄膜进行检测；
25. 外部端子之间的搭接长度为1个超导缆节距，搭接公差满足长度方向±5mm，错边＜0.5mm；搭接接头中间必须设计有调整铜垫片以满足现场装配时高度及角度方向的偏差；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；
26. 外部端子盒与盒盖完成封焊后，端子整体呈现“香蕉型”，需在现场在线完成端子盒铜底面铣平加工，加工后，铜底面的平面度不得大于0.5mm。因此端子盒部件加工时，需对铜底面预留2mm的加工余量。

（二）内部接头制造技术要求

1. 内部接头空隙率设计值要求20%±2%；
2. 内部接头子缆编织工作由甲方负责完成（甲方仅负责完成子缆编织工作）；
3. 子缆编织过程过程中需对4级和3级子缆端头进行封焊操作，焊接影响区（温度超过200℃的区域）长度不得大于30mm，操作执行附录14《Nb3Sn超导缆子缆端头封焊技术规范》；
4. 内部接头制造时，需对参与编织的子缆所有外表面进行去铬处理（电化学或机械去铬，是否采用机械去铬由甲方决定，机械去铬方法及要求由甲方确定），技术要求详见附录15《内部接头超导缆去铬技术要求》；
5. 焊缝质量要求，全焊透，满足ISO 5817-B Level；
6. 焊接过程中，Nb3Sn导体超导缆表面温度不得超过200℃（注：乙方不需要进行认证工作，但需要根据甲方提供的附录1《氩弧焊人员资质要求》和附录2《TF磁体超导接头焊接工艺规范》进行人员培训，且培训的人员需经过甲方考核后方可进行焊接工作，培训人员不得少于3人。培训过程中所需的部件均由乙方负责准备。）；
7. 焊材规格为ER317LN，执行标准AWS A5.9，1.4453，技术要求详见附录3《不锈钢焊材技术要求》；
8. 焊缝及HAZ磁导率≤1.05，测试执行标准（或等同标准）：ASTM A342；铁素体小于0.5FN，测试执行标准（或等同标准）：ISO 849；
9. 焊缝无损检测：
10. 超声检测（UT，Ultrasonic Test），执行和验收标准参见附录16《内部接头UT检测工艺规范》，UT检测由甲方完成；
11. 100%漏率检测（LT，Leak test），执行EN 13185，验收标准P=3.0MPa，漏率＜1×10-9Pa.m/s；
12. 100%渗透检测（PT，Penetration Test），执行EN ISO3452-1，验收标准EN ISO 23277。
13. 内部接头截面尺寸与导体截面尺寸一致，内部接头内外轮廓与所在绕组轮廓一致；
14. 内部接头长度控制：内部接头制造完毕后，其中心线弧长必须满足公差要求。内部接头的中心轴线弧长的理论设计值为850mm（两子绕组需要连接到一起的终端导体铠甲端头到端头之间的距离），公差要求为-1~4mm。在内部接头子缆编织和铜套环缩径之后，内部接头的中心轴线弧长会增加0~30mm。因此在实际子缆编织前，需将需连接在一起的两导体铠甲端头到端头的距离调整至820~850mm（具体值，由甲方在内部接头正式制造时给出），待子缆编织和铜套环缩径完成后，内部接头的伸长量刚好满足前期内部接头预缩短量。为此，需特别设计制造子绕组终端空间位置调节工装，以便根据实际需求方便调节两绕组终端导体铠甲端头到端头之间的距离（注：本描述的距离，均指内部接头中心线弧长。）；
15. 不锈钢双壳式铠甲材质为不锈钢，材质为316LN，详见附录4《316LN奥氏体不锈钢技术要求》。双壳式铠甲可用不锈钢板材加工获得，也可由导体空管折弯后加工获得（导体空管甲方提供）。双壳式铠甲的加工尺寸需根据内部接头子缆编织完成后的长度进行实际测量获得；
16. 铜套环材质为无氧铜，牌号TU0（或C10100），详见附录5《无氧铜技术要求》；
17. 中心冷却替代管材质为不锈钢，材质为316L，详见附录6《奥氏体不锈钢管技术要求》。

（三）接头制造通用技术要求

1. 接头所有在线加工过程中，不得使用任何液体冷却介质；
2. 所有金属部件清洗要求详见附录13《金属部件清洗要求》；
3. 任何碳钢零部件不得与接头及绕组导体直接接触，直接相接触的材料仅可为奥氏体不锈钢、G10或玻纤树脂制品、特氟龙、聚酰亚胺、铝或铝合金；
4. 如有液压系统，必须做防漏油处理、防爆管处理、以及绕组和接头污染防护；
5. 禁止对喷过砂的导体表面进行任何损坏；
6. 在线机加过程产生的金属或非金属碎屑需及时收集并清除，防止各种碎屑飞溅，以污染绕组及制造车间；
7. 在线机加过程中，不得对导体造成损伤，不得有任何油污进入到超导缆内部；
8. 各种设备、工装不得出现漏油现象，不得对绕组及接头造成油污染或污渍污染；
9. 导体在线切割只能使用锯类工具，如手工锯、马刀锯、旋转带锯等，禁止使用砂轮切割机；
10. 在线清洗溶剂只可使用酒精，禁止使用丙酮；
11. 在端子制造过程中，需要在导体铠甲、超导缆、端子盒及盒盖等部件做标记所使用的的记号笔不得含有卤素；
12. 绕组及裸露超导缆表面需有洁净防护措施，防止灰尘，颗粒，金属碎屑进入绕组内部，对绕组造成污染。

**2.5、 技术服务要求及质保要求**

乙方需在甲方提供的TF磁体制造车间内完成TF磁体所有超导接头制造（含跳线部件制造、Dummy绕组接头制造以及接头制造所需部件制造）和检测工作。

乙方需设计制造各绕组落放平台及绕组落放所需的特种夹具，以及需准备与超导接头制造所需的所有设备、工装、工具、仪器仪表等。

TF磁体超导接头制造所需的所有原材料或辅材，均由乙方负责采购及准备，并满足甲方技术要求及质量要求。

在TF磁体超导接头制造过程中，各绕组及子绕组的吊运、落放工作均由乙方负责，且需准备在内部接头制造过程中子绕组落放所需的设备及工装。操作边界为转运车，乙方需负责将转运车上的绕组吊运至绕组落放平台并进行接头制造；待接头制造完毕后需负责将绕组吊运至转运车上。

为完成TF磁体超导接头制造所设计制造或采购的专用设备、工装、工具、仪器仪表等，其所有权归甲方所有。

质量保证期：自验收合格之日起12个月，更换后的关键零部件质保期从更换之日起计算。

**2.6、验收标准及验收程序**

按照本技术规范完成TF磁体所有超导接头制造任务，甲方按照本技术规范对超导接头制造结果进行验收。若制造过程及制造结果均符合本技术规范之规定，即视为完成超导接头制造最终验收工作，同时乙方需提供本技术规范及质量要求所规定的各项文件于甲方。

**3、项目地点：**

安徽省合肥市庐阳区杨岗路谭岗路交口附近聚变堆主机设施园区8号厂房。

**4、交货日期：**

合同签订后16个月

**5、付款方式：**

1. 合同签订后15个工作日内支付30%；
2. 设备及制造工艺方案评审通过后15个工作日内支付25%；
3. 现场验收合格后15个工作日内支付40%；
4. 5%质保期满无息支付。