

ICS 77.180  
CCS H 93

T/HEBQIA

团 体 标 准

T/HEBQIA XXXX—2025

# 结晶器总成修复及质量控制技术规范

Technical specification for repair and quality control of mold assembly

(征求意见稿)

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

河北省质量信息协会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 修复前准备 .....	1
5 核心部件修复 .....	1
6 辅助系统组装调试 .....	9
7 整体检测验收 .....	11
8 涂装 .....	12

## 前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京首钢机电有限公司迁安机械修理分公司提出。

本文件由河北省质量信息协会归口。

本文件起草单位：北京首钢机电有限公司迁安机械修理分公司、首钢股份公司迁安钢铁公司、北京首钢机电有限公司、XXXXX。

本文件主要起草人：马武、吕艳春、刘计显、闫超、孙雷、陈玲、王艳辉、石铁强、王文帅、姚晶磊、王洋、齐杰斌、张小辉、王三恒、刘小青、XXXXX。

# 结晶器总成修复及质量控制技术规范

## 1 范围

本文件规定了结晶器总成修复及质量控制的修复前准备、核心部件修复、辅助系统组装调试、整体检测验收、涂装。

本文件适用于连铸设备中结晶器总成的修复作业及质量管控，相关钢铁企业及机械修理单位可参照执行。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 修复前准备

### 4.1 场地与设备

4.1.1 修复场地应保持清洁干燥，设置专用存放区域，按管理要求摆放零部件。

4.1.2 准备专用吊具、铜板打压工装台、热电偶检测仪、气焊设备、套筒扳手、万用表、靠弧板、干油泵等工具设备，所有工具应经检查校准。

4.1.3 准备密封件、防锈漆、石棉布、甘油、灌装喷射清洗剂等耗材，规格型号应符合相关技术要求，且在有效期内。

### 4.2 技术文件

4.2.1 收集结晶器总成图纸、设备技术说明书、历史修复记录等文件，明确修复技术参数和质量要求。

4.2.2 制定详细修复作业计划，明确各工序责任人、作业流程及时间节点。

### 4.3 安全防护

4.3.1 作业人员应穿戴防护手套、安全帽、防护眼镜等个人防护装备，避免作业过程中发生机械伤害、烫伤等事故。

4.3.2 作业区域消防设施、应急器材应齐全有效，满足安全作业要求。

## 5 核心部件修复

### 5.1 修复前清理与检查

### 5.1.1 结晶器本体

5.1.1.1 检查结晶器本体的表面质量，封堵所有管路外露接头，对各连接管路罩子进行保护性拆除，清理过程中应做好插座、线路的防护。

5.1.1.2 质控要求：结晶器本体表面应无锈蚀、无泥渣、无钢渣等杂物，拆除部件按管理要求放置在指定存放区域。

### 5.1.2 铜板

5.1.2.1 彻底清理铜板表面污物及窄面角缝内渣子，对铜板下线情况进行详细记录。

5.1.2.2 质控要求：

- 铜板表面应无污物、无泥渣；
- 铜板上三分之一区域划伤应满足：长≤100 mm、宽≤0.3 mm、深≤0.5 mm、个数≤2个；
- 铜板下三分之二区域划伤应不露铜；
- 表面凹坑深度应小于0.5 mm，直径或对角线小于5 mm，同一条水平线和垂直线上凹坑数量小于2个。

### 5.1.3 调宽系统

5.1.3.1 调宽装置连接：检查调宽系统与结晶器本体的连接接口，将调宽装置按设备图纸标识对应连接。

5.1.3.2 液压站启动：检查液压站油箱油位，启动液压站，待系统压力稳定至工作压力。

5.1.3.3 夹紧与调宽油缸行程检查：通过液压站控制面板或调宽系统操作终端，分别控制夹紧油缸、调宽油缸执行全行程动作，在动作过程中，观察油缸运行情况，同时使用钢卷尺或激光测距仪测量油缸实际行程，记录每次行程数据，对比设备技术说明书中规定的标准行程范围。若发现行程偏差或运行异常，应暂停操作，排查液压管路是否堵塞、油缸密封是否损坏，待故障排除后重新测试。

5.1.3.4 油缸防尘护罩与缸杆检查：手动打开各油缸的防尘护罩，目视检查护罩表面质量、护罩固定螺栓安装情况，对缸杆与油缸缸体进行泄漏检查。

5.1.3.5 各断面锥度、对中、角缝尺寸标定：将结晶器调节至不同浇注断面，使用专用锥度测量仪分别测量结晶器宽面、窄面的锥度值；使用对中检测工具测量结晶器中心与铸机基准线的对中尺寸，记录实际对中尺寸；用塞尺测量各断面宽面与窄面铜板连接处的角缝，记录角缝最大值；将实际测量的锥度值、对中尺寸与设计设定值进行对比，完成标定记录。

5.1.3.6 质控要求：

- 调宽系统与结晶器本体的连接接口应清洁无杂物，各接头连接紧密、无错位；
- 液压站油箱油位应在规定刻度范围内，油液无浑浊、变色等异常现象；
- 夹紧油缸、调宽油缸应运行平稳，无卡顿、异响等异常情况，符合行程要求；
- 油缸防尘护罩应无撕裂、破损、老化开裂等情况，护罩固定螺栓齐全、紧固，缸杆与油缸缸体的密封接口处无油滴滴落或油膜持续形成的现象；
- 锥度设定值与实际值偏差应不大于±0.5 mm；
- 对中尺寸设定值与实际值的偏差应不大于±1 mm；
- 角缝值应不大于0.2 mm。

### 5.1.4 液压管路

5.1.4.1 液压管路管夹子检查：按照结晶器总成液压系统图纸，采用目视检查与手动触摸结合的方式，逐段梳理所有液压管路，明确每段管路对应的管夹子安装位置及数量。

**5.1.4.2 液压管路连接:** 根据管路接头类型按规范操作, 所有管路连接完成后, 再次检查各接头连接状态。

**5.1.4.3 液压站启动与压力测试:** 检查液压站油箱油位, 启动液压站电机, 缓慢调节系统溢流阀, 升压过程应平稳; 压力达到 20 MPa 后, 关闭溢流阀调节旋钮, 进入保压阶段。保压期间应安排专人值守, 密切观察液压站压力表读数变化, 同时沿管路走向逐段检查管路及接头状态。

**5.1.4.4 质控要求:**

- 液压站油箱油位应在规定刻度范围内, 各液压管路管夹子齐全, 无缺失、掉落情况;
- 各接头连接应无错接、漏接, 管路无扭曲、打折现象;
- 压力达到 20 MPa 后, 保压 30 min 内, 所有液压管路应无油滴渗出、无油膜形成, 各管接头螺栓无松动、管夹子移位情况。

### 5.1.5 冷却水管路

**5.1.5.1 冷却水管路阀门操作与压力测试:** 按照结晶器冷却系统图纸, 明确冷却水管路的走向、阀门位置及关键连接节点; 打开冷却水管路进水总阀, 使水缓慢进入管路系统, 同时打开管路系统最高点的排气阀, 排出管路内的空气, 直至排气阀持续出水且无气泡冒出, 关闭排气阀; 继续缓慢调节进水总阀, 逐步提升管路压力, 实时观察压力表读数, 当压力升至 1.5 MPa 时, 关闭进水总阀, 进入保压阶段。保压期间应安排专人值守, 密切观察液压站压力表读数变化, 同时沿冷却水管路全流程进行泄漏检查。

**5.1.5.2 质控要求:** 压力达到 1.5 MPa 后, 保压 40 min 内, 冷却水管路所有部位应无滴漏、渗流等现象。

### 5.1.6 喷淋管路

**5.1.6.1 喷淋管路阀门操作:** 梳理喷淋管路系统组成, 目视检查管路外观; 缓慢打开喷淋管路进水总阀, 逐步调节阀门开度, 观察压力表读数, 将系统压力稳定至 8 bar。

**5.1.6.2 流量检测与记录:** 待压力稳定 5 min 后开始流量检测, 检测内外弧喷淋管与窄面喷淋管的单面流量。若压力出现波动, 应及时调节进水总阀, 待压力恢复稳定后重新测量; 记录检测时间、环境温度、压力表读数等辅助信息。

**5.1.6.3 泄漏补充检查:** 采用目视观察与纸巾擦拭的方式, 沿喷淋管路走向检查所有连接部位的泄漏情况。

**5.1.6.4 质控要求:**

- 各喷淋管路外观应无变形、破损, 喷嘴无堵塞、缺失或错位;
- 在 8 bar 稳定压力下, 内外弧喷淋管单面流量应不小于 196 L/min, 窄面喷淋管单面流量不小于 65 L/min;
- 喷淋管路全系统在 8 bar 压力下应无泄漏, 纸巾擦拭后无油渍或水渍残留。

## 5.2 结晶器铜板解体修复

### 5.2.1 铜板及支撑板拆卸

**5.2.1.1 窄面滑道摘除与清理:** 拆除窄面滑道的固定螺栓, 用工具清理支撑板与结晶器框架接触部位的残留密封胶、铁屑及氧化皮, 用压缩空气吹扫清理后的表面; 对框架上的定位销孔, 使用专用通棒进行贯通检查, 去除孔内堵塞物。

**5.2.1.2 吊装与转运操作:** 选择与铜板及支撑板重量匹配的专用吊具, 将铜板及支撑板从结晶器上拆除, 缓慢放置在铜板打压工装台的橡胶垫上, 过程中应保持平稳, 避免晃动或旋转, 禁止铜板表面与任何物体发生碰撞。

### 5.2.1.3 质控要求：

- 摘除的窄面滑道表面应无残留螺栓、密封胶，滑道凹槽内无铁屑、泥沙；
- 铜板吊运过程中，表面应无新增划痕、凹坑或变形，吊具与铜板接触部位无压痕。

### 5.2.2 结晶器框架检查

5.2.2.1 结合面清理：使用角磨机对结晶器框架与支撑板的结合面进行打磨，用毛刷清扫表面；对框架上的水路通道，使用高压水枪进行冲洗；用压缩空气吹干通道内残留水分。

5.2.2.2 平面度检测：采用平面度检测仪对框架与支撑板的结合面进行检测，记录各测点的平面度。

### 5.2.2.3 质控要求：

- 框架水路通道中应无可见铁屑、焊渣、泥沙等杂物，通道入口及拐角处无堵塞；
- 框架与支撑板结合面平面度应不大于 0.2 mm。

### 5.2.3 铜板与支撑板解体

5.2.3.1 二次清理：将铜板及支撑板在工装台上固定后，用铜刷清理两者结合面的残留密封胶、铜屑及氧化层，用压缩空气吹扫。

5.2.3.2 部件拆卸：使用扭矩扳手（配备套筒头）逐步松开铜板与支撑板的连接螺栓；拆除热电偶芯杆，芯杆拆卸时应缓慢旋转；将铜板与支撑板平稳分离，分离过程中应防止结合面相互刮擦。

5.2.3.3 水口封堵：采用橡胶堵头封堵支撑板水箱的所有水口，对直径较大的水口，可在堵头外侧缠绕一圈密封胶带增强密封性，封堵完成后标记水口位置。

### 5.2.3.4 质控要求：

- 铜板与支撑板结合面应无油污、金属屑及密封胶残留；
- 封堵后的水口应无松动脱落现象。

### 5.2.4 铜板及支撑板检查

5.2.4.1 结合面处理：选用油石沿铜板与支撑板结合面的纹理方向轻轻打磨，去除表面毛刺、浅划痕及锈蚀斑点。

5.2.4.2 冷却水道清理：使用细长毛刷深入铜板冷却水道内部往复清扫，去除内壁水垢及杂物。对弯曲部位的水道，可采用高压水冲洗配合专用疏通器处理，再用压缩空气将水道内水分吹干。

### 5.2.4.3 尺寸检测：

- 铜板厚度测量：使用数显千分尺在宽面铜板上下口浇注区域测量，上、下口沿宽度方向分别均匀选取 5 个点，记录所有测量数据并计算整体平均厚度；
- 平面度测量：采用平面度检测平台检测支撑板与铜板结合面的平面度。

### 5.2.4.4 质控要求：

- 铜板冷却水道应无明显水垢、锈蚀及杂物堵塞，高压水冲洗时出口水流顺畅无分流、偏流现象；
- 铜板厚度应大于 25 mm，否则申报报废；
- 支撑板与铜板结合面的平面度应小于 0.2 mm。

### 5.2.5 零散件清洗与检查

5.2.5.1 零散件分类与清洗：将拆卸下的螺杆、垫圈、蝶簧、芯杆等按规格型号分类放入专用清洗篮；采用清洗机进行清洗，对于螺纹孔内的锈蚀或油污，用专用钢丝刷手动清理，再用高压气枪吹扫残留水分。

5.2.5.2 不锈钢栽丝检查：使用扭矩扳手对铜板上的不锈钢栽丝进行紧固；采用目视和手触方式检查栽丝头部和螺纹磨损程度。

### 5.2.5.3 质控要求：

- 清洗后的螺杆、垫圈表面应无可见锈蚀、油污及金属屑，螺纹完整无断牙、滑丝。对于严重锈蚀、螺纹严重损伤或明显裂纹的零件应进行更换，更换件与原规格一致并记录型号；
- 不锈钢栽丝经预紧测试后应无松动，栽丝头部无裂纹，螺纹与标准螺栓配合顺畅，无卡滞。不符合要求的栽丝应采用专用工具取出并重新攻丝安装。

### 5.2.6 密封圈更换

5.2.6.1 旧密封圈拆除与清理：使用塑料刮刀小心剔除所有旧密封圈，包括大密封圈（宽面、窄面）、宽面铜板垫圈两道密封圈、窄面铜垫及热电偶两道密封圈；用蘸有酒精的无尘布擦拭密封槽；对热电偶安装孔内的密封圈槽，用专用细长毛刷清理。

5.2.6.2 新密封圈筛选与安装：按图纸要求领取对应规格的新密封圈，逐一检查密封圈外观；安装前在密封圈表面均匀涂抹一层薄层甘油，用手指将密封圈嵌入密封槽；对于宽面铜板垫圈的两道密封圈，按顺序安装；将热电偶密封圈套在芯杆上缓慢推入槽内。

### 5.2.6.3 质控要求：

- 所有密封圈的规格型号（内径、外径、截面直径）应与图纸要求一致。安装前检查应无破损、撕裂、变形等缺陷；
- 密封圈在密封槽内应贴合紧密，无局部凸起或凹陷，接口处无重叠。

### 5.2.7 铜板螺丝套检查

5.2.7.1 螺丝套外观检查：采用目视和手动紧固测试，检查螺丝套表面质量及安装情况。

### 5.2.7.2 质控要求：

- 螺丝套表面应无裂纹、变形或锈蚀；
- 手动紧固螺栓时，全程阻力应均匀，无空转或滑丝现象，拧紧后用手晃动螺栓头部，无明显松动。

### 5.2.8 铜板与支撑板组装

5.2.8.1 不锈钢螺杆安装：将不锈钢螺杆按图纸位置对应旋入铜板螺丝套，先用手拧至无法转动，再用扭矩扳手分两次预紧：宽面铜板第一次预紧至 50 Nm，第二次预紧至 90 Nm；窄面铜板第一次预紧至 60 Nm，第二次预紧至 120 Nm。

5.2.8.2 密封圈与背板组装：在支撑板（背板）密封槽内均匀涂抹一层甘油，将新密封圈放入槽内并按压到位。

5.2.8.3 热电偶芯杆安装：将热电偶芯杆穿过支撑板对应孔位，对准铜板上的安装孔缓慢旋入；用扭矩扳手将芯杆预紧至 30 Nm，预紧后检查导线及芯杆头部与支撑板的安装情况。

### 5.2.8.4 质控要求：

- 同一铜板上的螺栓预紧顺序应正确，无漏紧，预紧力矩符合要求；
- 密封圈应无脱落、翻边或被挤压出槽现象；背板与铜板贴合后，密封圈部位应无明显凸起；热电偶芯杆预紧力矩应符合要求，导线绝缘层无破损，芯杆与铜板接触良好，无松动。

### 5.2.9 水压试验

5.2.9.1 工装连接与排气：将组装后的铜板与支撑板吊装至专用打压工装台，用螺栓将支撑板固定在工装台上；连接工装的进水口与铜板冷却水路，在水路最高点安装排气阀和压力表；缓慢打开进水阀，让水充满水路系统，同时打开排气阀，直至排出的水中无气泡，关闭排气阀。

**5.2.9.2 升压与保压：**通过打压泵缓慢提升系统压力，当压力升至 1.5 MPa 时，关闭打压泵，进入保压阶段。保压期间应安排专人值守，可用干纸巾擦拭疑似部位，对铜板与背板结合面、所有螺栓安装位、热电偶芯杆密封处进行泄漏检查。

**5.2.9.3 质控要求：**压力达到 1.5 MPa 后，保压 90 min 内，铜板与背板结合面、螺栓安装位、热电偶芯杆密封处经纸巾擦拭后应无任何水渍；若出现渗漏，应泄压后重新检查密封圈安装状态、螺栓预紧力矩，处理后再次进行水压试验，直至符合要求。

### 5.3 热电偶安装与测试

#### 5.3.1 安装前检查

**5.3.1.1 热电偶外观检查：**按照图纸规定型号规格领取热电偶，逐根检查热电偶杆表面质量及导线连接情况。

**5.3.1.2 安装孔与导线槽清理：**用压缩空气吹扫铜板上的热电偶安装孔及导线槽；对孔内残留的硬质污物，用专用探针轻轻剔除，避免划伤孔壁。

**5.3.1.3 预装与折弯处理：**将热电偶杆缓慢插入安装孔，预装到位后，标记折弯位置，用专用折弯工具沿标记处缓慢折弯。

#### 5.3.1.4 质控要求：

- 热电偶杆表面应无划痕、变形或锈蚀，热电偶尖完好无破损；导线绝缘层应无开裂、磨损，屏蔽层完整，导线与热电偶杆焊接牢固；

- 从热电偶尖到折弯处应无弯曲；热电偶与插针连接部位应配合紧密，无插拔过松或过紧现象。

#### 5.3.2 热电偶安装

**5.3.2.1 安装孔深度清洗：**将灌装喷射清洗剂的细长管伸入铜板安装孔底部，缓慢喷射清洗剂；清洗后用压缩空气反复吹扫孔内，直至无清洗剂残留，再用干净棉布包裹探针擦拭孔口。

**5.3.2.2 热电偶定位安装：**在热电偶杆表面均匀涂抹一层薄层高温润滑脂，将其沿安装孔轴线缓慢插入，使热电偶尖与孔底紧密接触。

**5.3.2.3 电气性能检测：**用绝缘电阻测试仪测量热电偶与铜板之间的绝缘电阻，记录数值；用万用表测量热电偶丝电阻，对比同批次标准值；将热电偶导线按极性连接至临时测试电路，用气焊缓慢加热，观察万用表温度示值变化，同时检查接线端子连接情况。

#### 5.3.2.4 质控要求：

- 在水箱与铜板组装后的水压试验中，热电偶螺栓孔周围应无渗水痕迹；

- 同一区域的热电偶在单位时间内升温速度应基本一致，无升温停滞或异常跳变现象；

- 各热电偶接线应无松动、错接现象。

#### 5.3.3 专家系统热电偶安装

**5.3.3.1 位置放线定位：**根据专家系统热电偶布置图纸，在铜板表面用记号笔标记每个热电偶的安装坐标：宽面按 3 排 11 列均匀分布，窄面按 3 排 1 列分布。

**5.3.3.2 接线器连接：**按编号将宽面热电偶导线分组，每组 30 根对应连接一个接线器，连接时导线极性（正负极）与接线器端子标记一致；窄面热电偶按 3 根一组连接至带 10 个插脚的接线器，多余插脚用绝缘帽保护。

**5.3.3.3 电气性能检测：**用绝缘电阻测试仪测量热电偶与铜板之间的绝缘电阻，记录数值；用万用表测量热电偶丝电阻，对比同批次标准值；将热电偶导线按极性连接至临时测试电路，用气焊缓慢加热，观察万用表温度示值变化，同时检查接线端子连接情况。

### 5.3.3.4 质控要求：

- 热电偶实际安装位置与标记点应对应，布局完整无缺漏，每根热电偶与铜板紧密贴合；
- 同一区域的热电偶在单位时间内升温速度应基本一致，无升温停滞或异常跳变现象；
- 各热电偶接线应无松动、错接现象。

### 5.3.4 测试工具及程序

5.3.4.1 检测工具连接：将测试工具的接线器插头与结晶器插座对准，缓慢插入并锁紧；打开测试工具电源，待设备稳定后进入检测模式。

5.3.4.2 功能检测流程：按测试工具说明书依次执行短路检测、断路检测、绝缘检测及温度响应检测。

5.3.4.3 标识与固定：检查集线插盒插头盖板上的编号情况，用带编号的不锈钢螺栓固定集线插盒。

### 5.3.4.4 质控要求：

- 热电偶经检测全部功能应完好，无短路、断路或响应异常现象；
- 集线插盒方向应与线缆插头方向对应；固定螺栓编号应清晰，与插盒编号对应，拧紧后无松动；
- 集线插盒密封盖应闭合严密，无进水、进尘风险。

### 5.3.5 密封处理

5.3.5.1 大面密封处理：清理热电偶导线穿出铜板的孔口周围表面；按图纸要求在孔口处涂抹高温密封胶，密封胶呈环形均匀覆盖孔口与导线间隙；对导线槽内的热电偶导线，用防火密封泥填充槽体，压实后表面涂抹一层密封胶。

5.3.5.2 窄面密封处理：窄面热电偶接线器与铜板接触部位，放置专用密封垫片，用螺栓紧固后，在垫片边缘涂抹密封胶。

### 5.3.5.3 质控要求：

- 密封胶、密封泥与铜板表面、导线应完全贴合，无间隙；孔口密封层应覆盖所有可能的渗漏通道；
- 经防水、防尘测试后，密封部位内部应无进水、进尘，热电偶绝缘电阻无明显下降。

### 5.3.6 最终检测

5.3.6.1 位置与接线复核：检测每个热电偶的安装坐标，与图纸对比记录偏差；用万用表逐点核对热电偶导线与集线插盒端子的连接情况。

5.3.6.2 温升灵敏度测试：将热电偶检测仪调至实时监测模式，用气焊进行间歇性烘烤，观察检测仪显示的温度变化曲线。

### 5.3.6.3 质控要求：

- 热电偶安装位置应正确，无任何错接、短路现象；
- 烘烤时热电偶温度应变化灵敏，响应及时。

## 5.4 铜板组装与结晶器合装

### 5.4.1 铜板组装后检测

5.4.1.1 检测前准备：将铜板与支撑板组装体平稳放置在检测平台上，清理铜板工作表面，用干净棉布擦拭去除灰尘、油污及金属碎屑。

5.4.1.2 平面度测量：采用平面度检测平台检测铜板的平面度。

5.4.1.3 质控要求：新铜板平面度应不大于 0.3 mm，旧铜板平面度不大于 0.5 mm，无局部凸起或凹陷现象。

### 5.4.2 与结晶器框架合装

- 5.4.2.1 结合面清理与除锈：用角磨机对结晶器框架结合面进行除锈处理，除锈后用毛刷清扫表面；对框架上的定位销、螺栓孔，用专用丝锥清理螺纹。
- 5.4.2.2 密封圈安装与甘油涂抹：检查水箱水口边缘的表面质量；在水口密封槽内均匀涂抹一层甘油，选取与密封槽匹配的新密封圈，用手指将其嵌入槽内，按压到位，与槽壁贴合紧密；对多个水口逐一安装密封圈，安装后标记已完成部位。
- 5.4.2.3 合装与定位：使用与组装体重量匹配的专用吊具，吊住铜板及支撑板的专用吊耳，缓慢起吊并转运至结晶器框架正上方，使定位销孔与框架定位销精准对齐，缓慢下放组装体；下放过程中观察密封圈是否有移位迹象，若发现异常立即停止下放，调整后再继续；组装体贴合框架后，先用定位销临时固定，再用手推动组装体，确认无明显晃动。

#### 5.4.2.4 质控要求：

- 结晶器框架结合面应无可见铁屑、油污、锈迹；
- 各出水口内部应无杂物堵塞，密封圈安装区域无灰尘、颗粒状杂质；
- 密封圈安装位置应准确，无移位、破损、翻边现象，与密封槽完全贴合，无间隙；组装体与框架结合面应贴合紧密。

### 5.5 足辊修复

#### 5.5.1 清理

5.5.1.1 表面清理：使用高压水枪冲洗足辊框架表面，清理后用角磨机打磨框架表面锈蚀区域，直至露出金属光泽，再用压缩空气吹扫残留碎屑。

5.5.1.2 管路及罩子处理：采用套筒扳手拆卸连接管路罩子的固定螺栓，拆卸过程中用橡胶垫覆盖足辊轴承座等精密部件；将拆卸的罩子按规格分类，用钢丝刷清理内侧积灰后，放入专用货架；拆卸所有进出油管路及冷却水管路，拆卸时在管路接口处做好编号标记；用定制橡胶堵头封堵所有外漏接头，堵头外侧缠绕一圈密封胶带。

#### 5.5.1.3 质控要求：

- 足辊框架结合面应无可见铁屑、油污、锈迹；
- 拆卸的管路、罩子、螺栓等零部件应按定制管理要求，放置在带标识的专用托盘或货架上。

#### 5.5.2 解体检查

5.5.2.1 组件拆卸：用扭矩扳手拆卸足辊两端轴承座的固定螺栓，取下轴承端盖；使用拔轮器缓慢拉出足辊组件；将拆卸的大面足辊、窄面足辊、轴承、调整螺栓、垫片、蝶簧等部件分类摆放，做好对应标记。

#### 5.5.2.2 尺寸测量：

- 大面足辊检测：用千分尺在大面足辊两端及中间位置测量，记录外径值，计算与原始直径的差值（即磨损量）；用深度尺测量表面点蚀凹坑的最大深度；采用目视检查辊身、螺栓、垫片表面质量；
- 窄面足辊检测：用千分尺在窄面足辊两端及中间位置测量，记录外径值，计算与原始直径的差值（即磨损量）；拆卸轴承保持架，用汽油清洗轴承内外圈及滚子，检查内外圈滚道表面质量；用塞尺测量轴承游隙，与技术手册标准值对比；
- 窄面足辊蝶簧检查：采用目测检查单片蝶簧的表面质量；将5组蝶簧叠装，用直尺测量自由状态下的总长度。

#### 5.5.2.3 质控要求：

- 大面足辊磨损量不小于 1 mm 或点蚀凹坑深度不小于 1 mm 或发现大面积的裂纹时，应更换新辊；窄面足辊磨损量不小于 2 mm 时，应更换辊套；
- 轴承内外圈滚道应无损伤、保持架完好无变形，否则强制更换；蝶簧应无裂纹、碎裂，5 组叠装后自由长度不小于 40 mm，压缩后回弹性能正常；辊身、螺栓、垫片锈蚀严重时应更换新品。

### 5.5.3 组装

5.5.3.1 零部件清洗与预处理：对可继续使用的足辊、轴承、螺栓等部件，用超声波清洗机清洗，用压缩空气吹干，轴承内圈涂抹耐高温润滑脂，足辊轴颈表面涂抹薄层防锈油。

5.5.3.2 装配流程：将轴承缓慢压入足辊轴颈，使轴承内圈与轴肩贴合紧密；依次安装调整垫片、蝶簧（注意蝶簧安装方向一致），用扭矩扳手预紧调整螺栓至规定力矩；将组装好的足辊组件装入轴承座，安装轴承端盖，端盖螺栓拧紧。

#### 5.5.3.3 质控要求：

- 装配完成后，用手转动足辊，应转动灵活、无卡阻、无异常声响；
- 所有螺栓、螺母应拧紧到位，无松动；调整垫片应贴合紧密，无翘曲；蝶簧压缩量应符合设计要求，确保足辊弹性支撑性能正常。

### 5.5.4 合装后检测

5.5.4.1 对弧检测：将专用靠弧板贴合在大面及窄面铜板底部，调整足辊位置，使足辊表面与靠弧板紧密接触。

5.5.4.2 油路检查：连接足辊润滑油路，打开供油阀门，调节供油压力至 40 bar，保持 10 min；观察每个足辊轴承座出油情况；对管路接头进行泄漏检查，用手触摸管路是否通畅（无局部堵塞导致的温差）。

#### 5.5.4.3 质控要求：

- 手动转动各足辊，应保持灵活无卡阻，无异常噪声；
- 润滑油路应无堵塞，40 bar 压力下各足辊出油口均有稳定油流，无滴漏或喷油现象；供油 10 min 后，轴承座温度应无异常升高。

## 6 辅助系统组装调试

### 6.1 甘油系统

6.1.1 系统外观与状态检查：采用目视检查甘油分配器表面质量及安装情况；沿甘油管路走向逐段检查管路安装及密封情况。

6.1.2 足辊甘油润滑操作：将结晶器修复专用干油泵的出油口与甘油分配器入口通过高压软管连接；向干油泵内加注符合规格的甘油，排净油泵内空气；按足辊编号顺序，依次启动干油泵为每个足辊轴承座注油，注油时观察分配器对应支路压力表；每个足辊注油至出油口有纯净甘油连续流出后，关闭对应支路阀门，继续下一个足辊注油作业。

#### 6.1.3 质控要求：

- 甘油分配器外壳应无变形、裂纹，连接接口完好；
- 甘油管路应无弯折、压扁等变形情况，管夹固定牢固无松动，所有连接部位无甘油渗漏，擦拭后无油渍残留；
- 各足辊甘油出油点均应顺畅出油，无堵塞、滴漏现象；干油泵出口压力全程应不大于 40 bar，无超压情况；注油后足辊转动时应润滑充分，无干涩摩擦声响。

### 6.2 液压系统

**6.2.1 阀箱内部检查：**打开液压阀箱盖板，用干净棉布擦拭阀箱内部壳体，观察阀箱底部有无油液积存；逐一检查各电磁阀、溢流阀、换向阀的安装螺栓、阀芯接线端子安装情况。

**6.2.2 调宽动作与电磁阀测试：**连接液压站电源，启动液压站，通过控制面板操作调宽系统，观察油缸工作状态；用万用表检测各电磁阀线圈通断情况。

#### 6.2.3 质控要求：

——阀箱内部应无油液积存，各阀组、管路接口处无油滴渗出，擦拭后无油渍残留；

——各电磁阀应工作正常，线圈无过热、异响；调宽油缸伸缩动作应平稳、准确，无卡滞、爬行现象。

### 6.3 调宽调锥

**6.3.1 油缸排气与杂质清除：**启动液压站，通过手动控制或自动程序，使调宽油缸、夹紧油缸分别执行全行程伸缩动作，每个油缸连续动作应不少于3次；动作过程中，打开油缸顶部排气阀，排出缸体内空气，直至排气阀流出无气泡的纯净油液后关闭；低压循环完成后，将系统压力升至工作压力20 MPa。

**6.3.2 压力保持与渗漏检查：**系统压力稳定在20 MPa后，保持压力状态30 min。保压期间应安排专人值守，沿液压管路全流程检查，重点关注油缸进出口接头、管路焊接处、管夹固定部位，用干纸巾擦拭疑似渗漏点；用锥度测量仪、对中检测工具、塞尺，分别测量不同浇注断面的锥度、对中尺寸及角缝值，记录测量数据。

#### 6.3.3 质控要求：

——保压30 min内，液压管路应无渗漏油现象，油缸动作无卡滞、冲击，运行平稳；

——各浇注断面锥度设定值与实际测量值偏差应不大于±0.5 mm，对中尺寸设定值与实际值偏差不大于±1 mm，角缝值不大于0.2 mm。

### 6.4 自动化系统

**6.4.1 电气控制线路检查：**打开电气控制柜及端子箱，目视检查调宽电缆、传感器线路的连接情况；按电气图纸核对线路连接顺序。

**6.4.2 电缆阻值与绝缘检测：**将万用表调至电阻档，测量调宽电缆从端子箱到各插头的导体阻值；切换至绝缘电阻档，测量电缆芯线之间、芯线与接地端的绝缘阻值，记录检测数据；逐一检查位置传感器的地址拨码开关，对比设备技术参数表。

**6.4.3 专家系统插座检查：**检查专家系统插座的插针安装情况；将对应的插头插入插座，感受插拔力度；用万用表检测插座与插头的接触导通情况。

#### 6.4.4 质控要求：

——接线端子应压紧牢固，无松动、脱落，导线绝缘层无破损、老化现象；电气控制线路应无错接、漏接；

——调宽电缆各芯线导体阻值应小于0.3 Ω，绝缘阻值大于15 MΩ，无绝缘不良现象；不符合要求的电缆应更换或修复；

——位置传感器地址拨码应正确，与系统识别地址一致；专家系统插座插针应完好，插头与插座连接可靠，无接触不良，通电后系统无报错信息，功能正常。

### 6.5 冷却系统

#### 6.5.1 整体水压检测

**6.5.1.1 检测前准备:**关闭冷却系统所有排水阀、支路阀门，在系统进水口安装压力表和打压泵；打开系统最高点排气阀，缓慢注入清水，直至排气阀持续出水且无气泡，关闭排气阀；对铜板与支撑板贴合面、支撑板与框架水箱贴合面、宽面螺栓处、热电偶安装孔及排水丝堵等关键部位进行泄漏检查。

**6.5.1.2 升压与保压检查:**通过打压泵缓慢提升系统压力，直至压力升至 1.5 MPa，关闭打压泵；保压 40 min，对关键检查部位进行泄漏检查，对疑似渗漏点做好标记。

#### 6.5.1.3 质控要求：

- 冷却管路及各关键部位（贴合面、螺栓处、热电偶处、排水丝堵等）应无任何渗漏，干纸巾擦拭后无水渍残留；若发现渗漏，应泄压后修复密封，重新进行水压检测直至合格；
- 保压 40 min 内，压力应无突然下降现象，系统密封可靠。

### 6.5.2 喷淋装置调试

**6.5.2.1 喷嘴位置检查与调整:**采用目视检查所有喷淋喷嘴的安装角度、高度是否符合工艺图纸要求；用专用角度尺测量喷嘴喷射角度，对偏移的喷嘴，通过调整安装座螺栓进行校正，对准铸坯预期路径。

**6.5.2.2 喷淋效果与流量测试:**打开喷淋管路阀门，观察各喷嘴喷淋状态；用流量表分别测量内外弧喷淋管、窄面喷淋管的单面流量，记录数据；观察水流是否打在足辊或架子上，若有偏移及时调整喷嘴角度。

#### 6.5.2.3 质控要求：

- 喷嘴位置应准确，安装牢固，喷射角度符合工艺要求；喷淋应均匀，无断流、偏流，水流不接触足辊、架子等非目标部位；
- 流量要求见 5.1.6.4。

## 7 整体检测验收

### 7.1 锥度、对中、角缝尺寸检查

**7.1.1 调宽装置连接与油缸测试:**按设备图纸将调宽装置与结晶器液压接口精准对接，启动液压站，通过控制面板调节结晶器浇注断面，在动作过程中观察油缸运行情况；打开各油缸防尘护罩，目视检查缸杆表面质量，对缸杆与油缸缸体连接处进行泄漏检查。

**7.1.2 尺寸测量与记录:**用锥度测量仪、对中检测工具、塞尺分别测量不同浇注断面的锥度、对中尺寸及角缝值，记录测量数据。

#### 7.1.3 质控要求：

- 油缸动作应灵活、平稳，无卡滞、冲击现象；缸杆表面应无新增损伤，防尘护罩完好无破损，缸杆处无渗漏油痕迹，擦拭后无油渍残留；
- 各浇注断面锥度设定值与实际测量值偏差应不大于 $\pm 0.5$  mm，对中尺寸设定值与实际值偏差不大于 $\pm 1$  mm，角缝值不大于 0.2 mm。

### 7.2 足辊检查

**7.2.1 装配与转动检查:**采用目视检查大面、窄面足辊的安装固定情况；将专用靠弧板贴合在大面及窄面铜板底部，调整足辊位置。

**7.2.2 润滑油路验证:**连接足辊润滑油路，启动供油系统，将供油压力调至 40 bar，保持压力 10 min，观察每个足辊轴承座出油情况；对润滑油管路接头、管夹处进行泄漏检查。

#### 7.2.3 质控要求：

- 所有足辊转动应灵活无卡阻、无异常声响；通过专用靠弧板复核对弧精度，足辊表面与靠弧板

应贴合紧密，符合工艺对弧要求；

——润滑油路应无阻塞，40 bar 压力下各足辊出油口均能正常出油，出油量满足润滑需求；管路应无渗漏，压力保持稳定，无明显压降。

### 7.3 系统功能综合检查

7.3.1 热电偶与自动化系统检查：启动结晶器专家系统，通过气焊对任意3根不同区域的热电偶进行短时烘烤，观察系统温度响应情况；检查自动化系统的调宽调锥控制、数据采集、报警功能是否正常，模拟输入异常信号，验证报警机制是否触发。

7.3.2 液压管路与部件检查：沿液压管路全流程目视检查，确认各管接头、管夹安装情况；对各管路接头、焊接处进行泄漏检查，观察液压站压力表读数；启动调宽调锥系统，验证夹紧油缸、调宽油缸动作协调性。

7.3.3 压力与压风检测：在液压系统回油管路安装压力表，测量回油背压，记录数值；接通压风系统，调节压风压力至规定值，用手触摸各阀箱、电缆插座的通风口，感受风感，对压风管路进行泄漏检查；通过液压系统控制大面铜板开启，测量开启瞬间的压力值，记录最大开启压力。

#### 7.3.4 质控要求：

——热电偶与自动化系统应工作正常，温度响应灵敏，数据采集准确，报警功能有效；液压管路应无渗漏，管接头、管夹紧固可靠，油缸动作协调顺畅；

——回油压力应不大于25 bar，压力稳定无剧烈波动；接通压风后，各阀箱、电缆插座处风感应明显，无压风泄漏；大面开启压力应不小于10 MPa，满足设备安全运行要求。

### 7.4 间隙与偏心轴调整

7.4.1 铜板角缝调整：使用扳手松开夹紧油缸侧螺母的锁紧螺栓，通过旋转螺母调整轴承相对位置，用塞尺实时测量铜板角缝值；调整过程中逐步微调，每次调整后锁紧螺母并复核角缝，直至角缝符合要求，最后拧紧锁紧螺栓固定。

7.4.2 锁紧螺母与限位插板间隙调整：打开加紧装置锁紧螺母的固定螺栓，用游标卡尺测量锁紧螺母与限位插板的上部、下部间隙，通过旋转锁紧螺母进行调整；拧紧固定螺栓，再次复核间隙值。

7.4.3 偏心轴检查：采用目视检查偏心轴外观及其刻度情况；松开偏心轴锁母，用手转动偏心轴，感受转动情况。

#### 7.4.4 质控要求：

——铜板角缝经调整后应不大于0.2 mm，且各断面角缝均匀一致；锁紧螺母与限位插板上部间隙应控制在1.0 mm~1.2 mm（偏差≤±0.1 mm），下部间隙控制在0.7 mm（偏差≤±0.15 mm）；

——偏心轴表面应无违规喷漆，刻度清晰可辨、方向正确；锁母打开时手动转动应灵活，无卡顿，锁死状态下锁紧可靠。

## 8 涂装

### 8.1 涂装前清理

8.1.1 用高压空气吹扫结晶器表面，对残留的钢渣、腐蚀产物，用角磨机轻轻打磨去除，再用蘸有无水乙醇的抹布擦拭表面，直至抹布无明显污渍。

8.1.2 质控要求：结晶器表面应干燥、清洁，无油污、水分。

### 8.2 防锈漆涂刷

8.2.1 选用符合要求的防锈漆（耐温、耐油型），搅拌均匀后用毛刷或喷枪进行涂刷。涂刷时，框架、管路支架、螺栓头部等所有裸露金属表面均被覆盖。

8.2.2 质控要求：防锈漆应涂刷均匀、美观，无漏刷、流挂、气泡、起皮等缺陷，漆膜附着力良好。

### 8.3 管路与部件防护

8.3.1 对所有裸露的液压管路、冷却管路、甘油管路，用新石棉布进行缠绕包裹。

8.3.2 对电缆插头、分配器，用专用防护帽或防水罩密封，分配器表面用塑料膜包裹。

8.3.3 质控要求：裸露管路应包裹严密，石棉布固定牢固，无松散、移位；电缆插头、分配器应防护到位，防护帽、塑料膜密封可靠。

---