

# 轮毂电机定子总成装配线 1 条

## 一、总体要求

本技术要求针对扁线/波绕定子自动化生产线，包含定子装配、灌封及检测全流程系统。设备需具备高精度、高自动化水平、智能化操作和完善的追溯功能，满足年产 20,000 台的生产需求。

### 1.1 产能要求

整线节拍： $\leq 450s/台$

年产能： $\geq 20,000$  台/年（单班 12 小时，300 天/年）

设备稼动率： $\geq 95\%$

整线 OEE： $\geq 85\%$

整线一次通过率： $\geq 92\%$

### 1.2 产品兼容范围

定子类型：波绕定子

外形尺寸：

直径范围：250-350mm

铁芯高度：50-100mm

槽数：80~200

单槽铜线数：4-10 层

灌封兼容尺寸

直径：200-500mm

叠高：50-230mm

特殊要求：

线成型设备需要预留一台设备兼容 480mm 外径定子（预留设备延迟交付）

嵌线卷绕设备需要兼容 480 外径定子

### 1.3 基础规范

开机时间：单机开机时间小于 10 分钟

设备主体高度：MAX 3500mm（不含地脚），上方预留 $\geq 400mm$  空间

操作高度：

坐姿工作面高度：700~850mm

立姿工作面高度：800~1000mm

控制面板位置：操作面板中心高度距离地面 1600mm

## 二、生产线工位要求

### 2.1 设备工位列表清单

OP010 波绕线成型（半自动）  
OP020 编线（人工）  
OP030 铜线卷绕嵌入铁芯（半自动）  
OP040 定子上料（人工）  
OP050 端部整形（自动）  
OP060 尺寸及外观检查（人工）  
OP070 感应加热（自动）  
OP080 壳体压装（半自动）  
OP090 冷却（自动）  
OP100 涂导热胶（自动）  
OP110 安装散热片（人工）  
OP120 引线整理切平（人工）  
OP130 Busbar 焊接（半自动）  
OP140 装霍尔传感器（人工）  
OP150 NTC 安装（人工）  
OP160 电测试 1（半自动）  
OP170 定子下料（人工）  
OP180 上料，装灌封工装（人工）  
OP190 定子预热（半自动）  
OP200 真空灌封（半自动）  
OP210 固化（半自动）  
OP220 冷却（人工）  
OP230 拆工装，清洁检查（人工）  
OP240 电测试 2，下料（半自动）

### 2.2 辅助系统

整线集成控制系统  
托盘及 RFID 系统  
线体挡停系统  
MES 信息系统

## 三、定子总成装配线技术要求

### 3.1 波绕线成型

设备类型：半自动

设备描述：全自动波绕 2D 成型，对应 4 种线型，人工下料

工艺及质量要求：

1. 铜线放卷机构可满足最大 250kg 料卷的使用；
2. 放卷机构具备张力控制功能，并可根据具体线规格进行调整；
3. 去漆皮采用激光，保证去漆干净，不影响后续焊接；
4. 铜线校直滚轮至少使用一组 6+5 形式，保证校直直线度不低于 0.3mm/300mm；
5. 成型模具表面抛光，设置合理圆角，保证成型后漆皮无损伤；
6. 成型后铜线击穿电压不低于 3500VAC；
7. 成型后铜线尺寸符合图纸；

### 3.2 铜线排列

设备类型：人工

设备描述：人工将不同波绕线按照绕组图的顺序要求排列在托盘工装上

工艺及质量要求：

1. 弹夹托盘工装槽口需带合适圆角，且精密抛光，避免损伤铜线；
2. 工位至少需配置 4 台线型小车，每种小车上放置一种波绕线型；

### 3.3 铜线卷绕嵌入铁芯

设备类型：半自动

设备描述：人工上料定子铁芯，设备自动完成铜线的卷绕和嵌线，铜线从定子的外侧槽口直接嵌入槽内

工艺及质量要求：

1. 卷绕前的压平工序，将绕组两端及直线段部分压装平整；
2. 压平的压紧力度可调；
3. 定子铁芯的两端需要导向机构，保证铜线嵌入铁芯时不会直接与铁芯齿发生刮擦导致伤线；
4. 铜线输送的速度与铁芯旋转的速度需要精确匹配，保证铜线能够顺利进入对应的槽内；
5. 铜线压紧机构施加的作用力需要具备可调功能；
6. 所有与铜线接触的导向工装，都需要设置合适的圆角，且精密抛光，避免铜线刮擦损伤；

### 3.4 定子上料

设备类型：人工

设备描述：人工将卷绕后的定子半成品放置到轨道的托盘上，保证定位准确

工艺及质量要求：

保证定子定位准确；

### 3.5 端部整形

设备类型：自动

设备描述：设备自动对卷绕后的定子进行整形，整形区域包括两端绕组的内外径以及铁芯槽内的直线段部分

工艺及质量要求：

1. 定子出线端内径按照图纸要求尺寸；
2. 定子出线端外径按照图纸要求尺寸；
3. 定子出线端高度按照图纸要求尺寸；
4. 定子非出线端内径按照图纸要求尺寸；
5. 定子非出线端外径按照图纸要求尺寸；
6. 定子非出线端高度按照图纸要求尺寸；
7. 铁芯直线段部分，铜线不得超出铁芯外径；
8. 铜线互相之间不得出现挤压损伤；
9. 铜线与铁芯之间不得出现挤压损伤；
10. 铁芯上包覆的绝缘层不得出现溃烂、破损；
11. 所有与铜线接触的工装需设置合适圆角，且精密抛光，防止损伤铜线；
12. 各处整形力的大小、整形工装的位移均可调整；

### 3.6 尺寸及外观检查

设备类型：人工

设备描述：人工使用检具对定子的外形尺寸进行检测，人工通过目视对定子的外观进行检查

工艺及质量要求：

1. 产品检测后的合格与不合格状态，通过手动按钮形式，设置到 MES 系统之中；
2. 没有设置检测结果的产品，不可被放行；
3. 各检具需提供检测合格报告；
4. 检具使用铝或尼龙材料，防止对产品造成二次损伤；

### 3.7 感应加热

设备类型：自动

设备描述：定子通过托盘进入感应加热工位，加热线圈通过铁芯内径对定子进行中频感应加热

工艺及质量要求：

1. 采用中频加热系统，产品加热温度  $110^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ ；
2. 加热升温过程需至少 3min，剩余时间进行保温，最少 3min；
3. 整个过程中对定子进行测温，异常情况断电停止加热；
4. 加热时间保护逻辑，当超出预设的时间仍然检测到定子温度不足，需自动停止加热并报警；

### 3.8 壳体压装

设备类型：半自动

设备描述：人工上下料，通过压机将感应加热后的定子压入常温壳体之中

工艺及质量要求：

1. 压装过程力和位移曲线可监控；
2. 设备最小压装能力不低于 5T；
3. 压头只能作用于定子铁芯的外露的轭部区域；
4. 配备检具，检查压入后的深度以及定子是否压入到位、平整；
5. 压入力设置合理，不允许导致壳体或铁芯变形；

### 3.9 冷却

设备类型：自动

设备描述：压装后的定子及壳体组件，通过冷却通道自动冷却至常温

工艺及质量要求：

冷却通道内吹自然风冷却，顶部吹风；

### 3.10 涂导热胶

设备类型：自动

设备描述：设备自动供胶、出胶，通过 XY 伺服控制胶嘴轨迹，将导热胶均匀涂抹到定子端面

工艺及质量要求：

1. 胶水来料为桶装，支持自动供胶系统；
2. 胶条均匀连续，无轨迹错误、断胶、胶条过粗/细等不良；
3. 胶条收尾重合区长度控制在  $2\text{cm}\pm 1\text{cm}$  范围；

### 3.11 安装散热片

设备类型：人工

设备描述：人工将散热片对准位置安装到定子上，并操作拧紧枪将散热片固定螺栓拧紧

工艺及质量要求：

1. 扭矩枪需具备扭矩+角度控制功能；
2. 螺钉预涂胶防松；
3. 拧紧枪力臂需具备拧紧顺序监控功能，避免顺序错误或漏拧螺钉；

### 3.12 引线整理切平

设备类型：人工

设备描述：人工对定子的引线进行弯折、整理，然后减去多余部分

工艺及质量要求：

剪切时需进行遮挡和吸除，避免颗粒物落入定子；

### 3.13 Busbar 焊接

设备类型：半自动

设备描述：人工安装 busbar、星点铜排及对应焊接工装，产品进入设备自动进行激光焊接

工艺及质量要求：

1. 焊接采用激光焊接，功率不低于 6Kw；
2. 焊接系统需包含：激光发生器、振镜系统、视觉引导系统；
3. 视觉系统需自动判断焊接前是否符合焊接条件；
4. 焊接熔深、拉拔力、内部气孔量满足图纸要求；
5. 配备吸尘系统，保证烟尘被及时带走；
6. 避免焊接飞溅颗粒物落入定子中；

### 3.14 装霍尔传感器

设备类型：人工

设备描述：人工将霍尔安装到指定位置，并固定

工艺及质量要求：

1. 安装位置正确；
2. 传感器固定牢靠；

### 3.15 装 NTC

设备类型：人工

设备描述：人工将 NTC 安装到指定位置，并用绑扎带固定牢靠

工艺及质量要求：

1. NTC 安装位置正确；
2. NTC 触头部分与铜线接触平整、充分；
3. NTC 线束部分绑扎牢靠；

### 3.16 电测试 1

设备类型：半自动

设备描述：人工测试线束与定子对接，设备自动进行综合电性能测试

工艺及质量要求：

1. 测试项目包含：相间电阻、相间电阻平衡度、NTC 电阻、铜线对地绝缘电阻、铜线对 NTC 绝缘电阻、匝间耐压、绕组对地工频耐压；
2. 各测试项目的具体要求以图纸为准；
3. 相间电阻需换算到 20℃；
4. Cgk 值不低于 1.33；

### 3.17 定子下料

设备类型：人工

设备描述：人工对定子进行外观、尺寸检查，并清洁，然后下料到周转小车上

工艺及质量要求：

1. 各外形尺寸要求详见图纸；
2. 外观：铜线无损伤、破皮、无异常变形；铁芯无超过 0.2mm 的翘片、无异常变形；星点铜排及 busbar 焊点饱满、圆滑，无漏焊、焊偏、炸焊，焊点大小正常；NTC 绑扎牢靠、NTC 触头与铜线表面服帖；

### 3.18 装灌封工装

设备类型：人工

设备描述：人工将定子上料到灌封工装，保证定位准确

工艺及质量要求：

工装设计需满足灌封材料流动性要求，定位精度 $\pm 0.05\text{mm}$ ；

### 3.19 定子预热

设备类型：半自动

设备描述：人工上下料，固定式烘箱进行预热

工艺及质量要求：

1. 预热温度  $110\pm 5^\circ\text{C}$ ，保温时间 $\geq 30\text{min}$ ；
2. 温度均匀性 $\pm 3^\circ\text{C}$ ；

### 3.20 真空灌封

设备类型：半自动

设备描述：人工上下料，自动真空注胶灌封

工艺及质量要求：

1. 灌封真空度 $\leq 10\text{mbar}$ ，保压时间 $\geq 120\text{s}$ ；
2. 胶体填充率 $\geq 98\%$ ，无气泡、缺胶缺陷；
3. 灌封后重量公差 $\pm 2\%$ ；

### 3.21 固化

设备类型：半自动

设备描述：人工上下料，固定式烘箱进行固化

工艺及质量要求：

1. 固化温度  $130\pm 5^\circ\text{C}$ ，保温时间 $\geq 60\text{min}$ ；

2. 固化后胶体硬度 $\geq$ shore D60;

### 3.22 冷却

设备类型：人工

设备描述：自然冷却

工艺及质量要求：

冷却至室温（ $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）后方可进入下道工序；

### 3.23 拆工装，清洁检查

设备类型：人工

设备描述：人工拆工装，检具检查，手动清洁

工艺及质量要求：

1. 工装拆卸需轻柔操作，避免损伤定子表面；
2. 清洁后残留胶量 $\leq 0.1\text{g}$ ；

### 3.24 电测试 2

设备类型：半自动

设备描述：人工接线测试，人工下料

工艺及质量要求：

1. 增加 PDIV（局部放电起始电压）测试，要求 $\geq 5\text{kV}$ ；
2. 绝缘耐压测试电压 AC 3000V/1min 无击穿；

### 3.25 MES 信息系统

设备类型：信息系统

设备描述：产线级 MES 系统，包含电子看板、数据采集、设备管理、生产资料、数据分析、数据查询、计划排产、数据共享等功能模块

工艺及质量要求：

1. 实现工位级数据采集（节拍、合格率、报警信息）；
2. 关键参数（温度、压力、电压）实时监控与历史追溯；
3. 异常报警需关联设备状态、工位位置、操作人员信息；

## 四、信息化与追溯系统

### 4.1 追溯要求

灌封数据追溯：灌封设备必须收集温度-时间曲线和相关灌封参数，与电机序列号匹配采集参数：

1. 生产时间
2. 温度-时间曲线（预热、凝胶、固化、冷却）
3. 树脂和固化剂的配比
4. 灌装时的真空值
5. 灌注量、灌注速度、灌注时间
6. 灌注时工件温度
7. 树脂及固化剂温度
8. 数据存储：采集信息具备本地存储和上传功能

## 4.2 MES 系统接口

1. 数据接口：灌封设备需提供标准数据接口，与工厂 MES 系统对接
2. 协议要求：支持 OPC UA、Modbus TCP 等工业通信协议
3. 信息共享：实时向 MES 系统上传生产数据、设备状态、报警信息

# 五、验收标准

## 5.1 预验收测试(FAT)

测试地点：供应商工厂

测试要求：

1. 连续生产至少 16 个样品
2. 验证设备功能、性能、节拍
3. 验证灌封质量符合要求
4. 测试材料：买方提供测试用定子产品

## 5.2 现场验收测试(SAT)

测试时间：5 个工作日

测试要求：

1. 每个型号至少生产 20 个产品
2. 验证整线节拍、质量和稳定性
3. 验证与 MES 系统的数据对接
4. 验收标准：所有技术指标符合本文件要求

## 5.3 质量验收标准

### 5.3.1 整线验收标准

#### 功能验收:

1. 所有工位设备功能正常, 符合技术要求
2. 自动与手动模式切换正常
3. 安全防护装置有效, 紧急停止功能正常
4. 人机界面操作流畅, 参数设置正常

#### 产能验收:

1. 整线节拍 $\leq 450s/台$
2. 连续 24 小时生产, 设备稼动率 $\geq 95\%$
3. 整线 OEE $\geq 85\%$
4. 整线一次通过率 $\geq 92\%$

#### 质量验收:

1. 定子关键尺寸符合图纸要求
2. 铜线无损伤、无变形
3. 焊接质量符合要求, 无虚焊、漏焊
4. 电性能测试合格率 $\geq 98\%$
5. 灌封质量符合 5.3.2 灌封验收标准

#### 稳定性验收:

1. 连续 7 天无重大故障运行
2. 关键设备无重复性故障
3. 设备参数稳定性: 关键工艺参数波动在允许范围内

#### 信息化验收:

1. MES 系统数据采集准确率 $\geq 99\%$
2. 产品追溯功能完整, 可实现全流程追溯
3. 数据存储完整, 备份机制有效
4. 与工厂信息系统对接正常

#### 5.3.2 灌封验收标准

##### 灌封质量:

表面光滑、饱满, 填充均匀

无溢胶、飞边、堆积、气泡、漏铜线、漏铜排

灌封固化后硬度符合要求

##### 设备稳定性:

灌封设备一次通过率 $\geq 99\%$

连续 24 小时无故障运行

##### 工艺参数验证:

预热、凝胶、固化温度和时间符合工艺要求

真空灌注参数稳定, AB 胶配比误差 $\leq \pm 2\%$

每个工件灌胶量符合要求, 误差 $\leq \pm 3\%$

#### 5.3.3 电气安全验收

符合 GB 5226.1-2019 机械电气安全标准

接地电阻 $\leq 0.1\Omega$

绝缘电阻 $\geq 1M\Omega$

漏电流 $\leq 3.5mA$

紧急停止功能测试合格

#### 5.3.4 环保验收

设备噪声 $\leq 75\text{dB}$ （1m 外）  
VOC 收集效率 $\geq 95\%$   
无有害物质泄漏  
废气排放符合国家标准

## 六、服务与支持

### 6.1 培训

操作培训：供应商提供不少于 5 天的操作培训  
维护培训：供应商提供不少于 3 天的设备维护培训  
培训内容：设备操作、参数设置、日常维护、故障诊断

### 6.2 保修与支持

保修期：设备验收合格后 24 个月  
响应时间：接到故障通知后 2 小时内响应，24 小时内到达现场  
备件供应：常用备件清单及价格，关键备件本地库存  
技术支持：提供远程技术支持，必要时提供现场支持

### 6.3 文档交付

技术文档：设备操作手册、维护手册、电气原理图、机械图纸  
备件清单：易损件清单及更换周期  
验收报告：FAT、SAT 测试报告  
质量证明：设备合格证书、关键部件合格证书

## 七、其他要求

### 7.1 包装与运输

包装要求：防潮、防震、防锈处理，符合长途运输要求  
运输要求：设备各部件标识清晰，提供装卸指导  
到货验收：设备到货后买方进行外观和数量验收

### 7.2 安装与调试

安装要求：供应商负责设备安装、调试  
调试周期：设备到货后 30 天内完成安装调试

现场条件：买方提供水电气等基础设施，供应商提供详细要求

### 7.3 兼容性与扩展性

产品兼容：设备需考虑未来产品升级的兼容性

产能扩展：设备设计需考虑产能提升的可能性

系统扩展：控制系统预留扩展接口，支持功能扩展

浙江亚太机电股份有限公司

2025年12月24日