

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—2026

精密机械设备装配与调试技术规范

Technical Specification for Assembling and Commissioning of Precision Mechanical
Equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

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 基本要求	2
5 装配前准备	2
6 零部件装配	3
7 精密部件装配	4
8 液压与气动系统装配	6
9 电气与控制系统装配	7
10 整机总装与调整	9
11 调试与试运行	10

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XXX提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

精密机械设备装配与调试技术规范

1 范围

本文件规定了精密机械设备装配与调试的基本要求、装配前准备、零部件装配、精密部件装配、液压与气动系统装配、电气与控制系统装配、整机总装与调整、调试与试运行等环节的技术要求。

本文件适用于各类精密机械设备的装配、调试、检测及相关技术管理活动，涉及从事精密机械设备装配、调试、检测、维修的单位及相关从业人员。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 275 滚动轴承 配合
- GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求
- GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 10095.1 圆柱齿轮 ISO齿面公差分级制第1部分：齿面偏差的定义和允许值
- GB/T 14211 机械密封试验方法
- GB/T 15478 压力传感器性能试验方法
- GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小
- GB/T 16855.1 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通则
- GB/T 17587.3 滚珠丝杠副 第3部分：验收条件和验收检验
- GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离
- GB 28526 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全
- GB 50231 机械设备安装工程施工及验收通用规范
- JGJ 160 施工现场机械设备检查技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

精密机械设备 precision mechanical equipment

具有精密结构与性能，零部件加工精度、装配精度及运行精度要求高，用于高精度加工、检测或作业的机械产品总称，其核心部件运动精度、定位精度通常达到微米级及以上。

3.2

装配 assembling

将构件与零件按一定的技术要求组装成部件或设备的过程。

[来源：GB/T 50670，2.0.25]

3.3

装配基准 assembly reference

装配过程中，确定零部件、组件在整机或部件中位置所采用的基准面、基准线或基准点，是保证装配精度的核心依据。

3.4

进给系统 feed system

控制精密机械设备运动部件实现精准进给运动的系统，主要由驱动元件、传动机构、执行部件等组成，负责将动力转化为直线或旋转进给运动，保证进给精度和运动稳定性。

3.5

精度检测与校准 precision detection and calibration

采用符合精度要求的计量检测器具，对精密机械设备的几何精度、运动精度、定位精度等进行检测，并通过调整、校准等措施，使设备精度达到设计要求的程度。

4 基本要求

4.1 精密机械设备装配与调试施工应符合 GB 50231、JGJ 160 的相关规定。

4.2 装配与调试人员应具备相应的职业资格证书，熟悉精密机械设备结构及装配工艺。

4.3 人员应定期参加专业技能培训 and 考核，考核合格后方可上岗作业，培训记录应留存。

4.4 装配与调试环境温度宜控制在 18℃~22℃，相对湿度不应超过 75%，温湿度应定期监测记录。

4.5 工装与器具精度等级应与装配精度匹配，表面无损伤、无变形；应定期检查、维护和校准，不合格者严禁使用，维护校准记录应完整可追溯。

4.6 计量检测器具应经法定计量机构校准合格，校准证书应有效；计量检测器具应妥善存放，避免磕碰、受潮，使用前应检查外观及精度状态。

4.7 安全方面应符合 GB/T 16855.1、GB/T 15706 相关规定，作业现场应配备齐全有效的安全防护设施，作业人员应按规定佩戴个人防护用品，高空作业、带电作业应遵守相应安全操作规程。

5 装配前准备

5.1 技术文件准备

5.1.1 装配前应收集齐全相关技术文件，包括装配图纸、零部件明细表、装配工艺卡、精度检测标准等。

5.1.2 技术文件应经审核确认，内容完整、清晰。

5.1.3 作业人员应熟悉技术文件内容，明确装配顺序、精度要求及关键工序要点，对文件中疑问应及时反馈解决。

5.2 设备基础验收

5.2.1 设备基础验收应在装配前完成，验收项目包括基础尺寸、标高、水平度、地脚螺栓预留孔位置等。

5.2.2 基础表面应平整、清洁，无裂纹、蜂窝、麻面等缺陷，基础强度应满足设备安装要求，强度检测报告应齐全。

5.2.3 地脚螺栓预留孔的尺寸偏差、垂直度应控制在允许范围内，孔内杂物应清理干净，预留孔周围应无松动混凝土块。

5.3 零部件清点与检查

5.3.1 零部件应按明细表逐一清点，核对零部件的型号、规格、数量，确保与技术文件一致，清点记录应完整。

5.3.2 零部件外观检查应符合要求，表面无裂纹、锈蚀、变形、划伤等缺陷，关键零部件表面粗糙度应符合设计要求。

5.3.3 关键零部件的尺寸、形位公差应进行抽样检测，检测结果应符合 GB/T 1804 及产品设计要求，不合格零部件严禁投入装配。

5.3.4 零部件检查重点应包括：

- 轴类零件的轴颈尺寸、圆跳动、圆柱度；
- 箱体类零件的孔系尺寸、平行度、垂直度；

——齿轮零件的齿形精度、齿向精度。

5.4 清洁与防锈处理

5.4.1 零部件装配前应进行彻底清洁，去除表面的油污、铁锈、灰尘、毛刺等杂物，清洁方法应根据零部件材质及表面要求选择。

5.4.2 清洁后的零部件表面应干燥、无残留污渍，精密零部件清洁后宜采用洁净压缩空气吹干，避免水分残留。

5.4.3 关键零部件清洁后应进行清洁度检测，不合格者应重新清洁。

5.4.4 暂不装配的零部件应进行防锈处理，可采用涂防锈油、包装防锈纸等方式，防锈油的选择应符合零部件材质及存储要求。

5.4.5 防锈处理后的零部件应妥善存放，避免碰撞、受潮，存放环境应干燥、通风，远离腐蚀性物质。

6 零部件装配

6.1 装配基准确定

6.1.1 装配基准应根据产品设计图纸及装配工艺确定，优先选择零部件的主要平面、轴线作为装配基准，遵循基准统一原则。

6.1.2 装配基准面应平整、清洁，无损伤、无变形，必要时可进行研磨修整。

6.1.3 装配过程中应保持基准的稳定性，不得随意更改装配基准，基准面的定位应准确。

6.2 固定连接装配

6.2.1 螺栓连接装配应符合 GB/T 3098.1 的规定。

6.2.2 螺栓拧紧宜采用对角分次拧紧法，先按 50% 扭矩预紧，再按 100% 扭矩终紧，避免连接件受力不均导致变形。

6.2.3 螺纹连接应做好防松措施，可采用弹簧垫圈、锁紧螺母、开口销等防松件，防松件的规格应与螺栓匹配，安装应到位。

6.2.4 铆钉连接应确保铆钉与钉孔配合紧密，铆钉头应平整、无裂纹、无变形，铆钉连接后应进行外观检查，不合格者应重新铆接。

6.2.5 焊接连接应符合相关焊接标准要求，焊缝应平整、连续，无夹渣、气孔、裂纹等缺陷，焊接后应进行焊缝探伤检测。

6.3 可动连接装配

6.3.1 可动连接装配应保证运动灵活，无卡滞、无松动，运动间隙应符合设计要求，间隙过大或过小均应进行调整。

6.3.2 滑动连接装配时，配合表面应涂抹适量润滑剂，润滑剂的选择应符合运动要求及环境条件，涂抹应均匀，无过量堆积。

6.3.3 可动连接装配后，应进行空载试运转，检查运动灵活性及间隙合理性，发现问题及时调整。

6.4 传动部件装配

6.4.1 齿轮传动装配

6.4.1.1 齿轮传动装配应保证齿轮轴线平行度、中心距符合设计要求，齿轮啮合间隙应均匀，啮合间隙应符合 GB/T 10095.1 相关规定。

6.4.1.2 齿轮装配前应检查齿面清洁度，齿面无油污、毛刺，装配后应转动齿轮，检查啮合平稳性，无卡滞、无异常声响。

6.4.1.3 圆柱齿轮啮合时，接触斑点应分布均匀，接触面积应符合设计要求，必要时可通过研磨齿面调整接触状态。

6.4.2 链条传动装配

6.4.2.1 链条传动装配时，两链轮轴线应平行，链轮中心距应符合设计要求，链条张紧度应适中，张紧后无明显下垂。

6.4.2.2 链条与链轮啮合应平稳，无卡链、跳链现象，链条接头应连接牢固，接头处应与链条其他部位平齐，无突出。

6.4.2.3 装配后应进行空载试运转，检查链条传动的平稳性，发现跳链、异响等问题应及时调整链轮位置或链条张紧度。

6.4.3 丝杆传动装配

6.4.3.1 丝杆与螺母的啮合间隙应控制在要求范围内，滚珠丝杆预紧力应为额定动载荷的 10%~15%。

6.4.3.2 丝杆装配时应保证同轴度，偏差不应大于 0.03 mm/m，装配后应检查丝杆转动灵活性，无卡滞、无轴向窜动。

6.5 轴承装配

6.5.1 轴承装配应符合 GB/T 275 相关规定，装配前应检查轴承型号、规格，确保与设计要求一致，轴承表面无损伤、无锈蚀。

6.5.2 轴承装配时应采用专用工具，避免直接敲击轴承内外圈，防止轴承损坏，装配力应均匀。

6.5.3 与滚动轴配合的轴颈硬度不应低于 48 HRC，当轴颈作为滚动轴承滚道时，硬度不应低于 60 HRC。

6.5.4 轴承装配后应转动灵活，无卡滞、无异常声响。

6.5.5 轴承装配后应及时涂抹润滑剂，涂抹应均匀，无遗漏。

6.6 密封件装配

6.6.1 静密封装配

6.6.1.1 静密封件装配应确保密封面平整、清洁，无毛刺、划痕，密封件规格应与密封部位匹配，安装应到位，无偏移、无扭曲。

6.6.1.2 静密封件装配时可涂抹适量密封胶，密封胶的选择应符合密封介质及工作温度要求，涂抹量应适中，避免密封胶溢出。

6.6.2 动密封装配

6.6.2.1 动密封件装配应符合 GB/T 1421 相关规定，密封件与运动部件的配合应适度，既保证密封性能，又不影响运动灵活性。

6.6.2.2 动密封件装配前应检查密封面粗糙度，表面粗糙度不应大于 $Ra1.6\ \mu\text{m}$ ，装配后应检查密封效果，无泄漏现象。

6.6.2.3 唇形密封圈装配时，应注意安装方向，唇边应朝向密封介质一侧，装配后应确保密封圈与密封面贴合紧密，无松动。

7 精密部件装配

7.1 主轴系统装配

7.1.1 主轴系统装配前应检查主轴、轴承、轴套等零部件的精度及清洁度，无损伤、无杂物。

7.1.2 主轴轴承装配应按主轴轴颈和轴承内环的高低点标记进行安装，IV级及以上精度设备的主轴轴承宜采用选配或配作配合尺寸的方式装配。

7.1.3 采用加热方法装配过盈配合的主轴轴承时，加热应均匀，温度一般不应超过 100℃，避免轴承材料性能受损。

7.1.4 主轴锥孔（装弹簧卡头的锥孔除外）装配后应用量规做涂色法检验，高速旋转的 1:10 主轴锥孔接触比值应达到 85%以上。

7.1.5 高速旋转的主轴组件，装配后应进行动平衡试验。

7.1.6 IV级及以上精度设备主轴径向跳动不应大于 0.002 mm，轴向窜动不应大于 0.001 mm。

7.1.7 主轴松、拉刀机构装配后应进行动作试验，松、拉刀动作应安全、灵活、可靠，无卡滞现象。

7.2 导轨副装配

7.2.1 滚动导轨副装配

- 7.2.1.1 装配前应检查导轨滑块、导轨条的表面质量，无划痕、无锈蚀，滚动物体无破损。
- 7.2.1.2 导轨条安装应牢固，固定螺栓宜采用对角分次拧紧法，避免导轨条变形。
- 7.2.1.3 导轨副装配后，滑块移动应平稳、灵活，无卡滞、无爬行现象，移动阻力应均匀。
- 7.2.1.4 预紧后的导轨副应无明显间隙，同时保证移动灵活性，预紧力调整后应进行检测记录。

7.2.2 滑动导轨副装配

- 7.2.2.1 滑动导轨副装配前应检查导轨面的粗糙度，表面粗糙度不应大于 $Ra0.8\ \mu\text{m}$ ，导轨面无毛刺、划伤等缺陷。
- 7.2.2.2 装配时应在导轨面涂抹适量的润滑脂或润滑油，润滑剂的选择应符合运动要求，涂抹应均匀，无过量堆积。
- 7.2.2.3 滑动导轨副的间隙可采用调整垫片或镶条调整，间隙调整后应进行往复移动试验。

7.3 进给系统装配

- 7.3.1 进给系统装配前应检查滚珠丝杠、螺母、支撑轴承等零部件的精度及清洁度。
- 7.3.2 滚珠丝杠装配时应保证同轴度，偏差不应大于 $0.03\ \text{mm/m}$ ，装配后应检查丝杠转动灵活性，无卡滞、无轴向窜动。
- 7.3.3 滚珠丝杠的预紧力应控制在额定动载荷的 $10\%\sim 15\%$ ，符合 GB/T 17587.3 的规定，预紧后应检测螺母的轴向窜动量，窜动量不应大于 $0.05\ \text{mm}$ 。
- 7.3.4 进给系统的驱动电机与滚珠丝杠的连接应同轴，联轴器安装应牢固，无偏心、无松动，连接后应进行转动试验，确保平稳无异响。
- 7.3.5 丝杠与螺母装配后，其配合间隙应符合设计要求，具有消除间隙机构的丝杠副。
- 7.3.6 进给系统的润滑管路应安装牢固，油路畅通，无泄漏，润滑剂量应充足。
- 7.3.7 丝杠装配后应进行预拉伸处理，预拉伸后应检查丝杠的直线度，确保无变形。

7.4 精密转台装配

- 7.4.1 精密转台装配前应检查转台台面、底座、分度机构等零部件的精度及表面质量。
- 7.4.2 转台底座安装应牢固，水平度应符合设计要求，水平度偏差不应大于 $0.005\ \text{mm/m}$ ，可采用水平仪检测调整。
- 7.4.3 转台分度机构装配应精准，分度精度应符合设计要求，分度误差不应大于 $5''$ ，装配后应进行分度试验，记录试验数据。
- 7.4.4 转台轴承装配应符合 GB/T 275 相关规定，轴承安装应到位，转动应平稳，无卡滞、无异常声响，间隙调整应合理。
- 7.4.5 转台台面装配后应平整，平面度偏差不应大于 $0.003\ \text{mm/m}$ ，台面与转台轴线的垂直度应符合设计要求。
- 7.4.6 转台的锁紧机构装配应牢固，锁紧后无松动，锁紧力应均匀，锁紧状态下转台无转动现象，解锁动作应灵活。
- 7.4.7 转台电气系统应符合 GB/T 5226.1 要求，具备过载保护、短路保护及急停功能，电气连接应牢固可靠。

7.5 测量系统装配

- 7.5.1 测量系统装配前应检查测量传感器、光栅尺、读数头等零部件的精度及完好性。
- 7.5.2 光栅尺装配应牢固，光栅尺与运动部件的平行度偏差不应大于 $0.003\ \text{mm/m}$ ，安装后应进行清洁，避免灰尘附着。
- 7.5.3 测量系统的接线应规范，接线应牢固，无虚接、错接现象，信号线应远离强电线路，避免电磁干扰。
- 7.5.4 测量系统装配后应进行校准，校准精度应符合设计要求，校准记录应完整可追溯。
- 7.5.5 测量系统的防护装置应安装到位，防止灰尘、油污进入测量部件，影响测量精度，防护装置应牢固、可靠。

- 7.5.6 传感器外观应无明显瑕疵、划痕，接头螺纹应无毛刺、锈蚀和损伤，焊接处应牢固，电连接器应接触可靠。
- 7.5.7 测量系统装配后应进行试运行，检查测量数据的准确性和稳定性，发现偏差应及时调整校准。
- 7.5.8 测量系统的安装应按传感器详细规范的规定进行，试验前，被试传感器应在试验环境条件下放置，放置时间不应小于 1h。

8 液压与气动系统装配

8.1 管路布置

- 8.1.1 液压与气动管路走向应合理，避免交叉、缠绕，便于安装、调试和维护。
- 8.1.2 液压管路的流速应控制在规定范围内，吸油管路流速不宜超过 1.2 m/s，压力管路不宜超过 5 m/s，回油管路不宜超过 4 m/s。
- 8.1.3 硬管布置应使安装应力减到最小，避免被当作踏板或梯子使用，外部载荷不宜加在管路上，不应利用管路支承元件。
- 8.1.4 硬管弯曲半径不宜小于管径的 5 倍，软管弯曲半径不宜小于推荐的最小值，避免死弯。
- 8.1.5 水平管路坡度应不小于 1%，便于排油和排气，管路与设备接口连接处宜采用柔性连接，减少振动传递。
- 8.1.6 管路布置应能防止可预见的危险，不妨碍对元件调整、修理和更换，管路标记或布置方式应避免错误连接。
- 8.1.7 气动管路应远离高温、高压区域，避免管路老化、损坏，管路布置应保证气体流动顺畅，无明显阻力。

8.2 接头与密封

- 8.2.1 接头规格应与管路尺寸匹配，额定压力不应低于所在系统部位的最高工作压力。
- 8.2.2 接头安装前应检查密封面，无毛刺、划痕、锈蚀，密封面应清洁，涂抹适量的密封脂或密封胶，确保密封可靠。
- 8.2.3 螺纹接头安装应拧紧，避免过紧或过松，过紧易损坏螺纹，过松易造成泄漏。
- 8.2.4 液压软管接头装配应牢固，软管与接头连接应紧密，无松动、无泄漏，装配后应检查软管无扭曲、无损伤。
- 8.2.5 快换接头选择应做到，当其被拆开时可自动密封上游端和下游端的油液压力，防止危险发生。
- 8.2.6 密封件装配应符合 GB/T 14211 相关规定，密封件规格应与密封部位匹配，安装应到位，无偏移、无扭曲、无破损。
- 8.2.7 高压管路连接后应按 1.25 倍工作压力进行水压试验，保压 30 min 无渗漏为合格，试验后应将管路内积水排净。
- 8.2.8 重复拆装的接头，其 O 形圈应更换，避免因密封件老化、损坏导致泄漏。

8.3 清洁度控制

- 8.3.1 管路装配前应进行清洗，去除管内的氧化皮、毛刺、切屑等有害杂质，清洗后应进行干燥处理，确保管内无水分、无杂物。
- 8.3.2 液压油加油前应过滤，过滤精度不应低于 10 μm，加油工具应清洁，避免污染油液。
- 8.3.3 系统装配完成后，应进行冲洗，冲洗介质可采用与系统工作介质相同的油液，冲洗时间不应少于 2h，冲洗后应更换滤芯。
- 8.3.4 不同系统油液污染等级不应低于表 1 的规定。

表 1 不同系统油液污染规定

系统类型	污染等级代号 (4 μm(c)/6 μm(c)/14 μm(c))	每毫升油液最大颗粒数 (≥14 μm(c))
精密液压系统	18/16/13	40
普通液压系统	20/18/15	160

气动系统	21/19/16	320
------	----------	-----

8.3.5 装配过程中，零部件应放置在清洁的环境中，避免灰尘、油污污染，暂不装配的接口应进行封堵。

8.3.6 清洁后的零部件表面应干燥、无残留污渍，精密部件清洁后宜采用洁净压缩空气吹干，避免水分残留。

8.4 元件安装

8.4.1 液压元件安装

8.4.1.1 液压泵安装应符合 GB/T 3766 相关规定，安装应牢固，泵轴与电机轴的同轴度不应大于 0.02 mm，联轴器安装应无偏心、无松动。

8.4.1.2 液压阀安装应平整、牢固，安装方向应符合设计要求，阀体上的箭头方向应与油液流动方向一致，不应装反。

8.4.1.3 液压缸安装应牢固，缸体与活塞的同轴度应符合设计要求，活塞杆伸出应平稳，无弯曲、无卡滞，密封无泄漏。

8.4.1.4 液压过滤器安装应便于拆卸、清洗，安装方向应正确，滤芯安装应到位，过滤器进出口不应装反，排污口应朝向便于操作的方向。

8.4.1.5 液压蓄能器安装应牢固，远离高温、振动区域，蓄能器与管路连接应牢固，无泄漏。

8.4.1.6 液压元件安装前应检查外观，无损伤、无锈蚀，内部清洁，无杂物，不合格元件严禁安装。

8.4.2 气动元件安装

8.4.2.1 气动元件安装应牢固，位置应便于操作和维护。

8.4.2.2 空气过滤器、减压阀、油雾器安装应按顺序进行，过滤器应安装在最前端，油雾器应安装在靠近执行元件的一侧。

8.4.2.3 气缸安装应牢固，活塞杆伸出应平稳，无卡滞、无泄漏，缓冲装置应安装到位。

8.4.2.4 气动阀安装应平整，阀芯动作应灵活，无卡滞，接线应牢固，无虚接现象。

8.4.2.5 气动元件安装前应检查内部清洁度，去除杂质，确保元件动作灵活，密封可靠，安装后应进行通气试验，检查无泄漏。

8.4.2.6 软管总成应用未经装配使用过的新软管构成，应标明生产日期和推荐使用寿命，不得超过额定压力使用。

9 电气与控制系统装配

9.1 电气元器件安装

9.1.1 电气元器件安装应符合 GB 5226.1 及 GB 28526 相关规定，安装应牢固、整齐，布局合理，便于接线、调试和维护。

9.1.2 配电箱、控制柜内的元器件安装间距应合理，散热良好，避免相互干扰，元器件标识应清晰、准确。

9.1.3 接触器、继电器安装应牢固，触点接触应良好，无氧化、无烧蚀，线圈接线应牢固，无虚接现象，动作应灵活、可靠。

9.1.4 熔断器熔体规格应与电路负载匹配，安装应牢固，更换熔体时应切断电源，严禁用不符合规格的熔体替代。

9.1.5 断路器安装应牢固，接线应正确，脱扣器整定电流应符合设计要求，动作应灵敏、可靠，能有效保护电路。

9.1.6 电气元器件安装前应检查外观，无损伤、无锈蚀，绝缘性能良好，不合格元器件严禁安装。

9.1.7 元器件安装应避免靠近高温、潮湿、振动区域，防止元器件性能受损，影响系统正常运行。

9.1.8 控制柜内的接线端子安装应牢固，端子排间距应合理，便于接线和检修，端子标识应清晰，与接线图一致。

9.2 布线要求

- 9.2.1 电气布线应整齐、规范，避免交叉、缠绕，线束固定应牢固。
- 9.2.2 电源线、信号线应分开布置，间距不应小于 50 mm，避免信号线受到强电干扰，影响信号传输精度。
- 9.2.3 导线截面应根据负载电流选择，严禁使用截面过小的导线，避免导线过热损坏。
- 9.2.4 导线连接应牢固，无虚接、错接现象，接头处应进行绝缘处理，绝缘层应完好，无破损、无裸露。
- 9.2.5 布线过程中，导线应避免过度弯曲，弯曲半径不应小于导线直径的 10 倍，避免导线绝缘层破损。
- 9.2.6 管路内的导线应无接头，导线穿过管路时应加装保护套，避免导线与管路摩擦损坏绝缘层。
- 9.2.7 线束应按设计要求进行编号，编号应清晰、准确，与接线图一致，便于调试和维护。
- 9.2.8 布线应远离高温、油污、振动区域，导线绝缘层应能承受环境温度，避免老化、损坏。
- 9.2.9 控制柜内的线束应整理整齐，用扎带固定，扎带间距应均匀，不应大于 200 mm，线束布置应不影响元器件动作。

9.3 接地与屏蔽

- 9.3.1 电气与控制系统的接地应牢固、可靠，接地电阻不应大于 4Ω 。
- 9.3.2 控制柜、配电箱应设置保护接地端子，接地导线应采用黄绿双色线，接地连接应牢固，无松动。
- 9.3.3 信号电缆应采用屏蔽电缆，屏蔽层应单端接地，接地应牢固，屏蔽层不应断裂、破损，避免电磁干扰。
- 9.3.4 高频信号线的屏蔽层应两端接地，接地电阻应符合设计要求。
- 9.3.5 接地体应埋入地下不少于 0.8 m，周围应无杂物，接地电阻应定期检测，检测记录应留存。
- 9.3.6 电气设备的金属外壳、金属支架应可靠接地，避免因绝缘损坏导致外壳带电，引发安全事故。
- 9.3.7 屏蔽电缆的屏蔽层应与接地端子可靠连接，连接应牢固，无虚接现象，屏蔽层不应与其他导线接触。
- 9.3.8 接地系统应定期检查，发现接地松动、断裂等问题应及时处理，确保接地系统正常工作。

9.4 传感器安装

- 9.4.1 传感器安装应符合 GB/T 15478 的规定，安装应牢固，无松动。
- 9.4.2 位移传感器、压力传感器等安装应与被测部件保持合适的距离，避免相互干扰，安装精度应符合设计要求。
- 9.4.3 传感器安装前应检查外观，无损伤、无锈蚀，接线端子无氧化，绝缘性能良好，不合格传感器严禁安装。
- 9.4.4 传感器接线应规范，接线应牢固，无虚接、错接现象，信号线应采用屏蔽电缆，避免电磁干扰，影响检测精度。
- 9.4.5 压力传感器的压力接口连接应密封良好，避免漏气、漏油，电气连接应牢固，减少接触电阻。
- 9.4.6 传感器安装应考虑环境因素，避免安装在高温、潮湿、振动剧烈的区域，防止传感器性能受损。
- 9.4.7 对于动态试验用传感器，应确保安装刚度符合实际工况，防止共振影响测试结果，安装扭矩应按传感器技术文件执行。

9.5 控制系统接线

- 9.5.1 控制系统接线应正确、牢固，无虚接、错接现象。
- 9.5.2 PLC、触摸屏、变频器等控制元件的电源线、信号线、控制线应分开布置，避免干扰。
- 9.5.3 控制线接线应牢固，端子连接应紧密，无松动，接线端子应做好标识，与接线图一致，便于调试和维护。
- 9.5.4 变频器接线应规范，输入输出端子接线应正确，接地应可靠，避免因接线错误导致变频器损坏。
- 9.5.5 PLC 的 I/O 接口接线应正确，输入信号、输出信号应对应，接线应牢固，无虚接现象，避免信号丢失或误动作。
- 9.5.6 控制系统接线完成后，应进行绝缘电阻试验，绝缘电阻不应小于 $1M\Omega$ 。
- 9.5.7 接线过程中，应避免导线绝缘层破损，接头处应进行绝缘处理，绝缘层应完好，无裸露，防止

短路。

9.5.8 控制线应采用屏蔽电缆，屏蔽层应可靠接地，减少电磁干扰，确保控制系统稳定运行。

9.5.9 接线完成后，应整理线束，用扎带固定，线束布置应整齐，不影响控制元件动作，便于检修。

9.5.10 控制系统接线后应进行通电检查，检查各控制元件动作是否正常，信号传输是否稳定，发现问题及时调整。

10 整机总装与调整

10.1 总装流程

10.1.1 整机总装应遵循“先基础后精密、先部件后整机、先静态后动态”的原则。

10.1.2 总装前应再次核对各部件装配质量，确认精密部件、液压气动系统、电气控制系统装配合格后，方可进行整机总装。

10.1.3 总装流程应明确先后顺序，依次完成床身/底座定位、精密部件集成、系统管路连接、电气线路整合、防护装置安装，每步完成后应进行自检。

10.1.4 总装过程中应避免碰撞、划伤精密部件表面，严禁违规操作，装配工具应与部件精度匹配，防止部件损坏。

10.1.5 总装完成后应进行整体外观检查，清理装配过程中产生的杂物，确保设备表面清洁、无多余杂物残留。

10.2 水平与同轴度调整

10.2.1 整机水平调整应在设备总装完成后进行，采用水平仪结合平尺进行检测调整。

10.2.2 不同设备水平与同轴度允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 水平与同轴度允许偏差

设备类型	水平度允许偏差 (mm/1000 mm)	同轴度允许偏差 (mm)	检测方法
重型精密设备	≤0.02	≤0.02	水平仪+百分表
普通精密设备	≤0.05	≤0.03	水平仪+百分表
多轴联动设备	≤0.02	≤0.015	百分表+激光对准仪

10.2.3 多轴联动设备的各轴之间同轴度应同步调整，确保各轴运动协调，调整后应进行试运转，验证调整效果。

10.3 间隙与张紧调整

10.3.1 齿轮传动间隙应采用塞尺检测，调整可通过调整垫片、齿圈位置等方式，确保间隙均匀。

10.3.2 滚珠丝杠与螺母的配合间隙应调整至设计规定值，具有间隙消除机构的，应确保消除机构动作可靠，无卡滞。

10.3.3 皮带、链条等传动部件的张紧调整应适中，张紧力应均匀，避免过紧导致部件磨损，过松产生打滑现象。

10.3.4 导轨副、轴承等运动部件的间隙调整后，应进行往复运动试验，确保运动灵活、无卡滞，间隙稳定。

10.3.5 间隙与张紧调整后，应做好标记，记录调整参数，便于后续维护和复检。

10.4 润滑系统安装

10.4.1 润滑管路布置应合理，油路畅通，无泄漏。

10.4.2 润滑泵安装应牢固，与电机连接应同轴，运转应平稳，无异常声响，润滑泵的输出压力应符合设计要求。

10.4.3 润滑管路安装前应进行清洗，去除管内杂物，安装后应进行压力试验，试验压力为工作压力的 1.25 倍，保压 30 min 无渗漏为合格。

10.4.4 润滑脂、润滑油的型号、规格应符合设计要求，加油量应充足，加油口应设置清晰标识，便于后续补充。

10.4.5 润滑系统的过滤器安装应便于拆卸、清洗，滤芯安装应到位，过滤精度应符合系统要求，避免杂质进入润滑部位。

10.5 冷却系统安装

10.5.1 冷却管路连接应牢固，密封可靠，无泄漏现象。

10.5.2 冷却水箱、散热器安装应牢固，位置应便于维护，水箱内水质应清洁，符合冷却系统要求，避免水垢产生。

10.5.3 冷却泵安装应平稳，运转应灵活，无异常声响，输出流量应符合设计要求，确保冷却效果。

10.5.4 冷却系统安装后应进行试运转，检查管路无泄漏，冷却温度应控制在设计范围内，散热部件散热正常。

10.5.5 冷却系统的过滤器应定期清洗，确保管路畅通，避免因堵塞影响冷却效果，过滤器清洗周期应符合设计要求。

10.6 防护装置安装

10.6.1 防护装置安装应牢固、可靠，能有效防护危险区域。

10.6.2 防护装置的安全距离应符合要求，防止上下肢触及危险区，安全距离应按 GB/T 23821 规定执行。

10.6.3 运动部件的防护装置应与部件运动协调，不影响设备正常运行，同时能有效防止杂物进入运动部位。

10.6.4 电气控制系统的防护装置应密封良好，防止灰尘、油污、水分进入，保护电气元器件不受损坏。

10.6.5 防护装置应设置清晰的警示标识，标识应规范、醒目，符合相关安全标准要求，便于操作人员识别。

10.6.6 防护装置安装后应进行检查，确保无松动、无变形，防护功能完好，不符合要求的应重新安装调整。

11 调试与试运行

11.1 调试准备

11.1.1 调试前应做好充分准备，收集齐全技术文件，包括装配图纸、调试方案、精度标准等。

11.1.2 调试人员应具备相应资质，熟悉设备结构及调试工艺，明确调试要点及安全注意事项，必要时进行岗前培训。

11.1.3 调试用计量检测器具应经校准合格，精度等级应与调试要求匹配，确保检测数据准确可靠。

11.1.4 调试前应检查设备各部件装配质量，确认管路、线路连接正确，无松动、错接现象，防护装置安装到位。

11.1.5 对大型、复杂精密设备，编制的调试方案应经有关技术主管批准，方可开展调试工作。

11.1.6 调试现场应清理干净，无杂物、无障碍物，配备齐全安全防护设施，避免调试过程中发生安全事故。

11.2 单机调试

11.2.1 液压与气动系统单机调试

11.2.1.1 液压系统单机调试应先进行空载运转，检查液压泵运转状态，无异常声响，系统压力应稳定在设计范围内。

11.2.1.2 逐一调试各液压阀动作，确保动作灵活、可靠，无卡滞现象，液压缸伸缩平稳，无泄漏。

11.2.1.3 气动系统单机调试应检查气源压力，确保压力稳定，各气动元件动作灵活，气缸伸缩平稳，无漏气现象。

11.2.2 电气与控制系统单机调试

11.2.2.1 电气系统单机调试应检查各电气元器件动作，接触器、继电器动作可靠，熔断器、断路器保护功能正常。

11.2.2.2 控制系统单机调试应检查 PLC、变频器、触摸屏等元件工作状态，信号传输稳定，无异常报错。

11.2.3 密部件单机调试

11.2.3.1 主轴系统单机调试应检查主轴转动平稳性，无异常声响，转速符合设计要求，轴向窜动、径向跳动控制在允许范围内。

11.2.3.2 进给系统、精密转台等单机调试应检查运动灵活性，定位精度、重复定位精度符合设计要求，无爬行、卡滞现象。

11.3 系统联调

11.3.1 系统联调应在各单机调试合格后进行，确保各系统协同工作、动作协调。

11.3.2 液压与电气控制系统联调，应检查液压动作与电气控制信号同步，信号传输准确，无延迟、误动作现象。

11.3.3 精密部件与进给系统联调，应检查各轴运动协调性，多轴联动时动作平稳，无干涉、无异常声响。

11.3.4 联调过程中应逐步加载，观察设备运行状态，发现异常应立即停机检查，排除故障后再继续调试。

11.3.5 联调完成后，应进行全面检查，确认各系统工作正常，参数符合设计要求，无异常现象。

11.3.6 系统联调应重点检查安全保护功能，确保急停、过载、短路等保护功能可靠有效，避免设备损坏或安全事故。

11.4 精度检测与校准

11.4.1 精度检测主要项目包括导轨直线度、主轴径向跳动、定位精度、重复定位精度，允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 主要精度检测项目允许偏差

检测项目	允许偏差 (mm)	检测方法
导轨直线度	$\leq 0.005/1000$	激光干涉仪
主轴径向跳动	≤ 0.002	百分表
定位精度	≤ 0.003	激光干涉仪
重复定位精度	≤ 0.0015	激光干涉仪

11.4.2 测量系统校准应定期进行，校准记录应完整可追溯。

11.4.3 精度检测与校准完成后，应出具检测报告，明确检测结果，不合格项应及时整改，整改后重新检测。

11.5 空载试运行

11.5.1 空载试运行应在系统联调、精度校准合格后进行，试运行时间不应少于 4 h。

11.5.2 空载试运行时，设备转速应逐步提升至额定转速，观察设备运行平稳性，无异常声响、振动，各部件温度正常。

11.5.3 试运行过程中应检查液压、气动系统无泄漏，润滑系统工作正常，油路畅通，油量充足。

11.5.4 电气控制系统应工作稳定，信号传输准确，无异常报错，安全保护功能可靠有效。

11.5.5 空载试运行过程中应定时记录设备运行参数，包括转速、温度、压力等，发现异常应立即停机检查。

11.5.6 空载试运行结束后，应检查设备各部件，无松动、无磨损，精度无明显变化，方可进行负载试运行。

11.6 负载试运行

- 11.6.1 负载试运行应在空载试运行合格后进行，负载应逐步增加，避免突然加载。
- 11.6.2 负载试运行负载等级应按设计要求划分，依次进行 50 %、75 %、100 % 额定负载试运行，每个等级试运行时间不应少于 2 h。
- 11.6.3 试运行过程中应检查设备运行状态，转速、扭矩、功率等参数应符合设计要求，无异常声响、振动。
- 11.6.4 液压、气动系统压力稳定，无泄漏，冷却系统工作正常，设备各部件温度控制在允许范围内。
- 11.6.5 负载试运行过程中应重点检查传动部件、精密部件的工作状态，避免过载导致部件损坏。
- 11.6.6 负载试运行结束后，应停机检查设备各部件，无松动、无磨损，精度符合要求，方可进入工艺参数验证阶段。

11.7 工艺参数验证

- 11.7.1 工艺参数验证应根据设备设计用途及工艺要求，设定不同的工艺参数，进行试加工或模拟运行。
- 11.7.2 验证参数包括切削速度、进给量、压力、温度等，验证过程中应记录参数设置及运行结果。
- 11.7.3 工艺参数验证应确保设备在设定参数下，能稳定运行，满足生产工艺要求。
- 11.7.4 对验证过程中发现的参数不合理问题，应及时调整，重新验证，直至参数符合要求。
- 11.7.5 工艺参数验证完成后，应确定最优工艺参数，形成工艺参数验证报告，作为设备后续运行的依据。

11.8 调试记录与报告

- 11.8.1 调试全过程应做好详细记录，记录内容包括调试步骤、检测数据、故障及处理情况等。
 - 11.8.2 调试记录应清晰、准确、完整，具有可追溯性，记录人员应签字确认，调试记录应妥善保管。
 - 11.8.3 调试完成后，应编制调试报告，报告内容包括设备基本信息、调试过程、检测结果、工艺参数验证情况等。
 - 11.8.4 调试报告应经技术主管审核确认，审核合格后作为设备验收的重要依据，不合格项应明确整改要求及期限。
 - 11.8.5 调试报告应包含调试结论，明确设备是否符合设计要求，是否可进入验收阶段。
-