

探究飞机装配中的先进制孔技术与装备

熊文嘉 李 杨 朱佳伟

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

摘要: 飞机装配制造技术是飞机制造过程中的关键环节,它涵盖了从零件准备到整机装配的全过程。该技术经历了从人工装配到半自动化、自动化装配的演进,目前正向柔性化、数字化、集成化方向发展。现代飞机装配制造技术强调高精度数字量传递、并行工作模式,并采用先进的工装和设备,如自动化制孔、自动钻铆技术及数字化装配管理系统。这些技术提高了装配精度和效率,降低了成本,是飞机制造领域的重要发展方向。

关键词: 飞机装配; 制造技术; 质量控制

引言: 飞机装配制造技术是飞机制造工业的核心组成部分,直接决定了飞机的性能、质量与安全性。随着科技的进步,现代飞机装配技术已迈入数字化、自动化与智能化时代。本文旨在探讨飞机装配制造技术的最新进展,分析其在提高生产效率、保障装配精度及优化资源配置方面的优势。同时,本文还将关注未来发展趋势,为飞机装配制造技术的持续创新与升级提供参考与借鉴。

1 飞机装配制造技术概述

1.1 装配技术的定义及其在飞机制造中的地位

飞机装配技术是将飞机各类零部件,按设计要求通过连接、定位等操作,逐步组合成完整飞机的技术体系。它是飞机制造的核心环节,直接决定飞机性能与质量,是衔接飞机设计与最终产品的关键纽带,对保障飞行安全、提升飞机可靠性意义重大,在飞机制造产业链中处于不可或缺的核心地位。

1.2 飞机装配的主要流程与环节

(1) 零件预处理。对飞机零件进行清洗、去毛刺、表面防护处理等,去除零件表面杂质与缺陷,增强零件抗腐蚀能力,为后续装配打下良好基础,确保零件符合装配标准。(2) 组合件与部件装配。将预处理后的零件组装成组合件,再把组合件进一步装配成机翼、机身等大部件,此环节需精准定位,保证各部件尺寸与结构符合设计规范,是飞机装配的重要中间环节。(3) 整架飞机对接与装配。将各部件进行精准对接,完成管路、电气系统等的集成安装,同时进行调试与检测,确保整架飞机各系统协调工作,最终形成合格的飞机产品^[1]。

1.3 飞机装配中的关键要素分析

(1) 装配精度。指装配后飞机零部件实际几何参数与设计参数的符合程度,直接影响飞机气动性能与飞行稳定性,需通过精密测量与调整手段保障,是飞机装配

的核心指标之一。(2) 连接质量。涉及螺栓连接、焊接等多种连接方式的质量,关系到飞机结构强度与安全性,需严格把控连接强度、密封性等指标,避免因连接问题引发安全隐患。(3) 装配稳定性。确保装配完成后,飞机在使用过程中各部件保持相对稳定的位置与状态,不受振动、温度等因素影响,是保障飞机长期安全可靠运行的关键。

2 飞机装配中的关键技术研究

2.1 数字化装配技术

(1) 计算机辅助设计与制造。CAD/CAM技术打破传统飞机装配的纸质化模式,借助计算机完成飞机三维模型设计,可在虚拟环境中模拟装配过程,提前发现零件干涉、尺寸偏差等问题。在制造环节,CAD模型数据能直接传输至加工设备,实现零件精准加工与装配流程数字化管控,大幅缩短设计周期,提升装配准确性,成为现代飞机装配的基础技术支撑。(2) 数字化测量与定位技术。激光跟踪系统等数字化测量技术,凭借高精度、高效率的优势,成为飞机装配中的“精准导航仪”。其可实时捕捉零部件空间位置信息,测量精度达微米级,能对飞机大部件对接、关键零件安装进行动态监测与调整,有效解决传统测量方式效率低、误差大的问题,保障飞机装配精度符合严苛标准^[2]。(3) 数字化装配车间的应用案例。波音787的数字化装配车间堪称行业典范。车间内搭建全数字化协同平台,设计、生产、检测数据实时共享。通过数字化预装配技术,在虚拟环境中完成整机装配模拟,减少实际装配中的返工;借助自动化输送设备与数字化测量系统,实现零部件精准配送与高效装配,使波音787的装配周期缩短约30%,显著提升生产效率与产品质量。

2.2 自动化与智能化装配技术

(1) 自动化装配线。飞机自动化装配线通过机械传

动、自动定位、自动连接等装置,实现零部件从输送、装配到检测的连贯自动化操作。例如,在飞机机身段装配中,自动化装配线可完成机身蒙皮自动贴合、铆钉自动铆接等工序,不仅降低人工劳动强度,还能保证装配过程的一致性与稳定性,减少人为误差对装配质量的影响。(2) 机器人装配技术。工业机器人在飞机装配中应用广泛,其具备灵活的运动轨迹与强大的负载能力,可完成复杂的装配任务。如在飞机机翼装配中,机器人能精准完成螺栓拧紧、管路连接等操作;在大型部件对接时,机器人可配合测量系统实现同步调整,提升装配效率与精度,尤其适用于重复性高、作业环境复杂的装配场景。(3) 人工智能在装配中的应用。人工智能技术为飞机装配注入“智慧大脑”。通过机器学习分析大量装配数据,可优化装配工艺参数,预测潜在装配故障;计算机视觉技术能实现零件自动识别与缺陷检测,提高零件分拣与质量把控效率;在装配调度中,AI可根据生产任务实时优化资源配置,提升车间生产调度的合理性与灵活性^[3]。

2.3 新型复合材料装配技术

(1) 复合材料的特性及其在飞机制造中的应用。复合材料具有高强度、轻量化、抗腐蚀等优异特性,能有效降低飞机重量,提升燃油效率与飞行性能。在飞机制造中,复合材料广泛应用于机翼、机身、尾翼等部件,如空客、波音系列飞机的复合材料用量逐年增加,成为实现飞机性能升级与减重目标的关键材料。(2) 复合材料的装配流程与关键技术。复合材料装配流程包括零件预处理、定位贴合、固化成型、连接检测等环节。关键技术集中在连接与固化工艺,由于复合材料质地特殊,传统机械连接易产生应力集中,需采用专用的胶接技术或新型紧固件;固化过程需精准控制温度、压力等参数,确保复合材料部件成型质量与结构强度,同时要避免装配过程中对复合材料造成损伤。(3) 复合材料装配案例。空客A350的复合材料用量占机身结构重量的53%,其复合材料装配技术极具代表性。在机翼装配中,采用大型复合材料蒙皮整体成型技术,减少拼接缝数量;通过专用胶接工艺实现复合材料部件的高强度连接,并利用数字化测量系统实时监测装配过程中的尺寸变化,确保机翼装配精度。该技术的成功应用,使空客A350在减重、节能与可靠性方面达到新高度。

3 飞机装配过程中的质量控制

3.1 装配前的质量检测与准备

(1) 零件的尺寸与形状检测。飞机零件精度直接决定装配质量,需借助高精度检测设备开展全面检测。例

如,采用三坐标测量机对零件关键尺寸进行三维扫描,精度可达0.001mm,能精准捕捉零件长度、孔径、曲面轮廓等参数,与设计图纸比对,剔除尺寸超差零件;对于机身框架、机翼主梁等复杂结构零件,还会通过光学投影检测其形状对称性、直线度等几何特性,确保零件符合装配基准要求,从源头规避装配偏差风险。(2) 表面清洁与防护处理。零件表面杂质、油污或氧化层会影响连接强度与密封性,装配前需进行多道清洁工序。首先用专用溶剂清洗零件表面,去除油污与粉尘;对铝合金等易腐蚀零件,采用阳极氧化、钝化处理形成保护膜,增强抗腐蚀能力;对于复合材料零件,需用压缩空气吹除表面纤维碎屑,避免装配时划伤表面或影响胶接效果。同时,清洁后的零件会进行防锈包装或覆膜保护,防止运输与存储过程中二次污染。

3.2 装配过程中的质量控制措施

(1) 装配顺序与方法的优化。科学的装配顺序是保障质量的基础,需遵循“从内到外、从下到上、先难后易”原则。例如,机身装配先完成内部管路、电气系统安装,再进行蒙皮贴合;机翼装配先固定主梁与肋条,再安装前缘、后缘部件,避免后续工序对已装部件造成干扰。同时,针对不同连接方式优化装配方法,如螺栓连接采用扭矩扳手控制拧紧力度,胶接装配严格把控涂胶厚度与固化时间,确保每一步骤均符合工艺标准。

(2) 实时监测与偏差纠正。装配过程中需借助数字化监测设备实时追踪进度与精度,如激光跟踪仪可动态监测大部件对接时的空间位置,一旦发现偏差,立即通过伺服控制系统调整部件姿态,直至偏差控制在允许范围(通常小于0.1mm)。对于机器人装配工序,会设置视觉传感器实时识别零件位置,若出现零件错位,机器人可自动调整抓取与安装路径,避免强行装配导致零件损坏或装配精度下降。(3) 无损检测技术。无损检测是排查装配隐患的关键手段,X射线检测可穿透金属部件,清晰显示内部螺栓连接是否松动、焊缝是否存在气孔或裂纹;超声波检测则适用于复合材料部件,能检测胶接层是否存在脱粘、分层等缺陷,且不会对部件造成损伤。在机翼与机身对接后,会对关键连接区域进行100%无损检测,确保连接质量达标,杜绝安全隐患^[4]。

3.3 装配后的质量验收与评估

(1) 功能测试与性能评估。装配完成后需开展全面功能测试,包括燃油系统密封性测试(通过加压检测是否渗漏)、液压系统压力测试(验证动力传输稳定性)、电气系统通电测试(检查线路连接与设备运行状态)等。同时,还会进行地面滑行试验、发动机试车等

性能评估,模拟飞机起飞、巡航、降落等工况,检测整机操控性、稳定性与动力性能,确保各项指标符合设计要求与适航标准。(2)质量管理体系认证。飞机装配质量需通过国际通用的质量管理体系认证,ISO9001体系要求从零件采购、装配过程到成品验收建立完整的质量管控流程,包括质量记录留存、不合格品追溯与整改、员工技能培训等。企业需定期接受第三方机构审核,确保质量管理体系持续有效运行。通过ISO9001认证,不仅能规范装配质量控制流程,还能增强客户对产品质量的信任,是飞机制造企业进入国际市场的重要资质保障。

4 飞机装配制造技术的挑战与展望

4.1 当前飞机装配制造技术面临的挑战

(1)技术壁垒与成本问题。高端飞机装配技术长期被少数发达国家垄断,核心设备如高精度激光跟踪仪、自动化装配机器人依赖进口,技术引进难度大、成本高。同时,飞机装配流程复杂,需大量精密零部件与专用工装,单架飞机装配成本动辄数亿元。中小制造企业因资金有限,难以承担技术研发与设备升级费用,导致行业技术普及与创新受阻。(2)材料性能与装配工艺的限制。传统金属材料重量大、抗腐蚀能力弱,虽复合材料优势显著,但装配时易出现分层、脱粘等问题,现有胶接与连接工艺难以完全适配其特性。此外,针对大型一体化部件(如整体机身),现有装配设备的负载能力与定位精度不足,无法满足高效装配需求,工艺瓶颈制约了飞机性能提升。

4.2 未来飞机装配制造技术的发展趋势

(1)更高水平的自动化与智能化。未来将实现全流程无人化装配,通过5G+工业互联网连接各设备,AI系统实时优化装配路径与工艺参数;机器人将具备更灵活的力控与视觉识别能力,可自主完成复杂部件对接,大幅提升装配效率与精度。(2)新型材料与制造工艺的创新。石墨烯复合材料、金属基复合材料等将逐步应用,其更优的强度与轻量化特性需配套研发新型连接工艺(如激光焊接、3D打印紧固件)。同时,增材制造技术将实现复杂零件一体化成型,减少装配环节,缩短生产周期。(3)环保与可持续发展的装配技术。将推广绿色

清洗剂、低挥发性胶黏剂,减少污染物排放;建立零部件回收再利用体系,对报废飞机的复合材料、金属部件进行拆解与再生;装配车间将采用节能设备与智能能耗管理系统,降低能源消耗。

4.3 对我国飞机装配制造技术发展的建议

(1)加强国际合作与自主研发。积极与空客、波音等企业开展技术交流,引进先进理念的同时,集中力量突破核心技术(如高精度测量设备、复合材料装配工艺),建立自主知识产权体系,减少对外依赖。(2)培养高素质的技术人才与团队。高校增设飞机装配相关专业,开设数字化、智能化装配课程;企业与科研院所合作开展在职培训,提升技术人员操作与研发能力,打造兼具理论与实践经验的人才队伍。(3)建立健全的质量管理体系与标准。参考ISO9001、航空航天行业标准,制定符合我国国情的飞机装配质量规范,完善从零件检测到成品验收的全流程管控机制,通过严格标准保障产品质量,提升国际竞争力。

结束语

综上所述,飞机装配制造技术在推动航空工业发展中扮演着至关重要的角色。随着技术的不断进步,装配过程的自动化、智能化水平显著提升,不仅提高了飞机的装配精度与生产效率,还为航空制造业的可持续发展奠定了坚实基础。未来,随着新材料、新工艺的不断涌现,飞机装配制造技术将面临更多挑战与机遇。我们期待业界同仁持续探索创新,共同推动飞机装配技术迈向更高水平,为全球航空工业的繁荣发展贡献力量。

参考文献

- [1]王新民,胡铮.智能制造体系在飞机装配中的应用[J].集成电路应用,2022,39(09):116-117.
- [2]陈丽婷.飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用研究[J].机械与电子控制工程,2024,6(8):10-12.
- [3]于辉,洪涛.大飞机部件柔性装配数字化调姿技术研究[J].黑龙江科技信息,2021,7(5):179-180.
- [4]屈伟强.飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用研究[J].工程研究与实用,2024,5(16):202-204.