

飞机装配过程中的质量控制策略与挑战综述

●王 超



[摘要] 航空运输需求的持续增长促使飞机制造产业加速扩张,飞机装配质量关乎运营安全与企业声誉,质量控制愈发关键。本文系统阐述了飞机装配过程中的质量控制策略与面临的挑战。深入剖析基于数字化技术的精准装配控制、人员技能与培训管理、物料与零部件质量保障等策略。探讨在复杂装配工艺、严格质量标准、供应链协同等方面遭遇的挑战。旨在为飞机装配质量控制提供全面的理论依据与实践参考,促进航空制造业的质量提升与发展。

[关键词] 飞机装配;质量控制;数字化装配;供应链协同

飞机是现代高端制造业中具有代表性的产品,飞机装配质量的好坏直接影响着飞行安全和飞行性能。在航空技术快速发展的今天,飞机结构越来越复杂、系统集成度越来越高,对于装配质量的控制要求也越来越苛刻。在全球化竞争大环境中,保证飞机装配质量已成为航空企业在市场中站稳脚跟的关键之一。

Q 飞机装配过程中的质量控制策略

(一)数字化装配技术的运用

现代飞机装配工艺中数字化装配技术应用,已经成为推动质量控制水平提高的关键。数字化装配技术包括了许多先进的方法和系统,比如,基于计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助工艺规划(CAPP)的虚拟装配技术。通过建立飞机三维数字化模型,工程师可以在虚拟环境下准确地模拟装配全过程。进行虚拟装配时,可预先检测零部件间干涉情况,判断装配顺序是否合理和装配路径是否最优。这样既可以避免实际组装过程中由于设计缺陷造成的误差和返工现象,又可以明显地缩短组装周期。此外,数字化测量技术是其中的一个重要环节,在飞机装配现场,高精度激光跟踪仪和光学测量系统得到了广泛使用。这些装置能实时准确地测出零部件的外形、位置及姿态,并把所测数据同设计模型相比较分析,以保证各零部件准确地安装在规定的地点。以某型飞机机身对接组装为例,利用激光跟踪仪准确测量并调整各分段位置,将对接误差限制在最小范围,确保机身结构整体性与强度性能。同时,数字化装配管理系统可以实现装配全过程数据的采集、储存与分析。从零部件入库检验资料到组装时各操作步骤的记录,均可在该系统上追溯查

询。有利于及时发现质量问题产生的根本原因,有针对性地采取措施进行改善,从而为不断提高飞机装配质量提供强有力的数据支持。

(二)加强人员技能培训

飞机装配工作具有高度的复杂性与精密性,这就决定了人员技能水平的高低对于装配质量具有较大影响。所以,不断提高人员技能和强化相关训练是必不可少质量控制策略之一。对飞机装配工人来说,入职前基础培训要涉及机械制图、飞机结构原理、材料学基础知识,让其对飞机整体架构及构成有一个深刻了解。在实际操作培训上,运用理论联系实际的方法,通过模拟装配环境下的反复实践,使员工熟练运用各类装配工具、装配工艺操作流程及质量检验标准与规范。

随着飞机生产技术的持续进步,例如,新型复合材料的广泛应用和数字化组装技术的普及,对在职工进行持续的教育和培训变得尤为关键。经常举办内部培训课程或者请外部专家授课,为装配人员提供最新装配技术及工艺改进方案。比如,在介绍新型复合材料连接工艺的同时,要向有关装配工人提供专业培训,其中包括新材料性能、特殊连接工具的使用方法,以及质量控制重点。同时,建立健全人员技能考核机制:采用理论考试和实际操作考核相结合的办法定期考核装配人员技能水平。对技能水平不合格者,有针对性地开展再培训或者岗位调整工作,以保证每个参加飞机装配工作的人都有充分的技能与知识,从而确保装配质量。

(三)强化物料及零部件的质量控制

物料和零部件质量是飞机装配的基本保障,有不合格品

件就会造成严重质量问题,甚至导致飞行安全事故。在材料及零部件采购环节建立一套严密的供应商评价选择体系,对供应商生产能力、质量控制体系及产品历史质量数据进行综合考察及审查,以保证仅与生产水平高、信誉好的供应商建立合作关系。采购合同对质量标准、检验要求及质量追溯条款等都有明确规定,发现质量问题可以快速溯源和问责。在零部件入厂检验环节运用了各种先进检验技术与方法,对金属零部件采用无损检测技术,例如,超声波检测和射线检测对其内部缺陷进行检测,对复合材料零部件通过红外热像检测和超声C扫描对其分层和孔隙的缺陷进行检测。同时,建立完整的零部件质量档案,并记录了各零部件检验数据、来源信息等,供组装时和后续维修时追溯查询。在零部件储存及分配过程中严格执行操作流程,以免由于储存不当而造成零部件受损或者性能降低。如对某些对湿度比较敏感的电子零部件,应储存于恒温恒湿条件下,配送时进行防潮包装等措施。

(四)实时监控和纠错组装过程

对组装过程进行实时监测及纠错,可以及时发现和解决组装过程中存在的质量问题,从而有效地避免了缺陷的累积及扩展。飞机组装现场安装大量传感器对组装过程进行参数监控,比如,在螺栓连接时,利用传感器对螺栓拧紧力矩进行监控,拧紧力矩到达设定值后会自动止紧,以保证各螺栓连接紧固度满足要求。同时,通过视觉检测系统对零部件在组装时的位置、组装间隙等信息进行实时监控,当检测到偏差超过许可范围时,即时报警并给出纠错建议。同时,搭建装配过程实时数据采集与分析系统,对传感器采集数据及装配工人操作记录进行实时采集与分析。通过数据分析模型,可以及时发现装配过程中存在的异常趋势或者可能存在的质量风险。比如,当一个装配工序内连续存在若干同一类小偏差数据时,该系统就能预测出可能引起的质量问题并预先采取改正措施。另外,在检测到质量问题后可以快速启动纠错机制,装配工人在系统给出纠错建议的基础上,综合运用自己的经验与技巧及时处理问题。

❶ 飞机装配过程中的质量控制挑战

(一)复杂组装过程中的挑战

飞机作为高复杂、高科技产品在装配过程中涉及多个零部件,连接方式复杂,装配顺序精密。现代商用飞机所需的零部件数量通常高达数百万,并且这些零部件必须根据特定的装配顺序和工艺标准进行精细组装,如在飞机机翼装配过程中涉及大量金属结构件、复合材料蒙皮,以及各类航空电子设备和液压管路的安装。不同种类零部件间连接方式种类繁多,主要有焊接、铆接、螺栓连接等,每一种连接方式均有严格工艺规范及质量要求。装配时还要考虑零部件

间装配间隙和形位公差,微小装配间隙偏差会对飞机气动性能产生影响。形位公差累积误差会使飞机结构受力不均匀,结构强度下降,疲劳寿命缩短。另外,由于新型材料,例如,高强度复合材料,在飞机制造过程中得到了广泛的应用,这些材料的独特性质和制造工艺为装配工作带来了前所未有的挑战。复合材料易分层且对温湿度敏感,需要在组装时使用专用组装工具、工艺参数及环境控制措施,使得组装工艺更加复杂,质量控制更加困难。

(二)严格的质量标准

飞机的飞行安全与旅客的生命和财产安全直接相关,所以在国际航空航天领域,对于飞机装配质量已经建立起极为严格的质量标准。例如,国际民用航空组织(ICAO)以及各个国家的航空管理局都为飞机在结构强度、气动特性和航空电子系统的可靠性等方面,设定详尽的质量准则和认证流程。从结构强度上看,飞机机身和机翼等关键结构部件须能经受极端飞行载荷、气压变化和振动等工况条件,并有足够的疲劳寿命。这就需要对飞机装配时各零部件质量、各连接点强度等进行严格把关,保证飞机整体结构完整可靠。在航空电子系统中,其组装好坏直接关系着飞机导航、通信和飞行控制等主要功能能否完成,任何电子元件出现故障、线路连接不正确都会造成飞机系统故障,引发严重飞行事故。所以,对航空电子系统组装来说,不但要求零部件质量达到高标准,同时对组装时的电磁兼容性、线路布线是否合理也要提出严格规范。

(三)供应链协同困境

飞机制造作为全球化行业,供应链中涉及国内外多家供应商,从原材料供应商、零部件制造商到飞机总装企业等各环节协同配合,对飞机装配质量至关重要。但由于供应商遍布各区域和各国,文化差异、时区差异和管理体系差异众多,使得供应链协同受到较大挑战。就零部件供应而言,供应商生产进度、质量控制水平,都有可能对整个飞机装配进度与质量产生影响。比如,某关键零部件供应商一旦生产延误,就有可能造成飞机总装线停运,从而影响工程整体交付周期。并且,一旦供应商质量控制存在漏洞,不合格品流进飞机装配环节,将对装配质量造成严重隐患。就信息共享而言,各供应商信息化程度差异较大,数据格式与界面不统一,使得飞机装配时很难做到实时准确地共享信息。比如,总装企业要想合理地安排装配计划,就必须掌握零部件生产进度和质量检验数据,但是常常会因为信息传递不畅而导致装配计划失效,造成计划安排不尽合理,加大组装时的质量风险。

另外,跨国供应链上还要面对贸易政策、汇率波动等外部因素的影响,这进一步加剧了供应链协同的复杂性与不确定性,对飞机装配质量控制造成很大困难。

飞机装配过程中质量控制面临的挑战的应对措施

(一) 优化装配工艺

对组装过程进行优化是解决飞机组装过程中质量控制难题的关键措施,要利用数字化孪生技术等先进数字化装配技术建立飞机虚拟装配模型。通过对虚拟环境下整个装配流程进行仿真,预先识别出可能存在的干涉问题,以及装配顺序不合理和操作难度较大等环节。比如,在模拟机翼和机身的对接过程中,能够准确地探测到衔接处的空间匹配状况。如果出现问题可以及时地对设计或者装配工艺进行调整,避免实际组装过程中由于上述隐患而造成质量缺陷和拖延。智能化装配设备和工装的引进,同样是一种重要的优化方法。智能机器人能够精准地完成重复性高、精度要求严格的装配任务,例如,钻孔、铆接等,其操作的稳定性和准确性远远超过人工,可以有效地减少人为因素导致的质量波动。该智能装配工装具有自动定位、夹紧和调整等功能,能够保证装配过程中零部件的定位精度满足标准。同时,制定了标准化装配作业流程和操作规范,并对每一个装配步骤都做了详细规定和可视化展示,强化了装配工人培训和监管力度,确保其严格执行标准,进而提升装配过程中的一致性和可靠性,从根本上确保飞机装配质量。

(二) 严格遵守质量标准

严格按照质量标准进行飞机装配质量控制,这是核心原则,航空业有着极为苛刻的质量规范和适航标准,无论是原材料检验、零部件加工,还是最后整机装配等各个环节都要在上述标准框架下完成。当原材料和零部件进厂后,应按照规定对其进行综合质量检测,其中包括材料力学性能、化学成分检测和零部件尺寸精度及表面质量检查。以航空发动机叶片为例,需要使用高精度无损检测技术来保证叶片内部不存在裂纹和其他缺陷,并且只有通过检测的材料和零部件才可以进入装配环节。组装时,对各组工艺、各连接点对照质量标准严格控制。如果飞机结构件连接螺栓一定要按规定扭矩值旋紧,使用专业扭矩检测工具复核,以保证连接可靠和安全。同时,建立健全质量监督和审核机制,对装配工作定期开展内部审核和外部审查,发现并整改不合格的质量和作业,保证了装配全过程完全满足航空质量标准的要求,使得飞机交付后具有优良的品质和安全,并能稳定

地工作于复杂而苛刻的飞行环境。

(三) 供应链的协同管理

飞机制造过程中涉及很多零部件供应商和合作伙伴,所提供零部件的好坏直接关系着整个飞机的装配质量。建立密切的供应链协同关系并和优质供应商达成长期合作协议,需要供应商遵守统一质量标准和质量管理体系。比如,针对飞机起落架这类关键部件的供应商来说,他们要经常对飞机的生产过程和质量控制情况进行现场的考察和督导,以保证飞机的生产工艺的稳定性和质量的可靠性。

结束语

综上所述,飞机装配工艺质量控制是个系统的复杂工程,它涉及数字化技术的运用、人员管理和物料管控等诸多策略的执行。与此同时,还面临复杂的装配工艺、严格的质量标准和供应链协同带来的多重挑战。航空企业唯有不断优化质量控制策略、主动迎接各项挑战,并通过不断创新和完善来强化与供应商之间的深入协作和配合,才能够保证飞机装配质量得到提高,从而为航空事业的安全和发展打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 郑文利. 飞机装配质量数字化检测技术研究及应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15(12): 6, 8.
- [2] 陆晓婷. 研究飞机装配质量管理体系关键技术及其系统的实现[J]. 通讯世界, 2016(01): 232-233.
- [3] 赵会艳, 张剑光, 赵燕冰. 基于人因可靠性的建筑工程质量管理模型分析[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(01): 315-320.
- [4] 王福, 刘俊华, 长青, 等. 场景链如何基于供应链赋能新零售商业模式价值共创?——福田汽车案例研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(07): 135-155.
- [5] 宋婷婷, 赵子任, 杜世昌, 等. 基于马尔科夫模型的关联多工序装配系统装配质量分析[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(03): 324-331.

作者简介:

王超(1981—),男,蒙古族,陕西西安人,硕士,高级工程师,中航西安飞机工业集团股份有限公司,研究方向:飞机部件装配。