

机翼翼盒数字化装配关键技术应用探讨

张 磊

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：本文深入探讨了机翼翼盒数字化装配的关键技术及其在飞机制造中的应用。论文概述了数字化装配技术的发展现状，强调了其在提高生产效率、减小错误和提升最终产品质量方面的重要性，详细分析了柔性装配技术、自动化制孔加工，以及系统集成设计和联锁控制等关键技术的实际应用和优势。本文展示了技术相互作用，实现更高效和精确的装配过程，旨在助力航空产业发展。

关键词：机翼翼盒；数字化；装配技术；民用飞机

前言

随着航空工业的迅速发展和市场需求的日益增长，民用飞机的制造面临着巨大的挑战和机遇。机翼作为飞机最关键的部件之一，其装配质量直接影响着整机的性能和安全^[1]。因此，探索和应用最新的数字化装配技术，对提升我国飞机的竞争力具有重要意义。本文旨在综合分析当前机翼翼盒数字化装配的关键技术，并探讨其在民用飞机制造中的应用及发展前景。

1 数字化装配技术的发展现状

数字化装配技术作为现代制造业的核心，近年来在航空工业中得到了广泛应用和快速发展^[2]。尤其在复杂的机翼翼盒装配领域，这些技术正逐步替代传统的手工作业和简单机械作业，显著提高了装配精度和效率，降低了成本，并确保了产品质量。

第一，数字化装配技术的发展得益于计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）技术的进步。通过这些技术，工程师能够在计算机上模拟整个装配流程，从而在生产开始之前预测并解决潜在问题。此外，三维建模和虚拟现实技术的应用使得设计和验证过程更加直观和高效，工程师能够在虚拟环境中查看零件装配的全过程，并进行优化^[3]。第二，自动化和机器人技术的应用极大地提升了装配工作的精确性和重复性。在机翼翼盒的装配过程中，机器人可以执行一系列复杂的任务，如钻孔，铆接和涂装等，这些任务在传统手工作业中容易产生差错。机器人不仅提高了操作的精度，还显著提升了生产效率和速度，同时降低了劳动强度和人为错误。第三，传感器和实时监控系统的集成是数字化装配技术的另一个重要方面。通过安装在设备上的多种传感器，可以实时监控装配质量和环境条件，如温度，湿度，压力等，确保装配过程在最佳条件下进行。这些数据通过网络实时传输给工程师，可以迅速分析和响应，

进一步提高装配质量和效率。第四，数字化装配技术的另一个关键要素是系统集成。随着生产过程越来越复杂，不同的系统和设备需要协同工作，以确保生产流程的流畅与高效。通过集成的软件和硬件平台，可以从设计到制造再到质量控制的全过程管理^[4]。此外，采用标准化的数据交换格式和接口，可以确保不同系统之间的兼容性和互操作性。

第二，然而，尽管数字化装配技术带来了许多优势，但在实际应用中面临着一些挑战。例如，对于复杂的机翼翼盒装配，精确控制和同步多个机器人和装备是一个复杂的问题。此外，高投资成本和技术更新换代是企业采用这些技术时需要考虑的因素。

2 机翼翼盒数字化装配关键技术的应用分析

通过关键技术应用，可以大大提高飞机机翼翼盒的装配质量和效率。柔性装配技术提高了生产线的适应性和效率，自动化的制孔加工提高了连接部件的质量，而系统集成设计和联锁控制则确保了整个装配过程的流畅、高效和安全。随着这些技术的不断发展和完善，预计未来飞机的生产将更加高效、精确和可靠^[5]。

2.1 柔性装配技术分析

柔性装配技术是指能够适应不同型号和尺寸飞机装配需求的技术。这种技术对于民用飞机的生产尤为重要，因为它能够提高生产线的适应性和效率，减少更换或调整设备的时间和成本。在机翼翼盒的装配中，柔性装配技术通常涉及到可编程的机器人和多功能的夹具系统。这些系统可以根据不同的装配任务自动调整参数和位置，以适应不同型号和尺寸的机翼部件。例如，对于国产飞机而言，装配线上的机器人可以通过更换不同的工具头和调整臂的位置，来完成钻孔、铆接和检测等多种任务。同时，多功能夹具系统可以自动调整支撑点和压力，确保对不同尺寸的翼盒进行稳定和精确的装配。

2.2 自动化的制孔加工

制孔加工是机翼翼盒装配中的一个关键步骤，它直接影响到铆接和其他连接部件的质量。传统的手工制孔工艺不仅效率低，而且误差大，难以满足现代飞机对精度和一致性的高要求^[6]。因此，自动化的制孔加工技术成为了提高装配质量和效率的关键。在民用飞机的生产中，自动化制孔通常由高精度的数控机床或机器人来完成。这些设备可以根据预设的程序精确控制钻头的位置、速度和压力，确保每一个孔的位置、尺寸和形状都符合设计要求。例如国产飞机的生产中，利用先进的数控设备，不仅提高了制孔的速度和精度，还通过实施监控和质量控制系统来确保每一步工作的准确性。通过这种方式，可以显著减少制造缺陷，提高整个装配过程的质量和效率。

2.3 系统集成设计和连锁控制

系统集成设计和连锁控制是确保机翼翼盒装配流程顺畅、高效和安全的关键。这涉及到将所有的装配设备、传感器、控制系统和数据处理系统集成到一个统一的平台上，确保不同部分之间的协调与同步。在国产飞机的生产中，系统集成设计同行包括硬件和软件两个方面。硬件方面，通过标准化的接口协议，实现不同设备和系统自检的物理连接和数据交换。软件方，通过这种集成，可以实现从设计到制造再到检测的全过程管理和控制。此外，连锁控制系统则是确保装配过程安全和正确的重要组成部分。通过实时监控装配线上的各种参数和状态，并设置相应的安全和质量控制规则、连锁控制系统可以在检测到任何异常或误差是立即采取措施，如暂停操作、报警或调整工艺参数。这不仅保证了装配过程的安全性，还提高了整体的生产质量和效率。

3 翼盒数字化的自动制孔加工分析

对于民用飞机而言，机翼翼盒的装配质量直接影响到整体结构的稳定性和飞行安全。在这一背景下，自动制孔加工作为翼盒装配的关键步骤，其数字化实现对提升飞机的整体制造质量和效率至关重要。

3.1 翼盒数字化与自动制孔加工的结合优势

数字化制孔可以极大地提高孔位精度和孔径一致性。在国产飞机翼翼盒装配中，通过高精度的数控设备配合先进的传感器技术，每一个孔的位置和尺寸都能达到毫米甚至更高精度要求。相对传统手工制孔，自动化制孔大大缩短了生产周期。例如，一些高效的自动制孔系统能够在几分钟内完成多个孔的钻制，显著提高了生产效率。自动化的流程减少了对高技能操作人员的依赖，从长远来看，这有助于降低人工成本。同时，更高的精

度和效率也意味着更低的材料浪费和返工率。自动化制孔系统通过稳定的重复性确保每一件产品都保持同等高标准的质量，者对于飞机这种要求极高可靠性的产品来说至关重要。

3.2 翼盒数字化的自动制孔加工流程

利用CAD软件对翼盒组件进行详细设计，并通过CAM系统转化为制孔设备可识别的指令。这一阶段需要精确考虑孔位，尺寸和钻孔路径。根据制孔需求调整数控钻孔机或机器人的设置，包括安装适合的钻头、设定正确的制孔速度和进给率等。在开始大批量生产之前，进行必要的校准工作，确保设备设置与设计要求相匹配。通常还会在样件上进行测试，以验证制孔质量。再生产过程中，自动化设备根据预设程序进行高精度制孔加工。整个过程中，实时监控系統会持续跟踪制孔质量，确保每一步都符合标准。完成制孔后，通过各种检测手段如三坐标测量机进行质量评估。数据反馈至制孔系统，用于优化后续工作。

3.3 翼盒数字化的自动化制孔加工的技术要点和关键技术

为了确保钻孔的准确性，需要采用高精度的定位技术。这包括激光跟踪，机器视觉系统或其他先进的传感技术，以实时监控并调整钻头位置。由于机翼翼盒通常采用复合材料和轻质合金，因此选择合适的钻头材料和类型对于防止材料损伤和提高工具寿命至关重要。有效的冷却系统可以防止过热导致材料变形或损伤。同时，自动化的切屑清除系统能够保持工作区域的清洁，防止切屑再次进入孔内，影响孔的质量。将制孔过程中收集的数据与CAD/CAM系统集成，可以实现闭环控制，即根据实时制孔结果调整后续工作的参数，从而不断提升制孔精度和效率。

4 机翼翼盒数字化装配关键技术的发展前景

随着技术的不断进步和市场需求的变化，机翼翼盒的数字化装配技术将持续发展和革新。对于民用飞机而言，这些技术的发展不仅能提高竞争力，还能推动整个航空工业的进步。通过不断地研究与创新，未来的飞机将更加安全，高效和环保。

第一、高度自动化与智能化。当前自动化已成为航空制造业的标准，未来这一趋势将继续想智能化发展。国产飞机的制造过程中，已经应用了多种自动化装配技术。未来，这些技术将进一步升级，包括更高级的机器人，更智能的传感器和强大的数据分析能力。这些技术不仅能够提高生产效率和产品质量，还能通过实时监控和预测性维护减少停工时间，进一步降低成本。

第二、精准的制造技术。随着材料科学和制造技术的进步，未来的机翼翼盒将能够实现更高的精度。例如，通过使用高精度的激光测量技术和先进的数控机床，可以确保每一个零件都能精确装配。此外，随着3D打印技术的成熟，未来可能直接打印出复杂的机翼结构，从而进一步提高精度和效率。

第三、材料技术的革新。随着复合材料等新材料的不断发展，未来的机翼翼盒可能会采用更轻质，强度更高的材料，这将直接影响到装配技术的发展。新材料的应用不仅可以减轻飞机重量，提高燃油效率，还会提高机翼的耐久性和安全性。同时，这也要求装配技术必须能够适应新材料的特性，确保装配质量。

第四、数据驱动的优化。随着大数据和人工智能技术的发展，未来的装配技术将更多地依赖于数据驱动的决策。通过分析来自装配过程的大量数据，可以不断优化装配参数，提高效率和质量。此外，通过对历史数据的分析，也可能预测和预防潜在的问题，从而减少返工和废品率。

第五、环境友好和可持续性。随着全球对环保和可持续发展的关注日益增加，未来的装配技术也将更加注重环境友好和资源利用的效率。这可能包括使用更少的有害物质、减少能源消耗和废物产生，以及采用可回收材料。

结束语

综上所述，机翼翼盒数字化装配技术在提升民用飞

机生产效率和产品质量方面发挥着不可或缺的作用。本文详细分析了当前的关键技术和应用案例，还探讨了这些技术发展趋势和潜在改进。随着技术的不断进步和创新，预期未来这些数字化装配技术将更加成熟和广泛应用，为我国航空工业的发展贡献力量。通过不断的技术革新和实际应用，有望实现更高效、精确和可靠的飞机生产，为民用飞机的制造大小坚实基础。

参考文献

- [1]麻震宇, 张祎策, 张琪等.尾座式电动飞机复合材料机翼结构优化设计[J].国防科技大学学报, 2023.45(06): 20-31.
- [2]刘文一, 杨培源, 李厚旭.不同后掠角大展弦比复合材料机翼气动特性[J].海军航空大学学报, 2023.38(05): 419-426.
- [3]张建刚, 余建虎, 牛孝飞等.基于飞行实测的大型飞机机翼载荷静气弹修正[J].应用力学学报, 2023.40(06): 1263-1269.
- [4]蓝元沛, 王栋, 刘传军.民机复材机翼翼盒结构适航符合性验证方法研究[J].纤维复合材料, 2023.37(04):69-75+68.
- [5]陈彦达, 范振民, 周轶.基于强度约束的复合材料机翼翼盒设计优化[J].民用飞机设计与研究, 2020(01): 16-23.
- [6]孙安全.某大型飞机机翼翼盒数字化装配测量调姿技术应用研究[J]中国设备工程, 2019(11): 102-103.