

飞机无型架装配技术

西北工业大学中法虚拟设计与制造技术联合研究室 高晓兵 陶 华 丘宏俊



高晓兵：
西北工业大学博士，从事数字化制造技术和虚拟装配、计算机辅助技术及系统集成技术等方面的研究

传统的飞机装配工艺采用大量的成套装配型架，在使用过程中存在诸多问题，如型架种类和数量多、制造周期长、成本高、效率低、柔性差、协调环节多、积累误差大等^[1]，无型架装配技术避免了传统飞机装配的以上问题，提高了装配工具的柔性和可重用性^[2]。无型架装配技术(Jigless Assembly of Aerostructures)是指利用产品本身的特性和定位特征实现飞机零部件的定位和装配，从而减少航空产品装配工作对型架的依赖性的一种

无型架装配技术是指利用产品本身的特性和定位特征实现飞机零部件的定位和装配，从而减少航空产品装配工作对型架的依赖性的一种技术。它避免了传统飞机装配过程中存在的一些问题，提高了装配工具的柔性和可重用性

技术。该技术建立在数字化设计、制造和检验的基础上，通过对影响装配质量的部位特征、定位方式、加工过程、设备能力、公差分配等进行综合分析和评估，进而设计出部件、组件装配使用的通用托架、定位基准和定位方法，并使用激光跟踪仪实现空间定位和其他装配工作，达到预期的目的。它不仅仅是一项独立的技术，更是飞速发展的各种先进技术综合应用的结果。

文中将“Jigless Assembly of Aerostructures”翻译为“无型架”是为了突出其减少型架数量、提高装配柔性的特点，而不是全面否定型架的使用。

飞机无型架装配技术的国内外研究现状

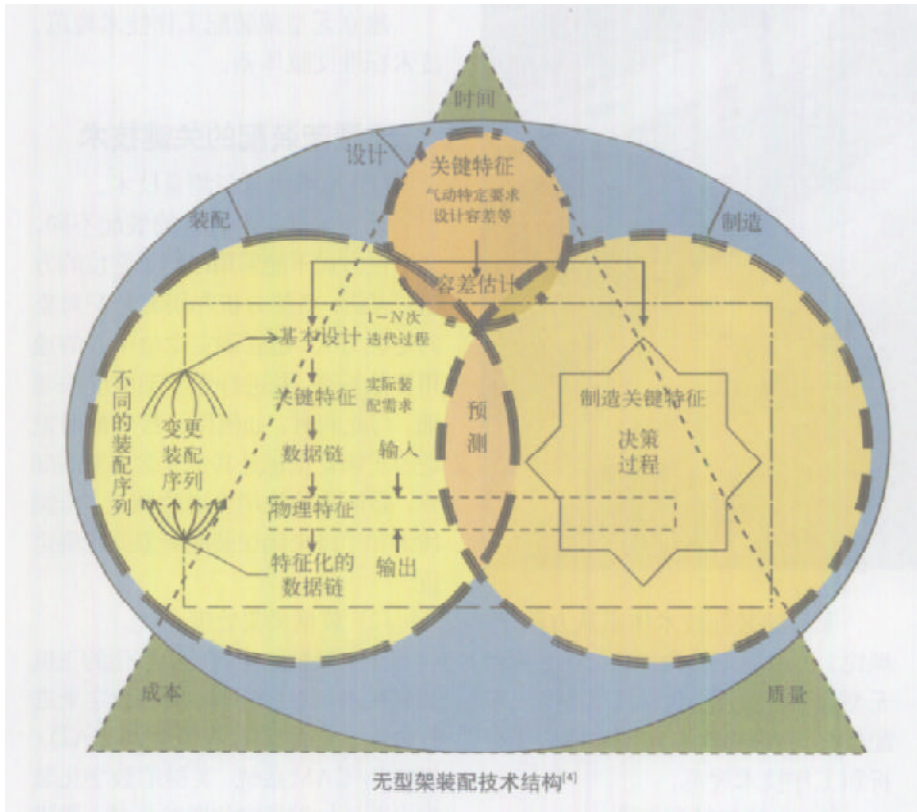
1 国外研究现状

国外先进航空制造企业在无型架装配技术的研究方面进行了大量的工作，并将其应用于飞机制造，取得了

显著的技术经济效益。

(1) 精确定位技术的发展推动着无型架装配技术的发展。空客在1997年前后配备了长基座表面嵌入Renishaw HS10发射器的激光度量系统，着手进行无型架装配研究，以精制定位孔和钻铆的方式完成了装配^[3]。该系统的精度达到了 $\pm 1\mu\text{m}$ ，有力地保证了定位和装配的精度，在装配型架重复设计方面减少了20%的费用，其制造投入缩减了25%。

(2) 英国4家公司和4所大学(包括在航空航天领域领先的克兰菲尔德大学)协作完成的为期3年的名为JAM的研究始于1998年6月。该项目致力于发展一种能从根本上减少航空产品在装配中的工装和型架数量，并提高产品制造的柔性和生产效率的全新的设计、制造和装配理论；系统地研究了无型架装配技术及其相关支撑技术，并着重于灵活、低成本、高质量的大型飞机装配过程方法论的研究。JAM项目主要有3个方面：

无型架装配技术结构^[4]

· 结合观念、理论、技术的变革建立新的设计、制造和装配理念,以减少飞机装配专用工装型架的制造成本。

· 研究飞机装配方法学,达到提高飞机制造生产效率的目的。

· 通过新的装配技术的应用增强产品制造和装配的柔性和生产效率。

JAM 项目提出了无型架装配技术的两个核心技术:特征技术 (Feature Library)^[5]和容差估计技术 (Error Budgeting)^[6]。

特征技术通过在装配组件部件中集成装配特征达到减少工装和型架的数量的目的。特征代替定位夹具完成定位和夹紧,并且反作用于装配。特征选择基于产品关键特征的识别,为了能够进行特征识别,首先需要建立无型架装配特征库。

容差估计技术是用来在设计阶段预测和控制系统总误差的系统分析工具。作为提高大型飞行器设计适用度的一种工具方法,这项技术被克兰菲

尔德大学进一步拓展为分析复杂系统的三维工具,使得装配过程不再需要型架和夹具就能轻易完成。它允许在设计过程中比较几种不同的概念和参数配置信息以确定一个合适的装配顺序。

(3) 波音公司将无型架装配技术作为其降低成本、提高质量和生产效率的战略措施,并利用该项技术对其装配流程进行了大幅度改进。由于采用了该项技术,波音777飞机的研制周期缩短了50%,出错返工率减少了75%,成本降低了25%。无型架技术的采用使生产柔性加大,波音777和波音747共用了一个装配厂房,省去了重建第二条生产线的费用,节约了数百万美元。在该公司研制X-32的过程中,当零部件汇集到JSF方案验证机总装基地——加利福尼亚州帕姆戴尔时,已见不到通常陪伴在飞机生产线上的巨型型架,取而代之的是一种通用支架,它利用4台Zeiss激光跟踪仪对它们进行空间定位和装配,取得了很好的效果,工装数量比

YF-22减少了50%。在X-45无人驾驶战斗机项目中,波音公司也采用了这一先进技术。

2 国内研究现状

国内航空企业使用的仍然是传统的基于型架的装配方式,在无型架装配技术的研究和应用方面几乎还是一个空白。

科研院校对一般机械的无型架制造技术进行了某些有益探讨,清华大学的周凯提出无夹具制造中工件寻位的一种新方法,为无夹具制造系统的实现奠定了必要的理论与技术基础^[7]。但这种技术与飞机的无型架装配技术有着较大的差别,其研究成果并不能直接用于飞机制造上。

为满足未来大力发展转包生产的需要以及国内型号和大运项目的应用需求,国内航空企业需要与航空院校密切合作开展对无型架装配技术及其相关技术的研究,使之早日应用到生产实践中以产生技术经济效益。

飞机无型架装配技术的研究内容

结合国外对无型架装配技术的研究成果,国内无型架装配技术的研究应该以建立无型架装配技术体系和方法学为主要目标,按照无型架装配的技术理论,研究开发新的工艺技术和生产工具,建立无型架装配实用系统,并逐步将实用系统和规范体系运用到实际飞机制造中,以提高飞机制造的数字化生产技术水平。

型架的主要作用是夹紧和定位,无型架技术就是要综合运用技术转换和转移这两个功能。夹紧功能由通用装配平台支撑,定位由精确定位与检测系统实现。为了保证装配的准确性,由数据采集/处理系统负责整个装配过程的数据传递。

综上所述,无型架装配技术的研究和实现涉及到设计、制造、检验、管理、装配等各个方面,需组织和分析设计部门、零件工装制造部门和检

建立无型架装配工作技术规范、技术标准文献体系。

无型架装配的关键技术

(1) 精确定位与测量技术。

无型架装配与传统的装配不同,其定位方式不能采用以销子定位的方法,因此,系统分析和研究装配对象的定位方式,建立确定定位中心的通用算法标准,是无型架装配的基础。与此同时,如何保证被装配对象是否正确定位也是其中非常重要的部分,必须通过使用先进的测量、检测技术和手段来确保装配对象的正确定位。

(2) 数据采集处理系统。

无型架装配是高度数字化的飞机装配技术,其工作信息要以数字量进行传递,在装配过程中要与CAD/CAPP/CAM系统、关键的数字化装配设备(如激光定位跟踪系统)等进行信息的交互。需要使用专业化的数据处理系统和数据输入/输出接口程序对大量数字化信息(几何信息、非几何信息)进行处理,在此基础上还可以通过开发相关的软件实现对装配过程的仿真与可视化。

(3) 装配特征与公差分配综合分析。

分析。

无型架装配要求在减少型架数目的条件下实现精确装配。对装配关键特征在产品关键特征识别、装配约束要求、许可的制造公差、生产成本等方面

分析的基础上实现装配,并且在装配阶段根据不同特征进行精确定位。

装配的公差分配涉及设计、制造、工具和装配不同时期的数据,通过公差分配综合分析可以判断装配制



验部门等相关部门的生产及管理数据。其内容包括装配定位—寻位—测量系统、通用装配平台开发、配套计算机软件开发、装配件装配特征和公差分配分析、装配数据管理、无型架装配质量影响因素综合分析、生产验证系统等多个组成部分,包括无型架装配原型系统、无型架装配应用验证系统、无型架装配技术体系。这一组成系统的结构如右下图所示。

1 无型架数字化装配平台

无型架数字化装配平台是一个软硬件相结合的综合系统,是无型架装配的实现部分。这一系统包括柔性通用装配平台、精确定位与测量系统、数据采集/处理中心。

(1) 柔性通用装配平台。

建设具有较高的通用性、柔性无型架装配平台以及具有高度柔性的配套设备,实现装配对象的精确、快速定位。

(2) 精确定位与测量系统。

对装配部件的关键点进行快速、准确跟踪测量,保证装配产品的准确性和可控性。

(3) 数据采集/处理中心。

包括识别装配对象的特征、进行装配方案的设计、进行公差的分析计算以及对反馈数据进行处理。

2 无型架装配技术体系

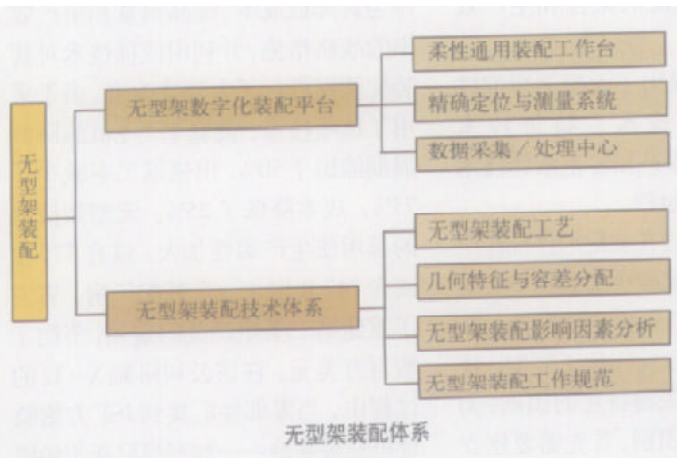
无型架装配技术体系从方法学、理论、技术规范的角度来定义、规范无型架装配技术,包括工艺制定、装配特征与公差分配、装配影响因素分析和工作技术规范。

(1) 无型架装配工艺。

结合无型架装配的具体需求开发出新的定位工艺、夹紧工艺、装配连接技术以及检测技术与手段。

(2) 装配特征与公差分配。

建立装配特征的特征库,通过公差分配分析形成带容差的装配数据,完善装配重要特征的偏差,进行精确



装配。

(3) 无型架装配影响因素分析。

分析设计、制造、容差分配与协调技术对无型架装配技术的影响。

(4) 无型架装配工作技术规范。

造阶段是否达到了要求的允差。

(4) 无型架装配工艺技术。

无型架装配是对传统装配观念、理论、方法的重大变革,这必然导致装配工艺的变革,传统的定位/夹紧工艺、装配连接技术、检测手段将不能满足这种变革带来的要求。因此,必须根据无型架装配的特点设计相应的新装配工艺、连接技术、检测方法等,建立相应的操作规范,一些新的装配技术与方法(如无余量装配技术、数控铆接技术等)也要加以应用。

无型架装配技术的解决途径

高校企业合作模式的体系实现和实施,是无型架技术解决途径的关键点。

(1) 通用装配工作台开发。

无型架装配并不是不使用任何装配辅助设备,装配对象仍然要定位在支撑和固定设备上才能进行装配,还必须有装配工作台。但这种工作台应比传统的装配工作台具有更好的通用性和柔性,能够通过更换关键部件而快速应用到不同的装配对象上,这种工作平台还应具有精密的伺服系统,可以根据需要随时进行调节,能够实现装配对象的快速、精确定位。

研究开发柔性型架、柔性工作平台以及控制系统,实现装配快速定位与精确控制,同时开发可以实现快速更换、具有高度柔性的相关配套设备。

(2) 精确定位与测量数据处理系统。

精确定位与测量数据处理的核心在于定位算法与测量设备。应根据装配需求建立确定定位中心的通用算法标准,自主开发有关定位算法。

飞机装配过程中用到的精确测量设备主要有激光定位跟踪仪、照相测量系统、计算机辅助测量系统,有些关键设备目前已经有比较成熟的产品,通过引进相关设备和进行必要的二次开发可以使问题得到解决。

结合现有PDM软件的数据处理功能,以自主开发与二次开发相结合的形式,研究开发各类CAx系统的数据接口,建立面向装配的信息处理系统,开发专用数据处理软件包,对大量数字化信息进行处理。

(3) 装配工艺专家系统。

无型架装配技术需要不断积累经验,以提高无型架装配工艺设计的效率和自动化水平,基于“以知识库为基础,以推理机为核心,实现具有一定智能的计算机辅助飞机装配工艺设计”的构想,通过装配知识的表示、推理和应用,建立基于知识的飞机装配工艺设计系统。

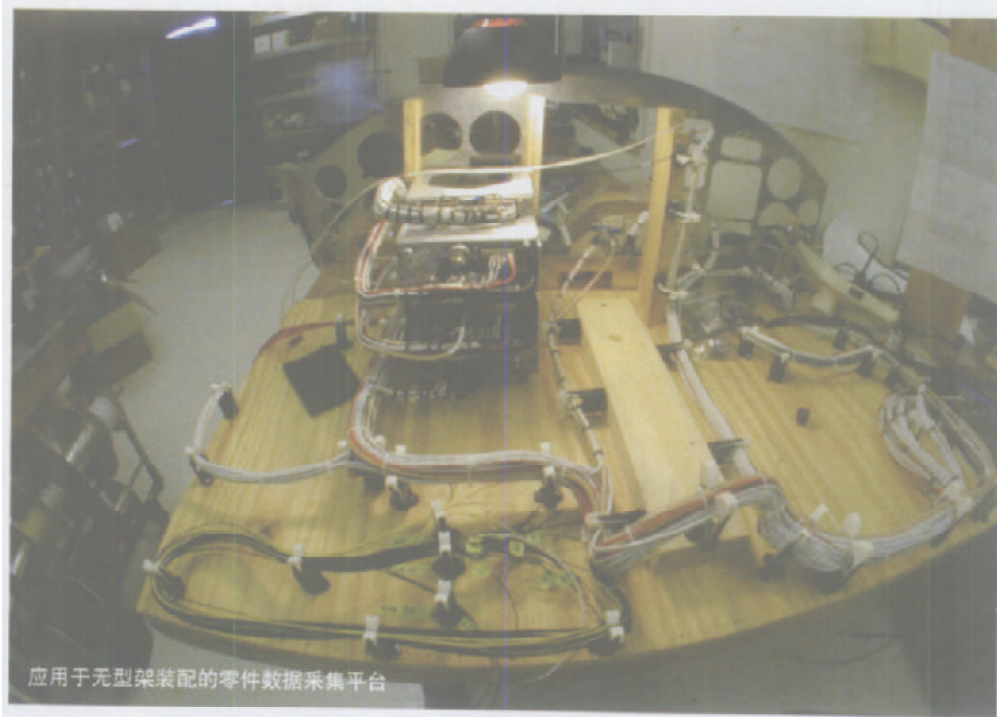
来完善装配特征的容差。

(5) 无型架装配工艺技术。

针对无型架装配定位、连接的特点,结合无型架装配的具体应用开发出新的定位工艺、夹紧工艺和装配连接技术,并建立相应的无型架装配工艺操作规范。

结束语

无型架装配技术将彻底减少航空部组件装配对型架的依赖性,它利用零组件本身的工程特征对其实现定位,减少装配型架的种类和数量,从而减少生产准备制造周期,降低生产成本,同时实现柔性生产,提高产品



应用于无型架装配的零件数据采集平台

(4) 装配特征与公差分配综合分析。

分析产品关键特征、装配关键特征、制造关键特征,形成装配特征,建立装配特征的特征库系统,用以指导无型架装配过程。

结合特征库系统,通过综合分析、估计建立重要特征的容差分布,根据容差分布把特征关联起来,建立部件与各级装配关系,达到精确装配,并形成带容差的装配数据,反过

质量和生产效率,达到精益生产的目

的。基于校企合作的无型架装配技术的研究与应用,是我国新一代飞机研制的关键技术,对于提高我国的飞机制造水平、增强国防能力具有深远的意义。

注:本文有参考文献7篇,因篇幅所限未能列出,读者如有需要,请向编辑部索取。

(责编 晋尧)