

大型商用飞机工艺规范体系构建

Establishment of Large Commercial Aircraft Process Specification System

中国商飞上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所 陈洁



陈洁

现任中国商飞上海飞机制造有限公司总冶金师，主要研究领域为航空制造业中焊接、热处理、表面处理等。

工艺规范是规定产品加工环节和对象的制造技术及制造要求的一类标准，是对工艺技术的总结、提炼和提高^[1]。现代大型商用飞机结构日趋复杂，性能要求更高、用户要求更苛刻，要满足安全、经济、舒适、环保的综合要求，需要采用大量的新技术、新材料和新工艺。这些飞机的先进性及其寿命长短与制造工艺水平密切相关，而所制定的工艺规范的完整性和先进性恰恰又反映出制造工艺水平的高低。

尽管通过转包生产发展在商用

需在借鉴国内外研究成果的基础上，突破复合材料成型与无损检测、复合材料结构件装配、自动钻铆等核心技术，构建满足结构轻量化制造技术、长寿命 / 可靠制造技术、高效 / 精密制造技术、低成本及绿色制造技术、综合集成制造技术和数字化制造技术等先进制造技术的工艺规范体系，实现安全性和经济性相统一的目标，推动我国民用飞机研发和制造技术体系加速形成，进而推动我国航空工业的制造能力的提高和发展。

飞机制造技术和制造管理上积累了不少经验，但是与国外先进商用飞机制造技术水平差距十分明显，特别是核心技术的掌握，还难以满足大型客机研制的需要。

历史经验表明，局部的制造能力并不代表整体的创造能力，市场换不来核心技术，花钱也买不来核心技术，中国航空工业的核心技术必须牢牢地掌握在中国人自己手中，才能始终立于不败之地。为此，需在借鉴国内外研究成果的基础上，突破复合材料成型与无损检测、复合材料结构件装配、自动钻铆等核心技术，构建满足结构轻量化制造技术、长寿命 / 可靠制造技术、高效 / 精密制造技术、低成本及绿色制造技术、综合集成制造技术和数字化制造技术等先

进制造技术的工艺规范体系，实现安全性和经济性相统一的目标，推动我国民用飞机研发和制造技术体系加速形成，进而推动我国航空工业的制造能力的提高和发展。

波音、空客公司工艺规范分析

在波音和空客公司，对工艺规范体系管理有完整和良好的工程质量保证体系，工艺规范在实施前，都经过验证满足设计要求。由材料和工艺工程部门负责工艺规范体系的更新和完善工作，下设材料和工艺工程实验室。工艺规范中的每种新材料引入、新设计要求并入和工艺方法改进等需经过一系列完整的工艺验证试验，从而保证工艺规范的先进性、有效性、适用性，同时满足适航要求。

随着航空制造业的不断进步、工艺方法的不断改进,波音和空客公司相应的工艺规范也随之更新升版。

1 波音公司工艺规范

波音工艺规范适用波音公司生产的各种机型。每份工艺规范均包括了适用范围、分类、引用文件、目录、材料控制、设施控制、定义、制造控制、维护控制、质量控制、要求、测试方法和鉴定 13 个章节的内容。在每个章节相关内容中,都围绕整个工艺过程有着极其明确和严格的要求。

波音工艺规范涉及全机制造工艺技术(零/部件制造、检测、结构装配和系统安装等)约 10 个专业领域,它的特点体现在技术内容上的先进性、成套性、通用性和综合性。

先进性:工艺规范体系完整、技术内涵丰富,具有良好的协调性、规范性和可操作性,代表着 20 世纪末国际先进航空制造业的技术水平。

成套性:波音工艺规范中对产品的某一项加工工艺的基础要求,有关的各类生产用工艺规程、装配手册等组成完整的配套工艺资料。

通用性:工艺规范适用波音公司生产的各种机型。

综合性:每份规范均包括了本专业的基本知识。如工艺材料控制要求、加工条件,使用的工具和设备,各类工艺参数、具体的实施方法和加工过程中的质量控制要求等。

波音转包项目生产工作是以飞机部件制造为转包项目单元,涉及某个项目单元生产制造时所用的工艺规范,波音公司都会提供给转包商,并要求供应商严格按工艺规范要求生产和制造。当供应商的设施或设备达不到工艺规范的要求时,供应商必须进行技术改造和/或改进。

2 空客公司工艺规范

空客公司中的不同组成国有自己的工艺规范,如英国为 BPS,法国为 ADET 等,它们的要求不完全相同,主要表现在一些工艺参数、工艺

控制要求不同。这就给既是空客英国又是空客法国的供应商在制造过程中带来一些麻烦。空客公司认识到这个问题,现在已经在逐步统一各国工艺规范,建立起空客公司工艺规范,适用空客公司设计和生产的各种机型。空客工艺规范与以往工艺规范(包括波音工艺规范)最大的不同在于它不提供详细的工艺过程说明,包括工艺参数,它在第四章“要求”中只提工艺技术要求,工程设计要求和质量要求。它的这个特点可以让供应商充分利用自己现有的生产线,而无需进行大量的技术改造,降低供应商的制造成本。但对主制造商要求,特别是设计工程部门,材料和工艺工程部门要求大大提高,必须掌握工艺过程对材料、结构等设计要求的影响。

国内工艺规范现状分析

国内各型号上采用的还是行业标准,主要是在军用飞机的研制过程中发展起来的国军标和航空行业工艺标准,约有 640 余项,经过几十年的努力,已形成较完整的军用飞机标准体系。

但是,目前国内航空制造企业都还没形成一套完整的商用飞机制造工艺规范,原因有以下两点:

(1) 工艺规范与行业标准应区别看待,工艺规范是企业内部保证技术内容得以具体实现的措施和手段,具有保密性,属企业强制性标准^[1]。

(2) 但由于商用飞机与军机的研制目标、用途不同,其飞行包线、性能、载荷、使用环境的严酷程度等有很大不同,因此商用飞机和军机的制造工艺规范在要求和内容上有相当的差异。军机的研制是以满足国家安全为目标,按照不同的作战任务和范围,对不同型号的军机提出不同的战术技术要求。商用飞机作为一个商品,其研制目标、服务对象决定了它要接受市场的严格挑剔,接受市场

激烈竞争的考验。民机市场的高门槛和竞争性决定了民机制造工艺规范的先进性,高要求高标准已成为商用飞机标准的战略取向。

我们在某支线飞机研制过程中制定了一套商用飞机工艺规范,虽已基本自成体系,在技术内容上具有一定的先进性、成套性、通用性和综合性,但其所适用的范围仅为支线飞机,对自动铆接,复合材料成型与无损检测等新工艺新技术的工艺规范研究仅起步,还不能涵盖大型商用飞机制造所需的所有技术领域。

为涵盖了支线飞机生产和制造所需的工艺技术,编制完成的工艺规范按专业工艺技术划分主要分为以下 6 类。

(1) 零件热加工工艺包括黑色、有色金属的热表处理,焊接(导管钎焊),喷漆,粘接及相关的高温测量、硬度测试和无损检测。

(2) 零件冷加工工艺包括铝合金成形、加工,滚制螺纹和圆角,钢零件的加工和塑料零件的机械加工等。

(3) 结构装配工艺包括装配操作法,紧固件的安装和结构密封等。

(4) 总装和试飞工艺包括电子电气,液压燃油导管和接头,软管及软管制造,隔音棉制造,燃油、氧气等各大系统和试飞。

(5) 复合材料和金属胶接工艺包括复合材料零件成形及其无损检测等。

(6) 其他杂项主要为零、组件标识,储存等。

每份规范按 AP-21-03《型号合格审定程序》条例分 6 大章节,包括适用范围、引用文件、材料和设备、要求、工艺过程和质量保证条款,与波音工艺规范相同,它在第四章“要求”或第五章“工艺过程”中详细阐述了工艺方法和工艺要求,并同样要求供应商严格按工艺规范要求生产和制造。

由于时间和经费的不足,在引进

和消化新的国际先进制造工艺技术过程中,工艺验证试验仅开展了22项,新的工艺方法以及工艺参数没有得到充分的论证,特别是复合材料零件的制造和检测核心技术没有掌握,远远不能满足大型商用飞机的研制需要。

大型商用飞机项目工艺规范构建

大型商用飞机工艺规范作为工程文件之一,必须具有以下特点。

法规性。工艺规范与工程图样、材料规范及相关工程文件同为产品生产制造和检验的依据,也是对供应商制造质量控制及供应商向主制造商进行产品交付验收时的工作依据。

完整性。结构完整、技术内涵丰富,满足设计和生产要求,具有良好的协调性、规范性和可操作性。

适航性。符合中国民用航空规章中的《运输类飞机适航标准》605条款的适航要求及美国FAA和欧洲JAR的相应适航要求,同时获得适航批准。

先进性。适应新结构形式加工要求,如整体壁板等;适应新材料加工需求,如复合材料、铝-锂合金、钛合金、高温合金等;达到新功能、新性能指标要求,如特种加工、特殊表面工程等;适应新技术应用要求,如数字化制造技术等;符合绿色环保节能要求,如先进热、表处理技术等。

动态性。需要将新的技术要求不断补充到工艺规范内容中去,使之具有应用的活力,这是保证和提高大型商用飞机竞争力的手段。

保密性。工艺规范反映企业最高制造水平和技术核心内容,对外应保密,在企业内部也应确定公开的不同程度。

1 框架构建

为了满足工艺规范工作需求,指导开展工艺规范选用及编制修订,同时避免重复工作,实现资源技术共

享,首先必须进行大型商用飞机工艺规范框架的构建。工艺规范框架反映了工艺规范全貌和发展方向。因此,如何合理、有效地设计出工艺规范体系框架是一个关键技术。

依据民机制造过程中工艺方法的类别,可以将大型商用飞机工艺规范分为切削技术、成形技术、热加工技术、表面处理技术、复合材料制件制造技术、非金属材料制件制造技术、连接技术、装配技术(包含密封技术)、检验检测技术和产品标识保护技术等十大类。

(1) 切削加工技术。

包括普通切削加工工艺、数控切削加工工艺等,主要是不同材料零件进行切削加工时的工艺流程设计、工艺参数选择、工装选择、设备选择、加工环境控制和质量保证等方面的要求。

(2) 成形技术。

包括超塑成形工艺、旋压成形工艺、钣金热成形工艺、喷丸成形与校形工艺、导管成形工艺、压弯成形与校形工艺、时效成形工艺等,是不同材料钣金零件的工艺流程设计、工艺参数选择、工装选择、加工环境控制和质量保证等方面的要求。

(3) 热加工技术。

包括热处理工艺、锻造工艺、铸造工艺等,是不同金属材料的零件进行热加工时的工艺流程、工艺参数选择、热加工设备控制和质量保证等方面的要求。

(4) 表面处理技术。

包括表面强化工艺、电镀工艺、极化工艺、化学覆盖工艺、涂漆工艺等,主要是对不同材料的零件在采用各种表面处理工艺加工时进行工艺流程设计、工艺参数选择、工艺装备选择、工艺试验、加工环境控制、质量保证等方面要求。

(5) 复合材料制件制造技术。

包括树脂基复合材料制件制造工艺、陶瓷基复合材料制件制造工

艺、碳基复合材料制件制造工艺、金属基复合材料制件制造工艺等,主要体现不同复合材料制件加工时在工艺流程设计、工艺参数选择、工装选择、设备选择、工艺试验、加工环境和质量保证等方面要求。

(6) 非金属材料成型技术。

包括橡胶零件成型工艺、塑料零件成型工艺、透明材料零件成型工艺等,是不同非金属材料零件在成型时的工艺流程设计、工艺参数选择、工装选择、设备选择、环境控制要求、工艺试验和质量控制等方面的要求。

(7) 连接技术。

包括机械连接工艺、胶接工艺和焊接工艺等,其中机械连接工艺包括铆接、螺栓连接等;胶接工艺包含金属结构胶接、金属与非金属胶接等;焊接工艺包括激光焊、摩擦搅拌焊、熔焊、电阻焊等,主要是不同材料的典型零件在采用不同的连接技术进行加工时的工艺流程设计、工艺参数选择、设备选择、质量检验和控制等方面要求。

(8) 装配技术。

包括结构装配工艺(含密封工艺)、导管装配工艺、电缆装配工艺、发动机装配工艺、机载设备装配工艺等,是飞机、发动机和机载设备装配时一些典型结构的工艺流程设计、参数选择、工装选择、质量检验和控制等方面的要求。

(9) 检验检测技术。

包括金属材料硬度、导电率检测、金属材料无损检测、复合材料无损检测等,主要是不同材料、不同结构形式的检测方法选择,检测设备选择,判别标准选择等方面的要求。

(10) 产品保护和标识技术。

包括产品工序间、加工过程中以及完工后的标识和保护等,主要是标识材料、标识设备、保护材料以及储存条件等方面的要求。

2 工艺规范制定

(1) 编制原则。

按 AP-21-03《型号合格审定程序》,局方对工艺规范制定流程已有明确要求(见图1),大型商用飞机工艺规范工作流程应以此为基础,不断完善并最终固化。

为保证产品有相同的质量,并在工艺技术方面增强对供应商的管控能力,降低研制风险,大型商用飞机工艺规范应采用与波音规范相同的方式,每份工艺规范详细阐述设备、方法、过程等各方面工艺控制要求,要求供应商严格按工艺规范要求执行。同时,在 AP-21-03《型号合格审定程序》中,适航当局对工艺规范的完整性、数据是否正确、检验程序

是否完好、格式等都有严格要求,编制内容必须明确,不允许有空话和模棱两可的语言,所以在制定工作启动时就必须高度重视规范的质量。积极发挥并行工程效力,力求使工艺规范制定工作与工程设计工作高度并行,最大限度地缩短研制周期和降低研制风险。

(2) 工艺验证。
从图1可看出,新工艺验证是整个大型商用飞机工艺规范制定工作中重要环节。CAR25.605 条款中明确规定(1)采用的制造方法必须能生产出一个始终完好的结构。如果某种制造工艺(如胶接、点焊或热处理)需要严格控制才能达到此目的,则该工艺必须按照批准的工艺规范执行。(2)飞机的每种新制造方法必须通过试验大纲予以证实。

由此可见,适航当局对新工艺的验证工作非常关注,要求将试验大纲、试验报告等文件提交审查,并向其演示整个试验,具体要求见图2。

(3) 工艺规范维护。
工艺规范包含完成各类制造工艺的各项不可或缺的要求,按此规范可完成产品的制造,应适应于多种型号和长远发展的产品需求,并非只适用于某特定型号^[1],所以大型商用飞机工艺规范也应能适用于我们设计和制造的各种机型。

为达到此目标,需对大型商用飞机工艺规范实施维护管理并持续改进,将飞机构型更改、材料变更和工艺方法的改进影响工艺规范适用性的诸多内容及及时正确的反映在工艺规范中,以保持工艺规范的有效性和先进性。这一正性循环的过程是企业积累技术财富的过程,是保证和提高企业产品竞争力的手段。

根据在现有已开展的型号项目工艺规范工作中获得的一些经验,对大型商用飞机工艺规范构建提出了初步想法,需要在项目进行过程不断得到改进和完善。希望在大飞机项目中建立起一套商用飞机工艺规范体系,不自能满足国内商用飞机以及发展型机型的设计要求,具有先进性、协调性、规范性和可操作性,符合适航要求,而且能够满足装配指令、制造指令等生产性工艺文件引用;能够为固化关键技术攻关成果、推广国内外先进技术等提供技术支持和保障。

结束语

参考文献
[1] 毕国植. 航空工业标准化基础. 北京: 航空工业出版社, 2002. (责编 良辰)

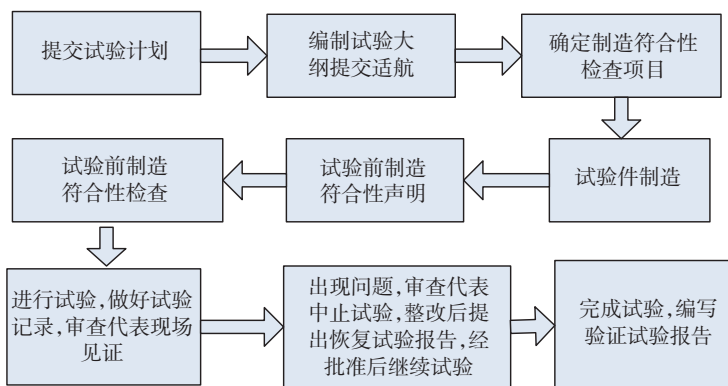


图2 适航验证试验流程

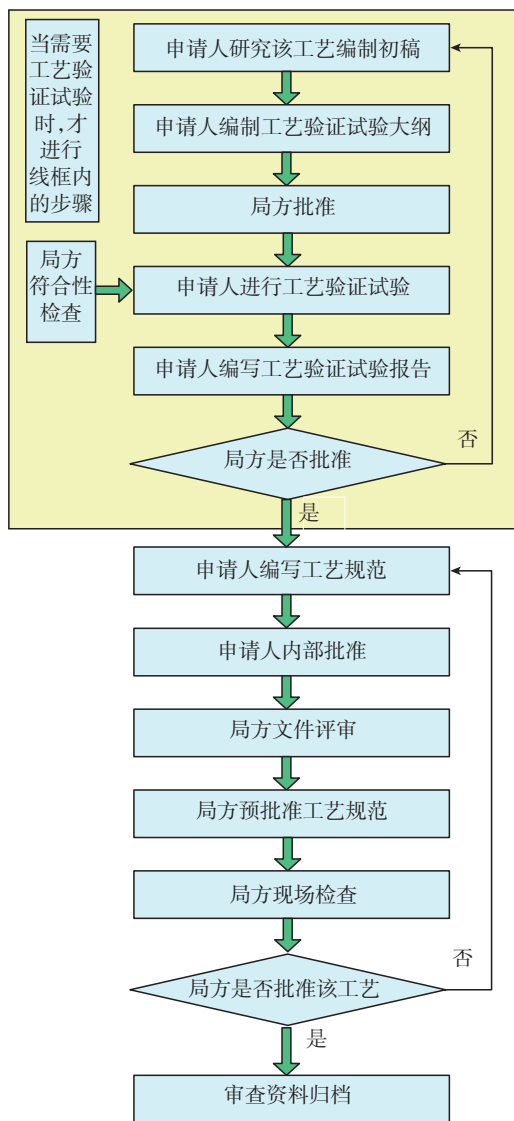


图1 工艺规范制定工作流程