

面向高效加工和装配协调的 三维数字建模技术*

3D Digital Modeling Technology for High-Effective Machining and Assembly Coordination

南京航空航天大学 陈清良
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 隋少春 杜成立 汤立民 楚王伟



陈清良

南京航空航天大学在读硕士,现任中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司制造工艺主任、高级工程师,主要从事飞机结构件数控加工工艺技术方面的研究工作。

随着航空工业的发展,航空结构件日趋大型化、复杂化,对相应的数控加工装备及数控加工技术的要求不断提高。同时,无纸化设计与制造

三维数字模型是联系设计人员与工艺人员的重要纽带,是产品结构信息的集中体现。但是,设计人员与工艺人员对三维数字模型需求的出发点是不同的,设计人员是基于产品性能的角度考虑的,而工艺人员主要考虑的是产品的可制造性和制造成本等因素。现阶段的三维数字模型还普遍存在满足了性能要求但工艺性差的现象,这直接导致了制造成本的提高和效率的降低。

已经成为制造业发展的主流趋势,零件的三维数字模型开始逐渐代替零件蓝图成为制造的唯一依据。作为制造依据,要求三维数字模型能够表达零件的所有特征,并在保证零件性能的前提下,最大化满足零件加工的工艺性。

从国内各个航空项目的开展情况来看,设计人员已经开始全面使用三维数字模型作为零件的制造依据,这是我国航空工业开始逐渐迈向数字化制造的重要标志之一。但是,在设计零件的三维数字模型过程中,由于与工艺人员之间缺乏沟通,设计人员不能很好地解读零件特征的工艺

性,对加工的流程和各类零件的加工策略涉入不深,导致了设计的三维数字模型工艺性差,不能直接指导工艺和生产,不能完全满足工艺对模型的现代化要求。

三维数字模型是联系设计人员与工艺人员的重要纽带,是产品结构信息的集中体现。但是,设计人员与工艺人员对三维数字模型需求的出发点是不同的,设计人员是基于产品性能的角度考虑的,而工艺人员主要考虑的是产品的可制造性和制造成本等因素。

现阶段的三维数字模型还普遍存在满足了性能要求但工艺性差的

* 国家科技重大专项(2010ZX04015-011)资助。

现象,这直接导致了制造成本的提高和效率的降低。

本文从航空结构件的发展特点出发,结合航空结构件高效数控加工技术对三维数字模型的要求,对飞机结构数字模型建模技术进行探讨,论述了当前航空结构件三维数字模型建模技术的基本思路和发展方向。

国内航空结构件三维数字模型建模技术现状

1 工艺均需对三维数字模型进行工艺性二次建模

现阶段,零件模型很难整体反映工艺信息,编程工艺员为增加工艺信息需二次建模,对模型中的点、线需要进行移动,对面需要进行偏移或二次拟合,完全改变了模型的原始依据,同时增加了更多的信息,容易导致模型的“污染”和“退化”等问题。模型的更改同时造成了数据的二次处理和传递,为后续编制数控加工程序而进行的数据处理带来了诸多的不便。

2 零件工艺性较差的现象还普遍存在

由于设计人员对制造部门现有设备和工艺技术等情况不了解,对加

工的流程和方法涉入不深,导致在有限的设计周期内,零件模型的工艺性很难得到保证。

如图1所示,是2个典型的设计对制造了解不足造成的难加工零件。设计在建模过程中设置了很多封闭区域,这些地方不参与装配没有特殊要求。但对于加工而言,这些地方都是难加工区域,大大提高了加工难度和成本。

3 没有对设计建模进行指导的建模标准

工艺与设计都没有既定的标准规范,同一设计在不同项目或不同的设计在同一项目都可能出现相同的工艺性问题,工艺员在每次新机型工艺审查时,对模型提出的问题几乎都是重复性的。

4 与国际差距较大

随着数字化制造技术的不断发展,波音、空客国外两大航空企业已经在向无纸化设计、无纸化制造方向发展,都有各自规范的、可操作的建模标准,其对结构件建模过程中进行严格的控制,充分考虑零件制造的性能以及制造要求。

如图2所示为空客公司的建模标准。

面向装配协调和高效加工工艺的建模技术

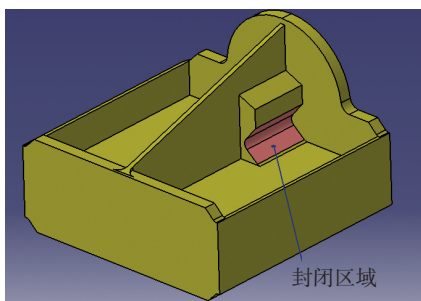
1 影响结构件数字建模的要素

一个合格结构件模型的最基本的要求是满足使用要求,也就是结构尺寸满足要求并能满足航空结构件高精度装配的要求。在此基础上,本文就以下几个方面讨论数字建模的影响要素。

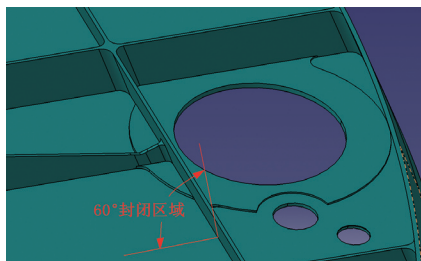
1.1 硬件条件对设计建模的影响

设备加工能力是零件设计需要考虑的重要要素。不同结构、尺寸、功率、精度的设备所适应的被加工零件都有所不同。设备的这些因素决定了加工零件的材料、尺寸、结构等各个方面,是数字化建模需要重点考虑的因素之一。

刀具消耗是数控加工中成本消耗的主要部分,对产品的制造成本、制造周期都有直接的影响。刀具的结构、材料、精度等对零件的加工效率以及成本控制都有很大的影响。如公式(1)中,刀具的长径比 A 是指刀具长度 H 与刀具直径 D 之间的比值,是刀具使用的重要参数。充分考虑刀具成本和加工性能,一般情况下,加工过程中推荐长径比 A 为2.5,



(a) 典型结构件



(b) 典型结构件二

图1 结构件中典型的工艺性差的特征

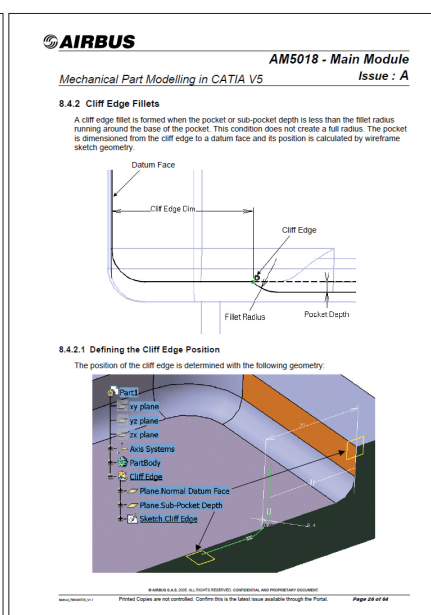
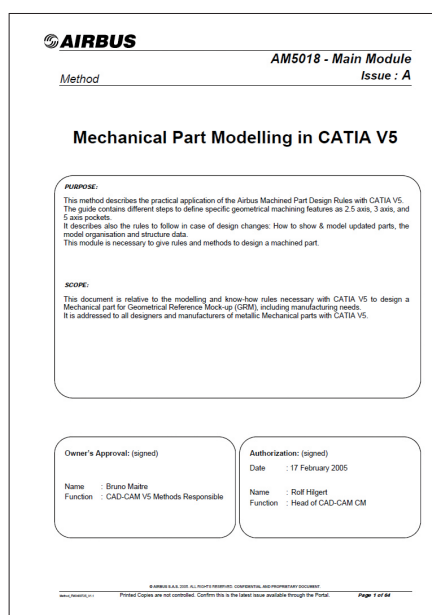


图2 空客公司的建模标准

在槽腔设计过程,应尽量保证加工过程中各刀具长径比不大于2.5。

$$A=H/D。 \quad (1)$$

1.2 装配要求对设计建模的影响

结构件作为个体其最终要通过装配形成组合件实现其功能,所以装配要求对设计建模是非常重要的。装配的协调关系、精度要求和尺寸链都直接影响到结构件的三维数字建模。对于一个结构件而言,参与装配协调的特征一般加工要求较高。充分考虑装配要求,在建模过程中合理设置结构尺寸和精度要求能够合理配置资源。

1.3 工艺技术水平对设计建模的影响

工艺技术水平对设计建模有很大的影响。比如钛合金的高效加工、钛合金整体框的加工、插铣技术、精确制造技术等直接影响航空结构件中钛合金零件的应用比例。另外,随着材料学和材料加工工艺的不断发展,复合材料在航空结构件中开始大量应用,这也对复合材料的数字建模提出了新的要求。

2 面向装配协调和高效加工工艺的建模方法

2.1 充分考虑结构件装配及加工要求

通过对航空结构件的工艺特性进行研究,将所有零件分成整体框、半框、细长梁、侧梁、接头、型材、肋、壁板、复材等9大类,并进一步按大小分成18小类。每类零件都有其装配要点和加工工艺特点,如何在最低成本的条件加工出满足装配使用要求的结构件,就需要综合考虑装配和加工的要求,其根本在于对于结构件的特征进行分析,建立相应的建模标准规范。

2.2 面向高效加工工艺的建模方法

零件加工过程中,具体局部结构特征的加工处理极为重要,是形成零件故障的主要因素,所以,局部结构特征的建模非常重要。通过对航空结构件的典型特征进行分析,抽取出槽、筋、腹板、凸台、下陷、型面、孔等

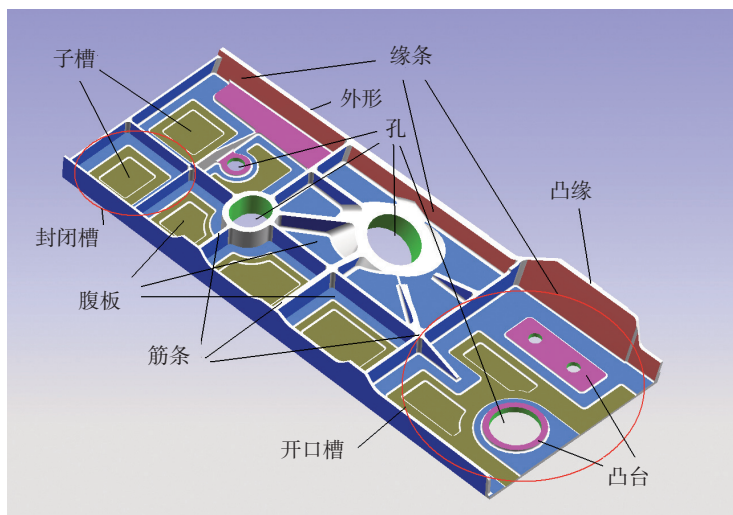


图3 航空结构件局部结构综合模型

典型特征,对各特征加工过程中的影响要素进行清理,对结构特征本身特点和加工工艺进行关联分析,总结各种具体结构可能发生的工艺性问题,并提出设计改进办法,同时对难以加工或存在隐患的部分进行重点考虑。

如图3所示,是一个航空结构件局部结构综合模型。结合装配协调要求和高效加工工艺条件,下面针对槽类结构做一个介绍。

(1) 避免二次加工影响的偏移。

槽类结构的作用是在满足结构件性能要求的情况下最大程度上减轻结构件的重量。槽一般都是采用大刀具加工大面、小刀具接转角和底角等多次加工。如图4所示,在不同刀具多次加工时,如筋条之间的转角处和筋条与腹板之间的底角处,留出

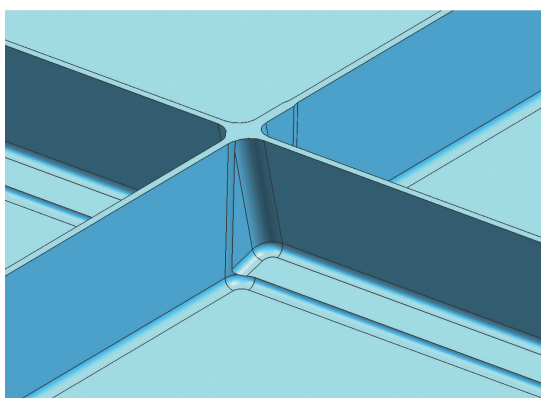


图4 槽内避免二次加工的偏移

标准的偏移量。

(2) 内形加工的简化要求。

在槽内的筋条与腹板之间的角度尽量呈 90° ,简化零件内形加工,如图5所示。槽内底角尽量一致,不同的底角不仅有换刀具加工的问题,而且不同底角间的过渡很难表达和加工。为避免在转角处拉刀导致转角处壁厚尺寸超小和转角处表面质量问题,尽量采用图示方式确定转角大小,并满足公式2(其中 R 表示零件转角, D 为刀具直径)。各部分进行布尔运算前将零件的转角、底角制出来,这样可保证与实际加工效果一致,而且所有倒角都是可以实现的

$$R=D/2+1。 \quad (2)$$

(3) 闭角设计方法。

在结构设计要求必须使用闭角的设计,闭角残留难以清除,在设计时尽量考虑确保残留保留的情况下满足装配条件。采用专用刀具的方案应尽量避免。常用的标准系列化刀具技术十分成熟,质量高,而专用刀具的使用频率低,技术不成熟,加工的质量也难以保证。

(4) 深槽设计方法。

由于装配等相关原

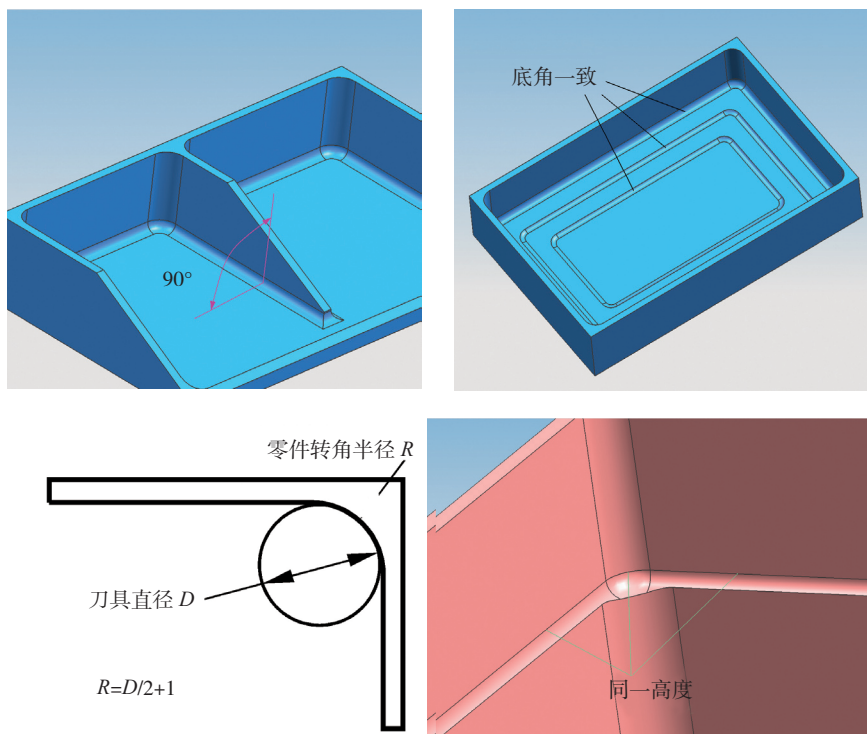


图5 槽内简化内形加工

因,部分槽深度较大,如果采用通常设计方法,加工时刀具很长,无法保证零件质量。可采用分段的台阶设计,使各段加工过程始终保持较小的刀具长径比,利于加工。如图6所示,筋条台阶(偏移量 X),零件各个高度 H 与所使用的刀具直径 D 之间应该满足公式(3)的要求,且总高度 H 满足公式(4)的要求。

$$H_i < D_i \quad (i=1,2,3, \dots), \quad (3)$$

$$H \leq \sum H_i \quad (i=1,2,3, \dots)。 \quad (4)$$

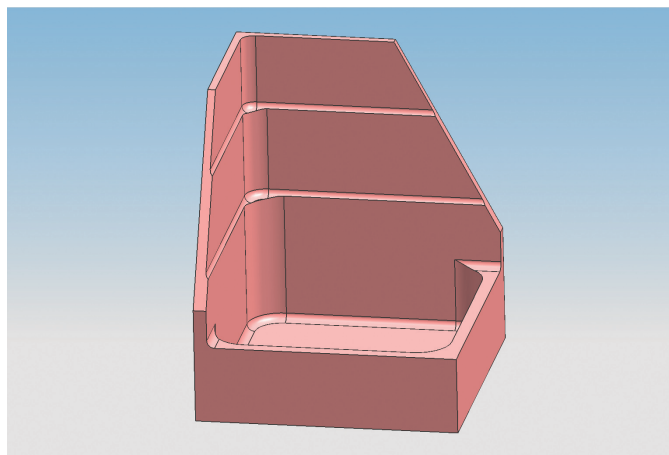


图6 深槽设计示意图

2.3 综合考虑装配协调要求的建模技术

按照传统的制造方式,装配需要对各参装零件进行局部控制,综合考虑飞机外形容差与零件容差积累的总体外观控制、套合下陷误差积累的装配干涉因素、两零件间连接件长度控制积累的局部修挫余量、精确定位点提前预制等各种因素,以达到最终总体协调。在新的建模思想下应该将这部分内容直接纳入零件的建模中去。

总体控制在三维数字模型中应该得到反映。如图7所示,建模时必须考虑装配后零件长度方向的累积误差。长度方向装配在一起的零件,必须在零件理论设计时留出间隙,以防止装配后超长。模型设计应该注意套合区的设计,如图8所示。套合区深度应该考虑制造公差满足套合要求,留出理论间隙。充分考虑装配干涉等问题,限制局部底角或转角处的公差,将公差控制在全正向公差或全负向公差,在零件详细结构设计纳入,将零件理论尺寸控制在不干涉的范围,公差控制为正负向均分。

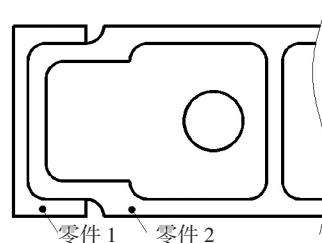


图7 长度方向的累积误差控制

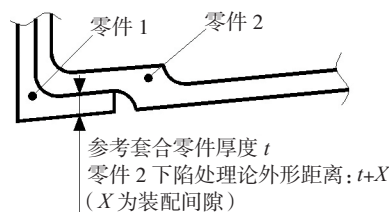


图8 套合区设计

另外,为了确保成品、导管在零件上快速、准确、稳定地安装,在数模设计时,根据装配要求,直接在结构件上设置精度要求不高的装配初孔,从而大大提高装配速度和精度,降低制孔成本。

结束语

本文在简要分析航空结构件数字模型建立的现状的基础上,分析了现阶段建模过程中对产品研制的不利因素,提出了一些结构件模型建立技术的思路,从而在满足装配协调要求的前提下,实现了航空结构件的高效加工。
(责编 小城)