

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.01.018

参数机制方法在工程型号中的实际运用

Engineering Application of Parameterized Design Method in Domestic Aircraft Project

翁晨涛 崔卫军 廉 伟 张元卿 何 瑞 柯志强 /

WENG Chentao CUI Weijun LIAN Wei ZHANG Yuanqing HE Rui KE Zhiqiang

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

立足于飞机结构大部段,系统提出一种建模的参数机制方法。总结了当前基于参数化设计方法中的一些典型逻辑思路。通过对基本原理和规律进行析和对比,结合计算机三维建模的相关知识以及实际工作中反复的实践,建立了一套针对国产飞机的三维建模方法。该方法立足于成熟的商用平台 CATIA,鲁棒性高、操作性强,填补了国产飞机设计阶段建模方法的空白,提高了飞机设计研发效率,通过实际运用,论证了该方法的可行性和实用性。

关键词: 国产民机;研制阶段;三维设计;参数机制;建模方法

中图分类号: V22

文献标识码: A

[Abstract] A systematized design method based on parameterized method was established. This paper attempts to sum up the newest geometry logic control methods based on parametric technology in aircraft design and find some general principles and rules implied in these methods combining computer graphics theories. The high efficiency and controlled mechanism had been confirmed under fierce competition. This paper will help to enhance a fuller understanding of domestic aircraft design parameterized method by using CATIA, a commercial software. High robustness and good operability are its characteristics. By using parameterized method, design and producing process had been connected. The capability to enhance industry batch production in the domestic aircraft development stage had been proved by using this method. At last, the research work, having a broad engineering application, was prospected.

[Keywords] domestic aircraft; developmental stage; 3D design; parameterized design method; modeling integration

0 引言

飞机结构设计向上承接了总体性能要求,向下直接连接实际的零件制造,通过三维模型描述设计方案是当下飞机结构设计的主流方式。

常规的三维建模分为“基于 CAD/CAE 平台”和“脱离 CAD/CAE 平台”两种方法,其中,脱离 CAD/CAE 平台开发出来的参数化建模程序只适用于广泛的学术研究优化问题,难以用于特定的工程实践。而单纯运用一款通用的商业建模平台,设计具有中国工业特色的大部段、长周期产品,结构设计

从零起步,必须建立一套可行并高效的建模机制,在确保产品质量符合预定要求的前提下,尽早发布设计成果,抢占产品市场。

以作者参与的某民机壁板设计为例,提出了一种立足于 CATIA 的参数机制的高效建模方法。基于 CAD、CAE 平台(CATIA)的结构相关设计团队提出了许多构想,宗旨就是提高建模效率、缩短迭代时间,将三维数模自动建立及更新交给系统自动完成^[1],基于上述需求,研究了民用飞机的自动建模方式,其中以下 3 种方案已经得到具体的实施:1)系统通过第三方平台进行集成;2)在 CAE 平台上

实现集成;3)在CAD平台上实现集成。

1 基于CATIA的参数机制方法对比

1.1 通过第三方平台进行集成——CAA

CAA是典型的通过第三方平台进行集成的方法,是目前基于CATIA设计最完善的开发平台。但其软件授权非常昂贵。且运用CAA必须要熟练运用C++中级及以上程序编译能力,并掌握数据库的管理基础。这是限制CAA普遍推广的主要原因。

1.2 在CAE平台上实现集成——知识工程

知识工程作为CAE的平台,可以将不同专家的丰富经验融入到每一个相关设计过程中。但在平台建立完成之前知识积累和验证过程周期较长,因此知识工程很少在设计初期得到运用。

1.3 集成在CAD平台上——CATIA的参数化方法

本文提出一种仅基于CAD操作平台的参数机制建模方法。此方法在单个设计员工作能力范围内能实现操作闭环,无需再借助其他操作平台。基于该方法,提出一种基于参数机制的特征造型和尺寸驱动的设计概念,极大地方便了模型的设计和修改,显著提高产品设计的效率和质量。

2 基于CATIA的参数化建模方法

本文提出了一种基于CATIA的参数化建模方法(以下简称“C方法”),“C方法”功能是将隐式的设计操作转化为嵌入整个设计过程的显示设计,也就是设计过程中各种逻辑关系的外化过程。一个参数化模型的建立过程实际上也就是对结构设计中各方面影响条件的逻辑进行梳理并在计算机中重构的过程^[2],将逻辑关系与设计思路外化并提炼能够有效提高建模效率、利于梳理建模脉络。具体实现步骤如下:1)设计者通过定义特征、公式与规则;2)产生参数、方程、设计表格等关联对象;3)用户定义规则或限制条件,建立和规定各元素之间的关系,程序将自动检索和计算参数;4)基于已经构建的参数驱动、更新对应构型的三维数模。

该方法有以下优点:1)研制周期的缩短;2)强大的参数定义、管理、关联能力;3)全面的数模语义表达。

3 “C方法”的具体实施步骤

3.1 参数的建立

参数化设计对象的几何拓扑特征定型后,参数

与设计对象的控制尺寸有显式对应关系,因此设计结果的修改可由参数驱动。CATIA商业通用建模方法之所以耗时较长,原因在于该平台用户需求面太广,为保证各个模块间数据相互兼容,设计参数必须挂靠相应的操作步骤,造成设计参数的离散、隐蔽,无法统筹规划,因此无法实现统一管理并使用特征参数,如图1、图2所示。

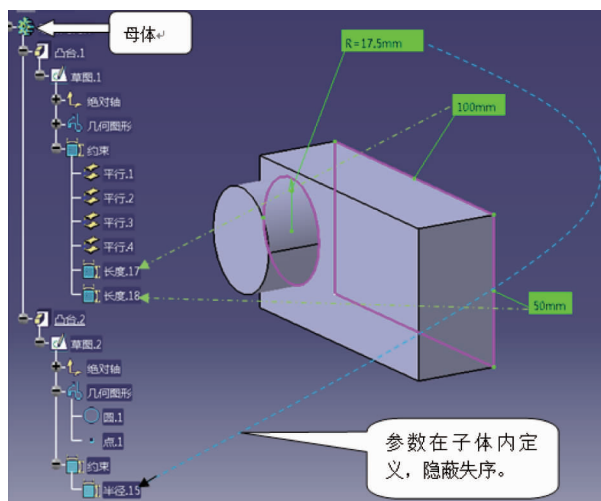


图1 隐蔽的参数分布示例

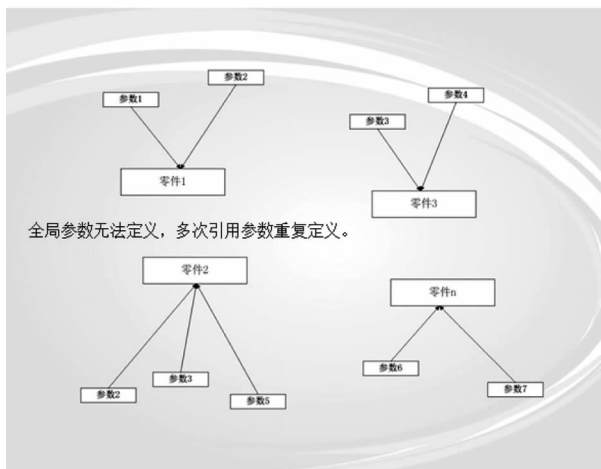


图2 分散的参数分布示例

而参数化建模方法的逻辑基础就是有针对性地将参数全局管理,统一规划,所有使用到的参数在参数池存在一一映射,使用的参数全部从参数池中流出,利于追根溯源、整体规划,即避免了相同类别参数的重复构建,同时给予了不同零组件关联参数的声明空间,解决了关联参数在子体装配件内无法定义的问题,如图3所示。

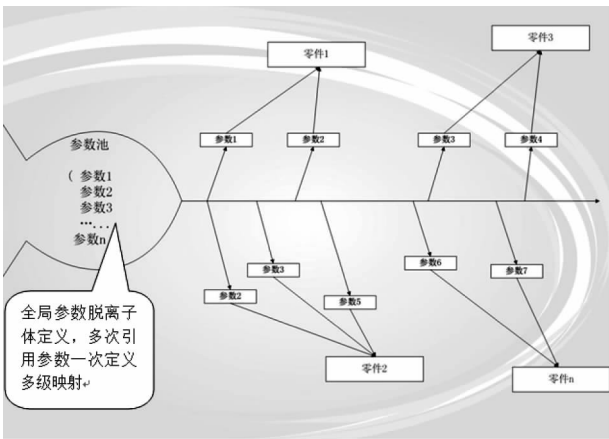


图 3 全局明晰的参数分布

3.2 参数的赋值

参数构建完毕后实现参数的自动赋值。一根长桁的关键参数量级为“百”，如果设计员将参数通过传统的手动方法录入零件结构树，容易发生错误，这与上文提及的参数化机制的逻辑相悖，而参数化的优势也就无法得到实现。以壁板长桁为例，具体介绍“C 方法”实施流程中的第 1 至第 3 步（第 4 步“参数的模型驱动”将在 3.3 节具体展开）。

长桁的特征参数有：上、下缘条厚度（T1，T3），腹板厚度（T2）等 6 个参数，如图 4 所示。在 CATIA 中创建参数的具体方法是通过软件接口的“参数”功能，使用“命令公式”，建立一组参数值，再通过 EXCEL 的“设计表”方法能够有效实现参数的自动捕捉。“设计表”是 CATIA 基于参数化方法的一项预开发功能，它立足于在零件中已存在的参数，通过外部接口（EXCEL 表格），完成已存在参数的自动赋值工作，如图 5、图 6 所示。在建立模型之前，需要设计员按工艺经验对模型的建立方式进行预判，将可重复利用的特征参数输入模型并构建特征树，

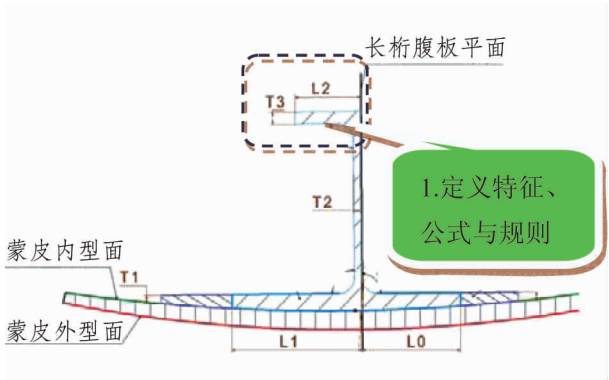


图 4 典型参数示意图

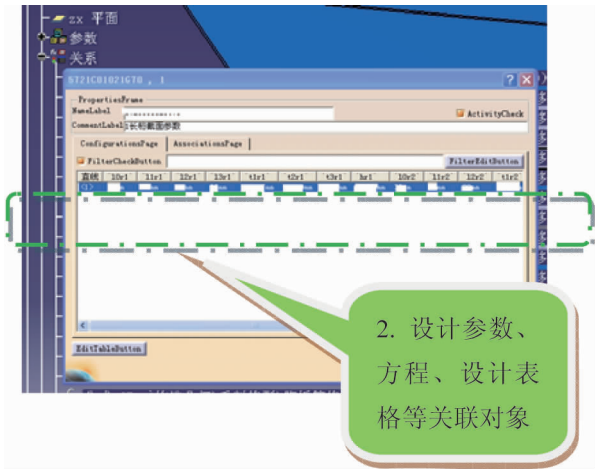


图 5 参数表的导入

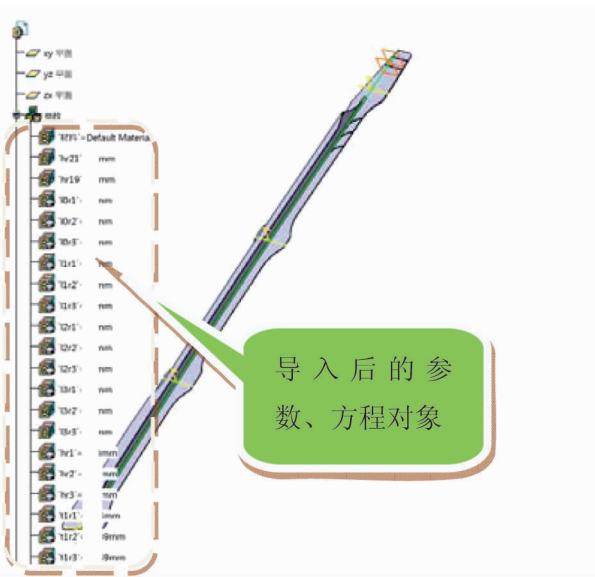


图 6 导入后的参数结构树

特征树代表了建模过程中的操作序列，建模过程的任何操作连同与它关联的数据都将被记录在操作栈中，在后续的参数驱动中，将通过新的建模方法高效地运用之前导入的参数，如图 7 所示。

3.3 参数的驱动

在零件建模过程中，草图作为最直观的表现形式在传统建模方法体系中得到长期的运用，逻辑上是一种典型的基于草图的“自下而上”的建模方法。但是自下而上的设计方法操作步骤繁琐，任何操作都必须将 3 维的设计思路投影至 2 维的平面，再通过材料堆积实现 3 维模型的定型，操作过程曲折、不直观，与当下高效率的制造业背景产生了明显的冲突，如图 8 所示。

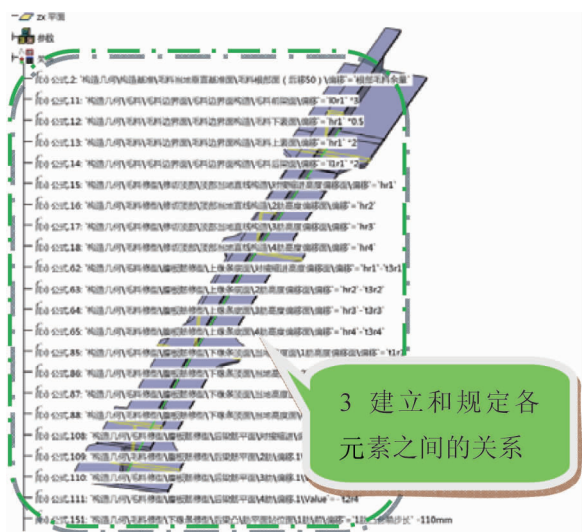


图 7 参数的关联

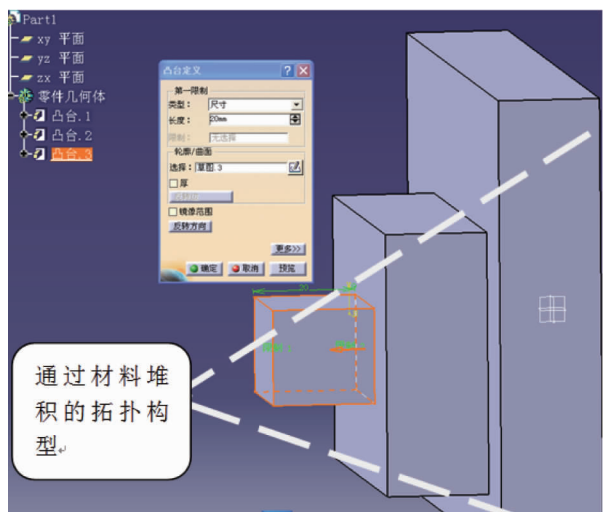


图 8 典型的二维堆积材料方法

为提高效率、实现参数机制的运用,将“二维”草图在“三维”曲面上合并,建立“减材料”的三维界面,使用“减材料”界面将零件外形从零件毛料中“切割”出来的一种“几何特征切割法”,如图 9~图 11 所示。

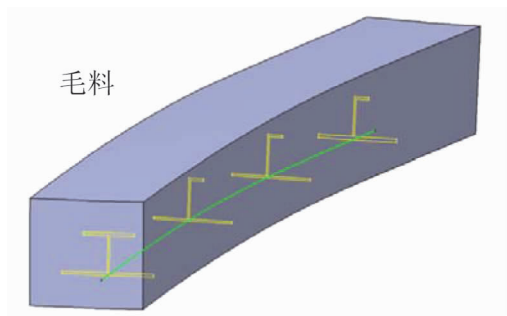


图 9 前梁方向“工”字槽切割

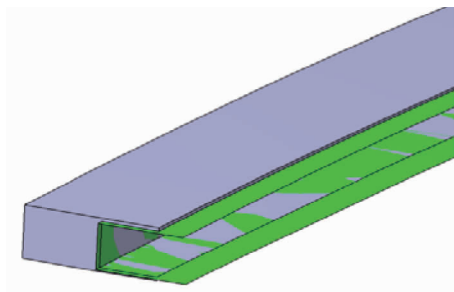


图 10 后梁方向“工”字槽切割

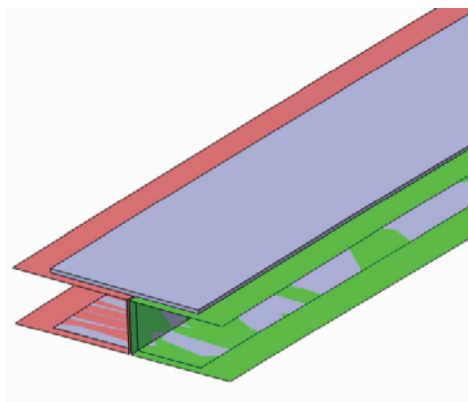


图 11 后梁方向“工”字槽切割

这样创建的模型既有几何信息又有非几何信息(特征兼含语义和形状两部分),建模过程不但表达了零件的特征参数,同时也落实了零件的实际机加的操作过程,该模型因此可以作为刀具排布、加工步骤等非几何信息的载体,使得在产品设计中考虑并表达出制造要求(数控或普通机床)、加工工艺(阳膜或阴膜)、操作信息(刀具、退刀路线如图 10 所示),保证产品结构更易被各个不同生产条件的制造子公司理解并方便工艺投产,实际工作中,该方法具有很好的工艺反馈。

4 “C 方法”的工程运用优势

4.1 提高协调区域的更新效率

“C 方法”不仅能提高封闭环节设计员的建模能力,更能在开环团队工作中大大提高协调效率。

以协调壁板与翼肋的搭接凸台为例,由于各个翼肋所实现的功能不同,对连接长桁的搭接凸台要求也不同,这就要求壁板设计员对每个长桁的每个搭接凸台进行编辑修改。工程实际中每完成一次迭代后的修改,消耗的人力时间需要 6 个小时。如图 12 所示。

采用“C 方法”后,协调壁板与翼肋的搭接界面,凸台的宽度、长度等参数采用参数化方法录入

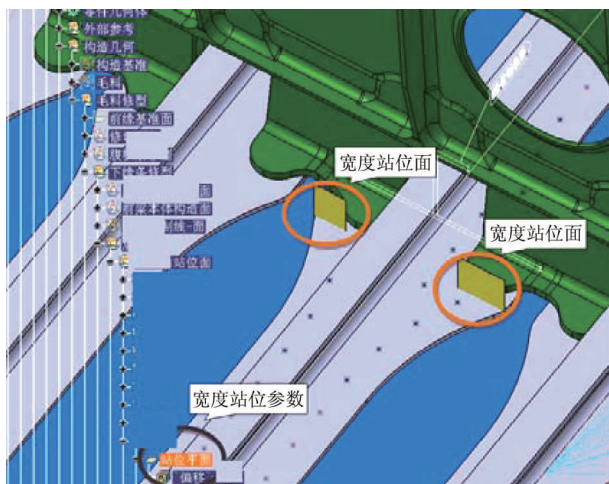


图 12 长桁翼肋凸台示意图

对应的数据池内,更改后使用参数驱动三维数模就能实现自动更新,完成一次迭代数模更新只需 20min。针对壁板而言,协调工作中耗时最多的是更改组件间的连接模块,实际工作中就是紧固件的编排设计。单块壁板紧固件数量级上“万”,紧固件的排布通过手动协调,工作效率非常低。采用参数化方法,在参数池中全局规划每种规格紧固件的大小、设计边距、排距等参数,在连接处给出装配件相关的协调参数,计划出紧固件排布最佳路径。通过参数化排布的紧固件,驱动紧固件设计参数就能更新壁板的连接模块,极大提高了工作效率。

4.2 避免了装配件间信息不足导致的装配应力

装配组件在设计过程中必须考虑零件组装过程中的非设计要求的装配应力,因此设计过程中将控制零件在两两贴合面上的装配界面,尽可能避免出现非设计要求的预应力装配结果。

壁板蒙皮由于设计要求,在部分区域(如集中载荷加载区域)存在较大厚度变化,造成该区域沿展向曲率变化剧烈,如图 13 所示。与壁板贴合的组

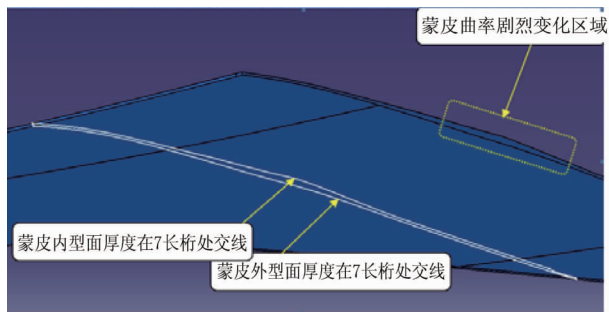


图 13 蒙皮曲率变化剧烈区域

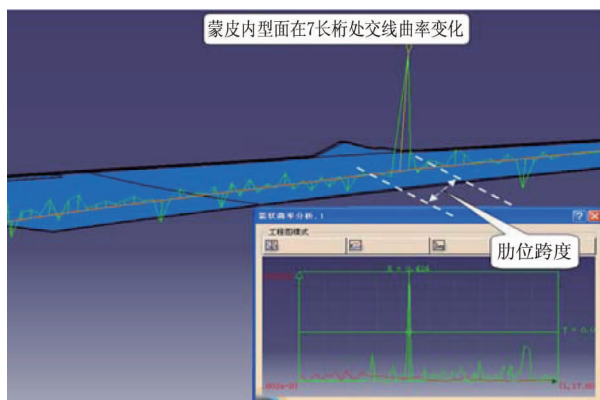


图 14 具体曲率变化幅值

件——壁板长桁下缘条的设计过程中,蒙皮的大曲率变化将通过蒙皮内型面,传递到长桁与蒙皮的贴合表面。但在下缘条与蒙皮的贴合面,该面的设计输入元素中,长桁与蒙皮贴合的下缘条厚度设计是通过在设计站位上控制长桁参数实现的,出于对长桁支撑件翼肋设计的考虑,选定相邻肋站位作为长桁的设计站位。长桁下缘条的厚度在设计站位处(肋站位)得到严格控制,但在两个相邻设计站位之间(相邻肋距),如果出现与蒙皮贴合的下缘条厚度面的曲率变化与蒙皮曲率变化冲突(曲率差较大或者曲率相反处),将导致长桁下缘条厚度偏离设计参数(两者曲率相近则厚度接近设计参数,曲率偏离越大厚度偏离设计参数越大)。如图 14 所示。

如果设计站位间蒙皮出现厚度的剧烈变化无法体现在长桁的设计过程中,而通过增加长桁厚度设计站位捕捉蒙皮厚度的局部突变,将大大增加控制参数及操作步骤,操作繁琐重复效率低下。如果将蒙皮的厚度变化参数化,通过厚度趋势计算出相应的曲率并作为上游控制参数,输入到下游与之贴合的长桁下缘条厚度面的控制过程中,在不增加任何建模工序的情况下,将 1 阶的长桁下缘条厚度设计提升至 2 阶,捕捉了站位间装配界面局部突变,大大提高建模精度。

以上壁板为例,蒙皮当地曲率与长桁下缘条厚度面当地曲率相差较大,峰值处曲率相差近 8 倍,在 2 个相邻翼肋站位面之间,当曲率变化剧烈处(尤其是两者曲率逆反处),长桁下缘条厚度未捕捉装配件蒙皮的厚度变化,导致长桁下缘条厚度偏离理论 -5%,完全偏离了设计要求。如图 15 所示。

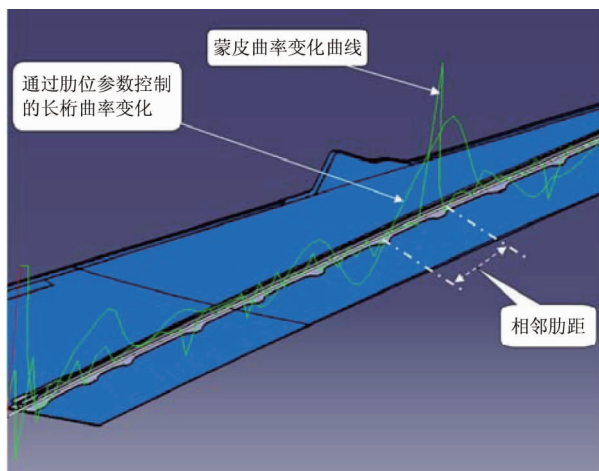


图 15 曲率变化对比

为保证装配界面两侧零件间的贴合关系,以长桁站位面上的蒙皮内型面当地交线作为基准,将蒙皮曲率变化作为长桁下缘条厚度的输入参数,下缘条的曲率变化趋势与蒙皮当地曲率一致,曲率最大幅度差仅 1%,长桁下缘条厚度与理论厚度一致,满足长桁下缘条的设计要求。如图 16 所示。

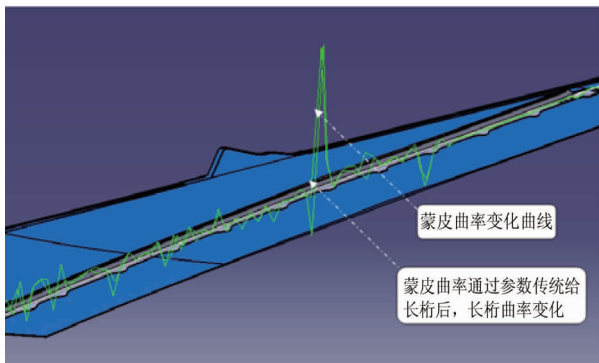


图 16 参数化方法曲率变化对比图

5 结论

采用“C 方法”建立数模可行高效,而更新数模只需更改三维数模对应特征参数所在的数据池 (EXCEL 表格),CATIA 在关联的数据池中侦测到参数的变化后会自动询问设计员是否进行更新。实际工作中,壁板中仅一个零件进行一次自动更新的时间不超过 3 个小时,与之前消耗 2~3 个工作日的常规设计方法相比,“C 方法”大大缩短了设计研发的迭代周期。如图 17 所示。

基于参数机制的“C 方法”驱动参数建立、更新机翼壁板、整体梁等大部段的三维数模,大大提高

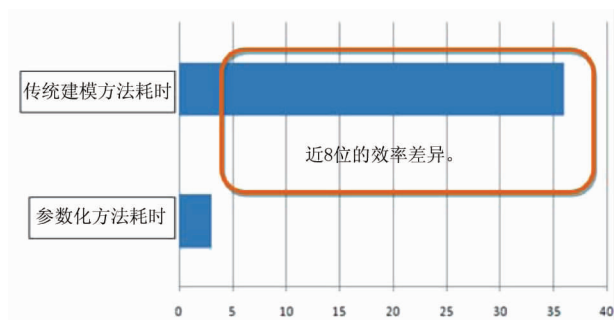


图 17 参数化方法效率示意图

了零件的设计效率,节省了非常宝贵的研制时间,保证了产品的投产交付节点,提高了长周期产品的市场竞争力。究其原因,主要有以下几个方面。

1) 提高了模型的强壮性

因为先进行零件尺寸“集中表达”,然后进行具体的 CATIA 三维成形,零件尺寸表达独立于具体的 CATIA 三维成形过程,零件尺寸表达清晰,易于管理和更新,提高了模型的强壮性。

2) 提供装配件关联参数的定义空间,解决了母体参数无法在子体内定义的困局

相对原方法是将零件的形状、定位尺寸分散到零件建模过程中,每个装配子体内仅能表达单个子体的参数信息,对于装配件之间的关联参数缺乏有效的定义空间。现采用将零件尺寸集中表达与具体的 CATIA 三维成形过程分离的方法,使关联参数在参数池中获得高于子体参数的明确定义。高于子体的参数定义可在装配件之间传递关联参数,实现关联参数的传递,有效避免由于非参数化装配界面的信息不全,构造出不符合设计意图的三维数模。

3) 提升三维数模的建模、检验效率

零件尺寸间的协调关系清晰、完整,最大限度地避免了尺寸封闭和重复尺寸标注造成的不协调问题,因此模型出错的概率更低。有利于在建模初期建立一个健壮、稳固的模型基础,避免因未理解图纸,后期发现前期零件表达错误,需要重大返工甚至重新建模的不利后果。原来的校对方法是进入建模过程中寻找需要校对的尺寸,依序校对,效率较低。采用参数化建模的校对方法与零件成形过程无关,只需校对参数表对应参数就可以有效的明确所使用的参数是否满足设计要求。

4) 扩展了建模过程的表达语义

传统建模的自下而上的材料堆积方法,不利于后期加工工艺的分解,加大了工艺的理解转化图纸

的工作及错误的概率。参数化方法的建模过程一改传统的堆积方法,通过与加工工艺一致的“减材料”表达方式,不但利于直观地体现参数的作用方式,传递了参数对应的形状信息,更明确表达了加工工艺的操作区域及操作方法,拓展了建模过程表达的语义,使得三维数模表达的信息更加全面。

5) 完善了装配件间装配信息

传统建模方法传递装配件间关联信息为 1 阶离散信息,对于装配界面在三维空间上变化剧烈的区域,相对突变区域较宽的采样控制站位将无法捕捉必要的参数信息,较低的模态造成的误差将遮盖必要的高阶信息。参数化建模方法通过对装配件参数的分析及必要的拟合,不增加建模过程步骤的情况下,将 1 阶的离散信息提高至 2 阶,在工程应用中大大提高了装配界面的设计精度,完善了必要装配信息的传递。

本文提出的“C”方法快捷有效,在型号定型阶段,该方法可以大大缩短设计周期。后期工作中,

将运用该方法的成果建立一套成熟的工程开发软件,为其他工程技术人员提供更高效的设计平台。

参考文献:

- [1] 李海滨,杨义虎,朱姗姗,邱元庆. 以 CATIA 为平台的起落架零件参数化建模技术研究[J]. 现代制造工程,2009,(7):38-39.
- [2] 袁大伟. 基于参数化技术的建筑形体几何逻辑建构方法研究[D]. 北京:清华大学,2011:19-20.
- [3] 樊海东,李梦韬. 复杂零件 CATIA 快速和规范建模法研究[J]. 中国制造业信息化,2009,38(7):2-3.
- [4] 戴磊. 基于集成技术的开放式参数化结构形状优化设计平台[D]. 大连:大连理工大学,2007:36-37.
- [5] Kai Zhao, Jing Zhou, Yang Zhang, Tianbiao Yu and Wanshan Wang. Research of Three-Dimensional Parametric Design System Based on Personalization and Customization[J]. International Conference on Information and Automation, June 22-25, 2009: 1-2.