

面向飞机装配仿真验证的装配工装的参数化

Parametric Design of Assembly Tooling for Verification of Aircraft Assembly Simulation

中航工业江西洪都商用飞机股份有限公司 罗震 黎明 王晓宇 汪静 郑和兴
南京航空航天大学机电学院 史桂林 张臣 李迎光

[摘要] 通过飞机的装配仿真可预先获得装配过程中存在的产品与工装的干涉问题,而对于工装本身的结构设计问题,则需要进行工装的迭代设计与修改,以期获得满足装配过程的无干涉的飞机装配工装。以面向飞机装配仿真验证为目的,进行飞机装配工装的参数化技术的研究,提出了基于表格驱动的工装参数化方法,对飞机装配工装结构形式进行了深入的分析,获得了工装组件中各零件参数化需要的独立参数及独立参数与关联参数之间的关系,并借助 CATIA 平台进行了飞机装配工装的参数化开发,实现工装组件的参数化,为飞机装配仿真验证后飞机工装的快速迭代与修改提供有利手段。

关键词: 装配仿真 装配工装 参数化 表格驱动 CATIA

[ABSTRACT] The interference of product and tooling can be attained prior to actual assembly by using aircraft assembly simulation. For structural design problem of assembly tooling, it needs to modify iteratively in order to obtain no interference assembly tooling. In this paper, parametric technology is studied in aircraft assembly simulation process for the verification purpose of aircraft assembly simulation and the table-driven assembly tooling parametric method is proposed. The form of aircraft assembly tooling is analyzed and the experience will be converted tooling design knowledge. Independent parameters are extracted and the relationships between different independent parameters are obtained. Some parametric application samples are developed based on CATIA platform and parameterization of assembly tooling is realized.

Keywords: Assembly simulation Assembly tooling Parameterization Table-driven CATIA

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.076

飞机装配工装是飞机制造中保证产品几何形状,进行定位夹紧的专用工艺装备,其研制周期影响着整个飞机的研制进度。随着飞机数字化制造技术的发展和设

计经验的不断积累,工艺人员设计了大量符合企业标准的工装结构组件,包括夹紧组件、定位组件等。目前,国内大型航空企业已经建立了符合国标、航标或企业标准的各类标准件库^[1],并已投入使用,有效提高了工装的设计效率。鲁玉峰等^[2]针对中国航空制造业传统工装设计问题,将信息技术与精益管理相结合,分析了实现基于 UG/ CAD 工装设计参数化与模块化的创新方式和可行性。杨晓浪等^[3]提出了基于 CATIA 二次开发的数字化标准工装库系统的开发方案,给出了系统开发的总体结构,并对系统开发的关键技术进行了研究。李庆利等^[4]基于飞机装配工装设计中的应用需求,研究工装组件的参数化设计、参数化组件库的构建以及组件的快速装配设计技术,应用 CAA 在 CATIA 平台上进行二次开发,实现飞机装配工装组件库和快速装配设计功能。上述的研究成果可应用在飞机装配工装的数字化设计过程,解决装配工装的设计效率问题。设计好的装配工装可应用于飞机装配仿真的过程中,预先获得装配过程中存在的产品与工装的干涉问题,验证飞机装配工装设计存在的问题,而对于工装本身的结构设计问题,则需要进行工装的迭代设计与修改,耗费大量的人力和物力,影响飞机装配工装的制造周期。为了解决这些问题,本文结合航空企业飞机装配仿真中的实际需求,以面向飞机装配仿真验证为目的,开展工装组件参数化技术的研究,采用了基于表格驱动的工装参数化方法,解决包含各零件、子装配体的几何信息以及中间约束关系的参数化组件模型的建立与应用,构建参数化组件库,借助 CATIA 平台进行了飞机装配工装的参数化开发,并应用于飞机装配仿真过程中,实现组件的设计重用,提高设计质量和效率。

1 装配仿真中的工装参数化的必要性分析

工装夹具设计属知识、经验密集型的工作,对设计人员的经验技术水平要求高。同时,一些设计资源(如标准件、通用件等规范性结构设计信息)的非创造性劳动占用设计人员大量时间,在相似结构中对各个零部件形状、尺寸的综合协调和优化同样耗时费力,致使设计

效率低下。再者,由于没有对设计结果进行统一管理(一般个人以文件形式自行管理),导致设计数据不能共享,重复使用性差。所以,面对目前国防产品多型号研制任务和快速研制的要求,基于三维的 CAD 计算机辅助夹具参数化设计成为迫切需求。为适应飞机产品尺寸结构变化对工装总体结构设计提出的要求,所有的型架结构采用参数化的设计方法。当飞机产品的结构尺寸发生改变,设计人员可根据工程需要,由参数设计表修改骨架模板零件的驱动参数,更新设计实例,更改型架设计的尺寸结构,得到符合当前机身结构装配需求的型架骨架线框模型,并将其实例化,导入当前产品。

同时,在飞机装配仿真过程中,可预先获得装配过程中存在的产品与工装的干涉问题,而对于工装本身的结构设计问题,需要进行工装的迭代设计与修改,这需要通过建立的工装参数化模型快速对工装进行迭代修改,以期获得满足装配过程的无干涉的飞机装配工装。

2 基于表格驱动的工装参数化

2.1 基于表格驱动的参数化设计思想

零件参数化的实现一般有 4 种方法。

(1) 利用变量驱动法。用变量来约束和驱动图形。变量可以是一个非常具体的数值,也可以是一个表达式。变量名一般采用便于理解和记忆的名称。在建立起变量名和模型之间的联系后,改变“变量”相应的数值,那么设计模型就会随之变动。

(2) 表驱动法。先以表格的形式将与设计相关联的数据存放,各个表格均具有独立不同的名称。然后将数据表格和设计模型之间建立联系,这样就可以实现在访问不同表格时设计模型随之变化的目的。表格驱动几何图形的方法广泛用于标准件中,如螺栓螺母等。

(3) 尺寸驱动法。当设计模型的尺寸标注过后,几何元素和尺寸之间就已经建立起了双向的关联关系。改变几何图形中几何元素的大小,尺寸标注就会随之做出相应的变化;同样,改变尺寸标注大小,几何图形也会随之做出相应的变化。

(4) 用户元素驱动(程序驱动)法。对于具有确定几何形状的零件或部件,可将其设计成具有单一图素的特性,这种操作通常通过程序编制来实现,如同操作基本点、直线、圆一样,在需要时直接引入,其特征几何尺寸可取自于表、变量或特定尺寸。

根据实际情况的需要,可以使用上述一项或几项的组合,来对设计模型的生成进行控制。本文以装配工装的参数化为目标,采用基于表格驱动的参数化方法,其基本思想如下。

(1) 研究分析部分典型工装的设计要求、方法,总结归纳工装的各种结构形式和结构参数,确定工装的独立参数和关联参数。

(2) 利用表格驱动设计参数化。使用者在表格中输入相应的参数值,然后导入系统,该方法将自动完成参数替换、零部件的生成操作,从而实现工装设计和生成工作的自动化。

为达到基于表格驱动参数化建模的目的,利用 CATIA V5 建立参数自动提取功能。设计人员设计草图时,将尺寸约束为特征参数保存下来。尺寸约束是尺寸驱动的前提条件,而尺寸驱动的实现为参数驱动的实现提供了可能。尺寸约束包括对图形的约束和对图形中尺寸的约束,完整的尺寸约束能够实现对图形的控制。从实体中提取的参数如何转化成特征参数,是实现系统参数驱动图形的关键。CATIA 不仅仅提供了系统参数,而且为用户提供用户参数,用户可以自己定义一个参数在后续的参数化过程中使用。有了用户自定义参数和公式等这些工具,设计人员就能定制出客户需要的参数以及约束这些参数的公式。

获得系统参数和用户参数后,为了实现参数驱动模型修改的功能,首先必须将提取和定义的零件特征参数以数据表的形式储存起来,建立起表中数据和特征参数的一一对应关系。在 CATIA 的参数化设计中,给用户提供了两种格式的数据表格,一种是 .txt 的文本文件,另一种是 Excel 表格。本文采用 Excel 零件的特征参数,接着通过 CATIA V5 的设计表功能就可以对表格数据进行访问。点击不同数据组,就会生成相应的零件,实现表格驱动参数化建模的功能。

2.2 CATIA 中基于表格驱动的参数化设计过程

为在 CATIA 中实现基于表格驱动的零组件的参数化,需要建立零组件参数提取、表格参数建立和零组件参数关联关系。在 CATIA 中基于表格驱动的参数化详细过程主要包括以下步骤。

(1) 组件参数提取。在 CATIA 中打开组件数模,统计各个零组件所有尺寸,提取零组件参数。

(2) 建立组件参数的 Excel 表格。新建 Excel 表,导

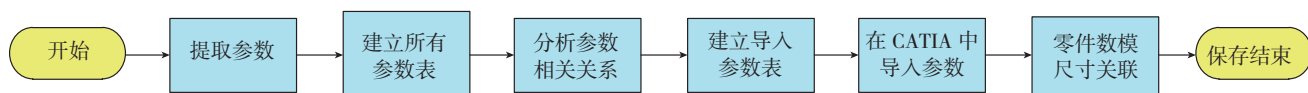


图1 表格驱动参数化设计流程图

Fig.1 Flow chart of table-driver parameterization design

入提取的各个零组件参数,并用适当的代号表示提取的各个零组件参数,保存建立的代号对应参数关系的 Excel 表,为后续查找代号与参数之间对应关系提供准备。确定组件零件各参数之间的关联关系,用代号或表达式表示各参数,删去关联参数,用合适的名字命名 Excel 表,以方便后期导入时查找,保存为导入参数表。

(3) 建立组件参数的关联关系。打开零件设计模块,对照所有参数表建立尺寸与参数之间的对应关系;建立所有零件尺寸与参数的对应关系,保存修改;若装配中存在与尺寸相关的参数关系,则进入装配设计模块,通过对话框找到参数并引用;所有参数关系建立完成后保存组件修改,退出。

(4) 保存组件参数表。将建立了组件参数和各个组件参数之间关联关系的 Excel 表保存为装配工装组件库。

(5) 零组件的参数化修改。在 CATIA 中,打开需要参数化零组件保存参数的 Excel 表格,定位需要修改参数对应的代号,将代号对应参数值修改为所需值,重复上述步骤修改所有要修改的参数,保存修改后的 Excel 参数表;在 CATIA 中打开要修改参数的组件,进入零组件设计模块,导入新参数表,保存修改;重复上步骤,依次在各零组件中导入新参数表,并保存修改;退出零件设计模块,在装配设计模块中保存整个组件修改,退出。图 1 为表格驱动参数化设计流程图。

3 装配工装参数化应用实例

借助 CATIA 平台进行了飞机装配工装的参数化开发,实现工装组件的参数化,为飞机装配仿真验证后飞机工装的快速迭代与修改提供有利手段。为验证所采用的基于表格驱动的参数化方法的有效性,以某型飞机前机身装配工装的参数化设计为例,说明本文给出方法的有效性。工装的装配图如图 2 所示,图 3 所示为工装的 4 个主要组成部分爆炸图,工装中各个组件已按图 3 所示分别进行了编号,该工装参数化主要实现以下目标:

(1) 1# 零件底座大小、孔的孔径能根据设计要求进行参数化;

(2) 1# 零件和 2# 零件的边缘厚度能根据设计要求进行参数化。

分析该工装中各个零件之间的关系可以看出,这 4 个零件中,1# 组件可看作是基体零件,为参数化的主要设计部分,2#、3#、4# 组件可看作是装配在 1# 上的零件,并根据 1# 组件参数的变化而相应改变自身的参数;该工装各个组件自相关的参数可以用表 1 进行描述,此外,各个组件之间还有互相关联的参数,如表 2 所示。

进行了上面工装各个组件的自身参数和互相关参数的分析后,下面说明针对上述工装分析的特征参数的

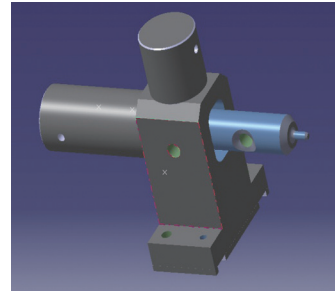


图2 工装装配图

Fig.2 Assembly view of tooling

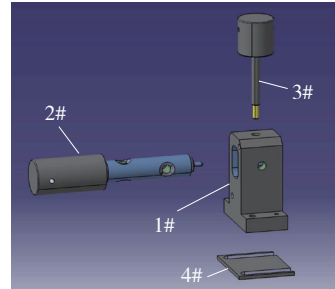
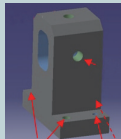
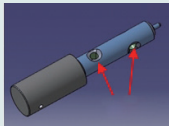
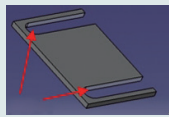


图3 工装爆炸图

Fig.3 Explosive view of tooling

表1 工装各组件自相关参数 (部分)

工装的各个组件	自相关的参数
1# 组件 	(1) 上孔位于上表面中心; (2) 上孔与前孔直径相等; (3) 下表面两对固定孔直径分别相等,且位置分别对称
2# 组件 	右端上两孔直径相等,且倒角相等
3# 组件 4# 组件 	无 两凹槽大小相等,位置对称

参数化过程。

(1) 新建 Excel 表,建立各个组件各个参数尺寸的列表及其对应的参数关系,如表 3 所示。

(2) 建立包含表 3 中参数的导入 Excel 的参数表,同时删除表 3 中具有重复参数或存在相关关系的参数,建立的导入 Excel 参数表如表 4 所示。

(3) 在 CATIA 中导入,参数表 4,得到各个组件需

表2 工装各组件互相关参数

工装相关组件	互相关的参数
1# 与 2# 组件 (见图 4)	(1) 2# 右端直径与 1# 零件左右方向通孔宽度相等; (2) 2# 零件右端孔径与 1# 零件上表面和前表面通孔直径相等; (3) 2# 的右端圆柱朝上的通孔到左端圆柱右面的距离等于 1# 上表面通孔到左侧面的距离
3# 与 1# 组件	(1) 3# 下部外螺纹型号与 1# 的内部内螺纹型号相等; (2) 3# 下部凸台直径与 1# 的上通孔直径相等
4# 与 1# 组件	(1) 4# 长宽与 1# 的下表面相等; (2) 4# 凹槽中心面与 1# 的下部通孔轴线同平面

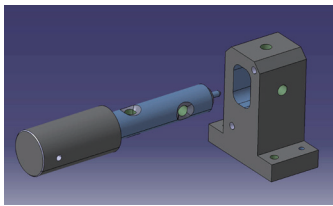
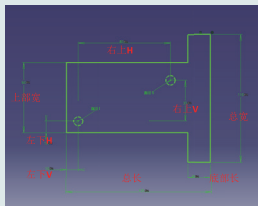


图4 1#与2#相互关系图

Fig.4 Relationship between 1# and 2#

表3 工装各组件参数列表 (部分)

几何体	类型	大小 /mm	代号	
凸台 1	草图	总长	125	ttg
		总宽	110	dbc
		底部长	20	ttdg
		上部宽	60	ttsk
		左下 H	10	zxkh
		左下 V	10	zxkv
		右上 H	80	yskh
拉伸	拉伸	第一限制	30	dbk/2
		第二限制	30	dbk/2



要修改的参数列表,如图 5 所示。

(4) 建立对应关系。在需要对应的参数上右击,编辑公式,例如 1# 零件的凸台 1 的草图总长,在表 3 中找到代号为 ttg,输入对话框(如图 6 所示),点击确定,对应关系建立完毕。依照上述方法,依次建立各个参数对应关系。

(5) 参数化修改。在表 3 中找到要修改的参数,获得其对应代号,在表 4 中找到该代号并更改为所需要的尺寸,在 CATIA 中打开需修改参数的组件,将新的参数表 4 导入 CATIA,便完成了参数化过程。例如,要实

表4 导入参数表 (部分)

代号	大小 /mm
ac1d	15
ac1k	30
ac1szxh	95
ac1zxzh	80
ac1ybj	10
ac2_1d	6.5
ac2_1j	20

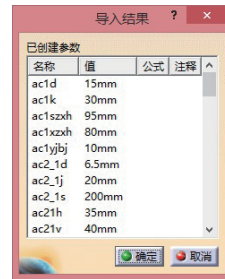


图5 导入参数表

Fig.5 Parameters



图6 建立对应关系

Fig.6 Relationships

现 1# 零件的参数化并修改对应的零件的底座宽度,在表 3 中找到对应参数需要修改的代号为 dbk (如图 7 中黑色方框所示),然后在表 4 中将 dbk 后的参数值改为 60mm (如图 8),保存,将更改后的表 4 作为新参数表导入 CATIA 中,便可完成通过建立的参数化实现参数修改。

dbc	底部长
dbk	底部宽
dbh	底部厚
klv-ack/2	

图7 参数代码

Fig.7 Parameter code

底部长	87mm	80mm改为60mm
底部宽	80mm	
底部厚	89mm	
	90mm	

图8 修改参数

Fig.8 Parameter modification

(下转第 90 页)

对于带极靴的环形线圈,根据全电流定理和磁路欧姆定理可得磁场与线圈中电流的关系式^[6]:

$$NI = HL = \frac{B_x}{\mu_0} \cdot \frac{\pi d}{k \sin(\alpha + \beta)} = \frac{B_x \pi d}{k \mu_0 \sin(\alpha + \beta)}, \quad (2)$$

式中, I 为电流强度; N 为线圈的匝数; H 为磁场强度; L 为磁路长度; B_x 为 X 向线圈的磁感应强度; k 为线圈的形状因子,对于特定的线圈为定值; α 和 β 为高度方向和水平方向的半张角; d 为线圈的内径; μ_0 为真空中的磁导率。

对于所设计的线圈,由于极靴数为 12,取 $k=1$, $\alpha=0$, $\beta=30^\circ$, $d=0.03\text{m}$,代入式(2)求解得 $NI=15B_x \times 10^5$ 。3 对极靴为一组,2 对与 X 轴成 30° 角的在 X 轴方向上的分量是 $2 \times \frac{B}{1+\sqrt{3}}$ 。当 $I=2\text{A}$ 时,偏转角度可达 3° ,此时 $N=68$ 匝,每个极靴上是 23 匝。

所设计偏转线圈允许通过的电流 $\leq 5\text{A}$,可以采用多根细导线并联使用的方法来代替单根粗导线。但是随着导线直径的减小,直流电阻有所增加,考虑到导线的集肤效应,设计线圈中采用 $2 \times 0.5\text{mm}$ 的 2 根导线并联使用。 X 方向线圈的电感为 $160.0 \mu\text{H}$,电阻为 0.70Ω , Y 方向线圈的电感为 $160.8 \mu\text{H}$,电阻为 0.70Ω 。线圈的外环半径为 70mm ,内环为 50mm ,线圈厚度为 45mm ;极靴长为 20mm ,宽 8mm 。

3 试验结果及分析

测试条件:工作电压 $+24\text{V}$ 电流采样传感器为 CHB-25NP,采样电阻为 200Ω ,变比 1:500,检测示波器 TPS2024。

采用研制的高频偏转线圈,结合所设计的电子束高频偏转电源,检测流过线圈中的电流波形。

从图 7 可以看出,在扫描频率 120kHz 时,所研制偏转扫描电路仍具有较高的电流变化率,但是受到工作电压等的限制,电流输出波形还未能实现理想的陡峭上升、下降沿输出。因此,还需要从电源设计角度入手,提

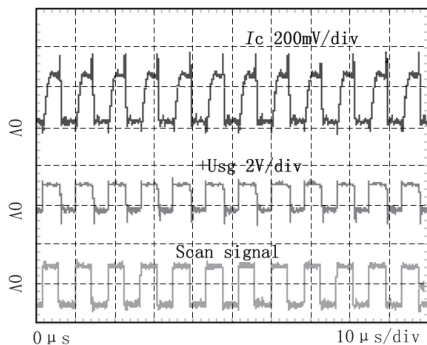


图7 扫描频率120kHz线圈中的电流

Fig.7 Current of coil in scan frequency of 120kHz

高频状态下的电流变化率。

4 结束语

(1)使用 ANSYS 软件对线圈进行三维静态电磁场仿真,结果表明:多极靴结构的偏转线圈中间可以产生较为均匀的磁场,而且极靴越多,线圈中间的空间磁场越均匀。

(2)所设计的十二极靴的高频偏转线圈可以在 120kHz 的高频工作。

参考文献

- [1] U. Clauβ, Neukirchen/D. Industrial electron beam applications. International Electron Beam Welding Conference, Aachen:2012:11-13.
- [2] Schultz H, Electron beam welding. England: Abington Publishing, 1993:2-4.
- [3] 王之康,高永华,徐宾.真空电子束焊接设备及工艺.北京:原子能出版社,1990:57-58.
- [4] 赵修科.开关电源中的磁性元器件[D].南京:南京航空航天大学自动化学院,2004.
- [5] 王西昌,赵海燕,左从进,等.多束电子束扫描线圈电磁场的数值分析,新工艺新技术,2008(10):15-18.
- [6] 胡虔生,胡敏强.电机学.北京:中国电力出版社,2007.

(责编 谷雨)

(上接第 79 页)

4 结论

实现装配工装参数化设计可以加快飞机装配仿真和装配工装设计的速度,缩短飞机装配仿真周期。本文利用 CATIA 实现了飞机装配仿真中装配工装的参数化设计,以面向飞机装配仿真验证为目的,提出了基于表格驱动的工装参数化方法,得到工装组件中各零件参数化需要的独立参数,通过输入几个关键参数,就可以在 CATIA 中自动生成装配工装的实体模型,用于进行装配仿真验证,这大大减轻了设计者的工作量,并且使设计者的效率明显提高,为飞机装配仿真验证后飞机工装的快速迭代与修改提供有利手段。

参考文献

- [1] 朱春生,廖文和,李迎光.飞机工装标准件库关键技术研究.机械制造与自动化,2007,36(1):71-73.
- [2] 鲁玉峰,周华锋.基于UG/CAD 工装设计参数化与模块化方法的研究.中国制造业信息化,2009,38(17):18-21.
- [3] 杨晓浪,曹增强,吴建军.基于CATIA的数字化标准工装库系统的开发.航空制造技术,2010(13):89-93.
- [4] 李庆利,安鲁陵.飞机装配工装组件库与快速装配设计技术.南京航空航天大学学报,2012,44:6-8.

(责编 谷雨)