

# 基于数字化装配的定位件光学目标点设计\*

## Design of Optical Target Point on Positioning Part Based on Digital Assembly

成都飞机工业(集团)有限责任公司 兰 勇

西北工业大学机电学院 刘 维 吴建军 曹增强

**[摘要]** 本课题针对 CATIA 三维平台中的型架装配模型,研究了定位件光学目标点的数字化设计过程;运用 CATIA 二次开发技术,建立了定位件光学目标点数字化设计系统。

**关键词:** 数字化装配 光学目标点 激光跟踪仪 CATIA 二次开发

**[ABSTRACT]** The digital design process of the optical target point on positioning part is studied according to the assembly model of the jig in the CAD system of CATIA. At last, a digital design system of optical target point on positioning parts is built by the secondary development technology of CATIA.

**Keywords:** Digital assembly Optical target point Laser tracker Secondary development of CATIA

近年来,随着计算机辅助设计、制造、测量(CAD、CAM、CAI)等技术在航空制造企业的广泛应用,采用数字标工协调技术,将传统的以传递模拟量为主的装配协调路线改变为以传递数字量为主,可以缩短工装制造周期,提高装配工装的制造精度。作为数字化装配过程中的主要测量系统,激光测量仪具有方便、快捷、精度高等优点,已经深入应用到飞机数字化制造过程中<sup>[1]</sup>。

采用激光跟踪仪定位安装装配型架上位置坐标复杂的定位元件,通常需要在每个定位件上设置3个光学目标点(Optical Target Point, OTP)。一般 OTP 设置采用半数字化的设计方法:工装人员根据经验,在数字化的装配型架上,针对每个定位件,尝试选取出空间位置大致合理的3个点。这种方法缺乏严谨性,不具备科学的指导原则,且耗费时间较长。因此,如何在装配型架的全数字化模型上快速、准确地设计定位件 OTP 的位置,已经成为飞机装配工装主要的技术创新点之一<sup>[2]</sup>。本课题在轮廓偏置的基础上,采用“离散化”方法,运用遍历计算比较,获得 OTP 的合理位置,探索了装配型架上定位件 OTP 的一种数字化设计方法。通过 CATIA 大型

平台的二次开发技术,针对飞机装配型架的装配模型,建立了 OTP 数字化设计系统,较好地实现了工程应用。

## 1 OTP 数字化设计原理

### 1.1 OTP 设计的基本思路

定位件是飞机装配型架上的重要组成部分。装配型架上定位面尺寸较大的定位件往往需要设置3个 OTP。由于 OTP 空间位置的三维坐标一般设置在 OTP 衬套孔的中心处,可以先将定位件外轮廓向内偏置一定距离,然后在偏置轮廓上设计3个 OTP (见图1)。

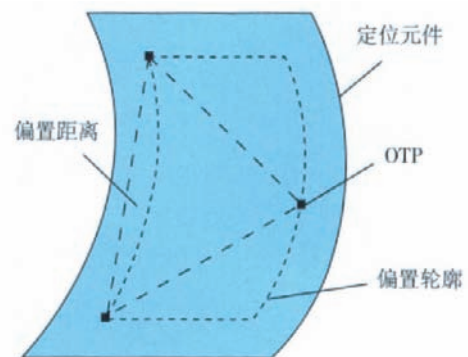


图1 OTP设置示意图

Fig.1 Diagram of OTP design

对于 OTP 的位置设置,从定位稳定、准确的要求出发,提出了“3点组成的三角形面积尽可能大,并且3个内角大小保持在一定范围之内”的原则,其数学表达式如下:

$$\max S_{\Delta}(P_i, P_j, P_k), P_i, P_j, P_k \in S;$$

$$\angle P_i \leq \angle P_j \leq \angle P_k;$$

$$\max \angle P_i, \min \angle P_k;$$

$$\alpha \leq (\angle P_i, \angle P_j, \angle P_k) \leq \beta.$$

其中: $S$ 为偏置轮廓;

$P_i, P_j, P_k$ 为偏置轮廓上任意3个点;

$S_{\Delta}(P_i, P_j, P_k)$ 为由 $P_i, P_j, P_k$ 组成的三角形的面积,若 $P_i, P_j, P_k$ 共线,则 $S_{\Delta}(P_i, P_j, P_k)=0$ ;

$\angle P_i, \angle P_j, \angle P_k$ 分别为由 $P_i, P_j, P_k$ 组成的三角形中以 $P_i, P_j, P_k$ 为顶点的3个内角,尽量使3个内角大小

\* 成都飞机工业(集团)有限责任公司资助项目。

相对平均,使 $\angle P_i$ 尽量大, $\angle P_k$ 尽量小;

$\alpha$ 、 $\beta$  分别为角度值的下限、上限。

通过计算得到的3个点 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ ,即为3个OTP最合理的空间位置坐标。通过 $\alpha$ 、 $\beta$ 的取值,可以控制3个OTP的合理分布。3个OTP组成的三角形的3个内角不能过小或过大,否则3个OTP点将趋于同一直线上,这对定位件的定位安装极为不利,应该尽量避免。

## 1.2 OTP设计解决方案

对于1.1节中的问题,理论上可以建立 $S_{\Delta}(P_i, P_j, P_k)$ 和偏置轮廓 $S$ 的函数表达式,采用数学优化方法进行解决。但是,由于涉及的变量较多,偏置轮廓 $S$ 的数学表达式往往比较复杂,且为多目标优化问题等,求解困难,耗费时间。为了工程实际应用,本课题提出了“离散化偏置轮廓”方法解决上述问题,将分段连续的数学模型转化为离散化问题,充分利用计算机的计算优势,进行遍历计算寻优。换句话说,就是首先在偏置轮廓上等分 $n$ 个点,然后计算其中所有3个点所组成的三角形的面积和内角,通过逐个比较,寻求内角满足条件,且面积最大的3个点的组合,即为3个位置合理的定位件OTP。遍历计算寻优的流程如图2所示。

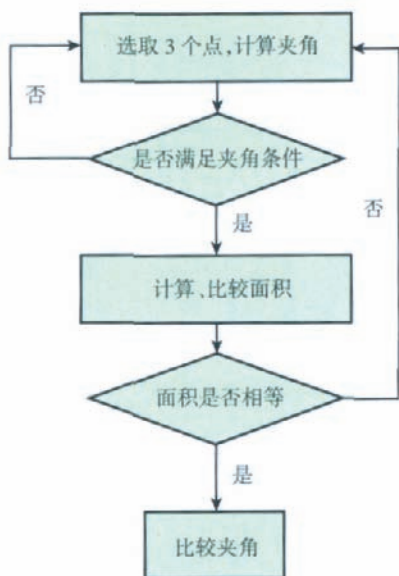


图2 计算寻优流程图

Fig.2 Flowchart of numerical optimization

## 2 OTP设计系统的建立

### 2.1 CATIA二次开发技术

CATIA是Dassault公司的CAD/CAM一体化大型软件,在航空制造企业有着广泛的应用。通过编程访问CATIA的对象分为2种方法<sup>[3]</sup>:一种是进程内应用,另一种是进程外应用。采用进程外应用方式,是将

CATIA作为一个对象连接与嵌入(Object Linking and Embedding, OLE)的自动化对象服务器,只要能访问部件对象模型(Component Object Model, COM)的程序都可以访问并操作CATIA的对象。与进程内脚本不同的是,外部程序必须首先与CATIA建立联系。

具体来说,CATIA提供了2种二次开发接口,包括自动化对象编程(V5 Automation)<sup>[4]</sup>和基于构件的应用编程接口(Component Application Architecture, CAA)。使用VB作为编辑工具,调用Automation API,可以基本实现CATIA的二次开发,且该方法具有简单、易行的优点。

### 2.2 系统建立与应用

采用数字标工技术进行飞机装配工装制造的数字化协调需要首先在CATIA系统上建立装配型架的全数字化预装配模型。在型架的装配模型中,进行定位件OTP点设置,并通过在OTP和激光跟踪仪头部的三维坐标点之间连接直线,能更加清晰、直观地检查激光跟踪仪的光线路径。

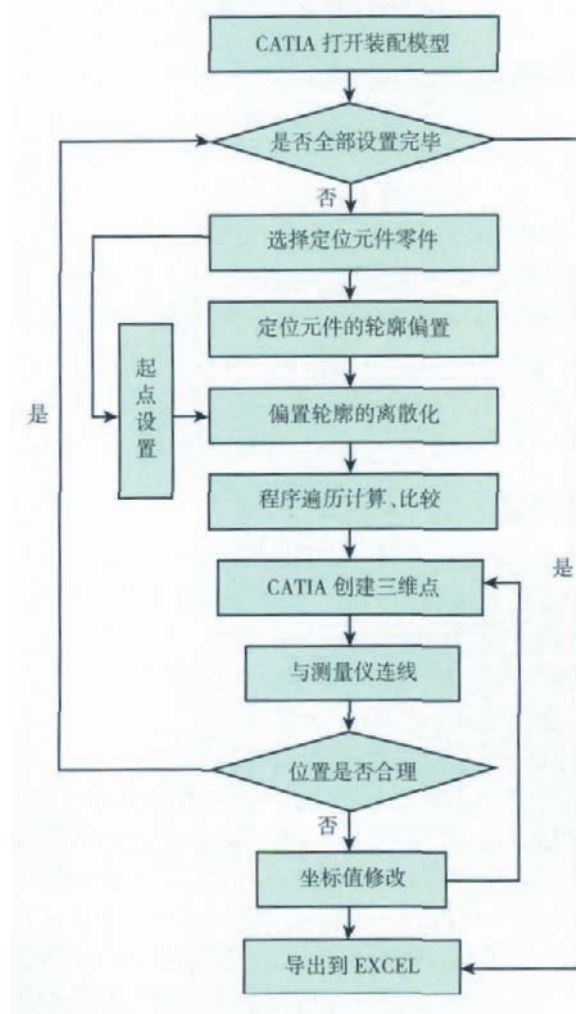


图3 OTP数字化设计流程图

Fig.3 Flowchart of OTP digital design

CATIA 三维造型系统中装配模型的文件格式为 .CATProduct, 零件模型的文件格式为 .CATPart。为了能够在装配型架的装配模型中对每个定位件建立 OTP, 操作之前需要首先确定该定位件, 然后才能进行设置。本课题采用 Microsoft Visual Basic 语言建立了 OTP 设置界面。该系统还提供了定位件 OTP 的空间三维坐标点的输出功能。

调试完成后, 将程序生成 .exe 可执行文件, 通过 CATIA.SystemService.ExecuteBackgroundProcessus 可以添加一个宏按钮到 CATIA 系统, 方便以后在 CATIA 界面上直接调用。定位件 OTP 数字化设计系统的操作过程如图 3 所示。OTP 创建结果如图 4 所示。

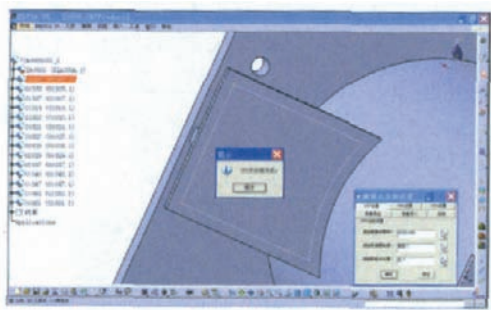


图4 OTP创建图  
Fig.4 Creating of OTP

需要说明的是, 由于采用了“离散化”方法, 本系统计算得到的 OTP 一般与理论位置存在极小的误差。虽然这种误差可以通过增加等分点数来减小, 但这样会增加计算时间, 而且当等分点数目超过一定数值时, 计算精度的提高已经没有太大的意义。对于一般尺寸大小的定位元件, 等分点的数目可以取定为 200~600 之间。

### 3 结束语

数字化装配技术采用数字量传递装配信息, 进行飞机装配工装制造协调。这不仅提高了飞机装配精度, 也对装配工装设计提出了更高的要求。以前的定位件 OTP 设置方法只是工装设计人员根据直觉经验, 在 CAD 模型上直接建立点的位置。从根本上说, 这只是实现了“无纸化设计”, 远没有达到“智能化设计”的要求。

如何在装配型架的预装配模型中, 自动地对每个定位件设置合理的 OTP 空间位置三维坐标, 已经成为飞机装配工装设计中迫切需要解决的难题。本课题提出的“偏置定位件轮廓——离散化偏置轮廓——遍历计算比较”的方法, 综合利用了 CATIA 造型功能和 VB 程序的计算功能, 实现了定位件 OTP 数字化设计系统的建立, 为解决工程实践中 OTP 的自动设置问题, 提供了一种思路和方法。

### 参考文献

- [1] 王巍, 黄宇, 庄建平. 激光跟踪仪在飞机装配工装制造中的应用. 航空制造技术, 2004(12):81-84.
- [2] 韩维, 冯美蓉, 宋群. 装配工装全数字化设计制造技术在 ARJ21 机头装配中的应用. 航空制造技术, 2007(12):54-56.
- [3] 胡挺, 吴立军. CATIA 二次开发技术基础. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [4] Dassault Systemes. V5 Automation, 2001.

(责编 泰山)

(上接第 86 页)

擦焊设备主要用于有效焊接长度尺寸大于 6000mm 的零件的纵缝焊接。

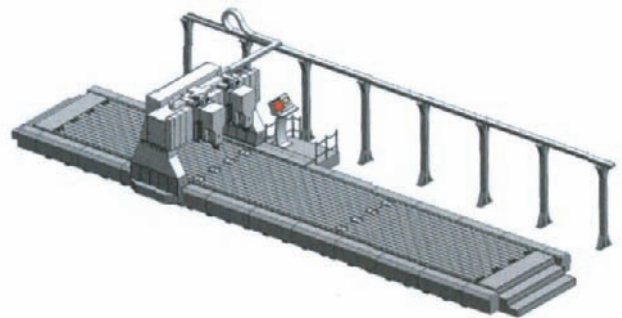


图12 焊接长度为80m的大型数控双机头动龙门式搅拌摩擦焊设备

Fig.12 80m long double head moving gantry friction stir welding machine

动龙门式搅拌摩擦焊设备一般用于飞机、舰船和列车车体的大型壁板类零件的焊接, 但是如果零件的宽度尺寸较大, 就要求动龙门的立柱间的龙门跨距增大, 当中间宽度大于 2500mm 时, 焊接设备的龙门两侧需要采用两电机同步驱动, 才能保证焊接过程运动平稳和顺利进行。

### 4 结束语

搅拌摩擦焊技术在中国已经发展近 10 年时间, 从原理、核心工艺技术、焊接工具和设备技术等已经得到突破和掌握, 并且正在进入工程化后期和工业化阶段。目前通过中国搅拌摩擦焊中心的对该技术推广, 已经在国内航天导弹和运载火箭、航空新一代战斗机和运输机、新型导弹快艇和舰船、电子散热器和热沉器等行业产品中得到成功应用。相对于其他行业, 高速列车的发展会对搅拌摩擦焊技术在中国轨道车辆行业起到需求牵引和推动作用, 同时, 搅拌摩擦焊技术的应用也会提升中国高速列车的性能和质量。

(责编 侧卫)