

# 基于 CATIA 的数字化标准工装库系统的开发

## Development of Digital Master Tooling Library System Based on CATIA

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 杨晓浪 曹增强 吴建军

**[摘要]** 介绍了数字化标准工装作为飞机制造中的一种新的协调方法的提出背景及其实现形式,在此基础上提出基于 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。

**关键词:** 数字化标准工装 飞机制造 CATIA 二次开发

**[ABSTRACT]** The statement background and realization form of the digital master tooling as a new coordination method in aircraft manufacturing are introduced. On this basis, a development plan of digital master tooling library based on CATIA is presented. A framework of the system is proposed and the key technology is researched.

**Keywords:** Digital master tooling Aircraft manufacturing CATIA Secondary development

数字化标准工装(以下简称数字标工)的定义与应用是现代航空企业在分析传统协调方法基础上提出的一种新型的协调方法。这种方法基于数字化制造技术与数字化测量系统,使飞机零件工装与装配工装的设计、制造发生了质的变化。在传统的飞机制造模式中,实物标准工装在保证制造协调性方面起着重大作用,但其有很大局限性。标准工装的设计制造延长了制造周期,又显著增加了制造费用,而且由于协调路线长而增大了协调误差,造成大量返工现象,成为影响产品制造周期的主要原因。数字化标准工装的定义与应用使飞机制造中的协调方法发生了根本变化,显著降低了制造成本,缩短了飞机研制周期,提高了劳动生产率。

数字标工包含相关产品协调部位的几何形状和尺寸的数学模型,可能是产品数字化模型本身的一部分,也可能是标准工装的数字化定义模型,该数学模型是制造和检验生产工装的数字依据。数字标工是工装之间、产品零组件和部件与工装之间的尺寸和形状互换协调的重要依据,而其实现的手段则是先进的产品数字化定义及数字化测量系统。其实质是利用产品或工装三维模型中的协调特征(如对接头、孔)作为数字化协调依据,进行工装和定位器的协调设计与制造,以及工装检

验等。

CATIA V5 是法国达索系统(DASSAULT System)公司开发,并由 IBM 公司在全球销售和提供技术服务的 CAD/CAE/CAM 集成系统。CATIA 是目前世界范围内应用面最广、影响最大、在航空企业普遍采用的 CAD 软件。

数字化标准工装应用系统实现数字标工的定义、数学模型的快速建立以及容差等工业信息的标注,取代实物标工在飞机制造中的协调作用。本课题主要通过 CATIA 在 VB6.0 环境下进行二次开发,建立基于 CATIA 的数字标工应用系统的总体框架,并对其中的关键技术进行研究,提出开发方案。

## 1 系统总体结构设计

系统的总体结构与采用的开发方法有关。本系统采用 Visual Basic 对 CATIA 进行二次开发,底层数据库系统为 Oracle 数据库管理系统。系统设计的总体思路是将飞机制造中的协调部位归结为构造数字标工模型的基本结构,将其作为基本部件进行参数化建模。构建数字标工模型时依据数字样机上的协调信息,选择基本部件进行定位装配,并在 CATIA 的 3D Functional Tolerancing & Annotation(三维功能性容差与标注)模块完成容差标注设计工作。最后将包含有容差信息的数字标工模型储存到企业网络共享目录中,创建过程中的数据保存到 Oracle 数据库服务器中,以供用户查询。

根据企业的应用需求,系统采用 C/S 模式,整个系统的结构框图如图 1 所示。

## 2 系统关键技术

### 2.1 CATIA 二次开发基本方法

目前,对 CATIA 进行二次开发的主要方法有 4 种,即用户定义特征方法(Interactive User Defined Feature, IUDF)、智能构建方法(Knowledge Ware)、使用自动化接口的宏(Automation API)和基于组件应用架构 CAA(Component Application Architecture)的二次开发(CAA V5 C++and java API)。

本课题采用的 CATIA 二次开发方法是在 VB 环

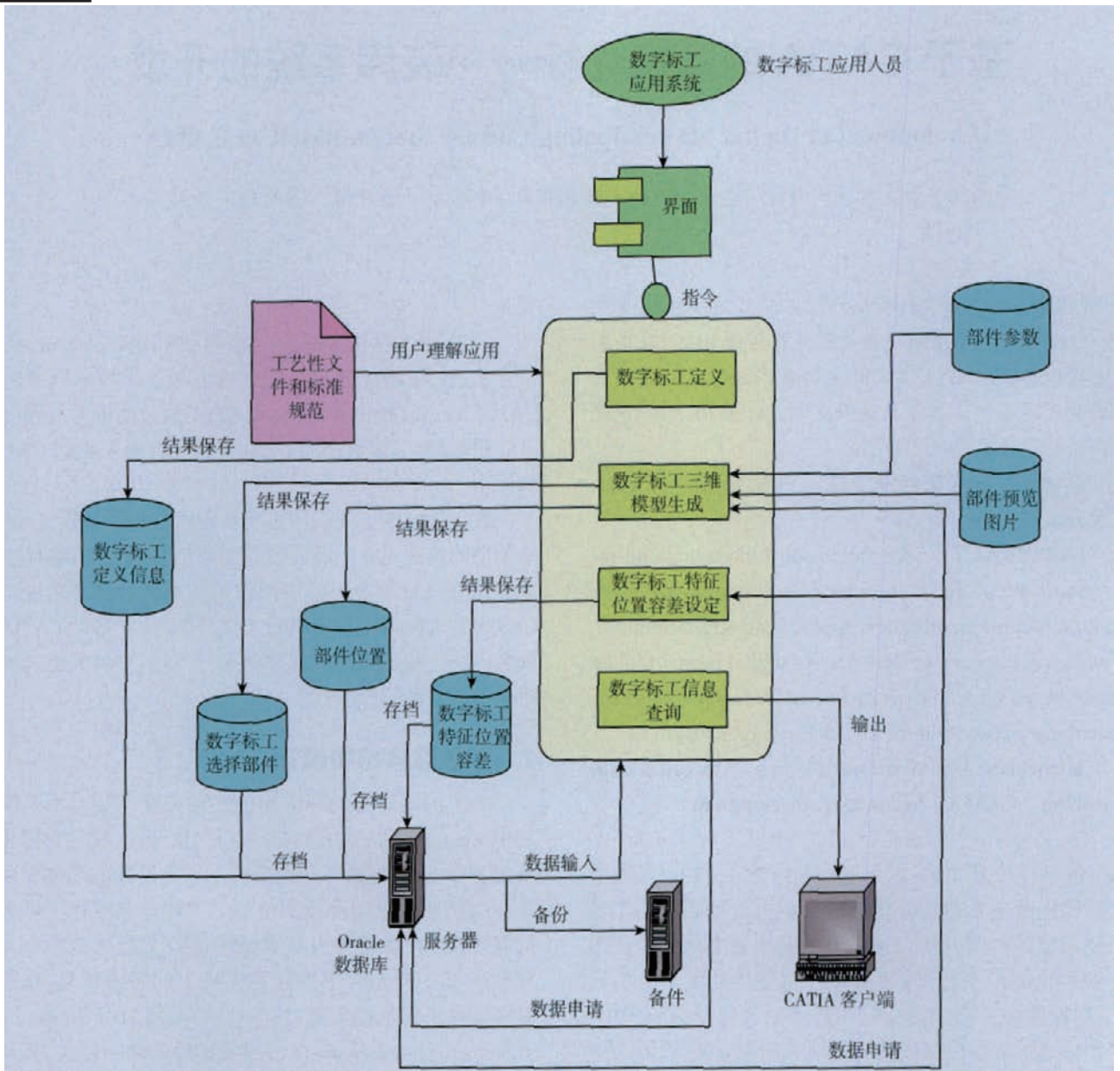


图1 数字化标准工装库系统结构框图  
Fig.1 Structure of digital master tooling library system

境下使用自动化接口的宏(Automation API),通过引用对象库将库文件加入到VB程序框架中,利用CATIA对象类及其接口函数等创建和管理数字标工模型及参数。CATIA V5提供了许多接口对象和集合,如PartDocument、Product、Part、Body、Constrain及Parameters对象等。VB通过这些对象可访问CATIA V5环境中所建实体的各种参数,包括各种尺寸、实体表面、实体边界、实体特征等,甚至可以创建、复制、修改实体特征。在CATIA环境中能够执行的操作都可通过API功能来实现。

CATIA作为一个OLE自动化服务器,外部程序可

以通过组件对象模型(Component Object Model, COM)接口来访问CATIA内部对象。本文采用在VB程序中嵌入访问CATIA程序的方式。用VB访问CATIA的代码如下:

```
//定义CATIA应用对象
Dim CATIA As Object
//错误控制语句
On Error Resume Next
//直接获取CATIA应用对象
Set CATIA = GetObject("CATIA.Application")
//如果不能直接获取,出现错误则创建CATIA应
```

用对象

```
If Err.Number <> 0 Then
  Set CATIA = CreateObject("CATIA.Application")
  CATIA.Visible = True
End If
// 错误处理语句
On Error Goto 0。
```

## 2.2 数字标工三维模型构建

数字化标准工装并不是标准工装的三维数学模型。在飞机制造过程中,标准工装的主要作用是提供协调信息用于检验或制造生产工装。数字标工是包含了标准工装协调部位的协调信息的三维工艺模型,如何快速、智能化地生成其模型是本课题研究的重点。

### 2.2.1 基本部件参数化造型

标准工装的协调部位可以归结为一些常用结构(如插耳、销钉、配合孔系等),这些常用结构是构建数字标工三维模型的基础。数字标工三维模型实际上是由这些常用结构组合而成的。研究中将这此常用结构作为构建数字标工的基本部件,对这些基本部件进行参数化造型使之可以重复使用,大量减少数字标工造型过程中的重复性工作。

下面以标准量规中的常用结构单耳片为例,说明基本部件参数化造型过程。

#### (1) 建立部件模型结构并参数化重要尺寸。

部件模型结构来源于实物标工或产品模型,建立的模型应具有一般性,以利于以后通过参数化进行修改。图2是单耳片的模型图,建立模型的主要尺寸如图所示。其中,作为一种协调结构的重要尺寸为对合空的孔径、空位,其他尺寸都属于非重要尺寸。

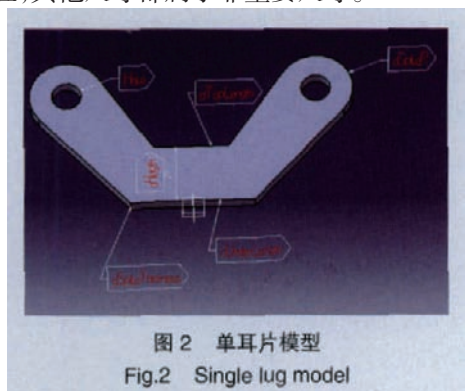


图2 单耳片模型  
Fig.2 Single lug model

#### (2) 部件参数赋初值。

本系统在 Oracle 建立参数表进行部件参数管理,表结构见表1。

部件参数赋初值的代码如下:

```
// 声明参数名称、参数序列号
Dim ParaName as String
```

表1 部件参数表

列名	说明	类型	大小
bjmch	部件名称	Varchar2	20
cshmch	参数名称	Varchar2	20
cshzh	参数值	NUMBER	(8,3)
rch	容差	Varchar2	20
bzh	备注	Varchar2	400
xlh	序列号	NUMBER	4

```
Dim XlhN as Integer
```

```
// 连接数据库
```

```
DBConnect
```

```
// 查询参数值
```

```
Dim rs As New ADODB.Recordset
```

```
Dim varSource1 As String
```

```
varSource1 = "select cshzh from Parameter where  
bjmch='单耳片'and cshmch='ParaName'"+"and xlh=" +Str(XlhN)
```

```
Set rs.ActiveConnection = cnn
```

```
rs.CursorType = adOpenDynamic
```

```
rs.Open varSource1
```

```
参数赋值
```

```
ParaName = rs1!cshzh
```

```
// 断开数据库连接
```

```
rs.Close
```

```
DBDisconnect。
```

#### (3) 编写部件建模的程序代码。

利用上文的方法连接到 CATIA 的 COM 接口后就可以对它进行操纵了,对基本部件进行参数化造型需要操纵的是 CATIA 的零件文档。造型过程与手工建模是相同的,只是用程序代码实现,可以减少重复劳动、提高效率。

```
' 创建草图
```

```
Dim oSketch As Sketch
```

```
Set oSketch = oBody.Sketches.add(oRefPlane)
```

```
Dim oFactory2D As Factory2D
```

```
Set oFactory2D = oSketch.OpenEdition
```

```
' 草图绘制过程略
```

```
.....
```

```
oSketch.CloseEdition
```

```
创建 Pad 特征
```

```
Dim oPadCam As Pad
```

```
Set oPadCam = oSF.AddNewPad(oSketch,  
dSpileThickness)
```

创建 Pocket 特征

```
Dim oS_BiHole1 As Sketch
Set oS_BiHole1 = oBody.Sketches.add(oRefPlane)
Dim oF2D_BiHole1 As Factory2D
Set oF2D_BiHole1 = oS_BiHole1.OpenEdition
'Pocket 草图绘制过程略
.....
```

```
Dim oPoc_BiHole1 As Pocket
Set oPoc_BiHole1 = oSF.AddNewPocket(oS_BiHole1,
-dSpileThickness)。
```

### 2.2.2 部件定位装配

数字标工模型可视为由一些基本部件装配而成的装配体,每个部件都定位在产品的三维坐标系统所确定的三维空间中。在 CATIA 提供的 API 函数中,位置信息由 Position 属性来定义。物体的位置信息由一个长度为 12 的数组来定义,该数组结构如下所示(设数组变量为  $M$ ):

$$\begin{bmatrix} M(0) & M(1) & M(2) \\ M(3) & M(4) & M(5) \\ M(6) & M(7) & M(8) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ V_x & V_y & V_z \\ W_x & W_y & W_z \end{bmatrix}, (1)$$

$$\begin{bmatrix} M(9) & M(10) & M(11) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x & T_y & T_z \end{bmatrix}。(2)$$

其中  $U_x, U_y$  和  $U_z$  描述了  $U$  轴在  $(O, x, y, z)$  坐标系中的各个分量(一单位长度投影);  $V_x, V_y$  和  $V_z$  描述了  $V$  轴在  $(O, x, y, z)$  坐标系中的各个分量(一单位长度投影);  $W_x, W_y$  和  $W_z$  描述了  $W$  轴在  $(O, x, y, z)$  坐标系中的各个分量(一单位长度投影);  $T_x, T_y$  和  $T_z$  描述了  $T$  点在  $(O, x, y, z)$  坐标系中的位置。

式(1)中 9 个数值组成一个  $3 \times 3$  矩阵,它描述了物体的旋转信息,式(2)中 3 个数值描述了物体的原点位置。整个数组描述了一个相对于绝对坐标的三维坐标系统  $(T, U, V, W)$ ,其中  $T$  点为相对坐标系原点,  $U, V, W$  为 3 个坐标轴。

在 CATIA 部件位置编辑界面中是用相对坐标系相对于绝对坐标系转动的角度  $[\alpha \ \beta \ \gamma]$  和偏移矢量的分量坐标  $[T_x \ T_y \ T_z]$  来定义部件位置的。其中  $\alpha, \beta, \gamma$  描述了部件相对与原坐标系  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴转动的角度。

经比较可知

$$\begin{bmatrix} M(0) & M(1) & M(2) \\ M(3) & M(4) & M(5) \\ M(6) & M(7) & M(8) \end{bmatrix} = ABC。$$

其中,  $A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix},$

$$B = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

部件装配过程是通过先将上述矩阵赋值给矩阵向量 iMatrix,然后调用零件文档的 MovableObject 方法来实现的,具体代码如下:

```
Dim oPartObject
Set oPartObject = oPart.Move.MovableObject
oPartObject.Apply iMatrix。
```

### 2.3 数据库连接

本系统采用 Oracle 数据库管理系统。由于其良好的安全性与跨平台特性, Oracle 数据库管理系统在各个领域得到广泛使用,也是航空企业普遍采用的数据库管理系统。作为一个大型的关系型数据库管理系统,与其他数据库管理系统相比, Oracle 有其独特性,其中很多优化是基于表空间的设计理念实现的。表空间可以理解成一些数据文件的集合,是面对用户开放的逻辑单位。用户在创建表、索引等对象的时候,需要制定这些对象所放的表空间。

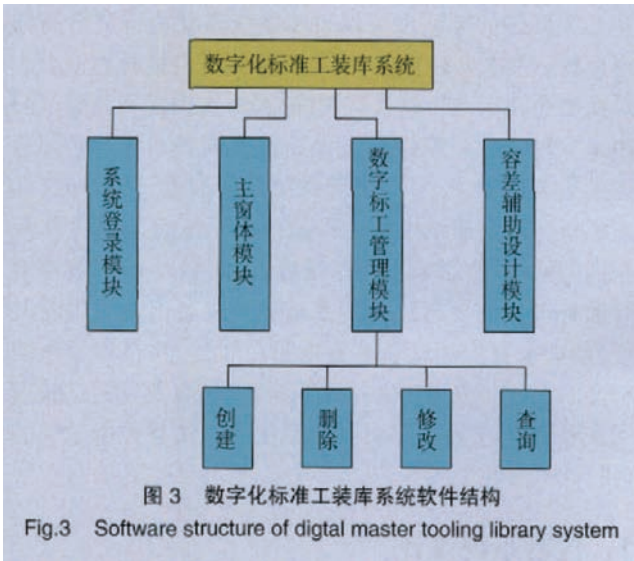
本系统采用 ActiveX 数据对象 (ActiveX Data Object, ADO) 和对对象连接与嵌套数据库 (Object Link and Embedding Database, OLE DB)。ADO 是微软最新的数据访问技术,它被设计用来同新的数据访问层 OLE DB Provider 一起协同工作,以提供通用数据访问; OLE DB 本质上是一个封装数据库访问的一系列 COM 接口,使用 COM 接口不仅能够减少应用程序和数据库之间的通信和交互,也能够极大地提升数据库的性能,让数据库的访问和操作更加便捷。下面是数据库访问的程序代码:

```
Private IsConnect As Boolean
Public cnn As New ADODB.Connection
Public Sub DBConnect()
//判断数据库是否连接
If IsConnect = True Then
Exit Sub
End If
//连接 Oracle 数据库
Set cnn = New ADODB.Connection
cnn.ConnectionString = "provider=OraOLEDB.Oracle;Data Source=DIGTOOL;User Id=SYSTEM;Password=manager"
```

```

conn.Open
//判断是否连接成功
If conn.State <> adStateOpen Then
MsgBox "数据库连接失败", vbOKOnly + vbCritical,
"连接失败"
End
End If
IsConnect = True
End Sub.

```



### 3 应用实例

数字化标准工装库系统主要划分为以下几个子模块：系统登录模块、数字标工管理模块(创建、修改、删除、查询)和主窗体模块。主要系统模块如图3所示。

(1)系统登录模块。控制用户经过身份认证进入系统,并记录其登陆状态。

(2)数字标工管理模块。本模块分为数字标工创建、修改、删除、查询4个子模块,实现对数字标工的管理。

(3)容差辅助设计模块。在用户对数字标工进行容差设计时提供知识参考,辅助设计。

(4)主窗体模块。根据用户的操作级别,显示其可以进行的操作界面。

图4~7是数字化标准工装库系统运行过程中的一些主要界面。数字标工模型建立的过程是:用户根据产品协调信息,选择相应的部件,然后对部件进行参数修改后定位装配,如图4、图5所示。

数字标工模型建立后,用户在CATIA的3D Functional Tolerancing & Annotation(三维功能性容差与标注)模块完成容差标注设计工作。最后将包含有容差信息的数字标工模型储存到企业网络共享目录中,创建过程中的数据保存到Oracle数据库服务器中,以供用户

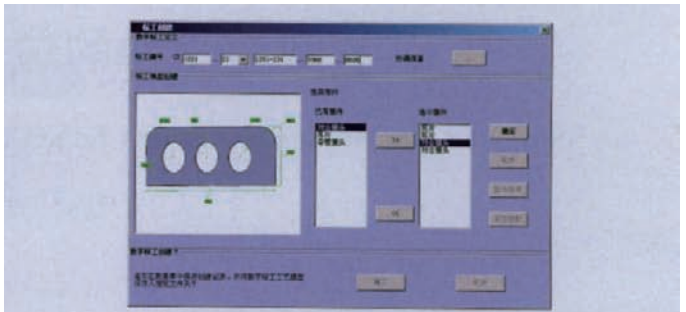


图4 数字标工部件管理界面

Fig.4 Management interface for digital master tooling part



图5 标工建模界面

Fig.5 Modeling interface for digital master tooling part

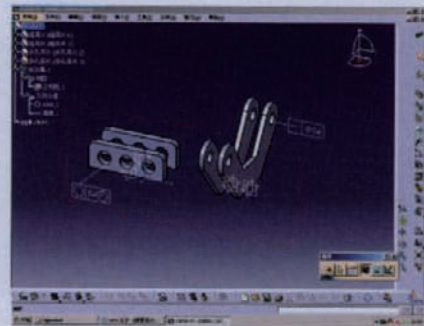


图6 含有容差信息的数字标工模型

Fig.6 Digital master tooling model with tolerance information

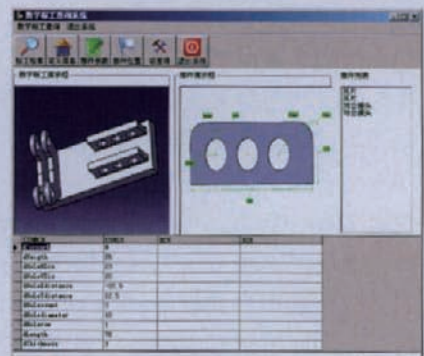


图7 数字标工查询界面

Fig.7 Query interface for digital master tooling part

查询。建立的含有容差信息的标工模型如图6所示。

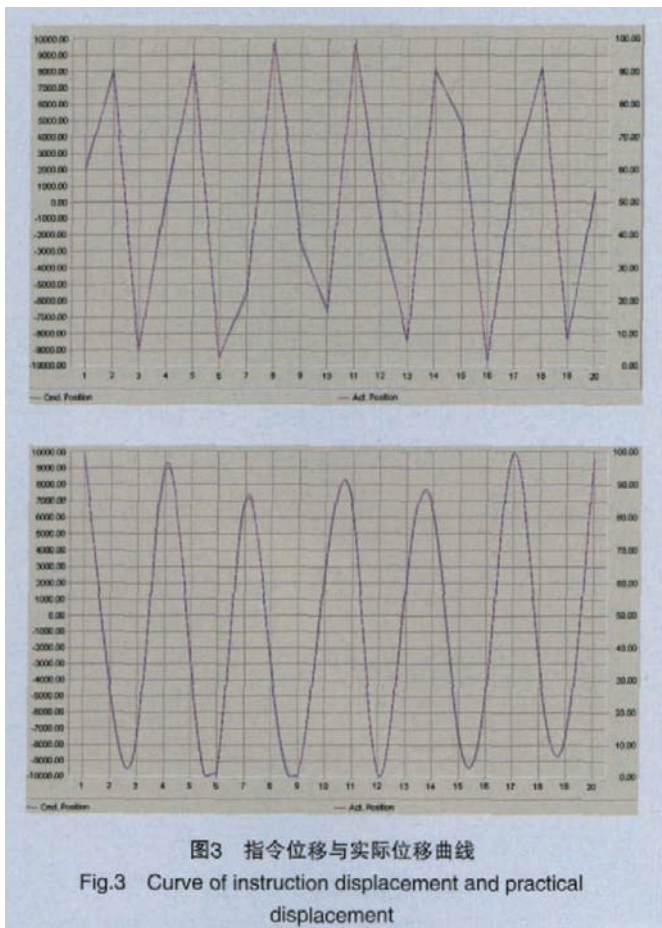
(下转第96页)

统运动基本趋近于正弦。2%的误差满足预研试验所要求达到的试验精度。

### 3.2 边条运动分析及风洞试验应用

通过系统仿真可以得到一个基本逼近指令轨迹的电机运动规律,但实际中还要考虑伺服电机所能达到的运动极限及机械结构配合的精密程度。通过对电机电流、环位置环及速度环的调试和参数匹配,可以使电机与机械结构达到最好的配合(这里对电机调试过程不加介绍)<sup>[6]</sup>。图3为跟随误差调节前后指令位移与实际位移在6个周期内的曲线。在进行跟随误差修正前后,实际位移和指令位移基本吻合,运动曲线的平滑度有了很大程度的改善,运动规律基本趋于正弦运动。但在每个周期的最大位移上还有误差,电机在没有达到最大位移后开始反转,最大误差达到20%,也就是在 $\pm 30^\circ$ 的正弦运动中,最小振幅仅为 $24^\circ$ ,说明伺服电机转矩精度与理论要求还有差距,电机设备在4Hz的周期内达不到理论运动轨迹,经过调节运动周期降致3.2Hz,电机运动轨迹达到稳定,与理论值一致。

在对振动边条控制系统进行理论仿真,对跟随误差进行修正和实际检测后,将频率3.2Hz正弦运动应用到风洞试验中。现该系统已经完成了一期风洞试验,精度达到风洞试验要求。



96 航空制造技术 • 2010 年第 13 期

## 4 结束语

本文将 X-Y 数控平台圆弧插补理论的控制机理应用在风洞试验控制中,基于此原理构建了一套模型前沿边条控制系统,实现了边条正弦运动的控制。通过跟随误差修正使电机实际运动位移与指令位移相一致,使边条运动规律最大限度逼近理论正弦值。该系统已成功地完成了一次试验,得到了良好的试验效果,证明了这项技术可以满足风洞试验要求达到的控制精度。

### 参考文献

- [1] 李劲杰,杨青,肖春生,等. 边条翼布局流场及其双垂尾抖振特性研究. 航空学报,2006,27(3):395-398.
- [2] 阎勤劳,张海伟. X-Y 数控工作台伺服系统的整定与建模. 机械设计与制造,2008(2):144-146.
- [3] 罗学科. 典型数控系统及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2005,8.
- [4] 张春良. 基于时间分割法的 DDA 圆弧插补算法的改进. 机械工艺师,2000(5):28-29.
- [5] PMAC/PMAC2 SOFTWARE REFERENCE MANUAL www.deltatau.com 2003.05.
- [6] EPOS Application Note Position Regulation with Feed Forward. www.maxonmotor.com. 2006.06.

(责编 侧卫)

(上接第 93 页)

## 4 结束语

该系统向用户提供型架设计、制造、安装中所需要的数字化标准工装,包括基于参数化的数字标工三维模型、尺寸及公差等参数。通过该系统与 CATIA 的接口,用户可以将包含大量数据信息的数字标工三维模型导入到 CATIA 中,为工装设计及制造人员提供设计、制造工装的协调依据。

### 参考文献

- [1] 刘志存,孟颀,范玉青. 飞机制造中的数字化标准工装的定义与应用. 计算机集成制造系统,2007,9.
- [2] 胡挺,吴立军. CATIA 二次开发技术基础. 浙大旭日科技 2006.7
- [3] 林振明. 型架数字化安装工艺技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [4] 孙凤栋. Oracle 数据库基础教程. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [6] MCGAHEYJ, SCHAUTJA, CHALUPAJE, et al. An investigation into the use of small, flexible, machine tools to support the lean manufacturing environment. Warrendale, Pa., USA: Society of Automotive Engineers, 2001.

(责编 小颖)