

doi: 10.7690/bgzd.2015.11.019

# SolidWorks 二次开发技术在风洞试验中的应用

车兵辉, 顾 艺

(中国空气动力研究与发展中心低速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对风洞捕获轨迹试验中外挂物的位置和姿态角难以被直观观察的问题, 建立一套基于 SolidWorks 技术的三维可视化系统。通过介绍开发环境和轨迹显示系统的总体结构, 利用描述软件根据位姿信息对外挂物模型进行位姿变换, 并在运动分析的同时进行了动态模拟外挂物的运动, 实现了运动分析的可视化仿真。仿真结果表明: 该系统可实现外挂物分离过程的实时显示, 便于直观了解外挂物在投放过程中的位姿状态, 对提高分析人员的决策速度和工作效率具有重要意义。

**关键词:** SolidWorks; 二次开发; 轨迹捕获; 运动仿真

**中图分类号:** TP306 **文献标志码:** A

## Application of SolidWorks Redevelopment in Wind Tunnel Test

Che Binghui, Gu Yi

(Low Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the position and attitude angle of the object in the test of the acquisition trail of the wind tunnel is difficult to be directly observed, a 3D visualization system based on SolidWorks technology is established. By introduced the overall structure of the development environment and the trajectory display system, described the position and pose transformation of the model of the external environment of the pose information, on the analysis of the work at the same time, the dynamic simulation of the plug was carried out, to achieved a motion analysis visual simulation. The simulation results show that the system can realize the real-time display of the separation process of the plug, so it is important to understand the position and posture of the plug in the process.

**Keywords:** SolidWorks; further development; CTS; movement simulation

### 0 引言

风洞捕获轨迹试验 (captive trajectory simulation, CTS) 主要用于模拟外挂物模型从飞机上投放、发射的分离过程, 获取外挂物分离对母机安全性能影响的评估数据<sup>[1]</sup>。以往投放物的轨迹多是以曲线的方式显示, 需要用 6 条曲线分别显示 6 个自由度的轨迹。六自由度相互独立, 在试验数据分析时需要发挥分析人员的想象力, 通过数据来想象投放物的位置和姿态, 影响分析效率。

在进行捕获轨迹试验时, 受风洞环境限制, 外挂物的位置和姿态角很难被直观观察到。基于此, 笔者利用 SolidWorks 的数据显示系统, 建立了一套形象直观, 真实模拟的三维显示系统。

### 1 开发环境介绍

SolidWorks 是我国目前 CAD 市场中最流行、性价比最优的三维设计软件之一。为了方便用户进行二次开发, Solidworks 提供了几百个 API 函数, 这些 API 是 Basic、C++和其他支持 OLE 的开发语言的接口, 见图 1。在 VB 或 VC++中调用 Solidworks

的 API 函数, 可实现零件的建造、修改、装配等<sup>[2]</sup>。

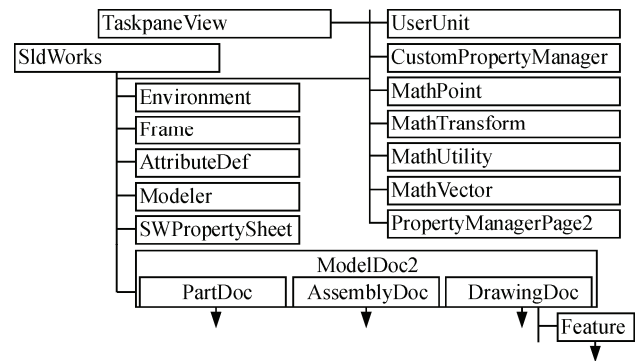


图 1 SolidWorks API 的对象模型

面向对象编程语言 VB 支持 OLE 和 COM 技术, 该系统中采用 VB 作为软件集成开发环境, 采用 SolidWorks 创建母机和外挂物三维模型和外挂物分离轨迹的实时显示。

### 2 系统总体结构

OLE 自动化, 又称 ActiveX OLE Automation, 是不同应用程序之间进行通信的一个标准。用户可以通过设置 OLE 自动化对象的属性和使用对象的

收稿日期: 2015-06-06; 修回日期: 2015-07-29

作者简介: 车兵辉(1982—), 男, 陕西人, 本科, 工程师, 从事低速风洞试验测控技术研究。

方法来操纵 OLE 服务应用程序，从而完成两者之间数据的通信。

用 VB 对 SolidWorks 二次开发的轨迹显示系统中，采用 OLE 自动化技术，把 VB 编写的应用程序作为客户程序，把应用软件 SolidWorks 作为服务程序，用客户程序驱动服务程序完成 SolidWorks 相应的操作。客户程序通过局域网与轨迹捕获试验位姿解算程序连接，位姿解算程序通过获得的外挂物所受的气动载荷，计算位姿信息，通过局域网将该点的气动载荷和位姿信息发给显示软件。显示软件根据位姿信息对外挂物模型进行相应的操作，从而在运动分析的同时动态模拟外挂物的运动。运动分析完后，可以回放机构运动过程，实现了机构运动分析的可视化。总体结构如图 2 所示。

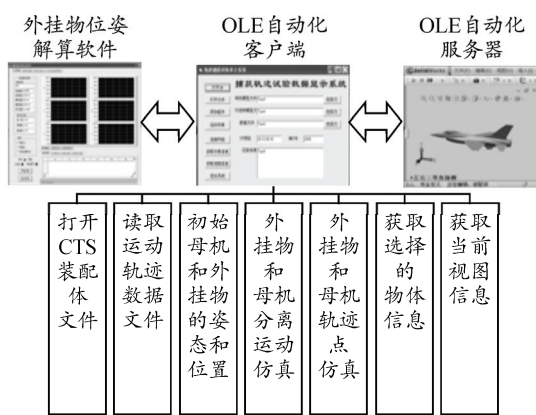


图 2 总体结构

### 3 关键技术及实现

#### 3.1 轨迹动态实时显示

在试验过程中，为了更好地观察外挂物分离过程，经常需要对比外挂物在前后时间点的位姿状态，这就要求仿真系统能够将外挂物在分离过程中的运动轨迹动态实时地显示出来，如图 3 所示。

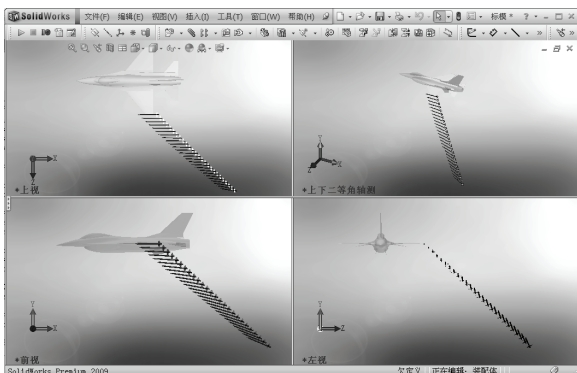


图 3 外挂物轨迹可视化显示效果

为了实现这一功能，可借助 SolidWorks 对装配

体的模拟仿真功能来实现。Solidworks 中装配的功能是由用户指定装配体中各零件之间的装配约束关系，将零件装配成装配体。装配系统不但可以将零件装配起来，也可以读入已经装配好的装配体，作为子装配体进行装配；子装配体在装配过程中可以视为一个整体，等效于一个零件。

首先将母机模型定义为装配体，然后将外挂物定义为零件，试验过程中通过客户程序控制 SolidWorks，将外挂物添加在装配体的相应位置，从而实现投放轨迹的动态实时显示，并将位姿信息写入备注中，实现流程如图 4 所示。由于 Windows 已将 SolidWorks 的所有信息注册到系统注册表中，所以 VB 可以像调用自己程序一样调用 SolidWorks 所提供的 ActiveX。关键代码如下：

```

Private Sub Command1_Click()
Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application")
'启动SolidWorks
swApp.Visible = True'显示SolidWorks界面
Set swModelDoc = swApp.OpenDoc4(Text1.Text, 2, 0, "", errors) '打开母机文件
Set swModelDoc = swApp.OpenDoc4(Text2.Text, 1, 0, "", errors) '打开外挂物文件
Set swAssemDoc = swModelDoc' 外挂物模型指针
Set swComponent =
swAssemDoc.AddComponent4(Text2.Text, "",
Val(Text6.Text), Val(Text7.Text), Val(Text8.Text))'
将外挂物添加到指定位置
End Sub

```

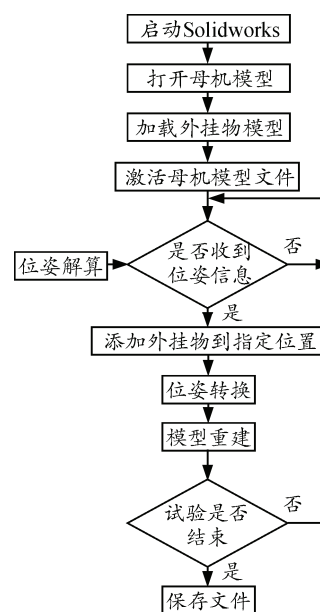


图 4 轨迹动态显示流程

### 3.2 位姿变换

在 SolidWorks 中, 系统会为每一个装配体提供一个整体坐标系  $xyz$ ; 装配体中的每一个零件又有一个局部坐标系  $x',y',z'$ (又称零件坐标系)。整体坐标系只有一个, 局部坐标系可以有多个<sup>[3]</sup>, 如图 5。

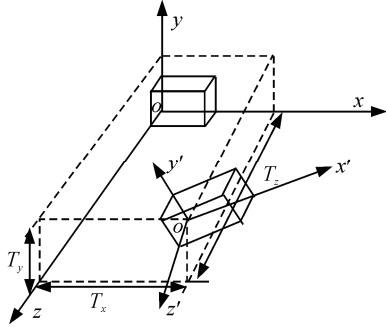


图 5 整体坐标和局部坐标关系

在 SolidWorks 中用 1 个  $4 \times 4$  位姿矩阵确定局部坐标系和整体坐标系之间的相对关系, 矩阵中的元素值为  $P_0, P_1, \dots, P_{15}$ 。各元素值在矩阵中的位置与数学中的有所不同, 其位置为

$$\begin{bmatrix} P_0 & P_1 & P_2 & P_9 \\ P_3 & P_4 & P_5 & P_{10} \\ P_6 & P_7 & P_8 & P_{11} \\ P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{12} \end{bmatrix}$$

其中:  $P_0, P_1, \dots, P_8$  表示旋转变换;  $P_9$  表示  $x$  轴方向平移变换;  $P_{10}$  表示  $y$  轴方向平移变换;  $P_{11}$  表示  $z$  轴方向平移变换;  $P_{12}$  表示缩放系数;  $P_{13}-P_{15}$  未使用。

在 SolidWorks API 中, 向装配体中添加零部件只能指定加入构件的原点在整体坐标系中的位置坐标, 即只能指定构件原点相对于整体坐标的位移  $x, y, z$ , 而无法指定零件的旋转角度。为了真实显示某一时刻外挂物的位置和姿态, 外挂物在整体坐标系中必然要进行平移、旋转等操作, 这就要对外挂物坐标系进行变换<sup>[4]</sup>。

位姿变换包括平移变换和绕  $z, y, x$  这 3 个轴的旋转变换, 可分别用矩阵表示为:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

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

将以上 4 个矩阵相乘可得到总的变换矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & T_x \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & T_y \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

位姿设置首先获取指向当前时刻外挂物的指针, 然后根据当前时刻外挂物的位置和姿态信息构造  $4 \times 4$  位姿矩阵, 用新的位姿矩阵替换原有的位姿矩阵, 刷新屏幕后即可改变指定构件的位姿。坐标变换关键代码如下:

```
Function Transform(X As Double, Y As Double, z As Double, a As Double, b As Double, r As Double) As Object
Dim arr(15) As Double
a = a * PI / 180
b = b * PI / 180
r = r * PI / 180
'旋转变换
arr(0) = Cos(a) * Cos(b)
arr(1) = Cos(a) * Sin(b) * Sin(r) - Sin(a) * Cos(r)
arr(2) = Cos(a) * Sin(b) * Cos(r) + Sin(a) * Sin(r)
arr(3) = Sin(a) * Cos(b)
arr(4) = Sin(a) * Sin(b) * Sin(r) + Cos(a) * Cos(r)
arr(5) = Sin(a) * Sin(b) * Cos(r) - Cos(a) * Sin(r)
arr(6) = -Sin(b)
arr(7) = Cos(b) * Sin(r)
arr(8) = Cos(b) * Cos(r)
'平移变换
arr(9) = X: arr(10) = Y: arr(11) = z
'缩放因子
arr(12) = 1
'未使用
arr(13) = 0: arr(14) = 0: arr(15) = 0
vXform = arr
Set Transform =
swMathUtil.CreateTransform((vXform))
```

’坐标变换

End Function

### 3.3 运动仿真

捕获轨迹试验过程比较复杂,一次投放过程结束后,再次复现整个程序要重新做试验,既浪费资源又降低试验效率。

为了便于在试验后对整个投放过程的复现和研究,可随时对整个过程中不同角度进行观察。笔者在客户端设置了重现整个过程功能,首先将客户程序设置到运动仿真功能,设置好外挂物位姿数据文件路径,点击开始按钮,程序会按照投放时间顺序依次读取当前点的位姿信息,将外挂物添加到指定位置,从而实现整个投放过程的再现,并且可随时与显示软件交互,选择不同的视角、放大或缩小、隐藏等操作,还可以查看对应点的位姿信息。关键代码如下:

```
Private Sub Timer1_Timer()
If Not EOF(fil) Then
Col = 0: SpaceFlag = 0
Line Input #fil, StrLine
Do '动画开始
StrLine = Trim(StrLine)
SpaceFlag = InStr(StrLine, " ")
If SpaceFlag > 0 Then
DataBuff(Col) = Val(Trim(Left(StrLine, SpaceFlag - 1)))
StrLine = Mid(StrLine, SpaceFlag + 1)
Else
DataBuff(Col) = Val(Trim(StrLine))
End If '读取位置姿态信息
Col = Col + 1
Loop Until SpaceFlag = 0
Set swComponent =
swAssemDoc.AddComponent4(Text2.Text, "",
DataBuff(0), DataBuff(1), DataBuff(2)) '添加模型到指定位置
swComponent.Transform2 = Transform(DataBuff(0),
DataBuff(1), DataBuff(2), DataBuff(3), DataBuff(4),
DataBuff(5)) '坐标变换
Else
Timer1.Enabled = False '显示完毕动画结束
End If
End Sub
```

仿真完成后可将整个过程输出为 AVI 格式,并保存,如图 6 所示。

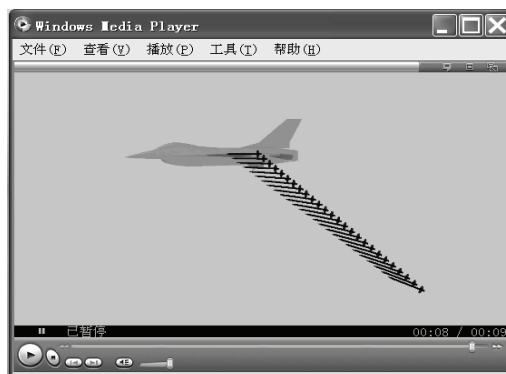


图 6 视频截图

### 3.4 信息获取

在试验过程中或过程再现过程中,可以对外挂物在各时刻的信息进行分析。在 SolidWorks 中,选取要获取信息的时刻点,根据获取被选择对象的数目,匹配选择对象的名称,根据所选对象的名称得到对象的在空间的位移  $(x,y,z)$  和姿态  $(\alpha,\beta,\gamma)$ ,如图 7 所示。

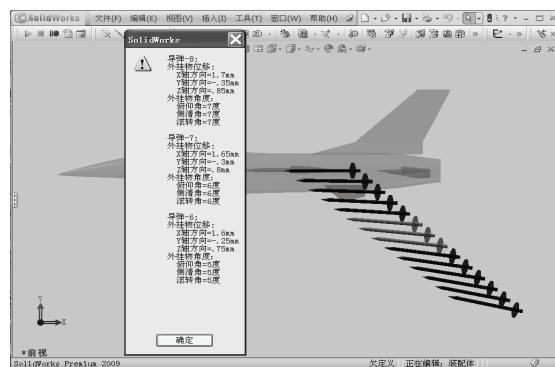


图 7 获取被选择对象的信息

## 4 结束语

笔者采用 OLE 技术进行 SolidWorks 二次开发,借助 SolidWorks 的三维建模能力,实现了风洞试验数据的三维显示和仿真。该系统可对试验产生的数据同时进行定性分析和定量分析,对提高分析人员的决策速度和工作效率具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 张威,张祖庚.捕获外挂分离轨迹的显示技术[C].第一届近代实验空气动力学会议论文集,2007:226-229.
- [2] 赵艳,袁祖荣.SolidWorks 二次开发在运动仿真中的应用[J].设计与研究,2007(1):60-61.
- [3] 韩锐.基于 SolidWorks 的机构运动仿真研究[D].西安:西安理工大学硕士论文,2004.
- [4] 司爱国,梁德义,李虎子.基于 SolidWorks 二次开发的牙嵌式离合器参数化建模技术[J].机电工程,2014,31(10):1254-1257.