

# 复合材料构件数控铣切钻孔工装加工基准建立方法研究

## Research on Machining Datum Setting Method of NC Tooling for Composites Structure

北京航空航天大学 李薇

中航工业哈尔滨飞机工业集团有限公司 张永岩 张超

**[摘要]** 本文针对航空复合材料构件制造过程中因铣切钻孔工装变形造成加工定位基准不准确或丢失而无法进行加工的问题进行研究,提出了一套可行的工装基准确定的解决方案。

**关键词:** 复合材料 工装 基准 返修 空间三点建立加工基准

**[ABSTRACT]** By analyzing the problems of surface deformation or datum missing of tooling for composites part manufacturing, a set of feasible solution to solve these kinds of process difficulties is put forward.

**Keywords:** Composites Tooling Datum Re-work Setting of datum by three space points

在航空复合材料制造领域,复合材料零件的制造过程中要使用大量的制造工装,如复合材料零件的成型工装、铣切钻孔工装等。通常情况下为了工装的返修或使用过程中的定位需要,工装上会加工出定位基准或返修基准。

在工装的使用过程中,存在两种情况会使工装无法按原有的状态继续使用。一是基准(一般为孔或平面)在使用过程中出现了超出允许范围的磨损或偏差;二是工装发生了比较大的扭曲或变形(特别是大型工装)。针对这类问题,对工装的返修措施一般为重新确定加工基准并重新对工装的型面等进行二次加工。那么,怎样在工装返修时确定最小的返修加工量;如果只是基准不准的情况下,如何只在工装上通过找回基准来挽救工装是一项非常有意义的工作。

本文针对某一复合材料构件数控铣切加工时由于切钻工装发生变形以及加工定位基准不准等问题,研究此类问题的解决方法和途径,为航空复合材料构件数控铣切钻孔过程中的工装基准确定提出一套可行的工艺方法,以满足实际制造需要。

### 1 研究任务来源

在中航工业哈飞转包生产过程中,有一复合材料发动机机舱罩需要五座标数控机床进行铣切钻孔,铣切钻孔

工装由外方提供,如图1所示,但是该工装存在比较严重的问题。该工装的加工基准孔不准确,采用现有工装上加工基准,型面偏差达到几毫米,根本无法使用;通过使用 ATOS II CCD 照相系统对工装整体型面进行了扫描检测,型面误差大概在 1.5mm 以内,其他平面也有较大的误差;工装底部不稳,原有的底部高度调整装置未提供,使工装在摆放装夹时处于一种不确定状态,按常规找正方法根本无法进行。

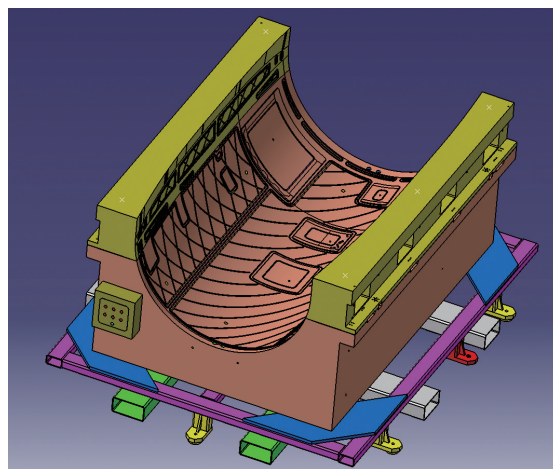


图1 某切钻工装示意图

Fig.1 Milling and drilling tooling

### 2 解决途径

对工装型面及定位基准点进行数字测量,将其导入 CATIA V5 软件中,重新建立定位基准与工装型面间的空间位置关系,同时对工装实物上采集的数据与理论型面数据进行对比分析,并最终可以确定工装型面是否变形。如果工装型面未变形或变形偏差量仍能满足铣切钻孔加工需要,可以依据新的定位基准点建立数控加工基准;如果工装型面变形不能满足数控加工要求,则通过分析确定工装是否具有二次加工可能性并使二次加工量均匀。图2为解决途径的技术路线图。

### 3 工艺技术研究及实施过程

#### 3.1 数据点获取过程

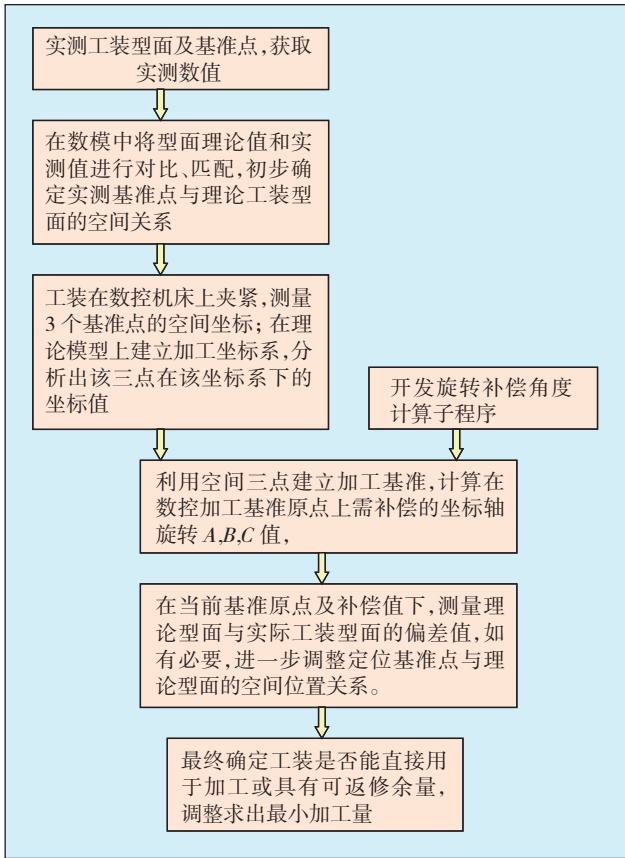


图2 解决途径的技术路线图  
Fig.2 Diagram of technical solution

在工装上安装稳固的定位球, 如果工装上的现有孔不足以安装定位球, 可在工装的适当位置(工装上3个角点附近)钻孔即可(3个定位孔选取主要原则是不能距离太近, 不能同线即可)。我们采用的定位球是3个直径为  $\phi 12.7\text{mm}$  的具有与定位孔配合的柱体的金属球。

采用激光雷达系统进行型面数据以及定位点数据的采集, 激光雷达系统如图3所示。采集过程中对特征部位重点采集, 各个部位适当采集些数据即可。激光雷达扫面的好处是数据点比较密集, 可以精确地反应某些特征, 便于与数模进行匹配。该系统还可以求解出球体的中心点, 这对于下面工作的开展至关重要。

数据采集工作也可以使用其他的测量方法, 如三坐标测量机, 但这种方式采集大量数据比较困难, 对于型面类特征部位采集比较困难, 应用时可以酌情考虑。

### 3.2 对比分析及变换处理

以装配模型的形式组织文件, 将工装模型和零件模型以及扫描数据分别以 CATpart 进行管理。

为便于数据点在 CATIA V5 中的获取, 我们开发了一套工具, 将 ASCII 格式的扫描点转换为 CATIA V5 数



图3 激光雷达系统示意图  
Fig.3 Laser radar system

控编程 APTSOURCE 文件。利用编程模块中的刀位数据导入功能将数据导入到 CATIA 中(也可借助 CATIA V5 中点云输入的方式将数据导入到模型中, 并按点云特征进行数据点的处理)。并利用数控编程几何元素生成模块挑选对数据比对有用的点位生成数据点(需包括后续将要用到的3个定位球的球心数据), 并存储在单独的 CATpart 中, 如图4所示。

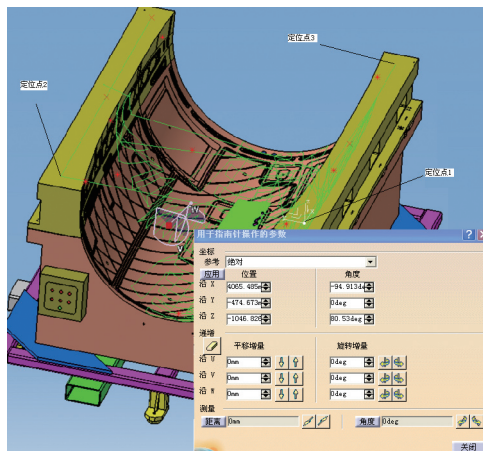


图4 实测点与数模的匹配关系图  
Fig.4 Match of scanned points and tooling model

利用 CATIA V5 的罗盘功能对存有刀位数据点的 CATpart 进行空间调整, 调整的方式结合采集的数据体现出的特征与工装上的特征进行装配关系匹配(此方式只能进行粗略的匹配, 后续需要利用罗盘精细调整)。

利用 CATIA V5 中的测量分析功能标定关键数据点与工装数模理论型面的偏差值,在使用罗盘精确调整过程中,偏差数据会动态的更新并显示,这样可以随时知道调整的正确与否,直至达到比较满意的状态,如图 5 所示。在理论型面与实测点最佳匹配状态下,我们在理论数模上获取了三个定位球心点的数据,用于下一步在数控机床上进行空间旋转 3 点定位。

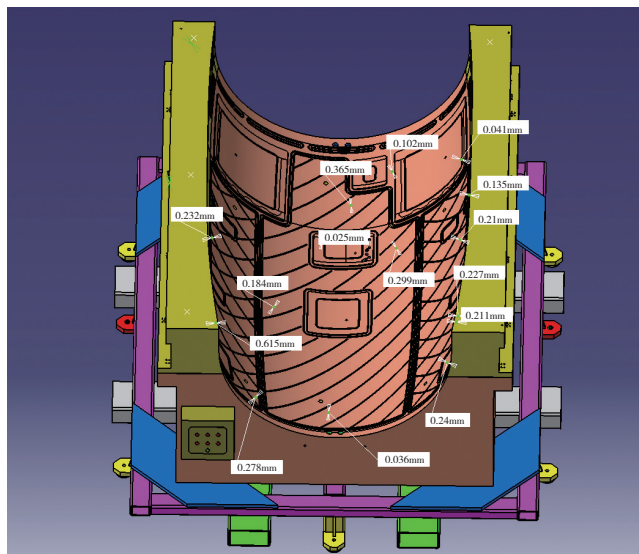


图5 实测点与工装数模动态比较

Fig.5 Dynamic comparison of scanned points and tooling model

### 3.3 在数控机床上利用空间三点建立加工基准方法研究

由于我们使用的设备上没有提供可直接使用的空间三点建立加工基准的方法,因此需要对此方法开展一定的研究开发工作。

在 CATIA V5 中建立编程坐标系(可随意,最好以其中一点为基准原点),取出 3 个定位点在当前坐标系下的理论数值,并在数控机床上通过测量(手工或测头)的方式确定 3 个球在当前摆放位置上的球心空间坐标值,通过在控制系统(研究对象为西门子 840D)上编制空间三点定位程序,通过三点定位找正的方法实现位置的初步匹配。

为在数控系统中自动实现空间三点定位旋转,我们结合数控系统功能开发了针对理论 3 个定位点数值和实测 3 个定位点数值进行空间旋转并将值自动赋值给加工基准点的换算程序。最终计算结果为分别绕 X、Y、Z 轴旋转的角度值 A、B、C。计算结果主要对以下几个重要控制系统变量进行赋值(详细程序说明略):

;将旋转补偿值赋到 3 个坐标轴上

\$P\_UIFR[1,X,RT]=CORR\_FRAME[X,RT]

; CORR\_FRAME[X,RT] 是算得的 X 轴方向的旋转

补偿值

\$P\_UIFR[1,Y,RT]=CORR\_FRAME[Y,RT]

; CORR\_FRAME[Y,RT] 是算得的 Y 轴方向的旋转

补偿值

\$P\_UIFR[1,Z,RT]=CORR\_FRAME[Z,RT]

; CORR\_FRAME[Z,RT] 是算得的 Z 轴方向的旋转

补偿值

;将旋转补偿值赋到 3 个旋转轴上

\$P\_UIFR[1,A,TR]=CORR\_FRAME[X,RT]

\$P\_UIFR[1,B,TR]=CORR\_FRAME[Y,RT]

\$P\_UIFR[1,C,TR]=CORR\_FRAME[Z,RT]

对于某些不支持三点空间旋转定位计算的控制系统,我们可以归结为坐标系下空间两组点的旋转匹配算法,可以采用经典的空间几何中坐标旋转算法计算。求取理论 3 点中的任意两点间向量,取两组,设定为 V1、V2,对应实测 3 点中的两组向量为 V1'、V2'。所要求取的绕 X 轴旋转角度为 A,绕 Y 轴旋转角度为 B,绕 Z 轴旋转角度为 C,绕 X 轴的旋转矩阵为  $T_{RX}$ ,绕 Y 轴的旋转矩阵为  $T_{RY}$ ,绕 Z 轴的旋转矩阵为  $T_{RZ}$ ,则,

$$T_{RX} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A & 0 \\ 0 & -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{RY} = \begin{bmatrix} \cos B & 0 & -\sin B & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin B & 0 & \cos B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{RZ} = \begin{bmatrix} \cos C & \sin C & 0 & 0 \\ -\sin C & \cos C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$V1 \cdot T_{RX} \cdot T_{RY} \cdot T_{RZ} = V1', \quad (1)$$

$$V2 \cdot T_{RX} \cdot T_{RY} \cdot T_{RZ} = V2'. \quad (2)$$

依据四元数及旋转矩阵计算欧拉角解法,最终求解 A、B、C 的旋转补偿角度,由于四元数求解较困难,具体求解方法请参见相关文献。

对于空间三点匹配,也可以采用比较简单的 A、B、C 3 个角度插补迭代的方式求解。此时需要注意的以下几个方面:

(1) X、Y、Z 旋转轴的求解顺序。

(2) 理论三点和实测三点各自所在平面的空间距离关系。

(3) 理论三点和实测三点误差处理。

(4) 以及插补迭代的速度。

(下转第 94 页)

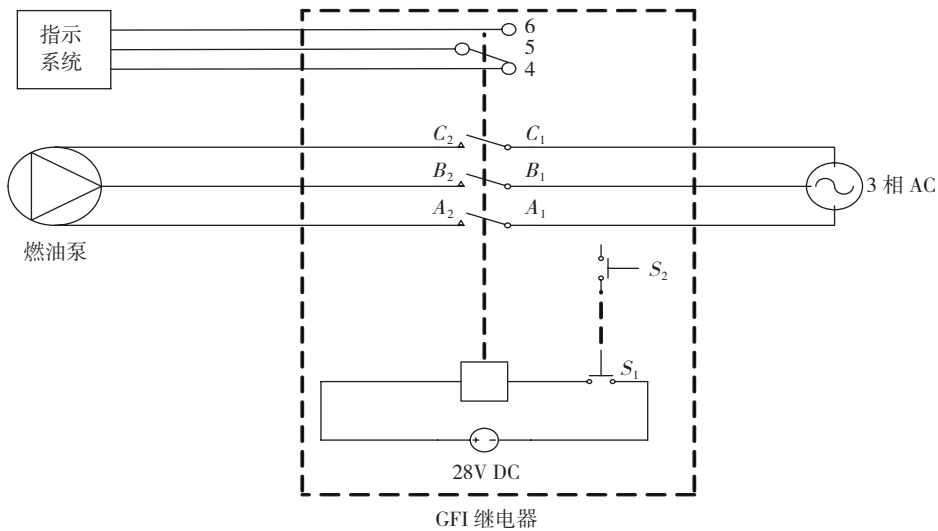


图2 燃油泵供电线路上的GFI继电器保护电路  
Fig.2 Protection circuit of GFI relay on fuel pump power supply wiring

一般选用电气连接器在油箱外面的燃油泵,这样就可以避免电气连接器及其电缆浸泡在油箱内,减少电缆腐蚀后产生电火花,从而避免点火源的形成。选用合适的材料,使电气连接器具有防电弧击穿的特点,并且使内部的插针抗腐蚀且难以弯曲,避免由于插针弯曲或腐蚀,在电连接器内部各连接处产生电弧。

#### 4.2 燃油泵的安装环境及电缆敷设

燃油泵的周围最好避免安装大功率的发热设备,如空调系统等。在这方面,典型的应用就是空客大量采用机翼油箱设计,整个中央翼设计成无油空腹,该空腹用来安装空调系统,避免空调系统产生的热量传输到燃油箱内形成点火源。

电缆的敷设需要与其他系统的电缆有一定距离的物理隔离,减少电磁效应所形成的点火源。在电缆的外面加装聚四氟乙烯等绝缘防磨护套。

### 5 结束语

在燃油泵的三相 AC 供电线路上加装 GFI 继电器的方法已经成为民用飞机燃油泵点火源防护的发展趋势, GFI 继电器必将对提高民用飞机的安全性起到重大作用。

#### 参考文献

[1] Final Rule: Transport Airplane Fuel Tank System Design Review, Flammability Reduction, and Maintenance and Inspection Requirements. 66 FR 23085, Jun. 6, 2001.  
[2] Advisory Circular 25.981-1C: Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines, Sep. 19, 2008.  
[3] Final Rule: Fuel Tank System Fault Tolerance Evaluation

Requirements (SFAR No.88). 68 FR 37735, Jun. 25, 2003.

[4] Fink D G, Beatty H W. Standard Handbook of Electrical Engineering. 15th edition. New York: McGraw Hill, Inc.2-31.

(责编 三丰)

(上接第 87 页)

图 6 为软件实现界面示例。

#### 3.4 最终验证和调整

使用 CATIA V5 软件,在理论数模上采集关键点编制并生成垂直于型面方向的验证校验程序。在数控机床上运行程序,并测量理论型面数据点与实际工装型面间的偏差,并记



图6 软件实现空间旋转角度计算示例

Fig.6 Calculation of compensation angle for rotation in software

录。如果偏差的状态与数模上分析的最终偏差不符,在确定此次偏差测量正确的情况下,对数模上的定位点进行修正,直至实测偏差达到预期的效果为止,整个工装基准重新确定的过程结束。

### 4 结论

此次工装找正基准重新确定的工艺方法研究,采用数据采集、CATIA V5 数模比对、三点定位旋转角度计算、新基准下的工装型面偏差分析等措施,解决了型号研制中的复合材料切钻工装加工基准丢失的问题,也进一步掌握了工装的变型情况,为下一步工装的处理提供了准确的依据和基准,也为数控加工中采用三点定位提供了有效的方法和处理工具。

此次工艺方法研究,形成了比较系统和可行的分析、处理方法,技术通用性比较强,不但适用于制造复合材料构件的数控加工工装,也适用于其他类产品的数控加工工装。因此,对航空制造企业中类似的工装问题处理具有很好的借鉴作用。

(责编 小城)