

# 激光投影技术在装配连接中的应用

## Application of Laser Projection Technology in Assembly Connection

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 陈国强 李辉 余宁

**[摘要]** 在飞机部件装配中,装配连接孔位主要以人工画线和样板画线的方式确定,工作效率低下。针对部件表面装配连接孔位,利用计算机辅助制造软件提取所需投影部件的连接孔位及投影面,分析、研究激光投影设备通过捕捉部件装配型架或部件自身的基准点,将理论连接孔位及理论投影面快速、准确投影至部件实际投影面的方法。

**关键词:** 激光投影 基准孔 连接孔位

**[ABSTRACT]** In traditional aircraft part assembly, the position of connecting hole is mainly determined by the method of manual drawing line and the pattern line, whose efficiency is very slow. Aiming at the surface assembly connection hole position of the component, using CAM systems to extract the position of connecting hole and projection plane of the required projection parts, through the capturing of part assembly fixture or parts of their own reference points with laser projection equipment, a fast and accurate projection to the actual projection surface of the part is used to connect the theoretical connection hole position and the theoretical projection plane.

**Keywords:** Laser projection Datum hole Position of connecting hole

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.020

在飞机制造装配技术领域,机械连接是一项工作量大、涵盖范围广的航空制造基础技术。尽管现代飞机制造中不断地涌现出新型连接技术如变形连接、胶接等,但机械连接仍是目前飞机制造中的主要连接方式,约占飞机结构连接的70%以上<sup>[1]</sup>。

现阶段部件机械连接孔位的确定方法有以下3种:一是由操作者依据图纸或数模进行人工画线确定,该方法所确定的孔位精确度主要依靠操作者技能水平,需要花费大量时间,在孔位较多、劳动强度较大的情况下容易出错,无任何防错方法;二是根据图纸或数模定制孔位画线样板,该方法画出的孔位较为准确,不易出错,适用于孔位比较集中部位,但部件较大时,样板数量也相应增多,对样板的保管和使用提出了较高的要求;三是使用机器人自动钻孔设备钻制部件上的机械连接孔,该

方法所确定的孔位精度较高,制孔质量稳定,效率高,但需要较大资金投入购买制孔机器人及相关设备,设备维护费用高,占地面积大,且要求装配型架具有较好的开敞性。

目前激光投影广泛应用于零部件的三维数字化测量,也有激光投影设备应用于碳纤维复合材料的铺层角度及蒙皮轮廓的投影,对复材零件的铺层效率有着明显的提升效果<sup>[2]</sup>。本文采用激光投影的方法确定部件连接孔位,以工装上的基准点或产品部件自身基准点为基准,快速准确地投影部件的连接孔位。

## 1 机械连接孔位激光投影原理

### 1.1 激光投影系统

本系统主要由激光投影设备、待投影部件和部件装配型架组成,系统构成如图1所示。

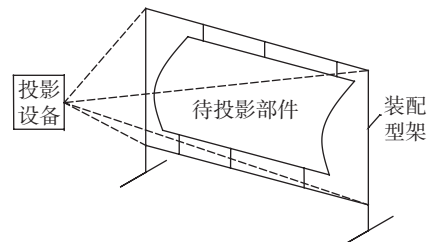


图1 激光投影系统构成

Fig.1 Constitution of laser projection system

系统流程图见图2,通过计算机辅助制造软件LaserEdge Planner提取所需投影部件的三维信息,包括理论基准点和连接孔位,将提取的三维信息导入投影设备控制中心,控制激光投影设备捕捉装配型架或产品上的基准点,并与所提取的理论基准点对比,将理论投影点在飞机坐标系下的坐标数据转换为投影设备坐标系下的坐标数据,控制投影设备分别投影所需孔位及站位线。

### 1.2 基准点的选择

为了保证投影点位的正确,至少需要选取6个点作为投影基准,基准点的选择主要有以下两种方式。

一是选择部件装配型架的安装基准即部件装配型架的安装测量基准点作为投影基准。该方法需要部件在装配型架上的定位准确度较高,部件占架周期相对较

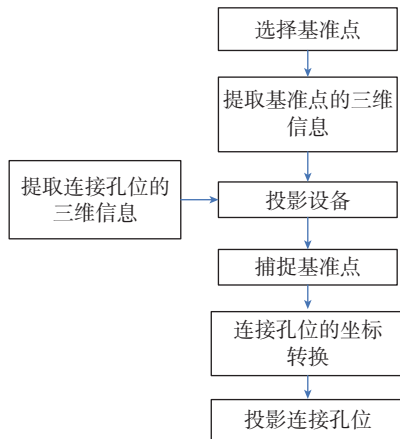


图2 激光投影系统流程  
Fig.2 Process of laser projection system

长,无需对装配型架作较大更改,适用于大型部件以及采用数字量传递方式设计安装的装配型架。

二是选择部件自身孔位作为基准,为了保证基准点的准确,部件上的基准孔位需使用钻模钻制,需要设计专用钻模或在装配型架上设置钻模钻制基准孔,部件钻制基准孔后,即可下架进行投影。该方法适用于小部件产品以及采用数字量、模拟量传递方式设计安装的装配型架。

### 1.3 理论基准点的提取

利用计算机辅助制造软件 LaserEdge Planner,通过部件和装配型架的三维数模提取理论基准点,按实际需要选取装配型架上的基准点或部件自身孔位作为基准。将理论基准点位的三维信息保存在命名为 Datum Point.CAL 的文件中,用  $i$  表示所提取的基准点位数量。理论基准点数据在飞机坐标系下表示,在文件中具体保存形式如下:

$$\begin{matrix} T_1 & X_1 & Y_1 & Z_1 \\ T_2 & X_2 & Y_2 & Z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ T_i & X_i & Y_i & Z_i \end{matrix}$$

用矩阵表示为:

$$T_i = (X_i \ Y_i \ Z_i) \quad (1)$$

### 1.4 理论连接孔位的提取

同样利用计算机辅助制造软件 LaserEdge Planner,通过部件三维数模提取连接孔位的三维信息。连接孔位提取时需考虑孔位所在理论面与理论投影面的厚度差,保证所有投影孔位均在理论投影面上。考虑到投影设备是按孔位三维数据逐点快速扫描的方式进行投影的,当投影孔位数量较多时,会出现明显的闪烁现象,容易造成眼睛疲劳。飞机部件中的连接孔位数量众多,因此需要将连接孔位进行分类,下面给出了几种分类方法:

(1)将所需的投影连接孔位按装配工艺过程分类排序,保证孔位投影顺序与装配工艺过程匹配;

(2)将孔位按标准件类型及孔径大小进行分类,避免操作者在制孔过程中出现错误;

(3)按投影区域进行分类,将集中孔位一并投影,减少工人移动距离。

连接孔位投影时是用一个十字叉表示一个连接孔,因此连接孔位的三维信息需要用4个点来表示,分别表示十字叉中两条线段的端点,所提取的三维数据均在飞机坐标系下表示,其矩阵形式为:

$$P_i = \begin{pmatrix} X_{i1} & Y_{i1} & Z_{i1} \\ X_{i2} & Y_{i2} & Z_{i2} \\ X_{i3} & Y_{i3} & Z_{i3} \\ X_{i4} & Y_{i4} & Z_{i4} \end{pmatrix} \quad (2)$$

将连接孔位的三维信息保存在 XXX Point.PLY 命名的文件中,孔位数据在文件中保存形式如下:

LAYER START 孔位类型

START Point1

L 1

$X_{11}, Y_{11}, Z_{11};$

$X_{12}, Y_{12}, Z_{12};$

L 2

$X_{13}, Y_{13}, Z_{13};$

$X_{14}, Y_{14}, Z_{14};$

END Point1

.....

LAYER END 孔位类型(孔位类型是指基准孔或所需投影孔位按工艺过程分类后的孔位类型)

### 1.5 基准点的捕捉、连接孔坐标转换及孔位投影

控制激光投影设备按所提取的理论基准点数据,根据激光投影设备的投影范围,调整投影设备与待投影部件之间的位置关系,保证待投影部件及基准点均处于投影设备的投影范围内(图3)。为了保证最佳投影效果,投影设备应处于待投影部件的投影面中间位置的法向上。

提取理论基准点文件 Datum Point.PLY,控制投影设

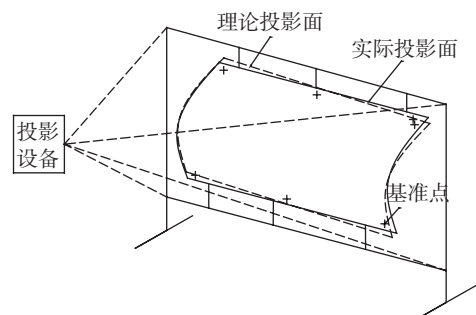


图3 投影示意图

Fig.3 Sketch map of projection

备按顺序捕捉基准点上的靶标,测出实际基准点坐标,在投影设备的坐标系下,每个基准点坐标用矩阵表示为:

$$T'_i = (X'_i \ Y'_i \ Z'_i) \quad (3)$$

飞机坐标系下的基准点数据  $T_i$  通过下式转化为投影设备坐标系下的基准点数据  $T'_i$ :

$$T'_i = T_i \cdot R + T \quad (4)$$

其中,  $R$  表示旋转矩阵,  $T$  表示平移矢量。

当基准点数量较多时,为了使其都参与运算,以尽可能消除测量误差,通常采用构造最小二乘目标函数的方法进行求解旋转矩阵  $R$  和平移矢量  $T$ <sup>[3]</sup>。

用矩阵表示连接点位在投影设备坐标系下的坐标数据,则可表示为:

$$P'_i = \begin{pmatrix} X'_{i1} & Y'_{i1} & Z'_{i1} \\ X'_{i2} & Y'_{i2} & Z'_{i2} \\ X'_{i3} & Y'_{i3} & Z'_{i3} \\ X'_{i4} & Y'_{i4} & Z'_{i4} \end{pmatrix} \quad (5)$$

通过式(6)可算出连接点位在投影设备坐标系下的坐标数据  $P'_i$ ,并按  $P'_i$  数据进行投影部件连接孔位。

$$P'_i = P_i \cdot R + T \quad (6)$$

考虑到部件装配时必然会存在一些微小的变形,理论投影面与实际投影面不可能全部重合,如图3投影示意图所示,用虚线表示理论投影面,实线表示实际投影面。按式(4)将飞机坐标系下的基准点坐标数据  $T_i$  和连接孔位坐标数据  $P_i$  转化为投影设备坐标系的基准点数据  $T'_i$  和连接孔位坐标数据  $P'_i$  后,需评估部件装配变形对投影孔位精度的影响。

对于使用部件自身孔位作为投影基准的投影方式,判断6个理论基准点和实际基准点之间的均方根差  $\Delta\delta$ 。当  $\Delta\delta \leq 1$  时,说明理论投影平面和实际投影平面之间的拟合性较好,可认为部件装配变形导致的投影孔位偏差在设计允许的范围内,所投影的孔位是准确的,也可以通过与按样板或人工画线的孔位进行验证。

对于使用装配型架上的安装测量基准点作为投影基准的投影方式,由于实际基准点与理论基准点的偏差仅与装配型架的安装精度相关,部件装配的微小变形对基准点位没有影响。因此,采用激光实际投影孔位与按样板或人工画线的孔位进行比较,若其偏差在设计允许范围内,则认为所投影的孔位是准确的,装配变形的影响在可接受的范围内。

经过评估认为投影孔位偏差在可接受的范围内,则按已分类的孔位顺序依次投影。为保证投影的准确,在投影过程中必须保证投影设备和投影部件的相对位置不变。若相对位置有改动,则需重新捕捉基准点进行校正,否则将会造成后续投影的连接孔位出现错误。

## 2 实例验证

在某部件上使用部件自身孔位作为基准,在部件基准孔位上放置靶标,控制投影设备对基准点进行捕捉,捕捉基准点的顺序应与理论基准点的排列顺序一一对应。

基准点捕捉完成并采用最小二乘法求解出转换矩阵  $R$  和  $T$ ,判断理论基准点坐标和实际基准点坐标之间的均方根差  $\Delta\delta$ 。在该部件中  $\Delta\delta \leq 1$ ,因此可投影连接孔位。图4所示为该部件所投影的连接孔位与按样板画线并已钻制的孔位对比图(局部),可看出所投影的孔位与按样板画线孔位基本符合,能够满足设计及部件装配要求,具有较好的投影效果。

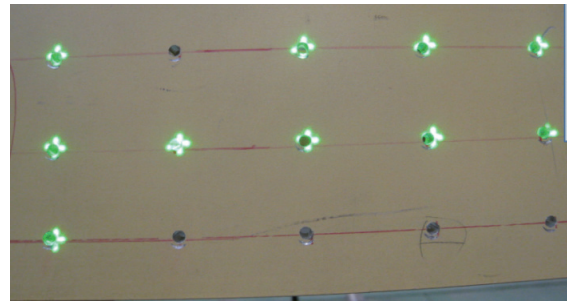


图4 投影孔位验证

Fig.4 Validation of projection hole position

## 3 结论

该投影设备已在某型机上得到验证及应用,实现了某部件翼面连接孔位的投影,满足部件装配要求,并具有以下几方面的优点:

(1)以传统装配型架为基础,使用数字量传递方式,投影孔位精度能够较好地满足实际需要,能够快速、准确地投影孔位,避免了人工画线错误,减少工人操作时间。

(2)按连接件类型和孔径大小分类进行投影,并在计算机系统显示连接件信息及需要使用的刀、量、工具信息,能够有效避免制孔错误。

(3)该投影设备结构简单、轻便,操作简单,投入资金少,占地小,适用于各种立式、卧式装配型架上装配部件连接孔位投影。

## 参考文献

- [1] 韦红余,陈文亮,蒋红宇,等.面向现代飞机装配的长寿命机械连接技术.航空制造技术,2009(17):34-37.
- [2] RIECKMANN A,王文贵.铺层铺叠工艺现状.航空制造技术,2010(6):62.
- [3] 俞慈君,李江雄,余锋杰,等.带工程约束的点匹配算法.机械工程学报,2010,46(5):183-190.

(责编 李丹)