

机械工程基础实验

实验报告



姓 名:	刘侃
学 院:	机械工程学院
专 业:	机械工程
学 号:	3220103259
分 组:	组 10

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 9 月

实验名称：飞机机头数字化装配虚拟仿真实验

一、实验目的

通过飞机机头装配过程的虚拟仿真，了解飞机装配的相关工艺流程及高端装备制造技术。

1. 认知飞机结构及其装配层次化和模块化特点。
2. 学习飞机装配流程中的多组件装配方法。
3. 掌握多轴协同运动及数控定位系统的原理。
4. 了解数字化测量技术及坐标转换方法在飞机装配中的应用。
5. 学习自动化制孔装备及运动学分析方法的实际应用。

二、实验原理

1. 多组件装配原理

飞机的装配分为多个层次，装配的关键在于通过工艺规程，将组件组合成部件、大部件，最终完成整机的组装。现代飞机制造中广泛应用了数字化制造和测量技术，以提高外形协调的精度。

2. 数控定位器原理

数控定位器是实现飞机组件的调姿和定位的关键设备。它通过精密的传动系统，控制定位器在三维空间中的运动，实现对飞机组件的姿态调整和对接。多台定位器的协同运动保证了组件的稳定性，避免拉扯和挤压作用。

3. 自适应入位结构

飞机组件通过球头和球托组成球铰结构，定位器通过控制球铰的运动实现调姿和对接。为了提高精度，采用多点拟合球面方程来计算球心坐标。

4. 数字化测量技术

数字化测量技术是飞机装配中对大尺寸、复杂结构进行精确定位的重要手段，广泛采用激光跟踪仪进行坐标测量和转换，从而实现飞机组件的精确装配。

5. 自动化制孔系统

环形轨道自动制孔系统通过各关节的运动，实现精确的钻孔和镗窝任务。制孔过程中，自动检测和调整孔位、法向及镗窝深度，确保加工质量。

三、实验步骤

1. 用户注册

使用 Chrome 浏览器访问国家虚拟仿真实验教学平台 ilab-x，注册个人账户，并确保实验系统中的用户姓名与 ilab 网站信息一致。

2. 登录并开始实验

登录 ilab-x 网站后，通过关键字“飞机机头”搜索实验项目，进入实验系统开始实验。

3. 实验内容

软件简介：了解虚拟仿真实验系统的整体框架。

设备系统认知：学习飞机机头数字化装配所用的硬件设备和软件系统。

装配案例操作：按照系统提示完成飞机机头的装配过程。

调姿过程训练：练习飞机组件的姿态调整操作。

考核模块：按照装配案例的步骤进行考核，完成后截图成绩页面。

4. 操作提示

在装配案例操作界面中，选择所需的装配流程，完成每个步骤后返回选择界面。考核过程中，回答相关问题并提交实验成绩。

（“一、实验目的、二、实验原理、三、实验步骤” 合计篇幅限定 2 页以内）

四、实验结果



五、思考题

飞机大部件调姿对接过程中，首先是测量获得当前装配对象（即多个飞机部件）的位置和姿态，根据测到的数据，计算获得装配对象以何种姿态去对接。请论述这个测量调姿对接过程中所用到的数学知识。

设定位点集为 $L = [L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_l]$ ，测量点集为 $M = [M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_l]$ 。测量点集的名义坐标为 $M^{(0)}$ ，通过求解线性方程，可以计算得到 M 和 $M^{(0)}$ 之间的变换矩阵 T 。使得

$$M^{(0)} = TM^{(1)}$$

$$M^{(1)} = TM$$

$$L^{(1)} = TL$$

当定位点集坐标为 L 时，测量点集坐标为 M 。当定位点集坐标为 $L^{(1)}$ 时，测量点集的坐标为 $M^{(1)}$ 。因此，将定位器的定位位置调整为 $L^{(1)}$ ，可使装配对象达到要求的位姿。但实际上，装配对象本身在定位过程中会产生变形，定位器的定位也不可避免地存在误差，装配对象也非完全刚性。可以认为，实际装配对象的测量结果是测量点集、定位形式和现场环境因素等的函数

$$M^{(1)} = f(M, L, t, \dots)$$

另一方面，相对于装配对象的自身尺寸，装配对象的变形量又可以认为是小变形。因此，可以通过最佳拟合（Best-Fit）的方法来计算 M 和 $M^{(0)}$ 之间的变换矩阵 T 。

$$\min \|M^{(0)} - TM^{(1)}\|$$

这里的变换矩阵 T 实质上代表了装配对象由当前位姿到理论位姿的变化量。

飞机装配中的单个对象的协调和多个对象的协调问题，虽然各自面对不同的需求，但本质都是通过调整对象的位姿，使得部件上制造特征点和装配特征点的误差综合评价指标达到

最小，同时使各制造特征点和装配特征点满足容差约束条件。因此，通过不同类别点的三维相对容差来建立协调问题中的约束条件，可以建立偏差协调优化模型的统一形式，保证部件的位姿准确性。

多目标优化模型如下

$$\begin{cases} \min & \varphi(T1, T2, \dots, Tn) \\ s.t. & \tau_i^2 \leq 1, i \in 1, 2, 3, \dots, K_1 \\ & \tau_j^2 \leq 1, j \in 1, 2, 3, \dots, K_2 \end{cases}$$