

基于数字样机的民用飞机发动机安装位置确定方法研究

Study of Engine Installation Position Method Based on Digital Mock-Up for Civil Aircraft

朱岩 田宏星 / 中国商飞上海飞机设计研究院

摘要: 基于CATIA软件,以民用飞机发动机翼吊式安装布局为例,提出了通过建立飞机坐标系和发动机坐标系,确定发动机坐标系在飞机坐标系内的位置,从而确定发动机相对于飞机安装位置的方法,结合飞机和发动机的两种典型状态(巡航热态和地面冷态),介绍了发动机安装位置的表示方法和具体确定过程,为民用飞机发动机的集成安装设计提供参考。

Abstract: This paper studied an engine installation position method which is based on CATIA and takes the engine under-wing as example by creating the coordinate for the aircraft and engine, then determining the engine coordinate in the aircraft coordinate. Two typical aircraft and engine conditions (the cruise hot and the ground cold) are studied to introduce the process and result of the engine installation position method. By this method, this paper supports the civil aircraft engine installation design.

关键词: 安装位置; 发动机; 民用飞机

Keywords: installation position; engine; civil aircraft

0 引言

民用飞机发动机集成安装设计的首要任务是确定发动机在飞机上的安装位置,从而为飞机与发动机以及短舱之间的机械接口定义,为发动机安装系统结构设计以及飞机吊挂结构设计等工作打下基础。对于发动机翼吊式布局,发动机的安装位置会随着机翼的变形发生显著变化,需要对不同安装位置下的机械接口定义进行检查,以确保这些接口在整个飞行包线内均能正常工作。因此一种准确定义发动机安装位置,并能简单有效地调整发动机安装位置的方法,不仅是飞机研制过程中发动机安装设计的迫切需要,也是全面开展机械接口定义的重要保证。

现代民用发动机在民机上的安装

布局形式多种多样,大致可归纳为三种主要形式,即翼吊式、尾吊式和垂尾根部安装。目前大部分民用飞机采用翼吊式发动机安装布局,即发动机安装于短舱内,发动机和短舱借助吊挂吊装于机翼下前方。相对于另外两种安装布局,翼吊式安装布局下的发动机安装位置除受发动机热膨胀影响而发生变化外,主要还随着机翼的变形而改变安装位置,因此发动机安装位置的确定更加复杂。

因此,本文对民用飞机发动机翼吊式安装布局进行研究,介绍了一种简单可行、适用于工程使用、基于CATIA软件的数字样机下民用飞机发动机安装位置确定方法,为民机发动机集成安装设计提供了参考。

1 飞机和发动机工作状态

翼吊式布局飞机在整个飞行包线内,机翼会因外部载荷(气动升力、重力等)的分布和大小变化而发生各种变形,该变形会直接导致发动机安装位置的变化。发动机初始安装设计时,一般会选择某个最佳巡航状态作为设计点,进行飞机和发动机一体化设计。为简化分析,以飞机巡航状态代替飞机的所有飞行状态,与之对应的是飞机地面状态。

发动机在工作状态下会发生热膨胀,其工作状态下的安装位置与非工作状态下的安装位置也不同。为简化分析,以发生最大热膨胀的工作状态代替发动机的所有工作状态,称之为发动机热态,与之相对应的是发动机冷态。

因此飞机和发动机的典型状态包括地面冷态、地面热态、巡航冷态和巡航热态四种。

- 地面冷态是所有飞机和发动机之间机械接口定义的基础；
- 地面热态对应的是飞机未离开地面，发动机处于工作状态；
- 巡航冷态对应的是飞机处于飞行状态中，发动机未工作处于停车状态；
- 巡航热态是吊挂—发动机—短舱热态结构设计的基础。

在设计过程中，首先会确定巡航热态，该状态是发动机总体安装布局和气动CFD设计完成的结果。其次确定地面热态，作为巡航热态向地面冷态设计转化的中间状态。最后确定地面冷态，以最终确定飞机和发动机之间装配状态下的所有机械接口定义。对于巡航冷态，一般忽略不做研究。具体如图1所示。

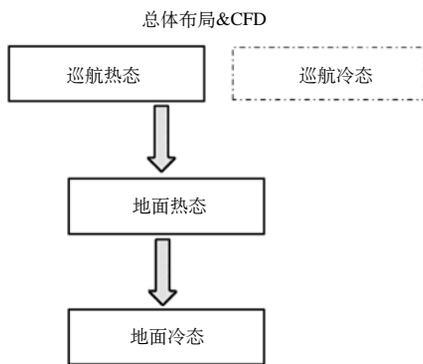


图1 各状态设计流程

2 发动机安装位置确定方法

确定发动机安装位置，本质上就是在空间内确定飞机和发动机的相对位置，因此在空间内实现飞机和发动机位置的度量是设计的关键。本文所采用的办法就是通过建立飞机坐标系和发动机坐标系，确定发动机坐标

系在飞机坐标系内的位置（或者反之），从而最后确定发动机相对于飞机的安装位置。

2.1 坐标系定义

典型飞机坐标系和发动机坐标系定义如图2所示。在飞机坐标系定义中，XY平面定义为飞机对称平面；XZ平面定义为机身基准平面，垂直于飞机对称平面。X轴从机头指向机尾，Y轴垂直于X轴向上，Z轴按右手法则确定。发动机坐标系定义中，X轴平行于发动机轴线，Y轴指向发动机侧向，Z轴指向发动机垂向。原点定义在发动机某一基准点特定距离处。

2.2 巡航热态发动机安装位置

巡航热态的发动机安装位置是发动机总体安装布局设计完成的结果。发动机总体安装布局工作包括根据飞机各个部分对发动机安装机械、功能、重量等方面的限制，确定发动机

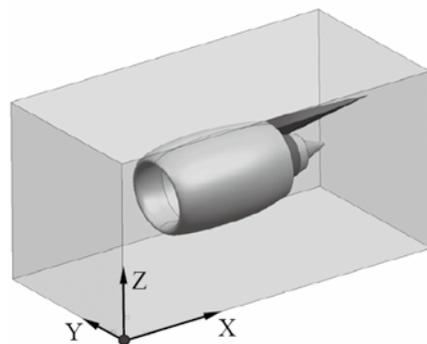
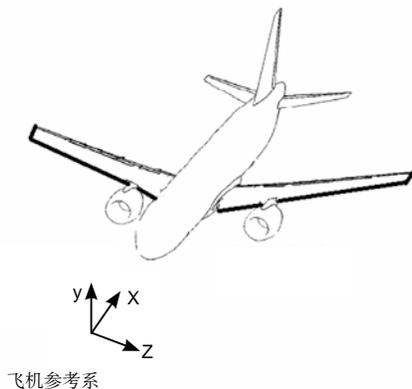


图2 典型飞机坐标系和发动机坐标系定义

机械安装边界。之后通过气动CFD计算，在发动机总体安装布局设计中确定的发动机机械安装边界内，寻求气动CFD计算结果优化后的发动机安装位置，作为巡航热态发动机安装位置的输入。

通常CFD计算结果会直接给出飞机左右侧发动机的安装位置，可以直接得到左右侧发动机坐标系在飞机坐标系下的转换矩阵。以左侧发动机为例，飞机坐标系A和发动机坐标系B之间的转换关系如表1所示。

表1 飞机坐标系和发动机坐标系转换矩阵

	X_A	Y_A	Z_A	A系原点
X_B	m_1	n_1	p_1	H1 mm
Y_B	m_2	n_2	p_2	H2 mm
Z_B	m_3	n_3	p_3	H3 mm
B系原点	L1 mm	L2 mm	L3 mm	

其中 X_B 对应的行向量表示发动机坐标系B的X轴在飞机坐标系A中的方向向量。同理， Y_B 和 Z_B 对应的行向量分别表示B系中的Y轴和Z轴在A系中的方向向量。B系原点对应的行向量表示的是发动机坐标系B的原点在飞机坐标系A中的位置坐标，即（L1, L2, L3）。

在CATIA中左右侧发动机坐标系和飞机坐标系之间的关系表示为图3所示。

2.3 地面冷态发动机安装位置

地面冷态的发动机安装位置相对于巡航热态主要有两点不同：一是由于机翼变形引起的位置不同；二是发动机冷热态引起的位置不同。

第一点可以通过气动力计算分析得到，换算出地面状态下的安装位置，即形成巡航热态；

第二点需要调节发动机安装系统与冷态吊挂和冷态发动机本体间的连

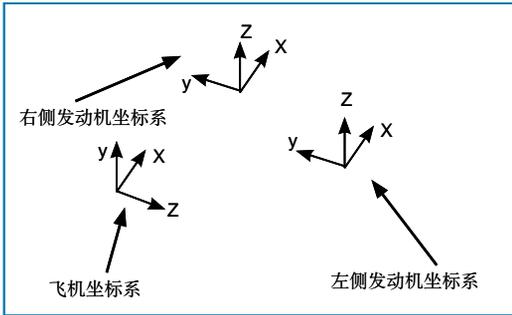


图3 飞机坐标系与发动机坐标系关系

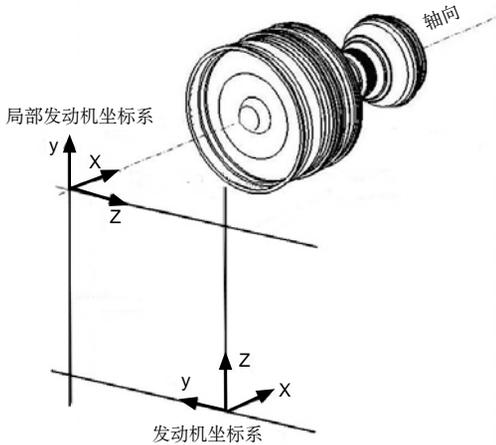


图4 局部发动机坐标系和发动机坐标系的关系

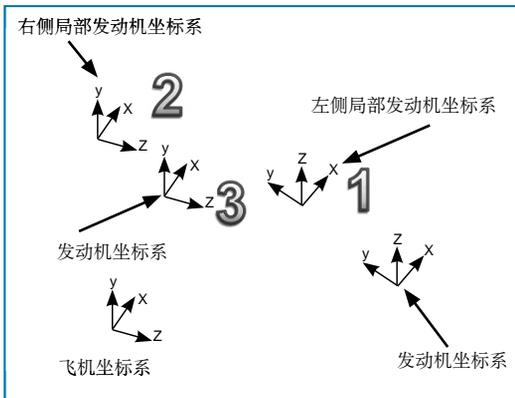


图5 坐标系创建步骤

接关系才能确定。

在CATIA中可以利用数字样机装配模块,结合发动机安装系统与吊挂和发动机间的连接特点(通常为球铰

和旋转副),直观清晰地实现这一过程。

需要注意的是,地面冷态的发动机安装位置往往采用某一侧发动机为例进行安装,另一侧利用左右侧发动机的对称性直接得到。但是直接对称发动机数模的办法,往往由于计算机能力的限制,难以实现或耗时过长,一般通过建立左右侧发动机坐标系的办法,实现另一侧发动机的安装。

对于图3中定义的典型发动机坐标系,由于该坐标系未通过发动机对称轴线,因此无法直接利用对称性得到另一侧发动机坐标系。此时,需要通过建立通过发动机对称轴线的发动机局部坐标系,实现转换过渡。具体实现步骤如下。

1) 在CATIA创建一个新的零件,将飞机坐标系和左侧发动机坐标系拷贝到该零件中,以后的操作应在该零件下进行;

2) 创建左侧局部发动机坐标系,该局部发动机坐标系和发动机坐标系的关系如图4所示;

3) 利用左右侧局部发动机坐标系的对称性,创建

右侧局部发动机坐标系。创建时,应分别对称左侧局部坐标系的原点和任意两个轴,然后插入坐标系,按照局部发动机坐标系各个轴线方向的定义

做出右侧局部发动机坐标系;

4) 再次利用图4中的局部发动机坐标系和发动机坐标系的关系,创建出右侧发动机坐标系,从而完成坐标系创建;

5) 根据需要,可在该零件中加入地面位置等其他相关信息。

上述坐标系创建的步骤如图5所示。

3 结论

本文以民用飞机发动机翼吊式安装布局为例,基于CATIA软件,提出了通过建立飞机坐标系和发动机坐标系,进而确定发动机坐标系在飞机坐标系内的位置,以确定发动机相对于飞机的安装位置的方法。在巡航热态发动机安装位置中,给出了坐标系转换矩阵的安装位置表示方法,在地面冷态发动机安装位置中,介绍了发动机装配状态的安装位置确定过程。在民机发动机集成安装设计时,本文的发动机安装位置的确定方法可以作为参考。

AST

参考文献

- [1] 陈迎春. 民用飞机总体设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2010.
- [2] 詹熙达. CAITA V5R20高级应用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

作者简介

朱岩, 工程师, 主要研究方向为民用飞机航空发动机设计。