

基于UG软件的起落架收放机构运动仿真分析技术研究

Motion Simulation Analysis Technology of Landing Gear Based on UG

中国人民解放军驻陕飞公司军事代表室 周 亮 胡愈刚 王晓平



周 亮

2000年毕业于陕西理工学院,任职于中国人民解放军驻陕飞公司军事代表室,2009年获得华中科技大学自动控制硕士学位;主要从事飞机起落架及液压附件的研制、生产质量监督。先后发表论文 20 多篇。

起落架是飞机的重要组成部分,主要用于保证飞机起飞、着陆、滑行和停放,吸收飞机在着陆及地面运动时产生的撞击、跳动以及摆振能量,改善飞机的起飞和着陆性能。在过去,由于飞机的飞行速度低,对飞机气动外形的要求不十分严格,当飞机

本文将现代机构分析理论——矩阵法引入到飞机起落架的运动分析中,建立了斜轴式起落架收放机构的数学模型,并以此进行机构的运动学分析。并在UG软件环境下实现UG相关模块与用户程序的集成,将用户的应用程序和UG的相关功能模块完美地集成在同一用户界面下,开发出了适用于起落架运动性能评定的软件系统,实现了起落架收放机构运动学特性评估的数字化。

在空中飞行时,起落架暴露于机身之外。随着飞机飞行速度的不断提高,飞机的阻力随着飞行速度的增加而急剧增加,这时,暴露在外的起落架就严重影响了飞机的气动性能,阻碍了飞行速度的进一步提高。以最小的重量和最小的贮存空间来满足飞机的性能要求是起落架设计人员的主要任务之一。由于对起落架在整个运动过程中的空间位置以及起落架在收放过程中的包络空间无法做出精确的事先估计,在飞机总装时常常出现零件间干涉,达不到预期的设计效果而需不断修正。起落架与飞机总体间的协调主要靠制造样件反复测量和修正,这种设计方法周期长、效率低且成本昂贵,已经很难适

应新型飞机起落架的研制需求。

研究方法

本文将现代机构分析理论——矩阵法引入到飞机起落架的运动分析中,建立了斜轴式起落架收放机构的数学模型,并以此进行机构的运动学分析。并在UG软件环境下实现UG相关模块与用户程序的集成,将用户的应用程序和UG的相关功能模块完美地集成在同一用户界面下,开发出了适用于起落架运动性能评定的软件系统,实现了起落架收放机构运动学特性评估的数字化。

起落架收放机构数学模型

对于空间机构的运动分析,采用

矩阵法不仅便于描述物体的运动,而且非常有利于借助计算机进行数值计算。

1 刚体的旋转矩阵

不论刚体运动后的新位置如何,刚体上所有点必须保持其原相对位置。刚体的总位移可以看作是刚体的角位移和刚体任何适当参考点的线位移的总和。而对于绕定轴转动的起落架在建立其收放运动数学模型时,可以只考虑绕定轴的角位移。刚体上任一点由一个位置经旋转后到达另一个位置,其坐标变换可表示为:

$$\vec{V}_2 = \mathbf{R}_\alpha \cdot \vec{V}_1 \quad (1)$$

绕 x 轴旋转,得到:

$$\mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

绕 y 轴旋转,得到:

$$\mathbf{R}_y = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

绕 z 轴旋转,得到:

$$\mathbf{R}_z = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

2 收放数学模型的建立

图 1 为斜轴式起落架收放机构简图,其中 ACB 为起落架的旋转轴, CD 为起落架缓冲支柱, DE 为轮轴, FG 为收放作动筒, F 为收放作动筒

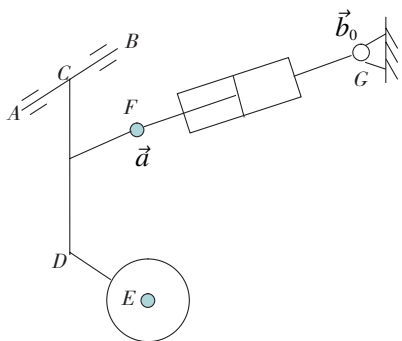


图1 斜轴式起落架收放机构简图

与起落架的铰接点, G 为收放作动筒与飞机机体的铰接点。

设 \vec{a} 为 F 点的位置矢量, 对应于起落架收放过程中的角位移; \vec{b}_0 为 G 点的位置矢量, 为恒量; L_0 为起落架在初始位置时 F 、 G 点间距离; S 为收放过程中收放作动筒的行程。由于起落架在收放过程中 F 、 G 两点间的距离总是等于 L_0+S , 由此可得斜轴式起落架转角与收放作动筒行程的位移关系方程:

$$(\vec{a} - \vec{b}_0)^T (\vec{a} - \vec{b}_0) = (L_0 + S)^2. \quad (5)$$

上式两边同时对时间 t 求导, 可得速度的约束方程:

$$\dot{\vec{a}}^T (\vec{a} - \vec{b}_0) + (\vec{a} - \vec{b}_0)^T \dot{\vec{a}} = 2\dot{S} (L_0 + S), \quad (6)$$

由于: $\dot{\vec{a}}^T (\vec{a} - \vec{b}_0) + (\vec{a} - \vec{b}_0)^T \dot{\vec{a}}$, 则速度约束方程可简化成:

$$(\vec{a} - \vec{b}_0)^T \dot{\vec{a}} = \dot{S} (L_0 + S). \quad (7)$$

上式两边同时对时间 t 求导, 可得加速度的约束方程:

$$\dot{\vec{a}}^T \dot{\vec{a}} + (\vec{a} - \vec{b}_0)^T \ddot{\vec{a}} = \ddot{S} (L_0 + S) + \dot{S} \cdot \dot{S}. \quad (8)$$

通过对起落架进行位移分析, 可以检查起落架运动时各构件间的干涉情况, 确定起落架转角与收放作动筒行程间的关系, 确定收放作动筒的实际工作行程, 考察某构件或构件上某一点能否实现预定的位置或轨迹要求等。

通过对起落架进行速度分析, 可以了解起落架在收放过程中的速度变化规律能否满足工作要求。通过对起落架的加速度分析, 可以确定各构件及构件上某些点的加速度, 了解机构加速度的变化规律。这也是计算构件惯性力和研究机械动力性能的必要前提。

起落架收放机构运动分析软件集成

通过 UG 软件提供的用户化接

口——用户工具 (User Tool) 来实现开发的应用程序与 UG 相关功能模块的集成, 使之能直观地体现在用户菜单中, 在 UG 环境下灵活运用。从 UG 到该系统的入口是 UG 环境中 User Tools 下拉菜单中的 Landing Gear Simulation……选项。该系统中的各个菜单是用 UG 中的用户工具来实现的, 对 UG 相关模块的调用则是通过 UG 的宏来实现。通过用户工具对话框来执行相应的 UG/Open API 程序, 或调用 UG 宏启动 UG 的相应模块功能, 以实现软件的集成。

起落架收放机构运动分析系统的其他各级菜单或对话框及其定义文件如图 2~ 图 4 所示。

起落架收放机构运动分析系统的各功能模块构成如图 5 所示。

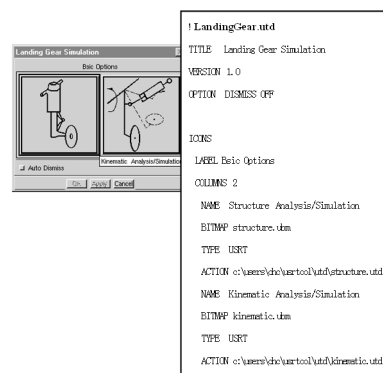


图2 Landing Gear Simulation菜单及其定义文件

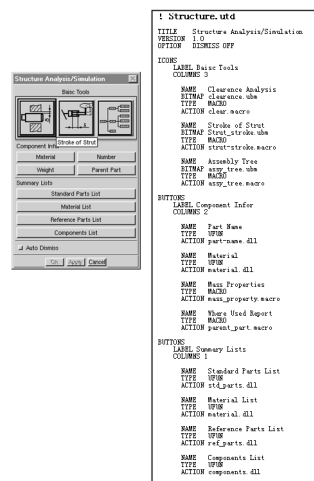


图3 Structure Analysis/Simulation菜单及其定义文件

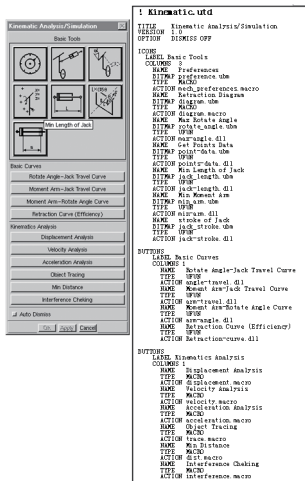


图4 Kinematic Analysis/Simulation菜单及其定义文件

工程实例

利用集成的起落架收放机构运动分析系统对某型飞机主起落架进行运动仿真分析。通过仿真,取得了该型飞机起落架的运动学特性数据,

检验了该起落架收放系统的运动协调性。

首先利用UG对起落架各个零件进行实体造型,按照其装配关系进行组装,形成起落架的几何实体模型。

利用UG/Mechanisms模块中的Animation功能对起落架进行动画模拟,跟踪起落架在运动过程中每步各个外露零件的运动轨迹,在各个新的位置重新生成其几何实体,即可形成起落架的运动包络空间。以起落架机轮为例,跟踪机轮中心在收放运动过程中的空间位置,并生成机轮的运动包络空间,如图6所示。

在收放作动筒与起落架的铰接点创建一个运动标记符(MARKER),利用UG/Mechanisms中的Animation功能对机构进行动画,打开跟踪开关(TRACE),形成铰接

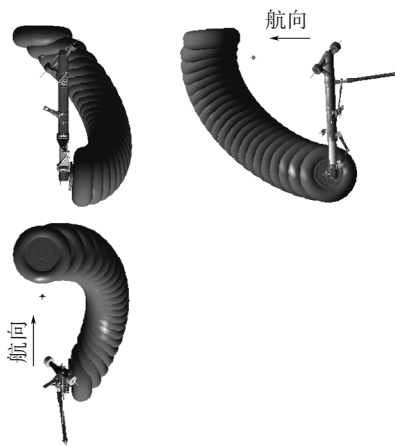


图6 某型飞机主起落架机轮运动包络空间

点的运动轨迹。将铰接点轨迹的坐标代入起落架转角与收放作动筒行程的位移关系方程就可以十分方便地计算出各处作动筒的行程,从而绘制出起落架转角—收放作动筒行程关系曲线。

根据斜轴式起落架的速度、加速度约束方程,可进一步得到某型飞机主起落架上不同观察点的角速度、角加速度曲线。

结束语

本文应用现代机构分析理论和CAD技术实现了飞机起落架收放机构运动学特性评估的自动化,开发出了适用于起落架运动性能测定的软件系统,并实现了该系统与UG软件在同一用户界面下的集成。

该软件与UG结合使用,能将起落架的各种运动学特性以图表或曲线等形式直观地表现出来,使得原本十分复杂的空间机构运动分析工作能在数秒内迅速完成,大大提高了生产率。通过该系统可以模拟起落架收放系统的工作状态,动态显示起落架的收放动作,形成起落架的运动包络空间,检查起落架在收放运动过程中与起落架舱内其他零部件的最小间隙。在最初的设计阶段就可以进行起落架系统与飞机结构的协调性检查。

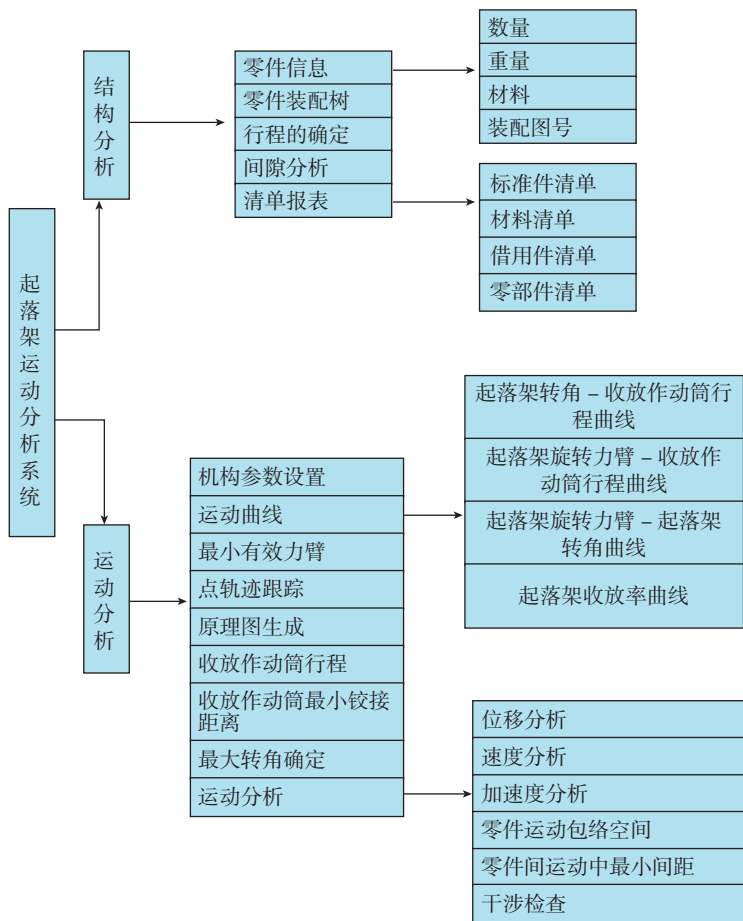


图5 起落架收放机构运动分析系统功能模块图

(责编 夏宛)