

【航空管理与安全】

重心偏移对飞机发动机拆装平台
全向移动稳定性的影响

程 林, 王 坤, 刘晨来

(滁州职业技术学院 机械与汽车工程学院, 安徽 滁州 239000)

摘 要:针对航空发动机拆装过程需要移动平台定位高度精确的问题,建立了基于麦克纳姆轮的全向移动机构多体动力学模型,研究了不同重心偏移工况下发动机拆装平台的运动稳定性。通过 ADAMS 与 ANSYS 联合仿真,构建了包含 807 779 个单元的精细化模型,系统分析了重心前移(0.55、1.10、1.65 m)与右移(0.3、0.6 m)对发动机拆装平台运动性能的影响。结果表明:重心前移对机构前后运动影响可忽略,但对左右运动产生显著速度波动(偏移 1.65 m 时 Z 轴速度波动增幅达 50%);重心右移对左右运动稳定性无显著影响,但会加剧前后运动中的侧向抖动。

关键词:发动机拆装平台;全向移动;重心偏移;非对称载荷;运动稳定性

中图分类号: V 351.3 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2026.04.007

0 引言

航空发动机作为飞机的核心动力装置,其定期拆装维护是保障飞行安全的关键环节。在发动机拆装过程中,移动平台需要在狭小空间内实现高精度定位与平稳运动,这对平台的运动控制能力提出了严苛要求^[1]。传统轮式移动平台受限于非完整约束,难以在受限空间内完成侧向平移与原地旋转等灵活动作,而基于麦克纳姆轮(Mecanum wheel)的全向移动机构通过四轮独立驱动与速度矢量合成,能够实现平面内任意方向的平动及绕中心轴的旋转,已成为航空保障装备领域的研究热点^[2]。

近年来,国内外学者围绕麦克纳姆轮全向移动平台的动力学建模与运动稳定性开展了大量研究。Manzl 等针对麦克纳姆轮经典滚动模型精度不足的问题,提出了基于正交各向异性摩擦的改进动力学模型,并通过实验验证了该模型在多体动力学仿真中的有效性,为精确模拟轮-地接触力学行为提供了理论基础^[3]。Galati 等设计了一款面向工业应用的重型全向移动机器人,针对麦克纳姆轮在实际运行中因滚动半径变化引起的滑移和振动问题,提出了自适应航向校正控制策略,并在工业现场进行了实验验证,但其研究主要关注匀速运行工况,未涉及负载动态变化引起的重心偏移效应^[4]。在重型移动平台的实际作业场景中,负载的不均匀分布与位置变化往往导致整车重心发生偏移,进而影响各车轮的载荷分配与运动稳定性。Liu 等针对智能工厂中自动引导车(Automated Guided Vehicle, AGV)因货物摆放不规则导致质心变化的问题,建立了包含轮毂电机模型的车辆动力学模型,并设计了基于可拓理论与模型预测控制的分层横摆稳定性控制器,通过 CarSim 与 Simulink 联合仿真及实车试验验证了控制策略的有效性,但其侧重

收稿日期:2025-10-24

基金项目:安徽省高校自然科学研究重点项目(2023AH053090);安徽省高等学校省级质量工程项目(2024yljk055)

第一作者简介:程 林(1990—),男,江苏盱眙人,讲师,硕士,主要从事装备保障、车辆及零部件数字化设计与制造研究。E-mail:lchengcz@163.com

点在于低速转向工况下的横摆稳定性,对全向移动机构多方向运动耦合的系统分析尚不充分^[5]。Fu等采用多体动力学仿真方法,定量分析了转弯速率、质心高度及路面附着系数对重型AGV侧翻稳定性的影响,引入横向载荷转移率指标评估侧翻行为,结果表明转弯速率对侧翻稳定性的影响最大^[6]。

本研究在现有麦克纳姆轮运动学模型基础上,针对飞机发动机拆装车这一重型装备,构建了包含807 779个单元的精细化有限元模型,通过引入0.55~1.65 m前移量和0.3~0.6 m右移量的重心偏移变量,系统分析了非对称载荷下的运动性能,发现在0.6 m右移工况下侧向速度波动增幅达50%。研究进一步通过矩阵秩分析建立了运动可控性判据,为重载平台的运动稳定性控制提供了具体参数。

1 建模及材料

图1展示了飞机发动机拆装平台的三维模型,基于特征敏感度分析^[7],通过对包含全部细节特征(如局部倒角、细小孔洞)的原始三维模型进行特征敏感度分析,移除了最大尺寸<5 mm的非关键特征,建立了用于仿真的简化模型。相较于原始模型,简化后的有限元模型复杂度降低42%,计算效率提升2.3倍,在此基础上构建了包含807 779个单元的精细化有限元分析模型。图2呈现了基于非结构化网格的离散化模型,采用ADAMS 2022生成的IGES格式数模与ANSYS Mechanical实现双向数据交互,网格收敛性验证表明单元尺寸控制在3~12 mm时,应力误差<1.8%^[8]。该模型共生成807 779个单元,其中CTETRA单元占比68.2%(551 233个)、CQUAD4单元占比29.1%(234 862个),并依据ISO 898-1标准^[9]模拟66个M12螺栓预紧力(预紧力12.9 kN)及21 327个激光焊接接头,该模型与Chang等提出的多尺度连接建模方法高度吻合^[10]。在划分好的网格数模中赋予单元材料属性,本文发动机拆装平台采用高强度的碳锰钢(16MnL)^[11],弹性模量为206 500 MPa,屈服强度为355 MPa,抗拉强度为510 MPa,泊松比为0.3,材料密度为7 830 kg/m³,前后车轮跨距为3.94 m,左右车轮轴距为1.80 m,基于上述材料属性与几何结构,经软件核算,该飞机发动机拆装平台(空载)的自重约为35 t。

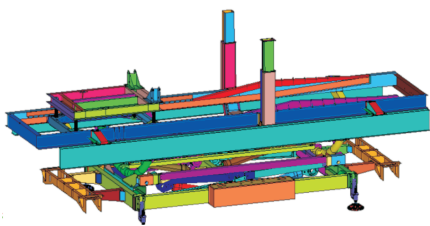


图1 三维模型

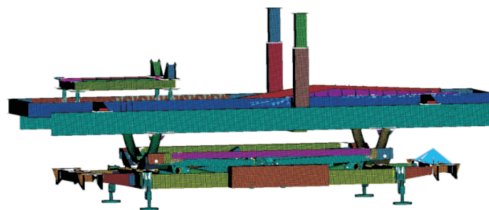


图2 离散化模型

2 麦克纳姆轮全向移动原理

飞机发动机拆装平台采用麦克纳姆四轮全向移动机构(图3)。图3(a)为前进与后退运动的简化原理示意图。以车辆前进为例,当四个麦克纳姆轮以相同转速沿前进方向转动时,各车轮与地面接触点处产生的摩擦力可分解为两个正交分力。前轮所受摩擦力分解为沿车辆前进方向的驱动力和指向车轮内侧的侧向力;后轮则分解为前进方向的驱动力与指向车轮外侧的侧向力。这两对侧向力在水平面内构成作用-反作用关系,相互抵消,因而不影响整车的前进运动。在该工况下,麦克纳姆轮主要提供前进方向的驱动力,实现车辆高效前行;通过反转轮组转向,可相应实现后退运动,体现其良好的运动可逆性。图3(b)展示了机构实现左右侧向运动的原理。以车辆向右运动为例,当轮1、轮3向前转动,轮2、轮4向后转动,且四轮转速相等时,轮1与轮2在垂直运动方向上的分力相互抵消,合成为向右的侧向推力;轮3与轮4情况类似。因此,四轮系统整体承受向右的合力,驱动车辆实现侧移。反向控制各轮转向即可实现向左运动。图3(c)为机构实现原地旋转的机理。当轮1、轮2向前转动,轮3、轮4向后转动,且四轮转速一致时,系统将产生绕其中心轴的顺时针合力矩,从而实现零半径顺时针旋转。通过调整轮组转向匹配,同样可实现逆时

针旋转,展现出机构的全向灵活性与紧凑空间中的机动能力。

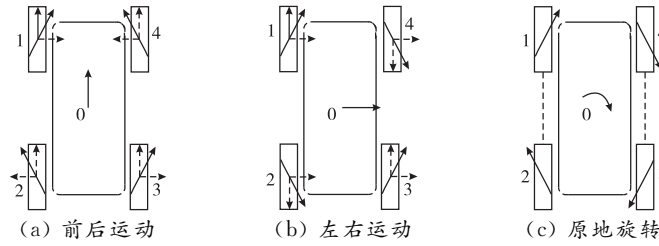


图 3 麦克纳姆轮四轮全向移动机构运动原理简图

3 全向移动机构数学模型

为完整描述飞机发动机拆装平台空间运动状态,本文建立以整车几何心 O 为原点的右手空间直角坐标系, X 、 Y 、 Z 三轴方向定义如下: X 轴为拆装平台前后纵向方向,向前为坐标轴正方向; Z 轴为拆装平台左右侧向方向,向右为坐标轴正方向; Y 轴为拆装平台竖直上下方向,向上为坐标轴正方向。

图 4 为拆装平台水平面俯视二维简图,仅表征车辆 X - Z 水平面内平移、回转运动及四轮速度耦合关系,故图纸中仅绘制 X 、 Z 水平坐标轴; 竖直 Y 轴用于表征拆装平台竖直升降、重心高度变化、垂向位移等空间维度参数,在后文重心偏移工况下的三维位移仿真结果分析中使用。

每一个麦克纳姆轮单元都拥有独立的轮体局部坐标系 $X'O'Z'$, 该坐标系原点 O' 严格定义在对应轮子辇子啮合中心,各麦克纳姆轮独立局部坐标系 $X'O'Z'$ 均建立于水平面内,仅参与平面运动学求解。其中, V_{L1} 、 V_{L2} 、 V_{L3} 及 V_{L4} 分别为序号①~④麦克纳姆轮轮速, V_{g1} 、 V_{g2} 、 V_{g3} 及 V_{g4} 分别为 4 个麦克纳姆轮对应滚轮速度。图 4 中仅标出麦克纳姆轮与路面瞬时接触的状态^[9]。其中, W 为车轮轴距, L 为飞机发动机拆装车前后车轮跨距, R 为麦克纳姆轮半径, ①~④为麦克纳姆轮编号。

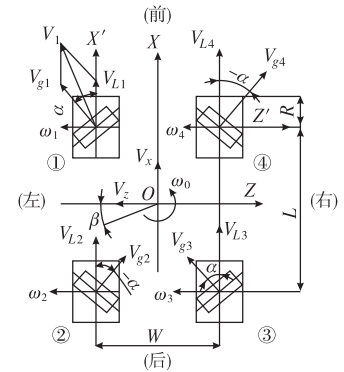


图 4 受力分析简图

由坐标系 $X'O'Z'$, 可得麦克纳姆轮轴心移动速度

$$\mathbf{V}_O = \begin{bmatrix} R & \cos \alpha \\ 0 & \sin \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ V_{g1} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

通过坐标转换法,将 $X'O'Z'$ 坐标系转换为 XOZ 坐标系,并得到新的麦克纳姆轮轴心移动速度

$$\mathbf{V}_O = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -W/2 \\ 0 & 1 & L/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

麦克纳姆轮在运动时 $\mathbf{V}_O = \mathbf{V}_0$, 将式(1)和式(2)整合后,获得新的矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/R & -1/(R \times \tan \alpha) & -(W \times \tan \alpha + L)/(2R \times \tan \alpha) \\ 1/R & 1/(R \times \tan \alpha) & -(W \times \tan \alpha + L)/(2R \times \tan \alpha) \\ 1/R & -1/(R \times \tan \alpha) & (W \times \tan \alpha + L)/(2R \times \tan \alpha) \\ 1/R & 1/(R \times \tan \alpha) & (W \times \tan \alpha + L)/(2R \times \tan \alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_{g1} \\ V_{g2} \\ V_{g3} \\ V_{g4} \end{bmatrix} = \mathbf{N} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/\sin \alpha & L/(2\sin \alpha) \\ 0 & -1/\sin \alpha & L/(2\sin \alpha) \\ 0 & 1/\sin \alpha & -L/(2\sin \alpha) \\ 0 & -1/\sin \alpha & -L/(2\sin \alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

其中,式(3)中 $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)^T$ 直接决定了飞机发动机拆装平台麦克纳姆轮的运动方式,确保移动机构能够实现全向移动。矩阵 $\mathbf{M}$ 的秩必须为满秩3,若小于3则移动机构运行方式不可控。因此,可得

$$(W \times \tan \alpha + L) / (2R \times \tan \alpha) \neq 0,$$

即 $\alpha \neq -\arctan(L/W)$ 。

由式(3)(4)可知,通过调节 V_x 、 V_z 和 ω_0 的值便可实现对飞机发动机拆装平台移动机构的全向运动。

当 $V_x=0, \omega_0=0$,但 $V_z \neq 0$ 时,麦克纳姆轮沿 Z 轴方向运动,即

$$-\omega_1 = \omega_2 = -\omega_3 = \omega_4 = V_z / (R \times \tan \alpha)。 \quad (5)$$

当 $V_z=0, \omega_0=0$,但 $V_x \neq 0$ 时,麦克纳姆轮沿 X 轴方向运动,即

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = V_x / R。 \quad (6)$$

当 $V_z=0, V_x=0$,但 $\omega_0 \neq 0$ 时,麦克纳姆轮绕原点 O 旋转,即

$$-\omega_1 = -\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = (W \times \tan \alpha + L) / (2R \times \tan \alpha) \times \omega_0。 \quad (7)$$

当 $V_x = V \times \cos \beta, V_z = V \times \sin \beta, \omega_0 = 0$ 时,麦克纳姆轮便可完成沿任意方向以速度 V 运动:

$$\omega_1 = \omega_3 = V(\cos \beta - \sin \beta / \tan \alpha) / R, \omega_2 = \omega_4 = V(\cos \beta + \sin \beta / \tan \alpha) / R。$$

4 重心前偏移工况下运动学仿真

在实际作业中,待拆装发动机的轴向移动会造成拆装平台重心前后偏移,鉴于设备为矩形对称结构,选取重心前移作为典型工况开展仿真分析;结合机构3.94 m的前后轮跨距,设置0.55、1.10、1.65 m三种前移偏移量并计算单轮承载载荷:偏移0.55 m时,单前轮承载为18 926.0 N,单后轮承载为11 034.0 N;偏移1.10 m时,单前轮承载为22 832.0 N,单后轮承载为7 294.0 N;偏移1.65 m时,单前轮承载为26 978.8 N,单后轮承载为3 324.6 N。

4.1 重心前偏移前后运动仿真

依据表1,当重心前偏移量分别为0.55、1.10和1.65 m时,分别在仿真软件中输入前后车轮的载荷,将移动机构前进方向规定为正方向,相反方向规定为负方向。同时参考式(6)输入4个麦克纳姆轮的角速度: $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = V_x / R = 10\pi/3$ 。仿真结果如图5所示。

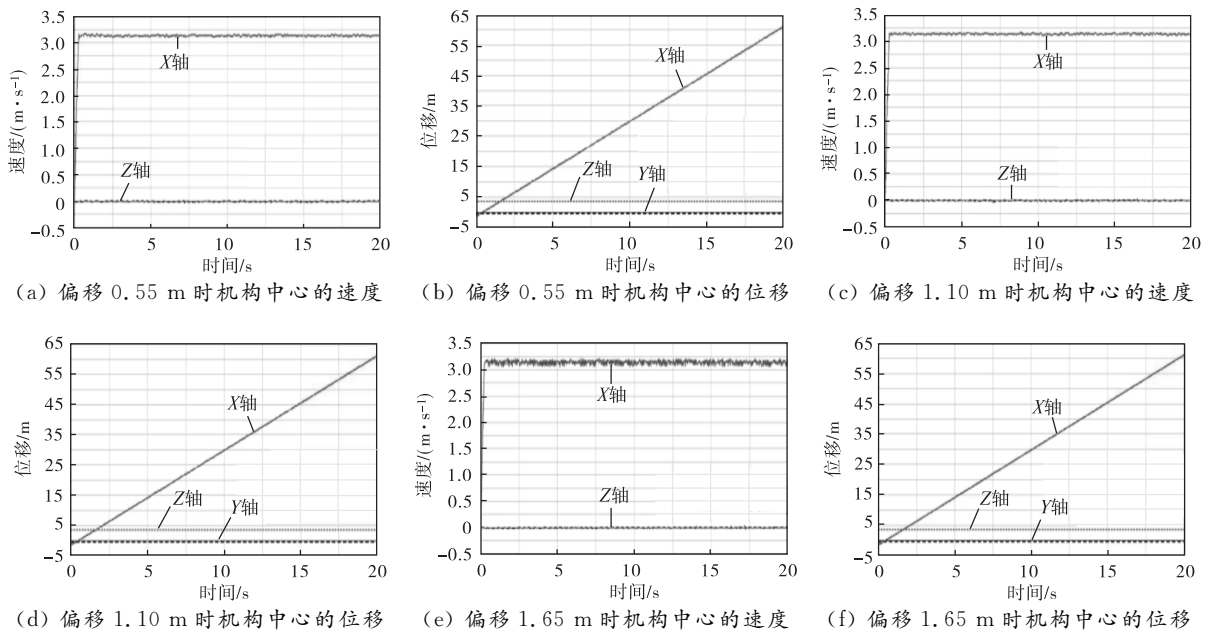


图5 不同前偏移量下机构前后运动曲线

由图5(a)(c)和(e)可知,尽管移动机构的重心位置存在差异,但三种工况下的速度曲线形态基本一

致。具体表现为:当机构沿前进方向运动且速度趋于稳定后,其中心速度在 X 轴方向(径向)围绕某一稳定值小幅波动,在 Z 轴方向则始终保持近似水平直线,且波动幅值接近于零,表明拆装车重心前后偏移对机构速度特性的影响较为有限。由图 5(b)(d)和(f)可知,尽管重心偏移量不同,但三种工况下机构在 X 、 Y 、 Z 三个方向上的位移曲线变化规律高度一致。 X 轴方向呈恒定斜率的线性增长,而 Y 轴与 Z 轴方向均表现为近似水平的直线,进一步说明重心前后偏移对机构沿 X 轴方向的前后运动影响可忽略不计。

4.2 重心前偏移左右运动仿真

在仿真软件 ADAMS 中分别设置偏移量 0.55、1.10、1.65 m,并相应输入对应的车轮载荷。将移动机构前进方向规定为正方向,反方向规定为负方向。同时参考式(5)输入对应麦克纳姆轮的角速度:

$$\omega_1 = \omega_3 = V_z/R = 10\pi/3, \omega_2 = \omega_4 = V_z/R = -10\pi/3,$$

仿真结果如图 6 所示。

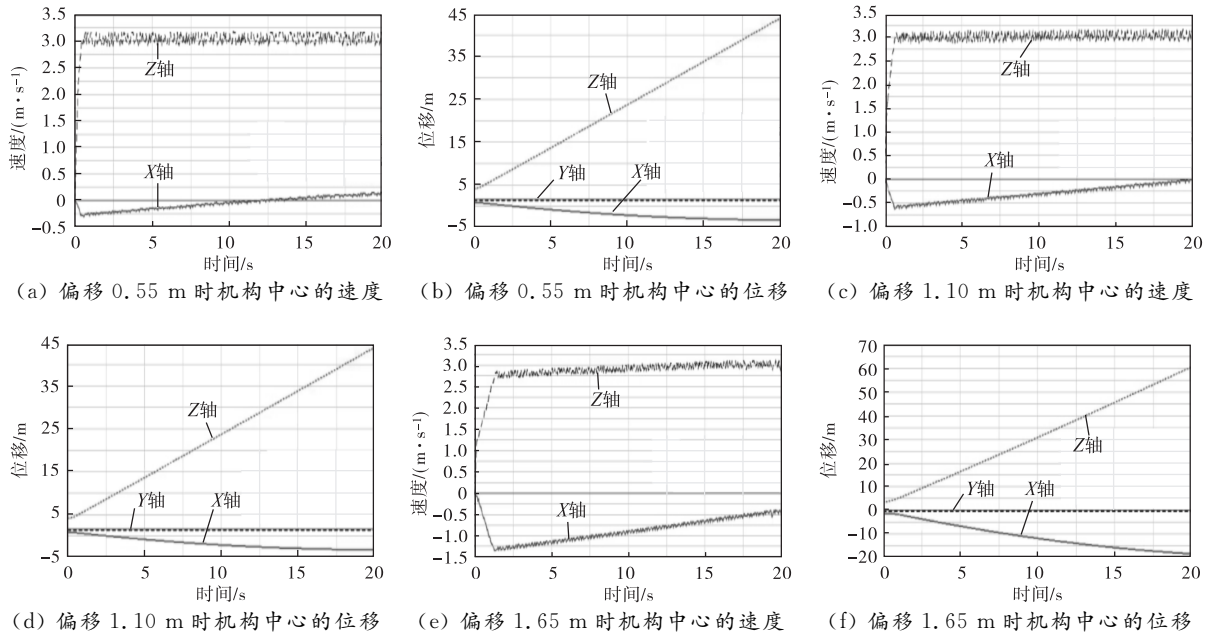


图 6 不同前偏移量下机构左右运动曲线

图 6(a)(c)和(e)显示,当移动机构进行左右运动且速度趋于稳定时,其中心速度在 Z 轴方向围绕某一定值波动,且波动幅度明显大于前后运动工况;在 X 轴方向则呈现为三条斜率不同的直线,且偏移量越大,直线斜率越大。这表明,移动机构重心的前后偏移对其左右运动的速度特性影响显著,偏移量越大,机构中心速度变化越剧烈,运动过程中的冲击现象也越明显。

由图 6(b)(d)和(f)中位移曲线可知,机构中心在 X 轴与 Z 轴方向均表现为斜率不同的直线,且偏移量越大,直线斜率越大; Y 轴方向位移则基本保持不变。与正常工况相比,麦克纳姆轮重心前后偏移量越大,对机构左右运动性能的影响越显著,进一步证实了重心位置对侧向运动稳定性的重要影响。

4.3 重心前偏移原地旋转运动仿真

在虚拟样机的基础上进行设置,并参照公式(7),将 4 个麦克纳姆轮的角速度分别设置为

$$\omega_1 = \omega_2 = -(W \times \tan \alpha + L)/(2R \times \tan \alpha) \times \omega_0 = -10\pi/3, \omega_3 = \omega_4 = 10\pi/3,$$

并将其设置为旋转副。依次将偏移量设置为 0.55、1.10、1.65 m,并相应输入对应的车轮载荷,分别对其进行旋转运动仿真,具体运动仿真结果如图 7 所示。如图 7(a)(c)和(e)所示,当移动机构旋转运动趋于稳定后,其中心角速度曲线均围绕某一稳定值小幅波动,且不同偏移量下的角速度数值基本一致,表明重心在前后方向上的偏移对机构原地旋转运动的角速度影响较小。图 7(b)(d)和(f)中的位移曲线显示,在不同重心偏移量下,机构中心在 X 、 Y 、 Z 三个轴向上的位置变化趋势高度一致,波动幅度均保持在较小范

围。这一结果进一步证实,重心前后偏移对机构原地旋转运动的轨迹影响有限,机构在不同偏移条件下均能保持稳定的旋转性能。

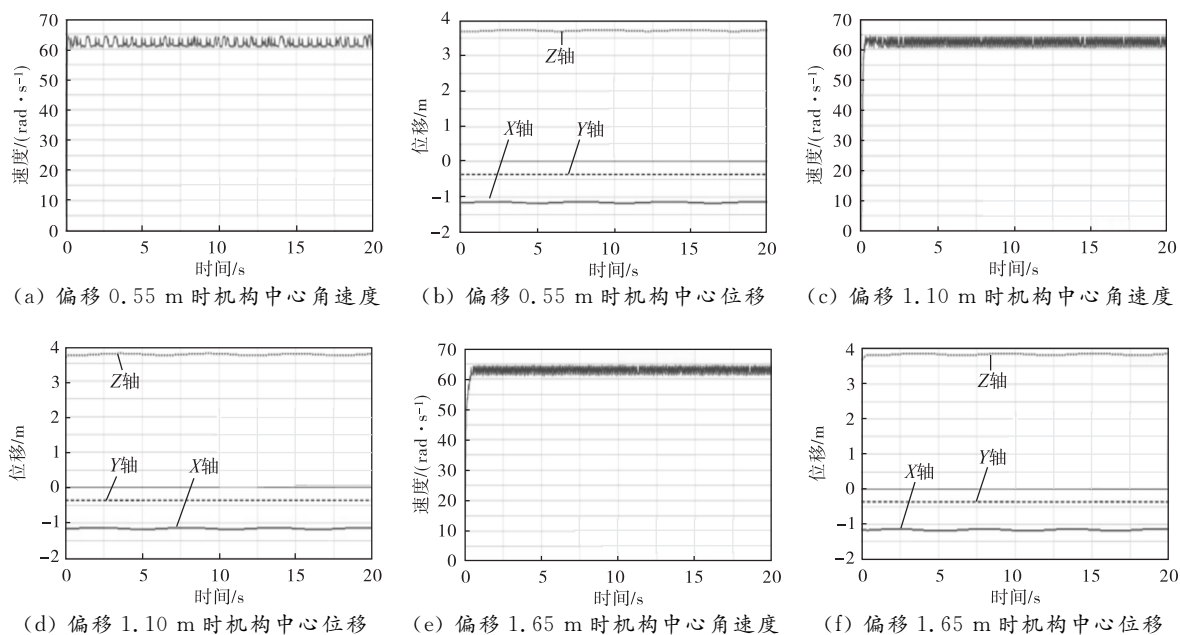


图7 不同前偏移量下机构原地旋转运动曲线

5 重心右偏移工况下运动学仿真

在实际作业过程中,飞机发动机在拆装平台上的横向移动可能导致平台重心发生侧向偏移。鉴于该移动平台采用矩形对称结构,其左右方向的偏移分析方法具有一致性,本章以重心右移为典型工况,结合机构 1.8 m 的左右轮距,选取 0.3、0.6 m 两种重心右移偏移量(分别对应轮距的 1/6、1/3)计算单轮承载载荷,以此研究不同偏移量对全向移动机构直行、侧移及原地回转运动的影响,各工况单轮承载结果如下:重心右移 0.3 m 时,单个左轮承载为 10 612.0 N,单个右轮承载为 19 528.0 N;重心右移 0.6 m 时,单个左轮承载为 6 098.4 N、单个右轮承载为 24 762.8 N。

5.1 重心右偏移前后运动仿真

依据表 2 设置机构重心右偏移量分别为 0.3、0.6 m 时,在仿真软件中输入左右车轮的载荷,探讨该工况下不同偏移量对机构前后运动的影响。将移动机构前进方向规定为正方向,并参考式(6),将麦克纳姆轮的角速度分别设置为 $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = V_x/R = 10\pi/3$,其结果如图 8 所示。

图 8(a)(c)显示,在不同重心右偏移量条件下,机构中心在 X 轴(径向)和 Z 轴(侧向)的速度曲线形态基本一致。值得注意的是,当偏移量达到 0.6 m 时,Z 轴方向的侧向速度波动幅值显著增大,经计算,其最大增长率高达 50%;而 X 轴方向的速度曲线变化相对较小,始终保持在近似水平的直线状态,仅伴有轻微波动。图 8(b)(d)的位移曲线进一步验证,尽管重心偏移量不同,但 X 轴方向的位移曲线均呈现为通过原点且斜率一致的直线,Y 轴方向则始终与零线重合。当偏移量为 0.6 m 时,Z 轴位移曲线的斜率明显增大,表明随着重心右移偏移量的增加,机构在前后运动过程中产生的侧向抖动更为显著。这一现象充分说明了重心横向偏移对机构运动稳定性的重要影响,偏移量越大,对侧向运动稳定性的干扰越明显。

5.2 重心右移左右运动仿真

依据表 2 当机构重心右移量分别为 0.3、0.6 m 时,在仿真软件中输入左右车轮的载荷,探讨该工况下不同偏移量对机构左右运动的影响。将移动机构前进方向规定为正方向,并参考式(5)将麦克纳姆轮的角速度分别设置为: $\omega_1 = \omega_3 = V_z/R = 10\pi/3$, $\omega_2 = \omega_4 = V_z/R = -10\pi/3$,结果如图 9 所示。

由图 9(a)(c)可知,在不同重心右移偏移量条件下,机构中心在 Z 轴方向的速度曲线均围绕 3.0 m/s 基准值上下波动,且偏移量变化未对波动幅值产生系统性影响。图 9(b)(d)的位移曲线进一步验证,不同偏移量下, Z 轴方向位移均呈现为过原点且斜率一致的直线,而 X 轴与 Y 轴位移曲线始终与零线重合。结果表明,重心在右移工况下对机构左右运动的稳定性未产生显著干扰,其影响可忽略不计。

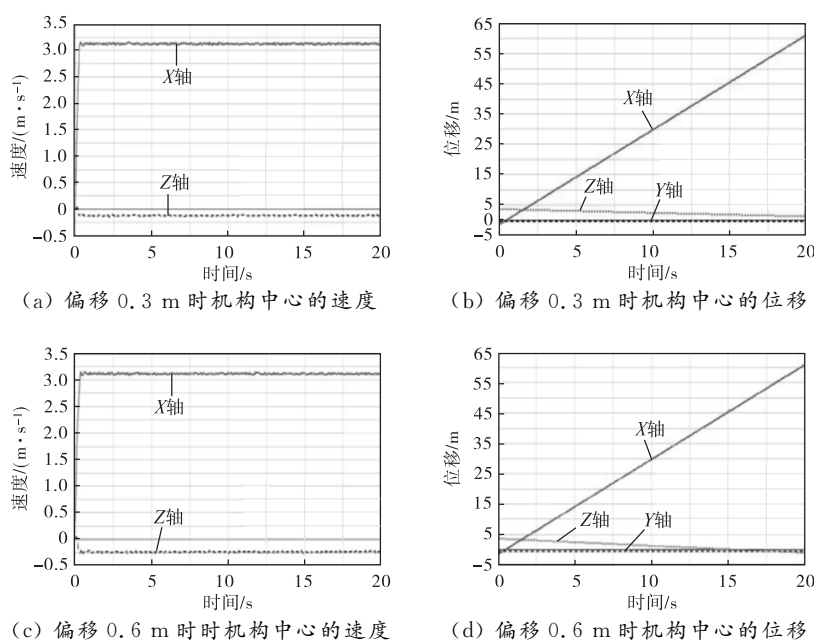


图 8 不同右偏移量下机构前后运动曲线

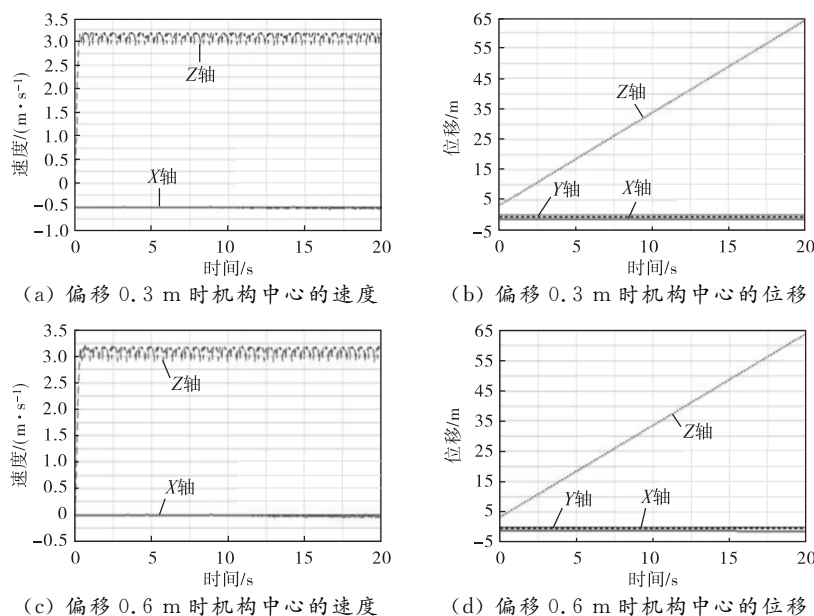


图 9 不同右偏移量下机构左右运动曲线

5.3 重心右偏移原地旋转运动仿真

在虚拟样机的基础上进行设置,并参照式(7),将麦克纳姆轮的角速度分别设置为 $\omega_1 = \omega_2 = -(W \times \tan \alpha + L) / (2R \times \tan \alpha) \times \omega_0 = -10\pi/3$; $\omega_3 = \omega_4 = 10\pi/3$,并将其设置为旋转副。将偏移量依次设置为 0.3、0.6 m,探讨该工况下不同偏移量对机构原地旋转运动的影响,仿真结果见图 10。

图 10(a)(c)显示,当机构旋转运动趋于稳定时,其中心角速度数值及波动幅度均未因重心偏移量的

不同而产生显著变化,始终维持在 $60 \sim 70 \text{ rad/s}$,表明重心右偏对机构原地旋转运动的动态特性影响较小。图 10(b)(d)中的位移曲线进一步验证:在 X 、 Y 、 Z 三个方向上,位移均表现为近似水平的直线,波动幅度较小,说明不同重心偏移量对机构旋转过程中的轨迹稳定性影响极为有限。

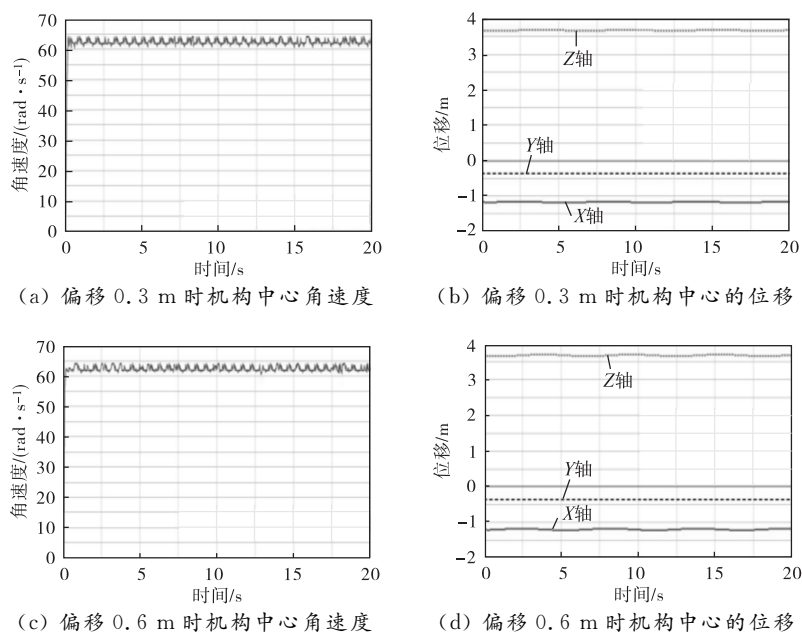


图 10 不同右偏移量下机构原地旋转运动曲线

6 结论

建立了飞机发动机拆装平台全向移动机构的高精度仿真模型,模型复杂度降低 42%,计算效率提升 2.3 倍,为后续多工况分析提供了可靠数值平台。重心前后偏移对机构运动的影响具有方向特异性:前后运动中速度与位移曲线基本不受影响,而左右运动中速度波动与位移斜率随偏移量增大而显著增加,表明侧向运动对纵向重心变化更为敏感。重心右移对机构左右运动稳定性影响有限,各速度与位移参数在偏移量 $0.3 \sim 0.6 \text{ m}$ 保持一致;但在前后运动中,偏移量为 0.6 m 时 Z 轴速度波动增长 50%,位移斜率显著增大,揭示横向偏移会引发侧向运动耦合。在所有偏移工况下,机构原地旋转运动的角速度($60 \sim 70 \text{ rad/s}$)与多轴位移均保持稳定,证明重心偏移对旋转模态影响较小,机构具备良好的旋转运动鲁棒性。本研究提出的多工况仿真方法与稳定性分析结论,可为航空保障装备在负载动态变化条件下的运动控制策略提供参考,后续将开展实机试验验证与自适应控制算法研究。

参考文献:

- [1] 段运雄. Mecanum 轮式全向移动平台的开发研究[J]. 机器人技术与应用, 2022(4):14-18.
- [2] 王凯强. 基于麦克纳姆轮全向移动分析与仿真研究[J]. 内燃机与配件, 2023(1):14-16.
- [3] Manzl P, Sereinig M, Gerstmayr J. A mecanum wheel model based on orthotropic friction with experimental validation[J]. Mechanism and Machine Theory, 2024, 193:105548.
- [4] Galati R, Mantriota G, Reina G. Adaptive heading correction for an industrial heavy-duty omnidirectional robot[J]. Scientific Reports, 2022, 12:19608.
- [5] Liu Wei, Zhang Qingjie, Wan Yidong, et al. Yaw stability control of automated guided vehicle under the condition of centroid variation[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2022, 44:18.

- [6] Fu Weijie, Wang Xinyu, Zhang Xinming. Rollover stability of heavy-duty AGVs in turns considering variation in friction coefficient[J]. *Lubricants*, 2023, 11(3): 119.
- [7] Li Ming, Gao Shuming, Martin Ralph R. Estimating the effects of removing negative features on engineering analysis[J]. *Computer-Aided Design*, 2011, 43(11): 1402-1412.
- [8] Tang Jianguo, Gao Shuming, Li Ming. Evaluating defeaturing-induced impact on model analysis[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 57(3/4): 413-424.
- [9] ISO 898-1:2013 Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel—Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes—Coarse thread and fine pitch thread[S].
- [10] Chang Yu, Ding Jianguo, Fan Hui, et al. A hybrid method for bolted joint modeling considering multi-scale contact mechanics[J]. *Precision Engineering*, 2022, 78: 171-188.
- [11] Chen Hao, Yang Fan, Wu Zhen, et al. A nonlinear fatigue damage accumulation model under variable amplitude loading considering the loading sequence effect[J]. *International Journal of Fatigue*, 2023, 117: 107945.

Effect of center of gravity offset on the omnidirectional stability of aircraft engine disassembly and assembly platform

CHENG Lin, WANG Kun, LIU Chenlai

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Chuzhou Polytechnic,
Chuzhou 239000, China)

Abstract: To address the issue of high-precision positioning of mobile platforms during aircraft engine disassembly and assembly, a multi-body dynamics model based on Mecanum wheels was established to study the motion stability of the engine disassembly platform under various center-of-gravity offset conditions. Through joint simulation using ADAMS and ANSYS, a refined model comprising 807 779 elements was constructed. The study systematically analyzed the impact of forward (0.55 m, 1.1 m, 1.65 m) and rightward (0.3 m, 0.6 m) center-of-gravity shifts on the performance of the engine disassembly platform. The results indicate: forward center-of-gravity shifts have negligible effects on longitudinal motion but cause significant velocity fluctuations in lateral movement (with a 50% increase in Z-axis velocity fluctuations at a 1.65 m offset); rightward shifts do not significantly affect lateral motion stability but exacerbate lateral jitters during longitudinal movement.

Keywords: engine disassembly and assembly platform; omnidirectional mobility; center of center of gravity offset; asymmetric load; motion stability

(责任编辑:王新亮)

引用格式 程林,王坤,刘晨来.重心偏移对飞机发动机拆装平台全向移动稳定性的影响[J].山东航空学院学报,2026,43(4):62-70.

Cheng Lin, Wang Kun, Liu Chenlai. Effect of center of gravity offset on the omnidirectional stability of aircraft engine disassembly and assembly platform[J]. *Journal of Shandong University of Aeronautics*, 2026, 43(4): 62-70.