

民机起落架机构破冰动力学仿真分析方法



强国彦,薛小锋,冯蕴雯

西北工业大学,陕西 西安 710072

摘要:民机在遭遇降雪、降霜、冻雨等极端气候条件时,运动机构有可能附着冰层,当积冰达到一定程度,便可能影响到机构的正常运动。为研究起落架机构在上述极端气候条件下的环境适应能力,基于 ADAMS 建立民机起落架多体动力学模型,考虑重力、冰层黏滞力、摩擦力对机构运动的影响,仿真分析了不同温度、不同冰型下的起落架机构的驱动力矩。研究发现,常温无冰工况下,起落架收放动作受重力影响最大;当在环境温度 -25°C 左右形成冻结冰时,起落架所需破冰驱动力矩最大;起落架发生结冰(冻结冰或撞击冰),破除冰层所需驱动力矩数值的分散性很大;起落架严重积冰时,仅靠驱动无法实现破冰,需进行除冰作业。本文建立起落架多工况破冰动力学模型的建模流程具有很好的移植性,可推广到其他机构的破冰动力学仿真。

关键词:民机;起落架;冰;动力学分析;环境影响

中图分类号:V226

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2023.08.006

结冰是航空的主要天气灾害之一,从地面等待起飞的飞机到巡航高度的飞机,结冰危险均存在^[1]。随着民机使用环境越发丰富,由极端环境引起的起落架故障也不断增多^[2]。因此,评估飞机起落架结冰工况下是否能正常使用就显得尤为重要。

在飞机结冰预测方面,Politovich 等^[3]将飞机结冰研究的数值模拟结果与飞行观测结果比较,评价了飞机结冰环境的一般特征。Sitnikov 等^[4]基于 TSU-NM3 气象模式分析了促进飞机在大气边界层结冰的气象条件。Yi Xian 等^[5]基于深度神经网络建立了飞机结冰冰型的预测模型。在飞机起落架故障分析方面,张惠等^[6]指出高温、高寒、湿热、结冰等极端气候条件下起落架极易出现运动卡滞或收放不同步的故障。朱晨辰等^[7]针对高低温、侧风下的起落架动力学行为研究现状进行了分析与总结。在飞机起落架动力学分析方面,胡锐等^[8]就舰载机起落架动力学相关试验进行了调研综述。杜金柱等^[9]对起落架突伸缓冲器进行了动力学建模与仿真,结合遗传算法,求得了临界质量。田佳杰等^[10]指出起落架收放系统中运动构件多,系统由多个驱动

力协调工作,不同阶段驱动力在变化,因此对于起落架收放系统的研究主要应用动力学仿真的方法。印寅等^[11]采用虚拟仿真及物理试验相结合的方法对飞机起落架收放系统性能进行研究。魏亮亮等^[12]采用 Simcenter 3D Motion 建立了基于全机起落架机构的仿真模型。崔飞等^[13]利用 CATIA 和 LMS Virtual. Lab 对某支柱式起落架进行收放运动学和动力学以及落震仿真分析。刘照曦等^[14]基于 ADAMS 进行主起落架的落震仿真,发现基于 ADAMS 建立仿真模型可有效描述真实起落架仿真过程。徐尧等^[15]基于多柔体动力学理论,提出一种飞机起落架多柔体 ADAMS 建模和落震动力仿真方法。

综上所述,目前针对民机结冰预测工作已有开展。针对起落架动力学仿真主要集中在机构收放功能、落振、液压传动等领域,而对极端气候条件冰层如何影响起落架机构运动的分析工作开展较少。本文基于 ADAMS 平台,参考结冰试验数据,建立民机起落架机构破冰动力学仿真模型,分析了环境温度、冰层厚度对起落架收放功能的影响。仿真结果可为极端气候条件下飞机起落架使用提供参考,为

收稿日期: 2023-04-28; 退修日期: 2023-06-11; 录用日期: 2023-07-12

基金项目: 航空科学基金(20200009053002)

引用格式: Qiang Guoyan, Xue Xiaofeng, Feng Yunwen. Dynamic simulation analysis method for icebreaking of landing gear mechanism of civil aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(08): 44-50. 强国彦, 薛小锋, 冯蕴雯. 民机起落架机构破冰动力学仿真分析方法[J]. 航空科学技术, 2023, 34(08): 44-50.

起落架地面防冰/除冰提供依据。

1 起落架机构破冰建模基础

1.1 起落架工作原理

起落架是供飞机起飞、着陆时在地面上滑跑、滑行和移动、停放用的,是飞机的主要部件之一,其工作性能的好坏以及可靠性直接影响飞机的使用和安全。

典型民用机起落架机构如图1所示,主要由机轮、支柱、摇臂、拉杆、作动筒、起落架舱门、上位锁等组成。当起落架下放时,上位锁解锁,起落架可在自身重力作用下绕转轴向下旋转;同时,重力矩通过连杆机构作用于舱门,使舱门先打开后关闭;作动筒在机构运动过程中做负功,以防止起落架下放过快,机构摩擦矩则在运动过程中做负功,即重力矩>驱动力矩+摩擦阻力矩。当起落架收起时,作动筒破除起落架下位锁的平衡力,使起落架绕旋转轴向上旋转;同时,驱动力矩通过连杆机构作用于舱门,使舱门先打开后关闭;起落架自重机构运动过程中做负功,机构摩擦矩则在运动过程中做负功,即驱动力矩>重力矩+摩擦阻力矩。

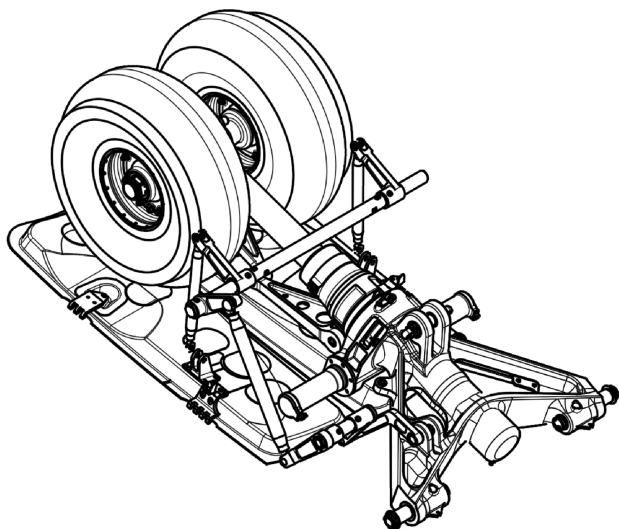


图1 典型民机起落架机构

Fig.1 Mechanism of typical landing gear of civil aircraft

1.2 起落架结冰工况

结冰通常有明冰、混合冰、毛冰等之分,冰型又分为羊角冰、楔形冰、无定形冰等^[6]。针对飞机积冰特点,可分为空中撞击冰和地面冻结冰两大类。

关于飞机积冰,一方面是民机在降落阶段遭遇降雪、降霜、冻雨等气象,机构易附着冰霜。另一方面,由于缺乏先

进的地面结冰探测手段,寒冷天气,飞机带霜、雪或冰起飞的情况仍时有发生,从而对飞机飞行安全构成了很大的威胁^[17]。值得注意的是,降落阶段,起落架表面附着的是撞击冰;地面停泊阶段,起落架附着的是冻结冰,两者强度有所差异。

起落架机构结冰工况分析逻辑:(1)影响起落架结冰的条件主要包括环境温度、冻结时长以及冰层类型;(2)冻结时长影响运动副分离面上冰层的面积与冰层剪切黏附强度,冰型影响冰层剪切黏附强度,环境温度则影响冰层剪切黏附强度和运动副摩擦因数。

基于已有试验经验可知:环境温度对机构附着的冰层强度有显著影响;结冰的冻结时长对冰层剪切黏附强度的影响不显著^[18]。因此,起落架结冰工况控制变量简化为冰型(降落撞击冰和地面停泊冻结冰)、环境温度,以及破冰面积三个。向下一级,不同冰型不同温度下的冰层剪切黏附强度以及不同温度下的机构运动副摩擦因数均可参考试验数据来确定,破冰面积则基于机构几何特征与一般经验进行确定。

2 起落架机构多体动力学建模

2.1 机构破冰动力学建模流程

机构破冰动力学建模流程为:(1)导入起落架CATIA模型,建立模型材料库,指派零部件材料属性。对摇杆组件、调节管等机构件添加7075材料,密度为 2.796g/cm^3 ,对拉杆组件、轴组件等机构件添加不锈钢17-4PH材料,密度为 7.86g/cm^3 。(2)添加起落架模型位移边界关系。根据模型真实运动副结构,依次添加零部件之间对应的转动副、移动副、圆柱副、胡克副和球副等连接关系,并对各个运动副添加库仑摩擦属性;对无相对运动的零部件之间或零部件与大地之间添加固定副约束。(3)添加起落架模型载荷边界条件。计算拟定工况下的结冰区域冰层黏滞阻力,以阻力矩的形式添加至就近运动副上。(4)添加起落架模型驱动。根据真实起落架收放运动学特征编写STEP驱动函数,添加至主作动筒驱动的旋转副处。(5)添加机构运动传感器。传感器包括起落架支柱的角速度与角位移等。(6)设置模型求解器,进行动力学计算。即进行模型验证,设置求解器为动力学模式,添加分析步数和时长,并提交求解。(7)起落架仿真数据处理。即进入ADAMS软件后处理模块,输出起落架模型驱动力矩、重力矩、阻力矩,基于数据分析结冰工况下的起落架机构破冰运动规律。

2.2 重力因素考虑

起落架重量(质量)约占全机的3.7%~5%,占飞机结构重量的10%~15%。起落架机构质量主要分布在支柱上,随起落架收放运动,重力参与做功。在ADAMS平台,可对模型添加全局重力,一般取模型重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$ 。

2.3 结冰载荷因数考虑

关于结冰载荷计算,需确定起落架机构各个结冰面上的破冰面积,然后参考表1地面冻结冰试验数据^[18]和空中撞击冰试验数据^[19],标定结冰区域的冰层黏滞力载荷。

表1 冰层剪切黏附强度

Table 1 Shear adhesion strength of ice

冰型	冰层剪切黏附强度/MPa		
	-15℃	-25℃	-35℃
地面冻结冰	0.477	0.672	0.177
空中撞击冰	-8℃	-12℃	-16℃
	0.361	0.487	0.577

通过机构力平衡关系,可将冰层黏滞力等效至结冰区域的就近运动副,以简化建模操作。计算起落架不同工况下破冰黏滞阻力见表2、表3。

值得注意的是,飞机降落阶段,起落架舱门一周是可能结冰的区域,舱内机构结冰概率很小;飞机地面停泊阶段,起落架舱门一周以及起落架各个运动副均有可能被冻结冰覆盖,因此破冰面积可能更大。

美国联邦航空条例(FAR)将飞机积冰等级分为4类,分别为微量积冰、轻度积冰、重度积冰和严重积冰,表2中结冰面积是结合各个运动副几何参数并假设各运动副分离面均布30mm冰层(严重积冰)来确定;冰层等效阻力矩则是结合结冰面积、冰层剪切黏附强度,等效到运动副旋转中心上。

2.4 机构运动摩擦因素考虑

起落架机构在收放运动过程中,涉及大量运动副的摩擦。根据试验数据^[20],典型自润滑轴承在低温下的摩擦因数,如图2所示。通过插值即可得起落架机构在不同温度工况下的轴承摩擦因数,见表4。

3 起落架机构破冰仿真结果分析

3.1 常温无冰工况

已知起落架运动学特征如图3、图4所示。为起落架模型编写STEP驱动函数,实现真实运动特征,并输出起落架力矩曲线,如图5所示。由图5起落架驱动力矩、重力矩及阻力矩关系发现:(1)常温无冰工况下,起落架收放运动受

表2 飞机停泊时起落架机构冰层黏滞力

Table 2 Ice viscosity of landing gear mechanism at anchorage

冻结温度/℃	运动副	等效阻力矩/(N·mm)
-15	机身-支柱	120.23×10^3
	支柱-后拉杆	19.57×10^3
	后拉杆-后摇臂	15.59×10^3
	摇臂拉杆-作动筒1	11.82×10^3
	作动筒1-前摇臂	11.82×10^3
	前摇臂-作动筒2	10.25×10^3
	前摇臂-作动筒3	10.25×10^3
	作动筒2-左舱门	10.25×10^3
	作动筒3-右舱门	10.25×10^3
	左舱门-机身	9867.68×10^3
-25	右舱门-机身	9867.68×10^3
	机身-支柱	169.38×10^3
	支柱-后拉杆	27.57×10^3
	后拉杆-后摇臂	21.97×10^3
	摇臂拉杆-作动筒1	16.65×10^3
	作动筒1-前摇臂	16.65×10^3
	前摇臂-作动筒2	14.43×10^3
	前摇臂-作动筒3	14.43×10^3
	作动筒2-左舱门	14.43×10^3
	作动筒3-右舱门	14.43×10^3
-35	左舱门-机身	13901.64×10^3
	右舱门-机身	13901.64×10^3
	机身-支柱	44.61×10^3
	支柱-后拉杆	7.26×10^3
	后拉杆-后摇臂	5.79×10^3
	摇臂拉杆-作动筒1	4.38×10^3
	作动筒1-前摇臂	4.388×10^3
	前摇臂-作动筒2	3.80×10^3
	前摇臂-作动筒3	3.80×10^3
	作动筒2-左舱门	3.80×10^3
	作动筒3-右舱门	33.80×10^3
	左舱门-机身	3661.59×10^3
	右舱门-机身	3661.59×10^3

表3 飞机着陆时起落架机构冰层黏滞力

Table 3 Ice viscosity of landing gear mechanism during landing

冻结温度/℃	运动副	等效阻力矩/(N·mm)
-8	左舱门-机身	7468.00×10^3
	右舱门-机身	7468.00×10^3
-12	左舱门-机身	10074.55×10^3
	右舱门-机身	10074.55×10^3
-16	左舱门-机身	11936.38×10^3
	右舱门-机身	11936.38×10^3

重力的影响最大;(2)起落架放下过程,摩擦矩峰值仅为重力矩峰值的3.65%,起落架收起过程,摩擦矩峰值则仅为重力

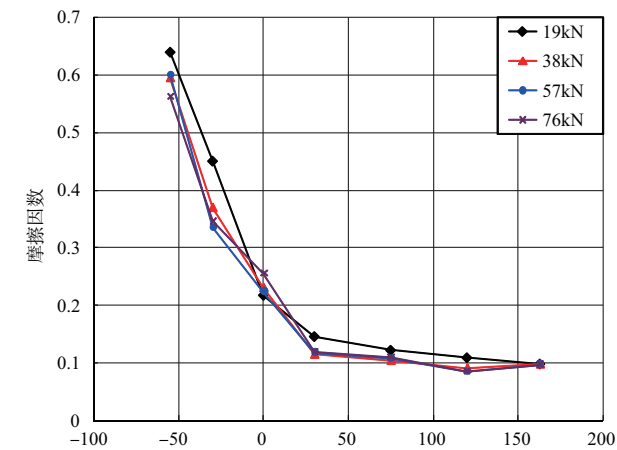


图2 自润滑轴承摩擦因数

Fig.2 The friction coefficient of self-lubricating bearing

表4 起落架轴承摩擦因数

Table 4 Friction coefficient of landing gear bearings

冰型	自润滑轴承摩擦因数		
	-15℃	-25℃	-35℃
地面冻结冰	0.287	0.345	0.415
空中撞击冰	0.253	0.272	0.292

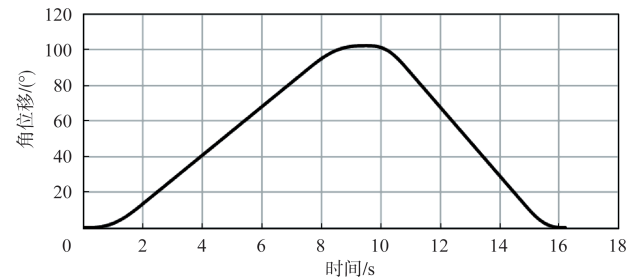


图3 起落架支臂角位移

Fig.3 Angular displacement of landing gear arm

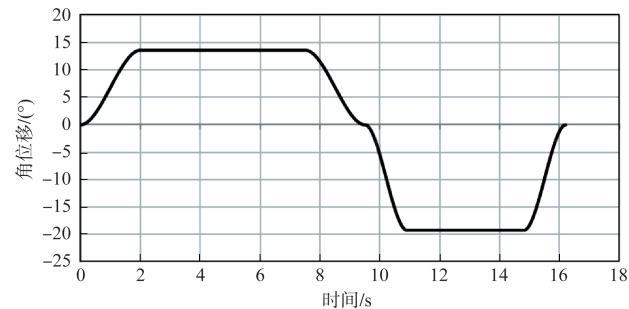


图4 起落架支臂角速度

Fig.4 Angular velocity of the landing gear arm

矩峰值的4.11%。

3.2 低温结冰工况数据

将表2与表3中各个工况下的结冰载荷以及表4中各

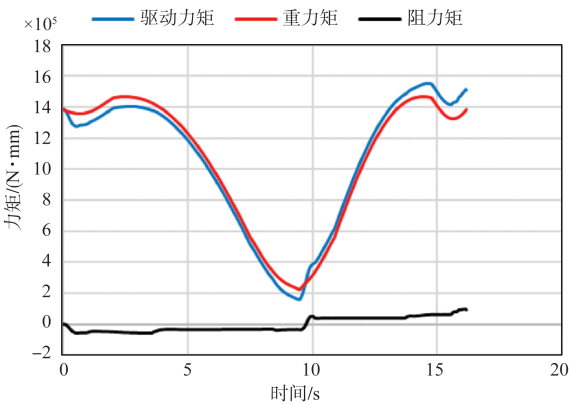


图5 起落架驱动力矩、重力矩及阻力矩

Fig.5 Driving moment, heavy moment and drag moment of landing gear

个工况下的运动副摩擦因数引入起落架多体动力学模型，进而可求得起落架在不同结冰工况下收放运动的驱动力矩，如图6为收起过程，图7则为放下过程。

对图6和图7中不同结冰工况下的驱动力矩参数进行

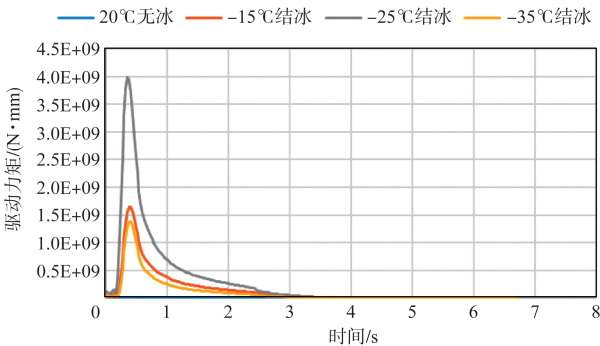


图6 起落架破除冻结冰驱动力矩

Fig.6 The driving torque of the landing gear breaking the frozen ice

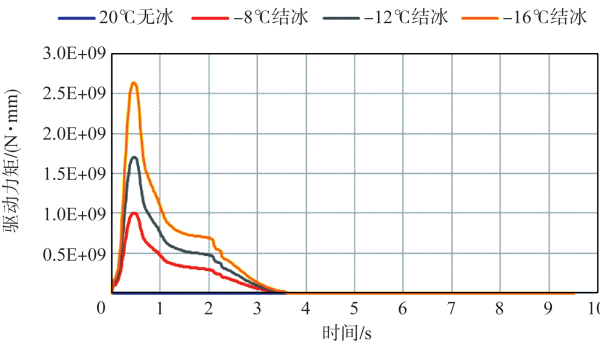


图7 起落架破除撞击冰驱动力矩

Fig.7 The landing gear breaks the driving torque of the impact ice

整理与绘制,得起落架破冰运动驱动力矩峰值,见表5。

表5中,常温20℃为无冰工况,撞击冰参考起落架放下阶段的峰值驱动力矩,冻结冰则参考起落架收起阶段的峰值驱动力矩。由表5起落架在不同工况下的破冰驱动力矩参数可发现:(1)若飞机在降落阶段遭遇极端天气(-16~-8℃),并形成严重积冰等级的撞击冰,则起落架驱动载荷会上升为常温无冰工况下的716~1882倍;若飞机在停泊阶段遭遇极端天气(-15~-25℃),并形成6mm左右等效厚度的冻结冰,则飞机起飞后,起落架收起动作的驱动载荷会上升为常温无冰工况下的891~2573倍。(2)当在-25℃左右形成冻结冰时,起落架所需破冰驱动力矩最大。

表5 起落架破冰运动驱动力矩峰值

Table 5 Driving torque of ice breaking motion of landing gear

冰型	结冰温度/℃	破冰驱动力矩峰值/(N·mm)	增长倍数
撞击冰	20	1.40×10^6	1.00
	-8	1005.00×10^6	716.85
	-12	1706.01×10^6	1216.86
	-16	2637.88×10^6	1881.55
冻结冰	20	1.55×10^6	1.00
	-15	1636.97×10^6	1056.11
	-25	3987.50×10^6	2572.58
	-35	1381.31×10^6	891.17

值得注意的是:驱动载荷增长倍率为纯刚体模型名义载荷值,若考虑实际结构强度本身,载荷无法达到该值。以主结冰区域起落架舱门为例,如图8所示。

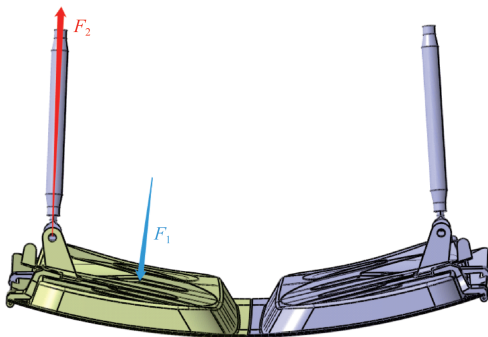


图8 起落架舱门

Fig.8 The door of the landing gear

据力平衡关系,知 F_1 与 F_2 关系

$$F_2 = 6.87F_1 \quad (1)$$

式中, F_1 为冰层黏滞力等效集中力, F_2 为起落架舱门拉杆力。

根据第三强度理论可得

$$\sigma_{\text{is}} = \frac{F_2}{A} \quad (2)$$

式中, σ_{is} 为拉杆当量载荷; A 为拉杆截面积。已知不锈钢17-4PH $[\sigma] = 800\text{MPa}$ 。

在-25℃严重积冻结冰,全刚体动力学模型破冰时,拉杆第三强度当量载荷为1591.46MPa;在-16℃严重积撞击冰,则拉杆当量载荷为1366MPa,均远大于机构本身强度。即起落架机构严重积冰($\geq 30\text{mm}$)时,仅靠驱动无法完成破冰,需人工除冰。

目前存在的缺点有:未考虑机械振动对起落架破冰的积极作用,也未考虑气动力对起落架收起或放下动作中的消极阻碍作用。

4 结论

通过研究,可以得出以下结论:

(1)基于ADAMS平台,参考大量试验数据,本文建立了起落架多工况破冰动力学仿真模型,该建模流程具有很好的移植性,可推广到其他机构的破冰动力学仿真。

(2)常温无冰工况下,起落架收放运动受重力的影响最大;起落架放下过程,摩擦矩峰值仅为重力矩峰值的3.65%,起落架收起过程,摩擦矩峰值则仅为重力矩峰值的4.11%。

(3)起落架遭遇极端天气,发生结冰(冻结冰或撞击冰),破除冰层所需驱动力矩数值的分散性很大;当在环境温度-25℃左右形成冻结冰时,起落架所需破冰驱动力矩最大。

(4)起落架严重积冰时,仅靠驱动无法实现破冰,需进行人工除冰。

AST

参考文献

- [1] Rovito D J. FAA sponsored aircraft icing weather research initiatives[C]. 17th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 2015.
- [2] Wu Jingtao, Tian Peiqiang, Cheng Zhu, et al. Analysis of retraction performance of aircraft landing gear in high and low temperature environment[J]. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2022, 2252(1): 012027.
- [3] Thompson G, Politovich M K, Rasmussen R M. A numerical weather model's ability to predict characteristics of aircraft icing environments[J]. Weather and forecasting, 2017, 32(1): 207-221.
- [4] Sitnikov G I, Starchenko A V, Terenteva M V, et al. Forecast of extreme weather conditions that promote aircraft icing during

- take-off or landing[C]. International Symposium Atmospheric and Ocean Optics, 2015.
- [5] Yi Xian, Wang Qiang, Chai Congcong. Prediction model of aircraft icing based on deep neural network[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2021, 38(4):535-544.
- [6] 张惠,吴敬涛,田培强,等. 极端气候下民机机构的典型失效模式[J]. 科技与创新, 2023(2):4.
- Zhang Hui, Wu Jingtao, Tian Peiqiang, et al. Typical failure modes of civil aircraft under extreme weather [J]. Science and Technology Innovation, 2023(2):4. (in Chinese)
- [7] 朱晨辰,王彬文,刘小川,等. 复杂环境下起落架动力学行为研究现状与展望[J]. 航空科学技术, 2023, 34(1):11.
- Zhu Chenchen, Wang Binwen, Liu Xiaochuan, et al. Research status and prospect of dynamic behavior of landing gear in complex environment [J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(1):11. (in Chinese)
- [8] 胡锐,刘小川,白春玉,等. 舰载飞机起降装置动力学试验研究进展[J]. 航空科学技术, 2022, 33(1):10.
- Hu Rui, Liu Xiaochuan, Bai Chunyu, et al. Research progress on dynamics test of carrier-based aircraft take-off and landing device [J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(1):10. (in Chinese)
- [9] 杜金柱,卢学峰,陈熠. 起落架突伸缓冲器的设计与验证[J]. 航空科学技术, 2022, 33(1):7.
- Du Jinzhu, Lu Xuefeng, Chen Yi. Design and verification of Landing gear protrusion buffer [J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(1):7. (in Chinese)
- [10] 田佳杰,贾玉红. 大型民机起落架收放系统建模与仿真[J]. 机械设计与制造, 2016(5):5.
- Tian Jiajie, Jia Yuhong. Modeling and simulation of large civil aircraft landing gear retracting system [J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(5):5. (in Chinese)
- [11] 印寅,聂宏,魏小辉,等. 飞机起落架收放系统动力学分析与试验[J]. 振动、测试与诊断, 2016, 36(4):6.
- Yin Yin, Nie Hong, Wei Xiaohui, et al. Dynamic analysis and test of aircraft landing gear retracting system [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2016, 36(4):6. (in Chinese)
- [12] 魏亮亮,范建博,何煜文. 起落架收放系统动力学仿真[J]. 制造业自动化, 2021, 45(9):76-81.
- Wei Liangliang, Fan Jianbo, He Yuwen. Dynamic simulation of landing gear retracting system[J]. Manufacturing Automation, 2021, 45(9):76-81. (in Chinese)
- [13] 崔飞,马东力. 基于 LMS Virtual. Lab 的起落架动态性能仿真分析[J]. 计算机辅助工程, 2012, 21(2):25-29.
- Cui Fei, Ma Dongli. Dynamic performance simulation analysis of landing gear based on LMS Virtual.Lab [J]. Computer Aided Engineering, 2012, 21(2):25-29. (in Chinese)
- [14] 刘照曦. 基于 ADAMS 的磁流变减震器主起落架落震仿真研究[J]. 机械工程与自动化, 2014(6):3.
- Liu Zhaoxi. Simulation research of the main landing gear of magneorheological shock absorber based on ADAMS[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2014(6):3. (in Chinese)
- [15] 徐尧,周文博. 某型民机起落架多柔体建模及落震仿真方法研究[J]. 机械设计与制造工程, 2019, 48(11):4.
- Xu Yao, Zhou Wenbo. Research on multi-flexible body modeling and drop simulation method of landing gear of a civil aircraft[J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2019, 48(11):4. (in Chinese)
- [16] 王康. 飞机结冰条件下着陆特性研究[J]. 中国科技信息, 2019(18):2.
- Wang Kang. Research on landing characteristics of aircraft under icy conditions[J]. China Science and Technology Information, 2019(18):2. (in Chinese)
- [17] 尹胜生. 飞机机场地面结冰探测系统研究与设计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- Yin Shengsheng. Research and design of ground ice detection system for aircraft airport [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [18] Xue Xiaofeng, Qiang Guoyan, Feng Yunwen, et al. Experimental study on the adhesion strength of the frozen ice for aircraft moving parts [J]. Aerospace, 2022, 9(10):589.
- [19] Jgsj A, Cjw A, Jlp B, et al. Impact ice adhesion strength of stainless steel 304 as determined on a centrifuge test stand[J]. Cold Regions Science and Technology, 2022, 196:103492.
- [20] 林晶,赵颖春,李彦伟,等. 自润滑轴承摩擦因数研究[J]. 航空标准化与质量, 2016(2):4.
- Lin Jing, Zhao Yingchun, Li Yanwei, et al. Research on friction coefficient of self-lubricating bearing [J]. Aviation Standardization and Quality, 2016(2):4. (in Chinese)

Dynamic Simulation Analysis Method for Icebreaking of landing Gear Mechanism of Civil Aircraft

Qiang Guoyan, Xue Xiaofeng, Feng Yunwen

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

Abstract: When civil aircraft encounter extreme weather conditions such as snow, frost, freezing rain, etc., the locomotion mechanism may be attached to ice. When the ice accumulation reaches a certain extent, the normal movement of the mechanism may be affected. In order to study the adaptability of the landing gear mechanism in the above extreme climate conditions, a multi-body dynamics model of civil aircraft landing gear was established based on ADAMS platform. Considering the effects of gravity, ice viscosity and friction force on the movement of the landing gear, the driving torque of the landing gear mechanism under different temperatures and different ice types was simulated and analyzed. The results show that gravity has the greatest effect on landing gear retraction under normal temperature and no ice condition. When frozen ice is formed at ambient temperature of -25°C , the landing gear requires the maximum ice-breaking driving torque. When the landing gear freezes (freezing ice or impinging ice), the driving torque values required to break the ice are highly distributed. In the case of serious ice accumulation in the landing gear, ice breaking cannot be achieved by driving alone, and ice removal must be performed. In this paper, the modeling process of multi-condition icebreaking dynamics model of landing gear has good portability and can be extended to the icebreaking dynamics simulation of other mechanisms.

Key Words: civil aircraft; landing gear; ice; dynamic analysis; environmental impact

Received: 2023-04-28, **Revised:** 2023-06-11 **Accepted:** 2023-07-12

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(20200009053002)