http://bhxb.buaa.edu.cn jbuaa@buaa.edu.cn
DOI: 10.13700/j.bh.1001-5965.2017.0573

短距离起飞加速度对飞行员操作影响的分析

朱垣洁[1,2,3], 刘笑宇[1,2,*], 耿晓琪[1,2], 霍洪强[1,2], 柳松杨[4], 樊瑜波[1,2,5]

(1. 北京航空航天大学 生物与医学工程学院 生物力学与力生物学教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京航空航天大学生物医学工程高精尖创新中心, 北京 100083; 3. 北京航空航天大学 大型飞机高级人才培训班, 北京 100083; 4. 中国人民解放军空军航空医学研究所, 北京 100142; 5. 国家康复辅具研究中心, 北京 100176)

摘 要: 短距离起飞产生的过载加速度可能对飞行员的安全操作造成极大隐患。本文建立飞行员-座舱系统的多刚体模型,仿真分析了胸-背方向的加速度载荷(Gx)对飞行员驾驶状态下的人机动力学响应。首先,根据第3百分位的男性人体测量学数据,通过三维CAD软件建立了飞行员的虚拟假人模型;并根据设计参数的要求建立了包括座椅和操作杆(油门杆与驾驶杆)在内的飞机座舱模型。然后,以标准的短距离起飞的加速度模拟曲线为载荷条件,利用多刚体动力学软件ADAMS模拟了飞行员在短距离加速起飞过程中的动力学响应及飞行员与操作系统之间的力学相互关系。仿真结果表明,过载加速度会经飞行员身体传递给操作杆,5*G*加速度载荷产生的传递力作用在驾驶杆和油门杆上的值分别为128 N和211 N,两者均已超过了通常操作杆所设计的有效阈值,因此存在误操作的可能。另外,本文结合仿真结果和国外现有战机设计,提出了短距离起飞下飞行员避免误操作的可行方式,结果显示该方式可以有效地转移加速度传递所带来的影响。本文方法将为在短距离起飞作用下避免误操作的分析提供技术途径,得到的结果将为驾驶部位的人机设计提供参考。

关 键 词: 飞行员; 短距离起飞; 操作影响; 多刚体模型; 生物力学
中图分类号: R857.13
文献标识码: A **文章编号**: 1001-5965(2018)08-1748-07

随着现代战争要求的提升,对于飞机的机动性能也提出了更高的要求[1],尤其是随着起飞条件的多样化,短距离起飞需要对飞机设计与飞行员操作进行进一步的分析。近年来,对民用和军用飞机的飞行事故调查发现,影响飞行安全的诸多因素并非单纯来源于飞机本身,而大多均与人密切相关,尤其是高过载环境下人体的生理、心理和行为的响应[2-3]。

飞机在远小于正常跑道长度的条件下起飞,带来胸-背方向的加速度将对驾驶员的生理、心理和行为造成严重的影响,例如暂时性视力扭曲和丧失[4]、空间定向障碍[5-6]及长期的腰椎慢性损伤[7]等。

加速度的冲击不仅对飞行员的身体造成伤害,同时也会影响其操纵飞机的准确性。飞机-驾驶员是一个闭环系统,短距离起降加速度的冲击力可能会使飞行员传递给操作杆(驾驶杆与油门杆)的冲击力大于设计操作力。造成飞行员无法完全自主操纵飞机,导致严重的误操作。

目前对人-椅系统的运动学和动力学研究主要集中在汽车碰撞[8]、载人飞船座椅着陆缓冲[9-10]以及飞机弹射救生[11-14]等领域。

收稿日期: 2017-09-11; **录用日期**: 2017-10-13; **网络出版时间**: 2017-11-13 13:30
网络出版地址: kns.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20171113.1330.005.html

* **通信作者**. E-mail: x.y.liu@buaa.edu.cn

引用格式: *朱垣洁, 刘笑宇, 耿晓琪, 等. 短距离起飞加速度对飞行员操作影响的分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(8): 1748-1754. ZHU Y J, LIU X Y, GENG X Q, et al. Effect of acceleration on pilot operation in short-distance takeoff[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2018, 44(8): 1748-1754 (in Chinese).*

http://bhxb.buaa.edu.cn

张竟和韩旭[8]建立并验证了汽车碰撞时,驾驶员与座椅系统的动力学仿真模型,还有一些研究者关注于汽车碰撞时安全带的作用,即人-椅约束系统。马春生等[9]对载人飞船着陆缓冲时的座椅系统进行了建模,根据对载人飞船在着陆时人-椅间受力和肢体运动情况的分析,提出了对座椅系统的改进意见。张玉刚等[11]利用 Kane 方法建立了人体上肢动力学模型,模拟人-椅系统在各种弹射情况下的运动规律,并得出上肢的各种耐受极限。王春洁和曾福明[12]研究了弹射座椅的动态舒适性问题,着重给出了弹射过程中人-椅动力学特性。张大林等[13]则对绕弹射座椅系统的高速流场进行了数值模拟。魏靖彪等[14]则就某型飞机的弹射座椅的弹射运动进行了分析,给出其在开伞前的运动特性。

本课题组内也对人-椅约束系统进行过相关研究[15],从生物力学角度探究操作杆位置以及椅背角对机动飞行时工效的影响。探究复合载荷下操作杆相关参数的文献大多集中于常规起飞距离,就短距离起飞条件下操作杆相关参数的文献仍不多见。

针对这一问题,本文建立了一套适用于动力学分析的飞行员-座舱系统模型,通过输入短距离起飞模拟载荷曲线,仿真在起飞过程中飞行员身体各部位力学响应以及飞行员在加速度载荷作用下对飞机操作杆产生的冲击力。并对飞机座舱和操作杆等关键部件进行设计,提出在短距离起飞高速载荷作用下避免误操作的解决方案,为舰载机座舱的设计提供重要参考。

1　模型建立方法

1.1　飞行员假人模型

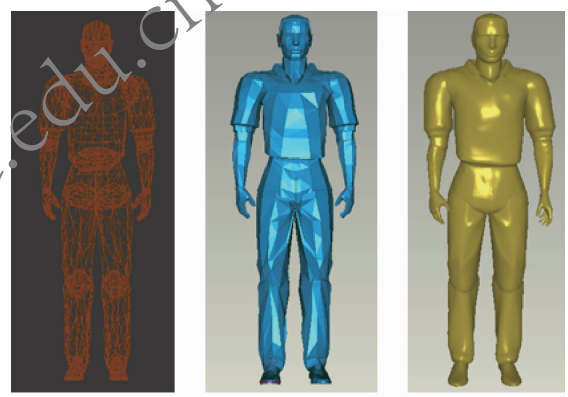
从机械角度看,人体骨骼具有明显的刚体特征,因而人体运动系统实际上是一个多刚体系统。运动中人体各部分自身不发生形变,通过关节相互连接,产生彼此位置和姿态的相对改变。因此,人体可用若干刚性体与关节组成的系统模型予以有效地描述[16-17]。本文飞行员人体模型分为 16 个刚体部分和 15 个连接关节。

1.1.1　假人的几何建模

飞行员假人设计利用计算机辅助设计,采用逆向建模的方法完成。首先,在 3DMAX 下以普通人的标准设计假人的表面三角面片模型,如图 1(a)所示。然后,选取逆向工程软件 Geomagic Studio12.0 作为连接表面网格和实体特征的桥梁,在 Geomagic 中将假人的三角面片转换成为具有自由曲面的实体,如图 1(a)和(b)所示。最后,导入到 SolidWorks 中,根据实测飞行员的人体数据调整假人各个部位的尺寸,最终调整后的假人实体模型如图 1(c)所示。

本文根据研究目的,将飞行员的假人模型分解成 16 个独立的刚体部分,分别为头、颈、胸、腰、上臂(2 只)、前臂(2 只)、手(2 只)、大腿(2 只)、小腿(2 只)和脚(2 只),如图 2 所示。

假人模型的设计参数来源于某研究所实测飞行员人体的几何和惯性数据。本文旨在分析飞行员对操作杆的冲击力影响,因此选取实测数据相对较小的 P3(第 3 百分位)男性测量数据作为标准进行建模。对于分析的结果,假定在 P3 测量数据的假人在动力学仿真中对操作杆产生误操作影响,那么更高的组别的计算数值必定会大于该组的计算值,即更容易造成飞行员的误操作。



(a) 三角面片模型　(b) 逆向工程模型　(c) 假人实体模型

图 1　假人的建模过程

Fig. 1　Modeling process of dummy

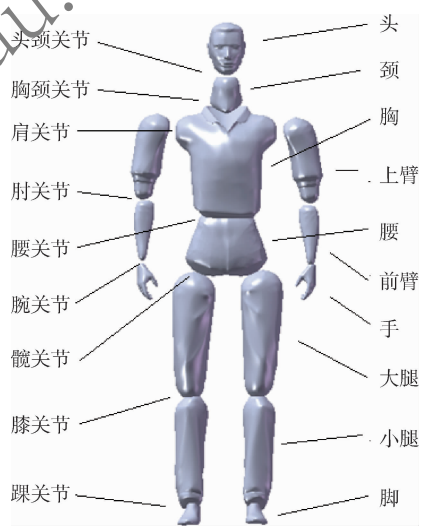


图 2　飞行员假人模型的部位与关节

Fig. 2　Parts and joints of pilot dummy model

1.1.2　假人模型的关节设计

真实的人体关节是十分复杂的,通常是由骨

http://bhxb.buaa.edu.cn

骼和软组织共同形成的。完全按照人体关节建立模型计算复杂,且不适用于本文的研究目的。本文使用多体系统动力学中标准的运动副对假人关节进行定义。假人模型中 16 个部位之间用关节铰链连接,包括:头颈关节、胸颈关节、腰关节、肩关节(2 只)、肘关节(2 只)、腕关节(2 只)、髋关节(2 只)、膝关节(2 只)和踝关节(2 只)。铰链部分通过弹簧-阻尼系数相互作用,模拟人在运动过程中的力学响应。然而,关节的活动度因人而异,本文参考飞行员的通常年龄,选取一般青年男子在非强迫运动形式下的活动幅度作为模型关节运动角度范围,如表 1 所示。

在关节设计中,本文通过设计限位的铰链来模拟人体关节处的活动范围,再将这些铰链关节添加至假人模型的关节连接处。图 3 为 SolidWorks 设计下的铰链及其活动范围限位设计。

通过铰链将模型各部位相连接,保证仿真过程中假人的各相邻的连接部位不发生碰撞,而仅有连接的关节相互起作用,以此仿真飞行员在冲击载荷作用下的动力学响应,铰链连接部位的模型如图 4 所示。

表 1 一般青年男子主要关节的活动范围

Table 1 Main joint motion range of average young men

关节名称	运动方向	活动角度范围/(°)	
		最小值	最大值
肩关节	向前伸展	172	195
	向后伸展	51	170
	侧向伸展	116	163
肘关节	前臂运动屈曲	129	155
	前臂运动内旋	76	145
	前臂运动外旋	93	145
髋关节	向前伸展	99	112
	向后伸展	41	75
	侧向伸展	65	101
	向内扭转	45	90
	向外扭转	39	60
膝关节	屈折	128	150
踝关节	向下屈折	22	55
	向上屈折	35	52

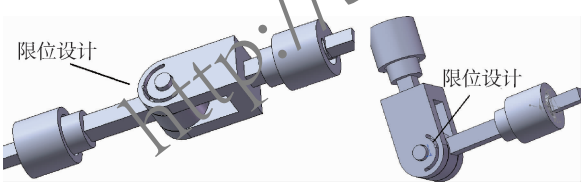


图 3 铰链关节的设计

Fig. 3 Design of hinge joints

1.2 座舱模型

飞机座舱模型参考苏 27 座舱,并将其简化为一个仅具有座椅、驾驶杆、油门杆和航向脚蹬的模型,如图 5 所示。其中座椅和飞机地板为单一的整体;油门杆能够以杆柄的末端为旋转轴进行旋转;驾驶杆能够绕着旋转中心做 2 自由度的旋转运动(纵向与横向旋转);2 个航向脚蹬均可以做往返的直线运动。

利用 SolidWorks 根据给定的设计尺寸直接进行飞机座舱的建模,分析中主要考虑飞行员肢体的动力学响应,因此对座舱模型的逼真程度要求不高。驾驶杆和油门杆的位置和尺寸必须保证精确,而且模型也必须满足如下 2 方面的设计要求:

1) 机身水平基准线与飞行员的视水平线的距离(设计眼位)为 1.1 m,以保证飞行员的视野开阔。

2) 座椅背切线与仪表盘的距离大于 0.47 m,以保证弹射座椅的顺利弹出。

模型通过调整座椅的高度来保证设计眼位为 1.1 m;通过调整座椅的前后距离来保证座椅背切线与仪表盘的距离大于 0.47 m。

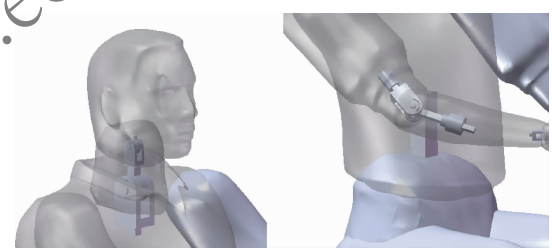


图 4 机械关节与假人模型的连接

Fig. 4 Connection of mechanical joint with dummy model

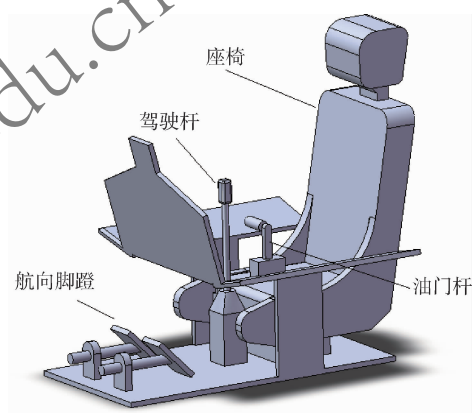


图 5 飞机座舱简化模型

Fig. 5 Simplified model of aircraft cockpit

1.3 仿真条件

1.3.1 模型坐标系的选取

本文选用地面坐标系、相对坐标系和质心坐标系三者相结合的方式,用以方便整体和局部的生物力学分析。

1) 地面坐标系:用于分析整个飞行员和座舱

http://bhxb.buaa.edu.cn

相对于地面的运动。

2）相对坐标系:用于观察人体运动过程中各肢体之间的相对运动。此处将相对坐标系的坐标原点选取在座舱模型上,以观察飞行员的肢体相对于整个飞机座舱的运动。

3）质心坐标系:坐标原点取在质心,3 个轴指向固定方向。对飞行员假人模型的运动进行分析,以分析人体肢体运动时各参数的变化。

1.3.2　条件设置

在多刚体关节中,采用机械结构的实体关节进行接触碰撞,碰撞的类型为“冲击”;相邻人体连接 2 个部分的模型不设置碰撞,它们之间的碰撞将由实体关节来代替。

飞行员手握油门杆和驾驶杆的连接通过两者之间的“固连”实现。飞行过程中,在安全带的作用下飞行员的臀部与座椅固连,假设没有相对位移,因此对飞行员的臀部与座椅施加一个固定约束,最终形成整个约束系统。将建立好的飞行员假人模型和座舱模型导入多刚体动力学分析软件 ADAMS 中,施加工况条件,就可以分析飞行员在给定的加速度载荷下的动力学响应。

本文利用飞机加速起飞过程中胸-背方向的加速度载荷(Gx)模拟曲线作为仿真条件输入,如图 6 所示。其中横坐标代表冲击过程的时间历程,纵坐标表示模拟曲线中对座椅输入的加速度载荷 Gx 的变化值。在 ADAMS 求解环境下,仿真过程中将加速度曲线施加给飞机座舱,从而研究飞行员身体各部位在该工况条件下的动力学仿真以及飞行员与操作杆之间的力学相互关系。

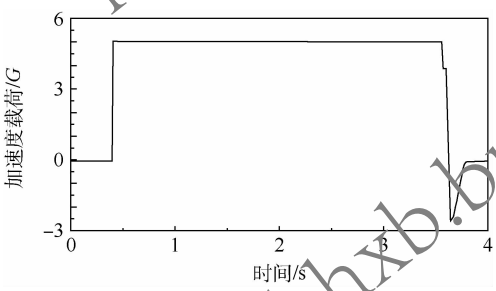


图 6　标准短距离起飞下加速度载荷模拟曲线

Fig. 6　Standard simulated acceleration loads curve under short-distance takeoff

2　仿真结果分析

飞行员在驾驶飞机中,左手握住油门杆、右手握住驾驶杆。短距离起飞造成的加速度冲击,将会由飞机通过座椅系统传递给飞行员,并进一步通过其手臂传递到油门和驾驶杆上,造成飞行员的误操作。本文通过对该过程的模拟,求解飞行员在模拟加速度冲击下的操作情景,并通过计算手臂对操作杆冲击力的大小,从而判断该值是否超过了飞机操作力的设计有效阈值,动力学仿真结果如图 7 所示。

通过仿真结果可以看到,飞行员在起飞过程中由于受到向后的惯性力,整个身体和头部贴紧座椅,双手伸直,给油门杆和驾驶杆一个与加速度方向相反的冲击力。计算得到手臂对操作杆造成的冲击力如图 8 所示。

由图 8 可见,驾驶员在起飞过程中,手臂对驾驶杆和油门杆的冲击力趋势与输入的模拟载荷曲线(图6)趋势基本相同。手臂对驾驶杆的冲击

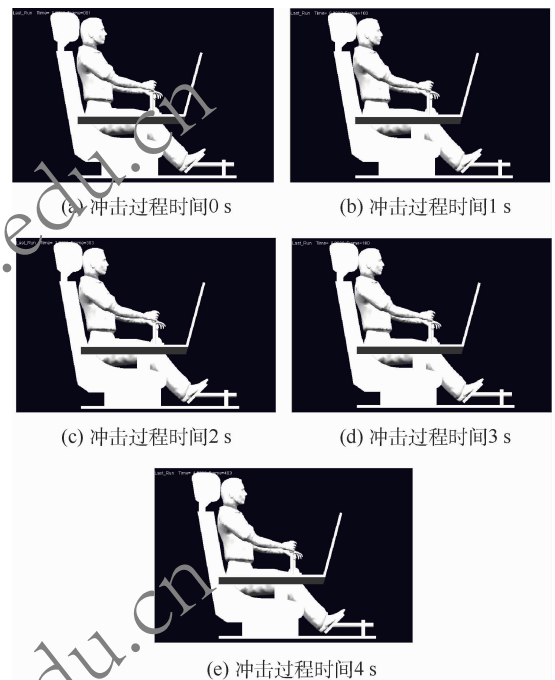


图 7　短距离起飞下飞行员动态响应的仿真

Fig. 7　Simulation of pilot dynamic response during short-distance takeoff

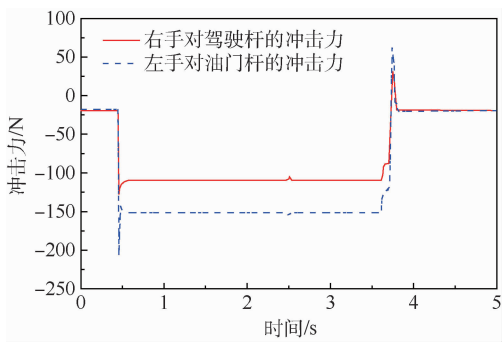


图 8　短距离起飞下手臂对驾驶杆和油门杆的影响

Fig. 8　Effect of arm on steering and throttle sticks during short-distance takeoff

http://bhxb.buaa.edu.cn

力最大值为 128 N,平均值为 109 N;最大值出现在加速度突然阶跃改变的时刻,即飞机启动和结束启动时刻。相关资料显示,普通战机设计的纵向驾驶杆设计操作力约为 100 N,显然计算得到的手臂对驾驶杆的冲击超过了该范围;同样的,驾驶员在起飞过程中手臂对油门杆的冲击力最大值为 211 N,平均值为 150 N;资料显示,普通战机的油门杆设计操作力约为 150 N,加速度瞬间冲击造成的飞行员误操作的可能性进一步的增大。

为了进一步研究短距离起飞对驾驶员人杆操作力的影响,本文仿真了不同加速度载荷条件下(1*G*、3*G*、5*G* 和 7*G*)飞行员上肢对油门杆和驾驶杆的反作用力,如图 9 所示。

由图 9 可见,在短距离起飞条件下,驾驶员上肢对油门杆和驾驶杆的冲击力几乎随着加速度的增加呈现线性增加。当飞机起飞的加速度载荷小于 3*G* 时(正常战机起飞加速度),驾驶员上肢对飞机的驾驶杆和油门杆产生的冲击力均小于普通战机设计的操作力,这也从另一方面验证了仿真结果的有效性;而在短距离起飞、尤其是当加速度载荷大于 7*G*(瞬态)时,驾驶员上肢将会对驾驶杆和油门产生巨大的冲击力,对飞行员的对抗控制水平要求极高,很有可能造成严重的误操作。

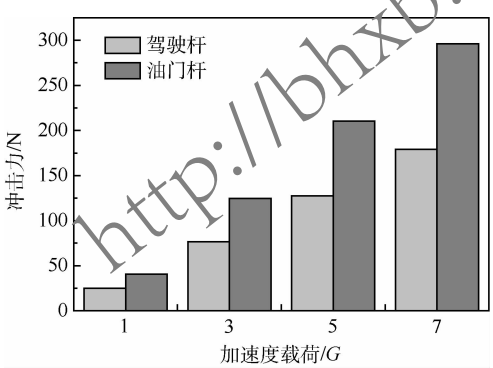


图 9 不同加速度载荷条件下飞行员手臂对操作杆的影响

Fig. 9 Effect of pilot arm on operating sticks under different acceleration loads conditions

3 结果讨论

本文利用有限元仿真的手段,建立了飞行员-座舱多刚体模型,以分析短距离起飞条件下驾驶员与操作杆的力学相互关系。该模型已经利用笔者课题组前期模型[15]进行对比验证,并与 Hearon 和 Brinkley[18]的实验结果进行有效性验证,仿真结果可为驾驶操作系统的人机设计提供参考。

研究结果发现,短距离起飞的 Gx 向加速度载荷通过手臂传到至驾驶杆和油门杆的冲击力均已经超过了正常的操作力,即如果飞行员双手紧紧握住油门杆和驾驶杆将会对驾驶造成影响。从避免起飞时误操作的角度出发,一种简单的途径是提高操作杆的设计力。计算结果显示,驾驶员上肢对操作杆的冲击力随着加速度的增加呈现线性增长,可以根据图 9 对驾驶杆和油门杆的操作力进行设计。

另外,美国的 F15 战斗机是美国空军现役的主力战机之一,调查发现该型号在驾驶员的上方设计有一个固定环,飞行员在短距离起飞过程中,可以握住固定环以避免上肢对油门杆和驾驶杆的冲击力。参照上述设计,本文在飞行员-座舱系统模型中添加固定环,通过调整飞行员假人模型,使其双手握住固定环,如图 10 所示。

由于 2 个手臂同时握紧固定环,因此左、右手的时间-力曲线是一致的,因此仅给出其中一只手的握力曲线,在起飞和降落过程中的握力-时间曲线如图 11 所示。

由图 11 可见,在飞行员在起飞过程中,手臂握住风挡框固定环的力趋势与输入的模拟载荷(图 6)趋势基本相同。作用力主要分布在91 ~ 127 N,最大值206 N,在人体可以承受的握力范

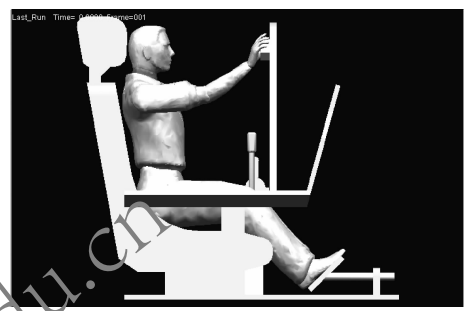


图 10 手握固定环下的飞行员动态响应仿真

Fig. 10 Simulation of pilot dynamic response as holding fixing rings

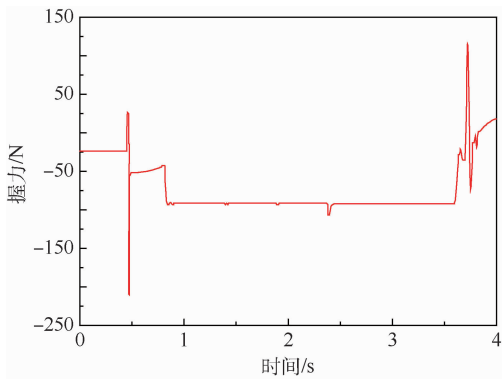


图 11 短距离起飞下手臂对固定环的作用力

Fig. 11 Force of arm acting on fixing rings during short-distance takeoff

http://bhxb.buaa.edu.cn

围内,飞行员完全可以承受,不会脱手。模拟过程中同时计算了此时驾驶杆与油门杆在自身惯性力影响下的力值范围,结果在 11 ~ 14 N 之间,远小于驾驶杆与油门杆的设计操作力,不会对飞机的驾驶造成误操作。

4　结　论

通过仿真分析短距起飞的加速度冲击对飞行员操作力的分析,结果表明:

1) 飞行员在起飞过程中,由于加速度的影响,手臂对油门杆造成的冲击力最大值为 211 N,平均值为 150 N,对驾驶杆造成的冲击力最大值为 128 N,平均值为 109 N。均超过了油门杆(150 N)和驾驶杆(100 N)的设计操纵力,存在误操作的可能。因此,飞行员在起飞和降落过程中为避免误操作,不宜手握操作杆。

2) 对飞行员手握风挡框固定环的模拟,表明该状态下驾驶杆和油门杆会仅在其自身惯性力影响下受到 11 ~ 14 N 的力值,不可能对飞机的驾驶造成误操作;且此时飞行员对风挡框固定环的握力在 91 ~ 127 N,处于人体可以承受的握力范围之内。

参考文献(References)

[1] 樊瑜波,柳松杨. 航空生物力学[J]. 医用生物力学,2010,25(4):235-238.
FAN Y B, LIU S Y. Biomechanics in aviation[J]. Journal of Medical Biomechanics,2010,25(4):235-238(in Chinese).

[2] 李伟,姚海林. 影响民用飞机飞行安全各因素的综合分析[C]//中国航空学会 2007 年学术年会. 北京:中国航空学会,2007:77.
LI W, YAO H L. A comprehensive analysis of various factors affecting flight safety of civil aircraft[C]//2007 Academic Conferences of CSAA. Beijing: CSAA, 2007:77(in Chinese).

[3] 陆秀明. 国内外军民机飞行安全情况分析[C]//航空安全与装备维修技术学术研讨会. 北京:中国航空学会,2014:4.
LU X M. Analysis on flight safety of aircraft[C]//Aviation Safety and Equipment Maintenance Technology Symposium. Beijing: CSAA, 2014:4(in Chinese)

[4] 耿晓琪,刘笑宇,柳松杨,等. 加速度造成不对称周边视力丧失的仿真研究[J]. 生物医学工程学杂志,2017,34(2):188-192.
GENG X Q, LIU X Y, LIU S Y, et al. A simulation study with finite element model on the unequal loss of peripheral vision caused by acceleration[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2017,34(2):188-192(in Chinese).

[5] 于立身. 飞行中空间定向障碍研究现状和未来[J]. 中华航空航天医学杂志,1994,5(1):5-9.
YU L S. Modern and future perspective on flight spatial disorientation[J]. Chinese Journal of Aerospace Medicine, 1994, 5(1):5-9(in Chinese).

[6] 于立身. 飞行中空间定向障碍研究进展[J]. 航空军医,2001,29(2):83-86.
YU L S. Research progress on flight spatial disorientation[J]. Flight Surgeon, 2001, 29(2):83-86(in Chinese).

[7] 孙明举,张雷,任慧峰,等. 舰载机飞行员腰痛的临床诊断程序与思路[J]. 人民军医,2015,58(5):573-574.
SUN M J, ZHANG L, REN H F, et al. Clinical diagnosis procedures and ideas of low back pain of carrier-borne pilots[J]. People's Military Surgeon, 2015, 58(5): 573-574(in Chinese).

[8] 张亮,韩旭. 人椅系统碰撞仿真研究[C]//系统仿真技术及其应用学术会议. 合肥:中国科学技术大学出版社,2007(9):157-160.
ZHANG J, HAN X. Collision simulation of a body-seat system [C]//Academic Conferences of System Simulation Technology & Application. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2007(9):157-160(in Chinese).

[9] 马春生,杜汇良,张金换,等. 载人飞船座椅着陆缓冲系统的动力学模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2008,48(11):1976-1979.
MA C S, DU H L, ZHANG J H, et al. Dynamic model for the seat-bumper system reducing the manned spacecraft landing impact[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2008, 48(11):1976-1979(in Chinese).

[10] 谢燕,周建平,雷勇军. 载人飞船着陆座椅缓冲系统的动力分析与改进[J]. 振动与冲击,2007,26(5):104-106.
XIE Y, ZHOU J P, LEI Y J. Dynamic optimization of plate-oscillator combined system of a manned spacecraft absorber seat [J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26(5):104-106(in Chinese).

[11] 张玉刚,薛红军,李宝峰,等. 飞机弹射救生过程人椅运动仿真[J]. 航空计算技术,2009,39(2):9-13.
ZHANG Y G, XUE H J, LI B F, et al. Simulation of ejection escape based on CATIA[J]. Aeronautical Computing Technique, 2009, 39(2):9-13(in Chinese).

[12] 王春洁,曾福明. 弹射座椅动态舒适性与人椅动力学特性研究[J]. 北京航空航天大学学报,2004,30(4):375-378.
WANG C J, ZENG F M. Research of human-seat dynamics model and ejection seat dynamic comfort[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(4):375-378(in Chinese).

[13] 张大林,魏涛,姜南. 弹射座椅系统外高速流场的数值模拟[J]. 南京航空航天大学学报,2009,41(2):202-206.
ZHANG D L, WEI T, JIANG N. Numerical simulation of high speed flow field around ejection system[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 41(2):202-206(in Chinese).

[14] 魏靖彪,薛晓中,杜海文,等. 某型飞机弹射救生人椅系统运动分析[J]. 弹箭与制导学报,2002,22(4):53-55.
WEI J B, XUE X Z, DU H W, et al. The kinematic analysis of ejecting rescue man-seat system[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2002, 22(4):53-55(in Chinese).

[15] 都承斐,王丽珍,柳松杨,等. 机动飞行过载时操纵杆位置对

http://bhxb.buaa.edu.cn

飞行员操控影响的生物力学研究[J]. 航天医学与医学工程,2014,27(4):286-290.
DU C F,WANG L Z,LIU S Y,et al. A biomechanical study on impact of position of flight control stick on operation efficiency in flight maneuvering acceleration[J]. Space Medicine and Medical Engineering,2014,27(4):286-290(in Chinese).
[16] BLAJER W,CZAPLICKI A. Modeling and inverse simulation of somersaults on the trampoline[J]. Journal of Biomechanics,2001,34(12):1619-1629.
[17] AYOUB M M. A 2-D simulation model for lifting activities[C]//Selected Papers from the 22nd ICC&IE Conference on Computers & Industrial Engineering. Oxford:Pergamon Press,1998,35(3-4):619-622.
[18] HEARON B F,BRINKLEY J W. Comparison of human impact response in restraint systems with and without a negative G strap[J]. Aviation Space and Environmental Medicine,1986,57(4):301.

作者简介:

朱垣洁 男,硕士研究生。主要研究方向:航空航天生物医学工程。

刘笑宇 男,博士,讲师,硕士生导师。主要研究方向:生物力学。

樊瑜波 男,博士,教授,博士生导师。主要研究方向:生物力学。

Effect of acceleration on pilot operation in short-distance takeoff

ZHU Yuanjie[1,2,3], LIU Xiaoyu[1,2,*], GENG Xiaoqi[1,2], HUO Hongqiang[1,2], LIU Songyang[4], FAN Yubo[1,2,5]

(1. Key Laboratory for Biomechanics and Mechanobiology of Ministry of Education, School of Biological Science and Medical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Biomedical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 3. Large Aircraft Advanced Training Center, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 4. Institute of Aviation Medicine, Beijing 100142, China; 5. National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing 100176, China)

Abstract: Acceleration overlord during short-distance takeoff might affect the operation performance of pilot. To avoid potential risks, a pilot-cockpit multi-rigid-body model was established to simulate the man-machine dynamic response under chest-to-back (Gx) acceleration loads. Firstly, using 3D CAD software, the multi-body pilot dummy was established according to the 3% male body measurement data. Also, the cockpit model including human, seat and control system (throttle stick and steering axle) was established according to the design parameters. The dynamic response between pilot and control sticks under a standard simulated Gx acceleration curve is simulated using the multibody dynamics simulation software ADAMS. The simulation result shows that the overload acceleration can transmit through the human body to the sticks. The transmission force generated by 5*G* acceleration acting on the steering axle and throttle stick are 128 N and 211 N, both of which have exceeded the designed effective force threshold, leading to a potential risk of misoperation. Further, considering the simulation results and the existing foreign fighter design, we proposed an effective posture for the pilot to avoid misoperation, which was validated by the simulation in this paper. In conclusion, the proposed method provides an effective technology to avoid the misoperation in short-distance takeoff. The results would give a reference for the man-machine safety design.

Keywords: pilot; short-distance takeoff; operation effect; multi-rigid-body model; biomechanics

Received: 2017-09-11; **Accepted**: 2017-10-13; **Published online**: 2017-11-13 13:30
URL: kns.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20171113.1330.005.html
Foundation item: Defense Industrial Technology Development Program (JCKY2016601B009)
* **Corresponding author**. E-mail: x.y.liu@buaa.edu.cn

http://bhxb.buaa.edu.cn