

基于 ADAMS 的某携行具动态仿真分析

周君涛,何永,蒋潇蓉,郁家耀,薛滨

(南京理工大学 机械工程学院,江苏 南京 210094)

摘要:为了解决炮弹最后一公里的运载问题,设计一款多功能携行装置。使用 SolidWorks 软件建立携行具三维建模,使用 ADAMS 动力学仿真平台建立携行装置多刚体动力学模型,分析携行装置结构方案的可行性,验证了设计的合理性。计算结果表明:通过的障碍越高,装置对人体作用力影响越大,对承载物的动态响应影响较小。

关键词:携行具装置;多体动力学;动力响应;虚拟样机

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)05-0113-03

Dynamic Simulation Analysis of Portable Device Based on ADAMS

ZHOU Juntao, HE Yong, JIANG Xiaorong, YU Jiayao, XUE Bin

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To solve the last kilometer shell delivery, a multi-function carrying device was designed. By SolidWorks software, a three-dimensional modeling of the carrying device was established. On the ADAMS dynamic simulation platform, a multi-rigid body dynamic model of the carrying device was built, the feasibility study on carrying device structural scheme was performed, and its rationality was verified. The numerical results show that the higher the barrier is, the greater the force exerted by the device on the human body and the smaller the dynamic response of the load are.

Keywords: carrying device; multi-body dynamics; dynamic response; virtual prototype

0 引言

在战场上,士兵的主要目标是生存和作战,而负重能力的大小是决定士兵能否顺利实现这一目标的重要因素之一。士兵通常需要在负重的前提下,完成各种高难度的动作。

在进行一个时间较长、强度较高的行走时,士兵往往需要承载较大载荷。根据调查研究发现,士兵在负重 20 kg 的前提下,行军 20 min 后,吸氧量增加了 33%,此时士兵的体能开始逐渐下降。当负重比较大时,执行某些高难度的军事任务会对士兵的身体造成伤害,降低军队作战能力。KNAPIK J J 等^[1]发现士兵在负重作业时,小腿及脚踝处易受伤,因此会降低移动能力和操作武器能力,削弱部队的作战能力,增加战斗伤亡的风险^[2]。JENNINGS B M 等^[3]在调查研究中发现,在持续作战情况下,有 80% 的士兵由于负重过大,从而导致骨骼肌损伤,甚至无法正常行走。

为解决上述问题,本文设计了一款多功能携行装置,主要通过轮毂电机驱动,使用减震弹簧来实现携行具的稳定行驶,达到减轻人体负重的效果,并针对单兵携行装置运载炮弹行驶过程中的动力响应问题进行了建模分析研究。

1 携行装置的结构设计

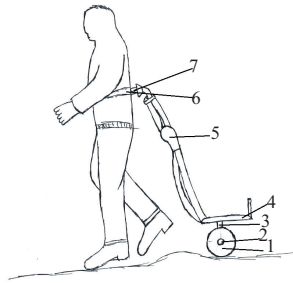
单兵携行装置主要有两种设计方案:第一种是通过人机工程学方法对携行方式进行改进与创新,使得负载在人体上的受力分布更加合理,王义斌等^[4]设计了用于实现负荷行走功能的下肢助力机械外骨骼;第二种是通过开发附加携带装置,用于携带重型的负载。附加携带装置具有独立行进结构,可以为士兵承担负荷。本文基于第二种方案进行结构设计。

如图 1 所示,携行具与人体之间有个牵引机构,用腰带 6 连接。当士兵匀速向前行进时,轮毂电机 2 带动车轮 1 向前运动,在电机的作用下,减少了牵引力。在平坦路面行驶时,士兵只需提供牵引方向;在翻越障碍时,需要提供翻转力矩。极大程度上节省了士兵的体能。同时在腰部与携行具之间设计一个阻尼-减震装置 7,以减少碰撞时产生的接触力,起到保护人体的作用。承力板 4 与车轮之间安装了两个弹簧 3,起到减震作用。控制器 5 用来控制电动机的启动、调速以及暂停。

2 携行装置的建模

2.1 基本假设

携行装置的运动是负载、架体、车轮、腰带之间相互耦



1—车轮;2—轮毂电机;3—弹簧装置;4—承力板;
5—控制器;6—腰带;7—阻尼减震装置。

图1 行进示意图

合作用的过程,当轮毂电机驱动行进时,腰带与人体腰部之间产生碰撞力,对腰带产生力矩。在分析携行装置系统受力以及运动的基础上,考虑到负载、架体以及车轮的材料和结构参数的影响,基于以下假设建立携行装置耦合物理模型:

- 1) 整个携行具装置系统近似为一个多刚体系统;
- 2) 当携行装置行进时,将腰带弹性变形部分简化成刚性介质,并沿水平方向运动;
- 3) 将地面与障碍物设置为砂土状态,当橡胶轮胎与其进行接触时,装置轴线方向上受平衡力,装置没有磨损、行进过程中没有发生形变。

在此基本假设下,进行三维实体建模,通过在炮弹、车体以及腰带各部件之间添加各种约束、运动副以及接触关系,从而创建携行装置数字样机。

2.2 携行装置实体建模

多刚体动力学的核心在于建模与求解问题。ADAMS中使用的是欧拉-拉格朗日方法,其采用的是第一类Lagrange方程建立系统的动力学方程,在ADAMS/View中对机械系统的分析一般包含3个步骤^[5]:1)建立机械系统的实体模型;2)定义系统内部的约束及拓扑关系;3)动力学模型求解及结果后处理。本文先使用三维建模软件SolidWorks建立携行装置以及炮弹的模型,将三维模型导入ADAMS软件中,在ADAMS中对其施加各部件之间的约束以及接触关系。

2.3 各部件约束以及接触关系施加

在携行装置各个部位定义以下的约束。

转动副:车轮与车轴之间使用轴承连接,轮毂电机驱动车轮绕车轴匀速向前运动,在此处定义一个转动副,并通过转动副对车轮转速进行定义;连接杆的上端与腰带的右端定义一个转动副,使其能够上下转动,如图2所示。

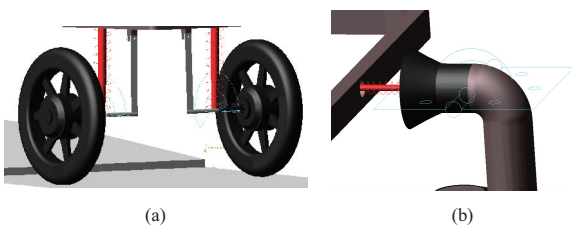


图2 转动副

移动副:当士兵向前拉着装置行进时,对人体与地面定义一个移动副。如图3所示。

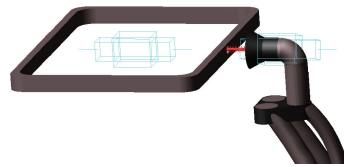


图3 移动副

固定副:绘制的砂土以及障碍模块分别固定在地面上;承力框、铰支座、连接杆与控制器等各零件之间采用焊接使其固定。

弹簧副:如图4(a)中所示,在承力框下方左右两端放置弹簧副来代替三维软件中携行装置的弹簧;如图4(b)中所示,在腰带与连接处放置一个弹簧副,以此减小装置运行中产生的碰撞力,从而起到保护人体的作用。

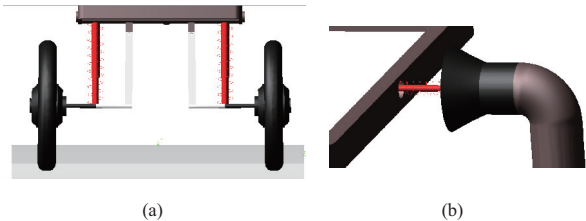


图4 弹簧副

接触:轮毂电机带动车轮向前行驶时,与地面之间存在摩擦力;运动过程中,承载物与承力板之间存在摩擦力。

定义全局坐标系的方向,其中水平方向与携行具的行进方向相反,垂直方向与重力方向相反。绘制地面与障碍部分,并设置相应的参数,设车体前进方向为前。在对各部件定义约束和接触的基础上,对整个模型施加重力,并结合动态计算,完成对携行装置多刚体动力学模型的建立,如图5所示。



图5 单兵携行装置多刚体动力学模型

2.4 碰撞力模型

携行装置仿真模型由多个部件构成,在ADAMS中进行动力学仿真时,除了添加必要的运动副,还需要定义各个部件之间的接触约束,从而模拟炮弹与携行装置之间的动态响应。接触碰撞模型将碰撞过程归结为“自由运动-接触变形”,它通过计入碰撞体接触表面的弹性和阻尼,建立了描述碰撞过程中力和接触变形之间的本构关系^[6]。在ADAMS中采用非线性等效弹簧-阻尼法来模拟接触过程,该模型在数学上便于处理^[7]。法向接触力 F

可表示为

$$F = kg^e + c \frac{dg}{dt} \quad (1)$$

式中: k 为 Hertz 接触刚度; e 为 ≥ 1 的指数; g 为接触点法向穿透距离; c 为阻尼因子。

切向接触力 F_t 采用库仑摩擦定律,可表示为

$$F_t = \mu (|V_t|) \text{sign}(V_t) F \quad (2)$$

式中: V_t 为切向速度; μ 为摩擦系数。

3 携行具动态性能仿真结果与分析

本文根据行进过程中翻越障碍的高度不同,对腰部受力和承载物的动态响应进行仿真计算,分析携行具以及承载物的通过性,受力曲线如图 6-图 7 所示。

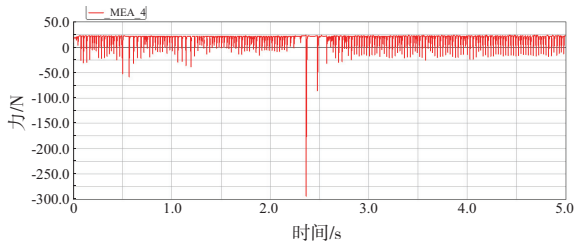


图 6 翻越 20 mm 障碍时腰部受力曲线图

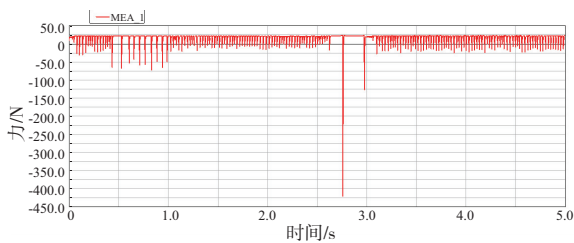


图 7 翻越 30 mm 障碍时腰部受力曲线图

3.1 台阶高度对腰部受力分析

由上述受力曲线图 6-图 7 可知,当装置翻越 20 mm 障碍时,腰带部位受力最大为 293.9 N,受力时间为 2.37 s;当装置翻越 30 mm 障碍时腰带部位受力最大为 421.2 N,受力时间为 2.76 s。由此可以得出结论:在一定范围内,携行具翻越的障碍高度对人体影响不大。我国汽车侧面碰撞的乘员保护法规 GB 20071-2006 规定,腹部受力峰值应该 ≤ 2.5 kN,所以本文仿真结果符合标准。

3.2 携行装置的承载物速度与加速度分析

由受力曲线图 8-图 9 可知,当装置翻越 20 mm 障碍时,承载物质心垂向最大速度为 1351.67 mm/s,垂向最大加速度为 7.6×10^5 mm/s²,承载物质心水平最大速度为 1477.87 mm/s,水平最大加速度为 1.26×10^5 mm/s²;由图 10-图 11 可知,当装置翻越 30 mm 障碍时,承载物质心垂向最大速度为 1201.46 mm/s,垂向最大加速度为 2.2×10^6 mm/s²,承载物质心水平最大速度为 1653.44 mm/s,水平最大加速度为 1.76×10^6 mm/s²。由此可以得出结论:障碍物的高度对承载物的质心垂向速度影响较小。

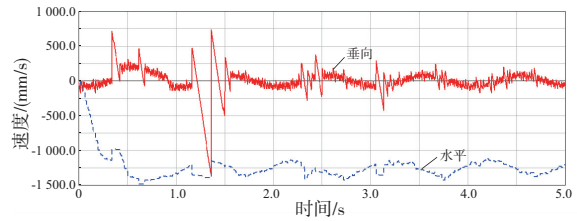


图 8 翻越 20 mm 障碍时承载物质心点水平、垂向速度

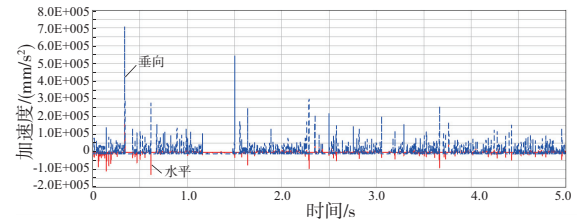


图 9 翻越 20 mm 障碍时承载物质心点水平、垂向加速度

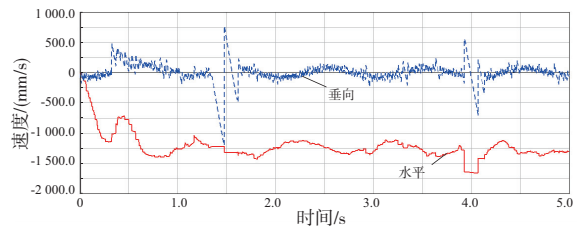


图 10 翻越 30 mm 障碍时承载物质心点水平、垂向速度

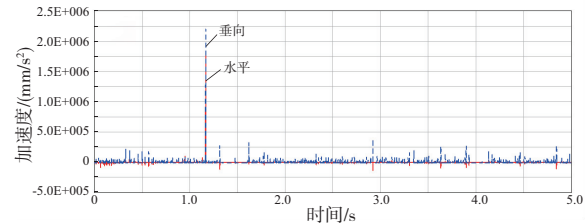


图 11 翻越 30 mm 障碍时承载物质心点水平、垂向加速度

4 结语

本文运用 ADAMS 动力学仿真平台对某行具进行仿真分析得出以下结论,在无需人力强硬拉扯装置,以一个恒定的速度步行并翻越障碍物时:

- 1) 本文设计的单兵携行装置,通过性良好;
- 2) 在士兵牵引携行装置翻越障碍时,其高度对人体作用影响较小;
- 3) 在翻越障碍时,障碍的高度对其承载物的动态响应影响较小;在实际过程中,当翻越障碍时,应该减缓速度,平稳越障,以避免承载物掉落。

(下转第 171 页)

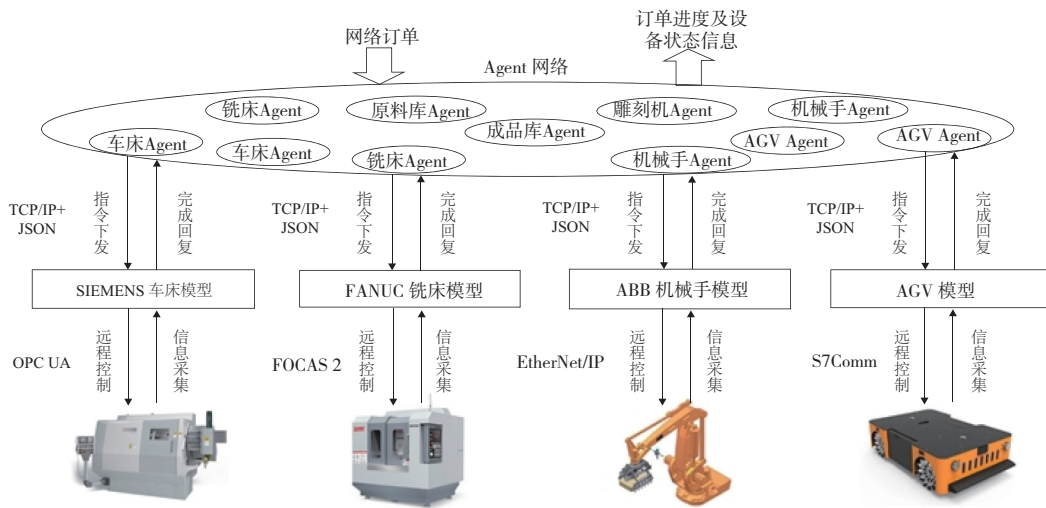


图 4 装备虚拟化模型在基于多智能体技术的自组织物联制造车间中的应用

4 结语

本文针对车间多源异构装备难以与制造系统良好匹配、兼容的问题,提出了一种装备虚拟化模型架构,并通过应用该模型实现了对相应底层装备的远程控制、信息采集、功能拓展和逻辑优化,从而屏蔽底层装备的异构性,使其能够良好地融入物联制造系统。实际应用表明,该方法能显著简化物联制造系统架构,同时提升车间自动化、信息化及智能化水平。

参考文献:

[1] 李轲. 基于 OPC UA 架构的智能制造车间数据通信及应用研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2020.
 [2] 江哲夫,刘涛. 基于 NC-Link 协议的数控系统适配器设

计[J]. 现代机械,2017(4):82-86.

[3] 李方园. 智能制造技术在行业中的应用系列 第四讲 工厂设备的智能物联技术[J]. 自动化博览,2020(7):48-50.
 [4] LIU C, VENGAYIL H, ZHONG R Y, et al. A systematic development method for cyber-physical machine tools [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018,48:13-24.
 [5] 沈烈初. 实体层互联互通 让智能制造不再“卡脖子”[J]. 表面工程与再制造,2018,18(5):5-8.
 [6] LU R Z, LI Y C, LI Y T, et al. Multi-agent deep reinforcement learning based demand response for discrete manufacturing systems energy management [J]. Applied Energy, 2020, 276: 115473.

收稿日期:2020-10-19

(上接第 115 页)

参考文献:

[1] KNAPIK J J, REYNOLDS K L, HARMAN E. Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects[J]. Military Medicine,2004,169(1):45-56.
 [2] 徐盛嘉,王巍,田东,等. 负重对军人的不利影响和对策研究[J]. 军事体育学报,2018,37(2):1-4.
 [3] JENNINGS B M, YODER L H, HEINER S L, et al. Soldiers with musculoskeletal injuries [J]. Journal of Nursing Scholarship, 2008,40(3):268-274.
 [4] 王义斌,陈姣,董兴建,等. 可穿戴式的下肢助力机械外骨骼的结构设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(1):200-203.

[4] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
 [5] 宫鹏涵. ADAMS 2014 虚拟样机从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2016.
 [6] 谢最佳,吴新跃. 基于 ADAMS 的碰撞仿真分析[C]//第三届 中国 CAE 工程分析技术年会暨 2007 全国计算机辅助工程 (CAE) 技术与应用高级研讨会论文集. 大连,2007:345-348.
 [7] 兰凤崇,蔡志华,陈吉清,等. 汽车碰撞中胸-腹部的生物力学响应与损伤评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012,40(12):70-78.

收稿日期:2020-10-14