

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.006

关节式爬管机器人夹紧机构的优化研究

郑 义,周淑芳,邓传云

(青岛黄海学院 机电工程学院,山东 青岛 266427)

摘要:针对实现关节式爬管机器人夹紧机构的结构最优化的问题,应用三维造型软件 SolidWorks 建立了爬管机器人的虚拟样机,运用动力学分析软件 ADAMS 对该机器人的夹紧机构进行了运动仿真,通过 ADAMS 虚拟样机技术,检测了滚轮与管道的接触情况,优化了各个结构件的尺寸,完成了夹紧机构的优化设计,给出了夹紧机构动作的仿真曲线和优化路径曲线,得到了最优的数据结果。研究表明,当杆 7 所受的推力为 65.041 N 时,该机器人能够稳定地运动,从而能够对电动机参数进行准确地选取,可为后期的实物验证打好基础。

关键词:关节式爬管机器人;夹紧机构;运动仿真;优化设计

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)03-0328-05

Optimization of the clamping mechanism for climb pipe joint type robot

ZHENG Yi, ZHOU Shu-fang, DENG Chuan-yun

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Huanghai University, Qingdao 266427, China)

Abstract: Aiming at realizing the optimization of clamping mechanism of the climb pipe robot, using three dimensional modeling software SolidWorks climb pipe robot virtual prototype was established, the robot motion simulation of clamping mechanism was conducted by using dynamic analysis software ADAMS, through the ADAMS virtual prototype technology, the contact between the wheel and the pipe was tested, the size of each structure was optimized, the optimal design of clamping mechanism was completed, the action of the simulation curve and optimizing the path curve of the clamping mechanism was given, the optimal results of the data was gained. The results indicate that when thrust of rod 7 is 65.041 N, the robot can be moved stability, so it is able to accurately select motor parameters and it is set the stage for the actual product to verify in the future.

Key words: climb pipe joint type robot; clamp mechanism; motion simulation; optimization design

0 引 言

在现代生活中,高空作业不断增加,如高楼清洗、油漆、喷涂料、救护、大桥缆绳的检查和维护、电力系统架设电缆、瓷瓶清洁等等。这些工作给高空作业的工作人员带来了很大的不安全因素。为了改善工作人员的工作条件,本研究设计出一种爬管的机器人。该装置能按照人们预设的动作,代替人完成各种高空作业。

管道机器人作为工业机器人的一个主要研究分支,可分为管内机器人和管外机器人,人们对管内行走

机器人已有较多研究,而对管外机器人的研究相对较少,管外机器人主要用于管道、缆索、电缆、电线杆等作业,其工业应用正在逐渐受到人们重视。大多数工业管道中含有高温、高压、有毒、有辐射的流体介质,一旦管道发生裂纹或断裂,流体介质泄漏,将会造成重大的人员伤亡和财产损失,因此,对管道进行定期的检测和保养必不可少。若单纯使用人工方法,不仅耗费大量的人力和物力,效率低,而且许多场合根本无法容纳人工作业,此时,管外机器人就显示出了明显的优越性能和实用价值。

当今对管外爬行机器人的研究还很少,而且大多数都只停留在爬直管的层次上,目前,也有一些针对管外行走机器人研究的报道或专利。在管道外表面上作业的机器人一般采用蠕动式、螺旋式、滚动式、交替攀爬式等多种移动方式,但是它们往往都有一些应用的局限性,如它们多数都只能沿着管线方向行走而不具备绕管子转圈的功能,有的不能跨越管道上的障碍,有的只适合爬立杆或水平杆的一种管道状态,有的甚至不能连续、均匀地经过管道各处外表面,这样,它们就不能满足一些需对各种姿态的管道外表面进行连续检测或维护的要求。为此,迫切需要创造出一种高效、实用、多用的管外行走机器人,来满足对管道及各种圆柱形体工件的外部连续检测、维护或修复等的应用需要。

本研究采用三维造型软件 SolidWorks 建立爬管机器人的虚拟样机。

1 爬管机器人工作原理

该关节式爬管机器人一共包括前、后两个关节。每个关节上有一个加紧机构和一些连杆机构。加紧机构是由轮支架、运动轮、丝杠、撑开杆、被推件、支撑轮、丝杠轮、直线电机、主电机、支撑轮等组成。丝杠在直线电机运动的带动下,带动被推件上、下运动,从而带动撑开杆运动,撑开杆带动轮支架运动,从而实现加紧机构的开合运动;在运动轮上有主电机带动,主动轮的安装角度与管道成空间 45° ,在加紧机构加紧的情况下,根据主电机的旋转方向的不同,从而实现爬管机器人的前进、后退、旋转等动作,在两关节运动的配合下还具有很好的越障的特点^[1]。整体结构设计应尽可能减轻重量,方便结构设计时能选用更小的驱动电机以及更轻盈的结构方案来克服由于重力产生的阻力矩。

本研究利用三维建模软件 SolidWorks 建立了爬管机器人的三维模型,在装配及过程中发现了干涉、自锁等问题,本研究及时地对方案进行了改进,综合考虑了功能、成本、使用方便性等问题,最终完善并确定了本研究的方案。爬管机器人本体结构和加紧机构的二维示意图如图 1、图 2 所示。

由图 1 可以看出,该机器人拥有一个对称的本体结构,前、后一共分为相同结构的两节,每一节包括一个车体、两个滚轮支架、两个主动滚轮、两个主动滚轮电机、一个加紧机构驱动电机和一个翻转电机,在设计时,主动滚轮与管道成 45° 夹角安装。该爬管机器人能够实现以下动作:①调节主动滚轮驱动电机的旋向,

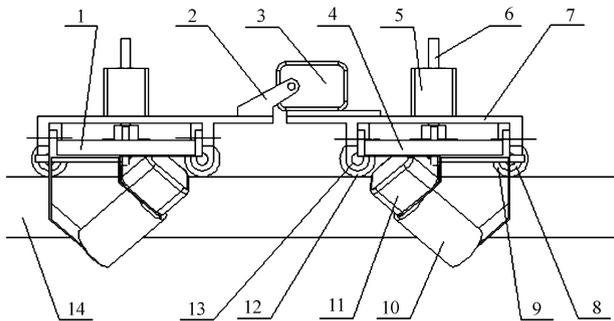


图 1 爬管机器人整体机构二维示意图

1—前车体;2—铰链支架;3—舵机;4—后车体;5—直线电机;6—电机螺杆;7—车体架;8—自由滚轮支架 A;9—自由滚轮 A;10—行走滚轮 A;11—舵机 A;12—自由滚轮 B;13—自由滚轮支架 B;14—直管道

使该机器人沿着管道前进和后退;②调节主动滚轮的旋向,实现绕管道旋转运动;③在加紧机构驱动电机和翻转电机的驱动下,实现加紧机构的夹紧和松开,以及关节翻转。夹紧机构的二维示意图如图 2 所示。

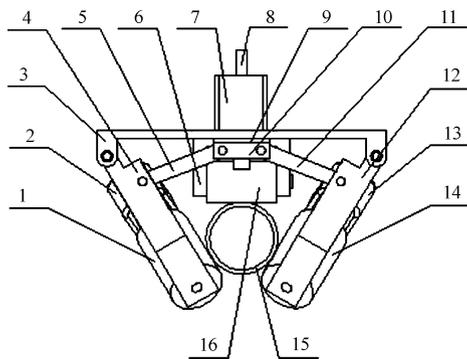


图 2 爬管机器人加紧机构示意图

1—行走滚轮 A;2—舵机 A;3—车体架;4—行走滚轮支架 A;5—连杆 A;6—自由滚轮支架;7—直线电机体;8—电机螺杆;9—驱动盘;10—连杆架;11—连杆 B;12—行走滚轮支架 B;13—舵机 B;14—行走滚轮 B;15—管道;16—自由滚轮

如图 2 所示,夹紧机构在整套结构中是很重要的部分,在设计该夹紧机构的时候要考虑到最优化问题,也就是说用最小的拉力,就能够在运动轮和管道之间产生足够大的摩擦力来克服重力产生的阻碍力矩,并且还要考虑到丝杠的行程和管道的直径大小的问题,所以在设计夹紧机构的过程中,要充分考虑到这些问题以及找到最优的解决方案。

2 夹紧机构的结构优化设计

2.1 优化分析流程

ADAMS 的设计与仿真计算流程如图 3 所示^[2]。

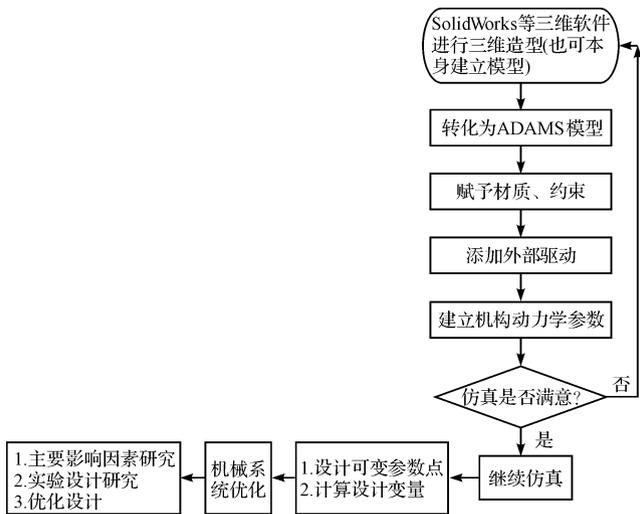


图 3 ADAMS 设计仿真流程

2.2 加紧机构的运动学仿真

本研究在完成图 3 中仿真之前的所有的工作之后,在 ADAMS/View 环境下进行仿真^[3],仿真时模型以及由后处理得到的驱动轮和管道之间作用力仿真曲线及数据如图 4、图 5 所示。

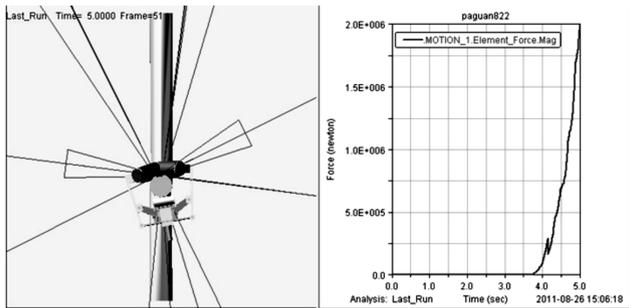


图 4 旋转运动过程中抱紧机构受力

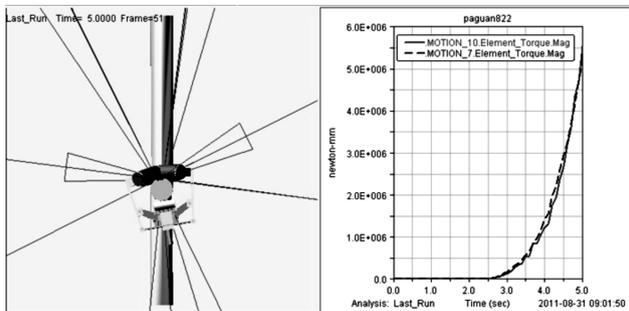


图 5 旋转运动过程中行走滚轮受力矩曲线图

在图 4、图 5 中,本研究得到了旋转过程中行走滚轮与管道间的力和力矩曲线,从图 4、图 5 中可以看出,前、后车体的行走滚轮受力和力矩是一致的,也就是说,整体结构在旋转运动过程中是稳定的。驱动轮和管道之间运动参数仿真曲线及数据如图 6、图 7 所示。

根据图 6、图 7 得到了行走滚轮的速度和加速度

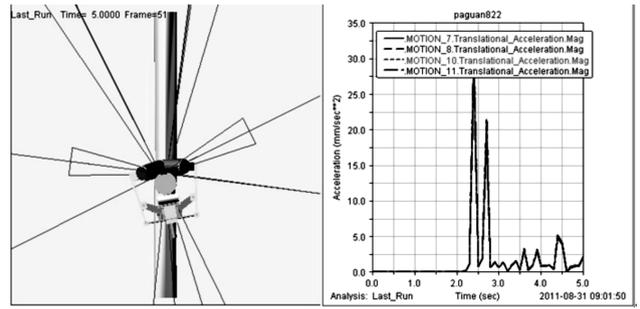


图 6 行走滚轮的加速度曲线

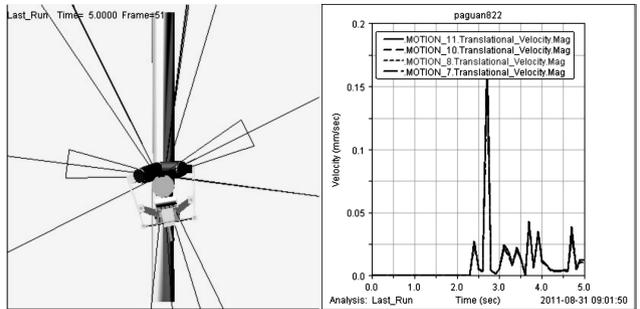


图 7 行走滚轮的速度曲线

曲线,从这两幅图可以看出,前、后两个车体中的 4 个行走滚轮在运动过程中,每一个轮子的速度和加速度也是一致的,所以,运动过程中也是稳定的。

2.3 参数化建模

本研究利用动力学仿真软件 ADAMS,建立了该加紧机构的参数化模型,将该机构中的相关参数设置成设计变量,在相应的分析中,只需要改变该模型中相关参数的变量,进行参数化仿真,该模型就会随着参数的改变而改变^[4],并且可以根据预先设置的变量,进行多次仿真分析,从而可以得到在不同的参数下,模型的不同变化结果。该加紧机构的主要参数为加紧机构中各个铰接点的位置参数,该优化设计就是在满足本研究目标的前提下,确定夹紧机构的最佳位置,各个铰接点的位置以及参数化模型如图 8 所示^[5]。

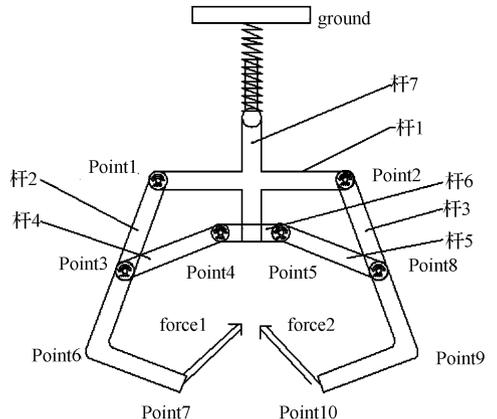


图 8 夹紧机构虚拟样机参数化模型

机构的位置方案由图8中的10个point点来确定,夹紧机构由上图中的7个杆组成,在point7和point10位置施加一个方向于水平位置成45°的恒定作用力,并建立了传感器,用于使机构处于本研究需要的位置时停止仿真(设计点point7和point10之间的距离大于或等于80mm)。为测量杆7在推开加紧机构所用的推力,本研究在杆7和地面之间加了一个弹簧(处于初始状态),所以只需要测量弹簧中的张力即可得到杆7的推力。笔者将point1、point2、point3、point4、point5、point6、point7、point8、point9、point10这10个设计点的x、y坐标值分别设为设计变量,本研究所进行的优化设计就是要对这些个设计变量进行优化,找出图11所示的夹紧机构在同等情况下杆7的推力最小时各设计变量的值。优化以前弹簧力随时间变化曲线如图9所示。

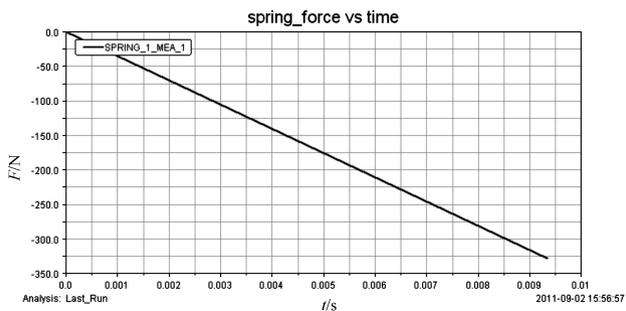


图9 优化前弹簧力随时间变化曲线

2.4 设计研究

设计研究是当设计变量中只有一个变量在其变化范围内取不同的值时,目标函数的变化情况,这时目标函数只是这一个变量的函数^[6-7]。本研究在特定范围内对这个变量取不同的几个值,看目标函数的变化。然后再每次取一个不同的设计变量自动进行仿真分析,仿真分析完成之后以报表形式给出每次分析的数据结果。

下面本研究首先对设计变量DV_1进行优化设计研究,通过设计研究设置对话框对变量DV_1进行设置,设计变量的编辑对话框如图10所示。

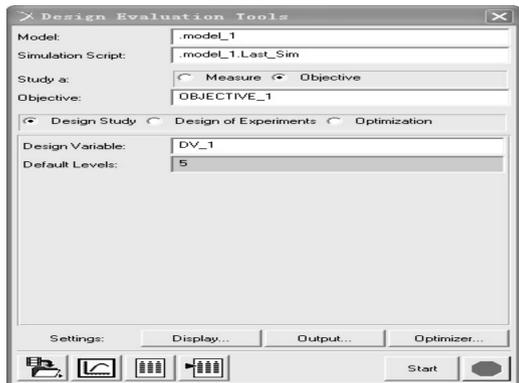


图10 设计变量的编辑对话框

本研究设置好上述对话框以后,开始优化,ADAMS自动生成优化过程中弹簧力随该变量的不同取值时的变化曲线如图11所示。

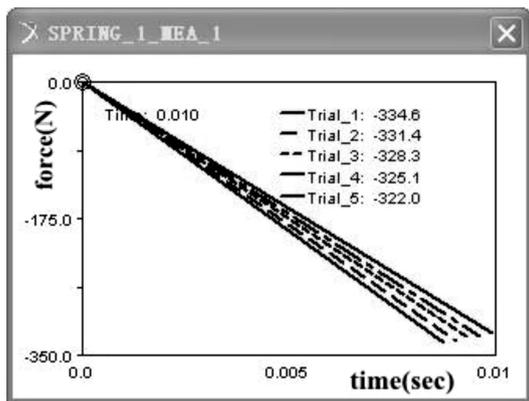


图11 弹簧力随变量DV_1变化曲线

同时设计研究报告还提供了在随着Trial变化的同时弹簧力的大小、设计变量DV_1的取值,以及设计变量DV_1对弹簧力影响的敏感度,研究报告如表1所示。

表1 变量DV_1实验研究报告

Trial	弹簧力	DV_1	Sensitivity
1	-334.62	-45.000	-1.2762
2	-331.43	-47.000	-1.2719
3	-328.26	-50.000	-1.2615
4	-325.12	-52.000	-1.2478
5	-322.02	-55.000	-1.2403

本研究按照对设计变量DV_1的优化设计方法依次对其他设计变量进行优化设计研究,具体结果如表2所示。

表2 全部设计变量优化结果汇总

设计变量	设计点坐标	初始值	最优值	设计点敏感度
DV_1	Point1x	-50	-55	-1.2615
DV_2	Point1y	0	0	0
DV_3	Point2x	50	55	1.2731
DV_4	Point2y	0	0	0
DV_5	Point3x	-65	-71.5	-7.569
DV_6	Point3y	-50	-45	14.188
DV_7	Point4x	-30	-33	9.7672
DV_8	Point4y	-25	-20	-22.713
DV_9	Point5x	30	33	9.8219
DV_10	Point5y	-25	-20	-22.783
DV_11	Point6x	-80	-88	0.0068
DV_12	Point6y	-80	-88	0.0091
DV_13	Point7x	-30	-25	19.12
DV_14	Point7y	-90	-99	3.8606
DV_15	Point8x	-65	71.5	7.6149
DV_16	Point8y	-30	-45	14.495
DV_17	Point9x	80	88	-0.0145
DV_18	Point9y	-80	-88	-0.0327
DV_19	Point10x	30	33	-19.139
DV_20	Point10y	-90	-99	-3.8699

由表 2 的结果能够看出,设计变量 DV_4、DV_6、DV_8、DV_11、DV_14、DV_17 的敏感度最高,也就是说设计点 point7 和 point10 的 x 方向以及 point3、point4、point5、point8 的 y 方向的位置对杆 7 的推力影响较大,从而再进一步对以上几个设计变量进行优化设计^[8]。

2.5 优化设计

本研究设定设计变量 DV_4、DV_6、DV_8、DV_11、DV_14、DV_17 的变化范围,以弹簧力的最小张力为优化目标函数进行优化设计^[9-11]。优化过程中弹簧张力的变化曲线如图 12 所示。

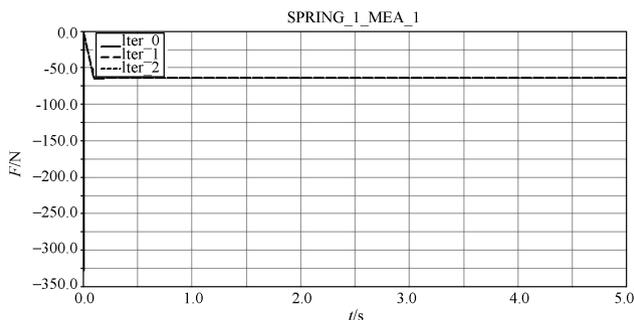


图 12 优化曲线图

同时给出的优化数据报告如表 3 所示。

表 3 优化结果数据

Iter	弹簧力	DV_4	DV_6	DV_8	DV_11	DV_14	DV_17
0	-328.26	-50.000	-25.000	-25.000	-30.000	-50.000	30.00
1	-65.041	-45.000	-27.500	-27.500	-27.000	-45.000	27.003
2	-65.041	-45.000	-27.500	-27.500	-27.000	-45.000	27.00

由表 3 可以看出,当设计变量 DV_4、DV_6、DV_8、DV_11、DV_14、DV_17 分别为 -45、-27.5、-27.5、-27、-45、27 的时候,杆 7 的所用的推力最小为 65.041 N。从而笔者根据以上数据对电动机参数进行准确地选取。

3 结束语

通过以上分析,本研究对该管外爬管机器人进行

了动力学仿真,得到了运动中的曲线以及相关数据,验证了该机器人运动的稳定性,优化了该机器人的本体结构,得到了准确的结构数据以及杆 7 所用的最小推力为 65.041 N,从而能够对电动机参数进行准确地选取,为后期的实物验证做好了铺垫。

参考文献 (References):

- [1] 张爱红,张秋菊. 机器人示教编程方法[J]. 组合机床与自动化加工技术,2003(4):47-49.
- [2] 蒙艳玫,李尚平,刘正士. 虚拟样机技术及其在创新产品开发中的应用[J]. 广西科学,2001(4):256-259.
- [3] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [4] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 刘极峰. 机器人技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [6] ONATE E, ROJEK J. Combination of discrete element and finite element methods for dynamic analysis of geomechanics problems[J]. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 2004(193):3087-3128.
- [7] DUINDAM, VINCENT S, SCHERPEN J M A, et al. Passive compensation of nonlinear robot dynamics[J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*,2004,20(3):480-487.
- [8] 钱令希. 工程结构优化设计[M]. 北京:水利电力出版社,1983.
- [9] 王佳佳,刘满禄,张婧,等. 基于 ADAMS 的六轮自适应越障机器人的设计与研究[J]. 机械,2014(5):61-65.
- [10] 郑向华. 基于 FluidSIM 的清洗机器人柔性自动跟踪清洗功能设计与仿真实现[J]. 液压气动与密封,2013(12):83-84.
- [11] 孙克新. 空间机器人动力学分析与控制仿真[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学航天学院,2006.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

郑 义,周淑芳,邓传云. 关节式爬管机器人夹紧机构的优化研究[J]. 机电工程,2015,32(3):328-332.

ZHENG Yi, ZHOU Shu-fang, DENG Chuan-yun. Optimization of the clamping mechanism for climb pipe joint type robot[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(3):328-332.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>