

Design and Motion Simulation Analysis of Bionic Pipeline Robot with Quadruped Friction Nanometer Power Generation

Jiangu Cheng Chenyu Zhao Shuqi Wang

School of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing, 401331, China

Abstract

A four-legged friction nanometer power generation bionic pipeline robot is proposed. The bionic designed pipeline robot improves the flexibility, endurance, maintenance efficiency and environmental adaptability of the pipeline robot to a certain extent. The four-legged friction nanometer power generation bionic pipeline robot is theoretically studied, structure design, control system design and virtual prototype motion simulation analysis of the four-legged friction nanometer power generation bionic pipeline robot are completed. Based on the analysis of experimental data, the comprehensive motion performance of the four-legged friction nanometer power generation bionic pipeline robot is better than that of the general multi legged pipeline robot, improve the efficiency of pipeline operations.

Keywords

four-legged pipeline robot; pipeline robot; friction nanometer power generation; bionics design; motion simulation

四足仿生管道机器人设计与运动仿真分析

成建渝 赵晨渝 王树淇

重庆科技学院机械与动力工程学院, 中国·重庆 401331

摘要

一种四足摩擦纳米发电仿生管道机器人, 该仿生设计的管道机器人在一定程度上提升了管道机器人灵活能力、续航能力、检修效率与环境适应能力, 针对该四足摩擦纳米发电仿生管道机器人进行理论研究, 并完成了四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的结构设计与虚拟样机运动仿真分析。依靠实验数据分析, 该四足摩擦纳米发电仿生管道机器人综合运动性能优良于一般多足式管道机器人, 提升管道作业效率。

关键词

足管道机器人; 管道机器人; 摩擦纳米发电; 仿生设计; 运动仿真

1 引言

随着全球工业化与城市化进程加快, 各种用途的管道遍及人类生产、生活领域, 尤其为全球化工产业蓬勃发展奠定了坚实的支撑, 管道运输已经成为人类工业活动不可缺少的重要运输渠道。由于管道运输物质的特殊性与长期处于重压运载用途, 产生包括堵塞、锈蚀、裂纹、漏孔等诸多问题。传统的挖掘检修与人工检修存在作业量大、维护难度大、检修效率低的缺陷, 管道机器人由此诞生。

【课题项目】重庆科技学院硕士研究生创新计划项目(项目编号: YKJCX2120330)。

【作者简介】成建渝(1999-), 男, 中国重庆人, 在读硕士, 从事智能制造装备工程研究。

论文主要利用 Solid works 对四足式摩擦纳米发电仿生管道机器人进行结构外形设计, 并用 ADAMS 对其进行运动学仿真分析与有限元分析来验证该四足管道机器人适应管道巡检地面的能力。

2 建模设计与运动学分析

2.1 四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的建模设计

基于伺服电机驱动腿部关节实现迈进功能的四足机器人简化后整体三维建模如图 1 所示。该管道机器人的总体尺寸为长 840 mm, 宽 640 mm, 高 460 mm。在不影响该管道机器人管道工作环境适应能力下, 即不改变管道机器人整体尺寸大小, 为保证虚拟样机运动仿真结果与承载管道检修装备的管道机器人运动实例吻合程度, 可通过设置躯干在虚拟样机中的材质进行合适的调整, 使得该三维模型逼近物理样机的负重情况^[1]。

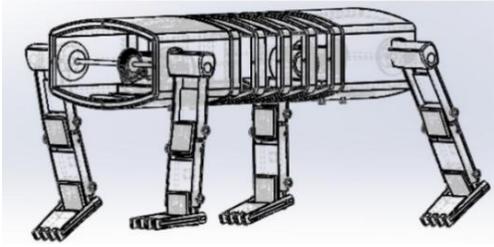


图1 多足管道机器人 Solid Works 整体简化建模

2.2 四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的步态规划

四足管道机器人的步行步态过程中，若对四足管道机器人进行腿部编号，为保证运动过程的稳定性，一次步行仅准许一条腿进行抬腿动作，剩余腿部作为支撑，根据排列与组合且筛选掉重复步态，得到6种迈步次序（见图2）。

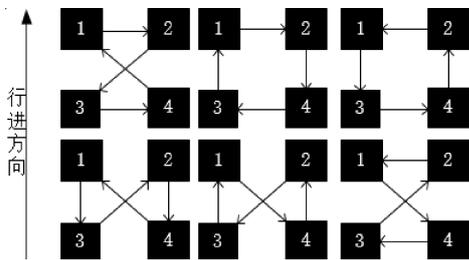


图2 四足管道机器人6种步行步态组合

综合比较四足管道机器人单腿与地面接触时间与整个步态周期的比值（用于评估步态规划理论行走快慢）、稳定裕度与步态稳定性（见图3），采取1—4—2—3的步行步态规划方案。

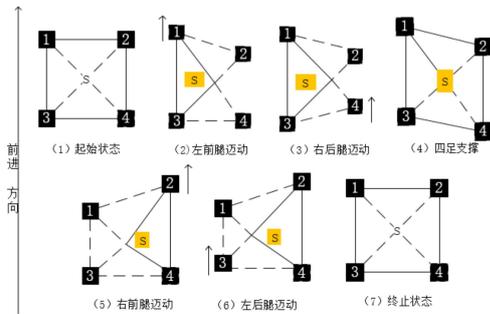


图3 四足管道机器人1—4—2—3步行步态稳定

2.3 四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的运动学分析

四足管道机器人质心分析模型（见图4）。若刚体R由两个子刚体 R_1 与 R_2 组成，且子刚体质量分别为 m_{R1} 、 m_{R2} ，质心分别坐标为 (X_{R1}, Y_{R1}, Z_{R1}) 、 (X_{R2}, Y_{R2}, Z_{R2}) 则由于刚体 R_n 组成的刚体R的COG点坐标为：

$$\begin{cases} X_{R.CO G} = \frac{m_{R1}X_{R1} + m_{R2}X_{R2}}{m_{R1} + m_{R2}} \\ Y_{R.CO G} = \frac{m_{R1}Y_{R1} + m_{R2}Y_{R2}}{m_{R1} + m_{R2}} \\ Z_{R.CO G} = \frac{m_{R1}Z_{R1} + m_{R2}Z_{R2}}{m_{R1} + m_{R2}} \end{cases}$$

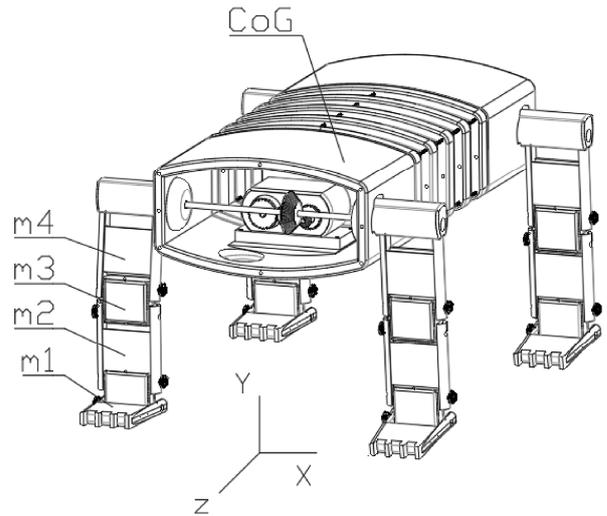


图4 四足管道机器人质心分析模型

3 有限元分析与运动仿真分析

3.1 四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的有限元静态分析

该管道机器人所采用的材料包含不锈钢、铝合金以及部分树脂材料，该管道机器人总体质量为9.86 kg，单条机械腿质量为0.92 kg，假设其负载15 kg管道检修设备，B点为腿部质心位置。

计算公式：

$$F_1 = \frac{(G_{设备} + G_1 + G_{AB})}{3}$$

$$M_1 \approx \frac{(G_{设备} + G_1) \cdot L_{AB}}{3}$$

其中：

$$G_1 = (9.86 - 0.92 \times 4) \times 9.8 = 60.564 \text{ N}$$

$$G_{AB} \approx \frac{0.92}{420} \cdot 214 \times 9.8 \approx 4.593 \text{ N}$$

式中： $G_{设备}$ 为管道检修设备负载重量，147 N； G_1 为管道机器人除开四条机械腿后的重量，60.564 N； G_{AB} 为管道机器人机械腿A段重量，4.593 N； F_1 为管道机器人在步行迈步过程中单条机械腿所受力，70.719 N； M_1 为管道机器人负载情况下对单条机械腿质心B产生的力矩，14806 N/mm，根据上述计算公式最终总变形如图5所示^[2]。

根据应力分布图得知，单条机械腿的最大应力为1.0946 MPa，最大变形量为0.001372 mm，因此该机械腿的设计足以支撑管道检修设备负重所需求的结构强度与刚度。

3.2 四足摩擦纳米发电仿生管道机器人的运动仿真分析

为验证该四足管道机器人适应管道巡检地面的能力，设计仿真场景的圆弧弯管直径 \varnothing 为1000 mm，曲率为 ρ 为0.024，且弯管水平放置。

由于上述四足管道机器人总共依靠8个舵机提供驱动力,则为每条机械腿上2个舵机,添加总共8个转动副与其相对应的旋转驱动力,旋转驱动力依靠设置系统单元中的VARVAL函数,且保证与每个转动副一一对应,且次序对应,使得机械腿能够在运动完一个周期后返回状态变量当前值,即形成运动循环^[3]。

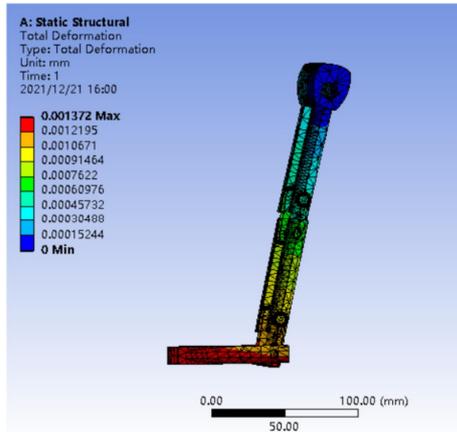


图5 机械腿变形分布

如图6所示,该四足管道机器人在0~3 s运动过程中的行进方向速度呈现负值。引起这种负值现象的主要原因是,四足管道机器人在运动初始阶段由多腿平稳支撑到奇数腿部倾斜支撑,机体需将腿部支撑点向外延展来降低机体重心,以防止机体倾覆等问题。

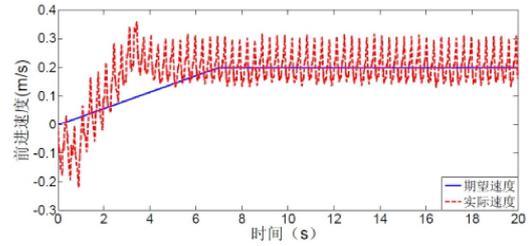


图6 行进方向的速度曲线

4 结语

针对机器人的研究过程,对四足管道机器人进行三维建模并实施关键运动机构的仿真分析,能够验证设计方案的可靠程度,减少物理样机的研究时间与成本,并能够较好地优化设计方案。论文主要对自设计的四足摩擦纳米发电仿生管道机器人实施整体结构建模、运动学分析与步态规划,完成联合仿真函数编写并运用至运动仿真,其结构简单,选材合理,运动控制较为准确、平稳,为后续研究做好实验数据铺垫并实施优化方案的延续。

参考文献

- [1] 郭忠峰,陈少鹏,毛柳伟,等.主动变径管道机器人结构设计及其ADAMS仿真研究[J].机床与液压,2019,47(15):21-23.
- [2] 房德磊,尚建忠,罗自荣,等.全液压驱动管道机器人公理化设计[J].国防科技大学学报,2019,41(6):63-69+99.
- [3] 年四成,邓中亮,刘铁,等.一种管道机器人的结构与性能分析[J].机械设计与制造,2019(11):253-255+260.