

基于仿生学的蝎子结构三臂井喷救援机器人的设计

李县法 石永军 王晓岗 郭延阔 孙瑞
(中国石油大学机电工程学院 山东 青岛 266580)

摘要: 设计出一款自动化程度高的设备, 对油田安全作业具有重大意义。救援机器人是井喷救援设备的最新发展方向。本文结合仿生学, 仿照蝎子的结构和功能, 设计出一款仿蝎子结构三臂井喷救援机器人。利用 SolidWorks 完成机器人的结构设计, 利用 Adams 进行动力学仿真, 用 Ansys workbench 对关键的零部件进行强度校核, 完成全新的仿蝎子结构三臂井喷救援机器人的设计。

关键词: 井喷; 抢喷设备; 仿生学; 救援机器人

上海交通大学于 2012 年提出油气井井喷抢险机器人技术方案, 研制出一种油田抢喷作业机器人, 该机器人自动化程度高, 可快速、有效地控制井喷, 减少井喷导致的损失, 提高了现场作业人员的安全保障。

本设计在借鉴国外救援机器人研究经验的基础上, 结合仿生学原理, 仿照蝎子的结构功能与造型, 设计出一款仿蝎子结构三臂井喷救援机器人。

1 救援机器人方案设计

1.1 机器人总体方案

首先对蝎子的结构和功能进行分析: 蝎子的腿部能适应各种地形环境, 并且能快速通过障碍地段; 蝎子的左右双臂可以互相配合工作, 共同实现复杂动作; 而尾臂强劲有力, 可以承载大质量物体的作业。

因此将蝎子的腿部设计成救援机器人的行走机构; 将蝎子左右双臂设计成两个相互配合工作的机械臂, 实现螺栓的拆卸和安装; 将尾部设计成更换设备的后机械臂。机器人总体方案如图 1 所示。

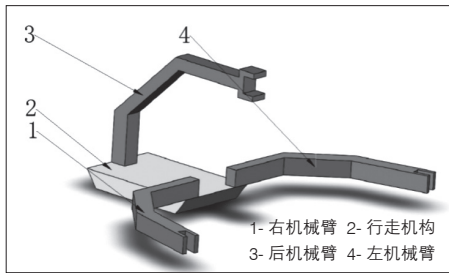


图 1 机器人整体方案设计

1.2 行走机构方案选型

由于该机器人的行驶条件较差, 并且要求机器人能够稳定、快速地到达所在事故发生地点, 所以该设计采用直流电机驱动的两驱式履带行走机构。

为了保证履带车运动的承载和平稳性, 选用直流电机作为动力源, 电机功率为 24W, 额定电压为 9V, 转速选择为 160r/min。

1.3 机械臂方案设计

1.3.1 机械臂的自由度设计

参考“仿生三臂机械工程车”的机械臂的自由度, 设计

本机器人的左右大臂的自由度为 4; 机械臂动作前, 需要增加一个自由度使执行端保持水平, 才能使左右机械臂实现拆装螺栓螺母; 井喷时作业情况复杂, 为了保证左右机械臂在工作时能应对复杂的工况, 需要给机械臂增加一个自由度保证机械臂灵活性。因此, 左右机械臂的自由度为 6。

后机械臂需要实现设备的更换工作, 由于后机械臂需要增加一个旋转的自由度将损坏的设备放到一边, 将新设备放置在井口上; 同时需要增加一个自由度实现对设备的夹持工作。所以后机械臂的自由度为 6。

1.3.2 机械臂的动力选型

1.3.2.1 动力类型确定

目前机械臂常用的动力源有直流电机、步进电机和舵机。直流电机具有起动和调速性能好的特点, 但结构复杂; 步进电机具有控制容易实现和控制精度较高等优点, 但是难以获得较高的转速和转矩; 舵机的结构紧凑、易于安装、稳定性高。综合对比直流电机、步进电机和舵机的优缺点, 选用舵机作为机械臂的动力源。

1.3.2.2 动力参数确定

目前, 工业中常用的舵机分为数字舵机与模拟舵机, 数字舵机的控制电路比模拟舵机多了微处理器和晶振, 可以根据微处理器的程序运算而调整, 以适应不同的功能要求, 具有更高的精度和更好的固定力量。因此, 该机械臂中的动力源全部采用数字舵机。

2 仿真

2.1 机械臂的 Adams 动力仿真

为了更准确地实现对机械臂大臂的控制, 完成结构设计后, 简化机械臂的大臂模型, 然后用 Adams 软件进行仿真。如图 2 所示, 为机械臂大臂简化模型。

在三个机械臂连接处分别施加旋转副, 完成机械臂的约束施加。分别对三个旋转副施加运动函数并建立模型进行仿真。经过多次仿真后, 最符合所需的运动轨迹的转速分别为 5°/s, 10°/s 和 15°/s。

在三个旋转副处分别施加 0.2Nm 的力矩, 对机械大臂进行动力仿真, 以得到机械臂力和力矩变化曲线, 为关键零件的 ANSYS 分析提供依据。

2.2 机械臂关键零部件的校核

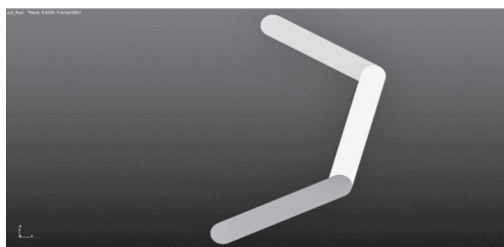


图 2 机械臂的简化模型

2.2.1 机械臂大关节的强度校核

在施加最大载荷的情况下，最大变形量为 0.00266mm，与大关节的尺寸相差 5 个数量级，因此变形可以认为较小，满足设计的要求。

在施加最大载荷的情况下，大关节的最大应力为 150.17MPa，小于许用应力 180MPa，因此后机械爪的结构设计是满足强度要求的。

2.2.2 小关节的强度校核

在施加最大载荷的情况下，最大变形量为 0.00363mm，与小关节的尺寸相差 5 个数量级，因此变形可以认为较小，满足设计要求。

在施加最大载荷的情况下，大关节的最大应力为 139.14MPa，小于许用应力 180MPa，因此后机械爪的结构设计满足强度要求。

3 机器人实物制作

在已经完成了各个部分的选型以及结构设计后，机器人的装配体如图 3 所示。

参考各机器人各部分的结构设计，完成了实物模型的制作。实物如图 4 所示。

4 结语

①用 Adams 软件对机器人手臂进行简化和仿真后，获得了动态特性。流利度曲线表明可以精确控制机器人手臂。

②用 ANSYS 软件对大节和小节的零件进行了仿真，结果数据表明变形可以认为很小，可以满足设计要求。此外，从云图可以看出，在施加最大载荷的情况下，大节和小节的

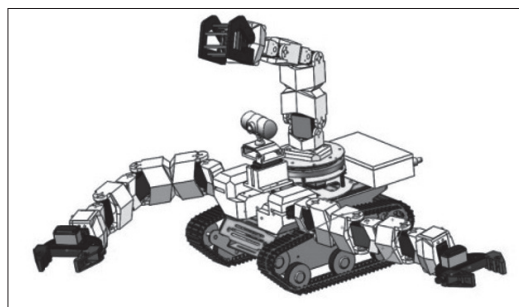


图 3 仿蝎子结构三臂井喷救援机器人

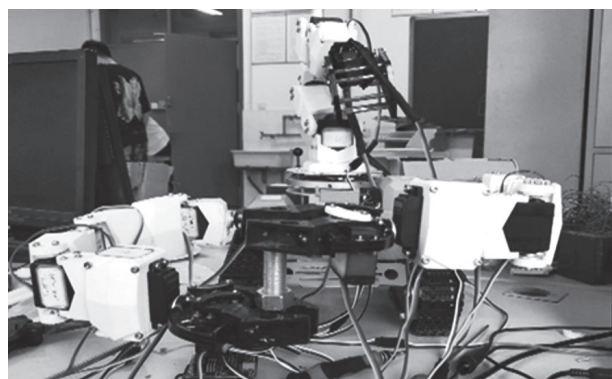


图 4 仿蝎子结构三臂井喷救援机器人图

最大应力均小于许用应力，后机械钳口的结构设计满足了强度要求。

③根据机器人各部分的结构设计完成了物理模型，以及物理模型与结构设计匹配。此外，通过简单的运动测试，该机器人可以满足后续的实验要求。

参考文献：

- [1] 高康平,展梓荃,焦生杰,等.救援机器人柔性关节的设计与稳定性分析[J].机械科学与技术,2020,39(08):1191-1195.
 - [2] 杨东山.救援机器人可变形行走机构研究与系统设计[D].辽宁工程技术大学,2020.
- 作者简介:李县法,(1994),男,汉族,博士二年级,河南郑州人,研究方向:激光碎岩,仿生机器人和激光增材制造。

(上接第 23 页)

准要求。选用螺栓时也需要和供应商进行充分的沟通交流，避免在选用过程中时间和精力浪费。

参考文献：

- [1] 刘峰.基于 VDI2230-2003 标准的动车组吊挂设备用螺栓强度分析[J].农家科技:中旬刊,2017(2):21-23.
- [2] 李畅,吕志龙,周安德.动车组设备螺栓连接可靠性分析[J].现代城市轨道交通,2019(9):48-52.
- [3] 祝朋飞,叶校瑛.汽车底盘紧固螺栓设计和强度校核[J].工业技术与职业教育,2018(2):22-24.
- [4] 石超,赵志敏,陈志恒,等.动车组设备螺栓连接可靠性分析[J].机械气动工具,2005(4):6-10.
- [5] 高永吉.动车组螺栓设计研究[J].科学与信息化,2019(31):66-66.
- [6] 周坤,刘美红.法兰螺栓连接中螺栓预紧力的计算和控制方法

分析[J].新技术新工艺,2010(8):26-28.

- [7] 陈真,杜静,何玉林,等.采用 VDI2230 的风力发电机组塔筒法兰联接处螺栓强度分析[J].现代制造工程,2011(5):125-129.
- [8] 刘征.动车组螺栓连接的设计研究[J].科学与技术,2019(9).
- [9] 张伟,平新玮.风电机组高强度螺栓常见问题分析[J].防护工程,2010(14).
- [10] 钟绍昕.法兰连接中螺栓预紧力的研究与分析[J].科学与技术,2020(4).
- [11] 吴志峰,丁同兴.桥梁钢结构高强度螺栓组连接设计[J].基层建设,2018(03).
- [12] 陈亭志.螺栓选型和装配扭矩的计算方法研究[J].机械工程师,2014(06):77-79.