

“地壳一号”万米钻机铁钻工伸展机构设计 及运动学仿真分析

耿长伟¹, 王清岩^{1,2}, 孙友宏¹, 时元玲¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国航天科工集团 061 基地, 贵州 遵义 563000)

摘要:介绍了“地壳一号”万米钻机新型铁钻工伸展机构的组成以及工作原理,对所采用的平行四边形机构的速度进行了理论计算,应用 ADAMS 软件对伸展机构进行了动力学仿真分析,通过对伸展油缸施加不同的载荷和驱动方式,考察伸展机构动力学过程。研究结果表明伸展机构结构设计合理、工作平稳可靠。

关键词:“地壳一号”万米钻机;铁钻工;伸展机构;动力学分析

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)05-0053-04

Design of Stretching Mechanism of Iron Roughneck for “Crust I” Myriameter Drilling Rig and the Dynamics Simulation Analysis/GENG Chang-wei¹, WANG Qing-yan^{1,2}, SUN You-hong¹, SHI Yuan-ling¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. 061 Base of China Aerospace Science and Industry Group, Zunyi Guizhou 563000, China)

Abstract: The paper introduced the composition and working principle of new stretching mechanism of iron roughneck for “crust I” myriameter drilling rig, made theoretical calculation on the velocity of the parallelogram mechanism used and conducted dynamic simulation analysis by ADAMS software. With different load and drive modes on the stretching cylinders, the dynamics process of stretching mechanism was investigated. The results indicate that the design of stretching mechanism is reasonable, smooth and reliable.

Key words: “crust I” myriameter drilling rig; iron roughneck; stretching mechanism; dynamics analysis

0 引言

“地壳一号”万米钻机将石油钻井装备的超深井钻进能力与地质岩心钻探先进的钻进技术有机地结合,来满足松科二井的深孔连续取心钻进工艺需要,其钻深能力 10000 m,最大钩载 700 t,总功率 4610 kW。钻机具有高度的自动化和智能化,研发了大扭矩全液压顶驱、高精度自动送钻系统、悬挂式自动钻杆排放装置、全液压智能化铁钻工和全液压自动猫道等自动化配套设备^[1]。

铁钻工是自动化钻井设备的重要组成部分,可以实现钻具连接丝扣处的上卸扣、活动井下工具等工序,根据产品设计方案,分为伸缩式和导轨式。“地壳一号”万米钻机铁钻工采用单排伸展臂,相比于国内的铁钻工,具有结构简单,操作方便、易于控制、定位准确等特点^[2]。该新型铁钻工可以与“地壳一号”万米钻机进行配套集成,实现钻具拧卸作

业的自动化。

本文主要针对“地壳一号”万米钻机铁钻工的伸展机构进行了研究与讨论,新型铁钻工的伸展油缸对称布置,相比于国内的铁钻工,使机器的运动平稳而且精度和效率更高。但伸展油缸的速度会对铁钻工钳体运动的稳定性产生影响。伸展油缸在不同的控制信号作用下,伸展运动的速度随时间的变化规律不同,在实际的工作过程中,需要知道油缸的最佳控制信号,以便使钳体能够平稳地接近钻杆,减少震动和冲击,但是通过现场试验,往往费时费力,浪费人力物力。ADAMS 软件是一款专业的动力学仿真分析软件,在 ADAMS 环境中建立机械系统的“虚拟样机”,我们不仅可以验证该机构设计的合理性,而且可以得出最佳控制信号。因此本文对该伸展机构进行了仿真与分析。

收稿日期:2014-12-05; 修回日期:2015-05-04

基金项目:国家深部探测技术与实验研究专项资助项目(SinoProbe-09-05)

作者简介:耿长伟,男,汉族,1990年生,硕士研究生在读,地质工程专业,从事岩土钻凿设备及机具的研究工作,吉林省长春市西民主大街938号,891770184@qq.com。

1 ADAMS 软件的工作原理

机械系统动力学自动分析软件 ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System), 是美国 MDI (Mechanical Dynamic Inc) 开发的非常著名的虚拟样机分析软件, 目前 MSC. ADAMS 是世界上应用范围最广、应用行业最多的机械系统动力学仿真工具, 占据了该领域 53% 的市场份额。这套完整的分析工具使工程师能够建立机械系统“虚拟样机”, 分析其性能, 更好地理解机械系统的运动; 比较多种设计方案, 精确预测载荷变化, 计算其运动轨迹、速度和加速度分布等^[3]。

ADAMS 软件常常采用 3 种功能强大的变阶和步长积分求解程序, 即 BDF、Gstiff 和 Dstiff 来求解稀疏耦合的非线性微分-代数方程。对于刚性系统, ADAMS 采用变系数的向后微分公式刚性积分程序, 它是自动变阶、变步长的预估校正法, 并分别以 Index3、SI2、SI1 积分格式, 在积分的每一步采用了修正的 Newton-Raphson 迭代算法。

对高频系统, ADAMS 采用坐标分离法, 将微分-代数方程减缩成独立广义坐标表示纯微分方程, 然后分别利用 ABAM (Adams Bash-forth Adams Moulton) 方法或龙格-库塔 (RKF45) 方法求解^[4]。

2 铁钻工伸展机构的组成、工作原理以及理论计算

2.1 铁钻工伸展机构的组成以及工作原理

铁钻工伸展机构是由上伸展拉杆、下伸展拉杆, 支撑杆, 伸展驱动油缸, 上平移滑车及下平移滑车组成, 如图 1 所示。伸展拉杆末端与平移滑车体相铰接, 伸展拉杆前端与钳体总成铰接, 构成平行四连杆机构, 保证了钳体总成始终处于竖直位置; 伸展驱动油缸的缸体与平移滑车体铰接, 伸展驱动油缸的

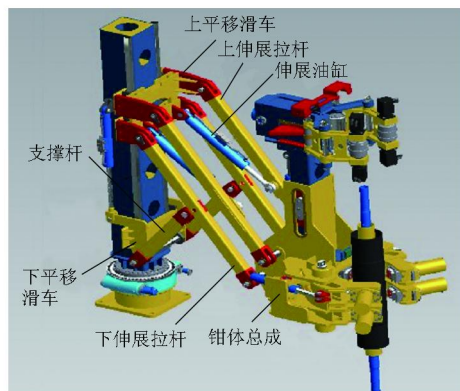


图1 铁钻工结构示意图

活塞杆与伸展拉杆铰接, 用于驱动伸展拉杆^[5]。

伸展油缸活塞杆向前伸出, 上平移滑车沿着导轨向下移动, 支撑杆绕着下滑车上的横销张开一定的角度, 平行四连杆机构将钳体水平向外伸出; 伸展油缸活塞杆缩回, 上平移滑车沿着导轨向上移动, 支撑杆绕着下滑车上的横销闭合, 平行四连杆机构将钳体水平缩回。伸展驱动油缸的伸缩决定了上伸展拉杆和下伸展拉杆与水平方向所成角度以及伸展距离, 进而决定整个钳体部分竖直方向的高度及水平方向的位置^[6]。

2.2 伸展机构理论计算

根据图 2, 已知各杆件的长度, 推导出伸展油缸的速度与钳体运动速度之间的函数关系, 为软件分析做好准备。

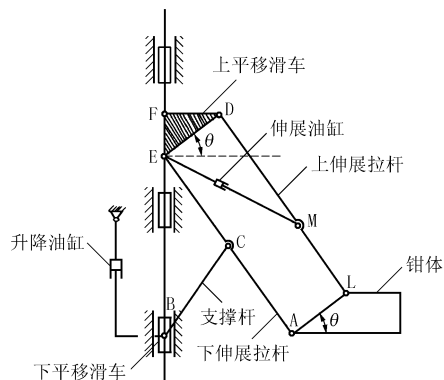


图2 伸展机构示意

由图 2 可得:

$$\angle MDE = \frac{\pi}{2} + \angle AEB - \theta \quad (1)$$

$$\therefore \angle MDE = \arccos \frac{L_{DE}^2 + L_{DM}^2 - L_{EM}^2}{2L_{DE}L_{DM}} \quad (2)$$

$$\therefore \angle AEB = \arccos \frac{L_{DE}^2 + L_{DM}^2 - L_{EM}^2}{2L_{DE}L_{DM}} + \theta - \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

又:

$$\therefore \frac{AB}{\sin \angle ACB} = \frac{AC}{\sin \angle ABC} \quad (4)$$

$$\angle ACB = 2\angle AEB \quad \angle ABC = \frac{\pi}{2} - \angle AEB \quad (5)$$

$$\therefore \angle AEB = \arcsin \frac{AB}{AC} \quad (6)$$

由式(3)、(6)可知:

$$AB = AC \cdot \sin \left(\arccos \frac{L_{DE}^2 + L_{DM}^2 - L_{EM}^2}{2L_{DE}L_{DM}} + \theta - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

$$\therefore V_{AB} = AC \cdot \sin \frac{\arccos \frac{L_{DE}^2 + L_{DM}^2 - (V_{EM}t)^2}{2L_{DE}L_{DM}} + \theta - \frac{\pi}{2}}{t} \quad (8)$$

由式(8)得到了伸展油缸的速度与钳体运动速度之间的函数关系,函数关系式比较复杂,对于具体数值计算困难,所以需要利用软件进行计算。

3 伸展机构的运动学仿真分析

ADAMS 软件是专业的动力学仿真软件,其建模功能比较弱。对于一些复杂的机械系统,可以利用专业的 CAD 软件精确建立模型,然后利用 ADAMS 与 CAD 的数据转换接口将复杂的机械系统导入到 ADAMS 中^[3]。本文中将在 inventor 当中建立好的模型转换成 Parasolid(*.x_t)格式导入到 ADAMS 当中,为模型定义材料属性、对模型添加约束和驱动,共添加 22 个约束和 2 驱动,建模后导入模型如图 3 所示。

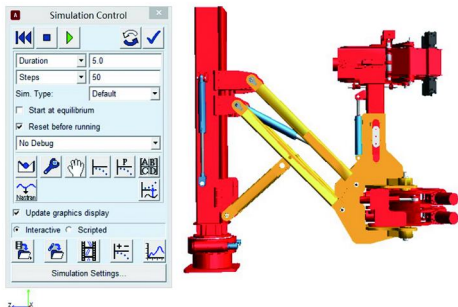


图 3 导入 ADAMS 后的模型

由于伸展动作主要是液压油缸的驱动作用,液压油缸活塞杆伸出的速度就决定了钳体的伸出速度,本文中驱动加在油缸上,通过改变驱动油缸的不同速度来观察伸展机构的速度随时间的变化规律。STEP 函数是 3 次多项式逼近阶跃函数,因为具有特定的频率响应特性而被广为采用,常用于描述阶跃函数、脉冲函数等^[7]。本文主要利用 STEP 函数和 IF 函数对伸展油缸的速度进行控制。

当驱动速度设定为 IF (time - 15; 10 + 1.33333time, 30, 120 - 6 * time) 时,得到钳体沿着 Z 轴和 Y 轴方向的速度随时间的变化规律如图 4 所示,在 0 s 时刻,钳体的速度不为零,在 15 s 时,钳体的速度曲线发生突变。当伸展油缸的速度设定为 IF (time - 5; 5 * time, 25, IF (time - 15; 25, 25, 100 - 5 * time)) 时,得到钳体的速度随时间的变化规律如

图 5 所示,钳体在 0 ~ 5 s 内速度逐渐增加,在 5 ~ 20 s 内,速度由 150 mm/s 开始逐渐减小为零,但是在 5 s 和 15 s 时刻速度发生突变,伸展机构受到冲击,运动不够平稳。

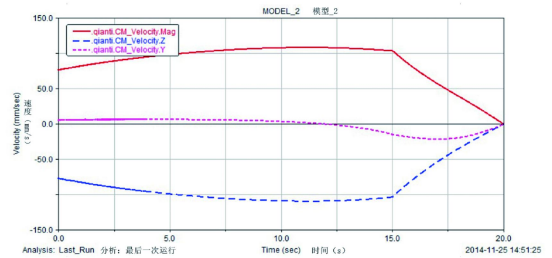


图 4 驱动函数设定为 IF (time - 15; 10 + 1.33333time, 30, 120 - 6 * time)

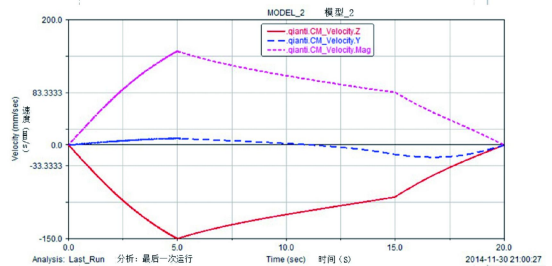


图 5 驱动函数设定为 IF (time - 5; 5 * time, 25, IF (time - 15; 25, 25, 100 - 5 * time))

当伸展油缸的速度设定为 STEP (time, 15, 22, 20, 0) 时,分别得到钳体沿着 Z 轴、Y 轴方向的速度随时间的变化规律如图 6 所示,在 0 ~ 20 s 内,钳体的速度曲线变化比较平稳,在 0 s 时刻,钳体运动的速度最大,实际当中难以实现。当驱动速度设定为 STEP (time, 0, 0, 5, 25) + STEP (time, 5, 0, 15, 0) + STEP (time, 15, 0, 20, -25) 时,得到钳体的速度随时间的变化规律如图 7 所示,在 0 ~ 4.1 s 内,钳体的速度由零开始增加;在 4.1 ~ 20 s 内,速度开始逐渐变小,直到速度平稳接近为零,曲线变化整体比较平稳,伸展机构运动比较平稳。

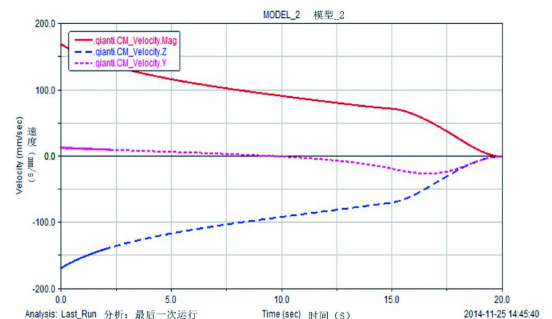


图 6 驱动函数设定为 STEP (time, 15, 22, 20, 0)

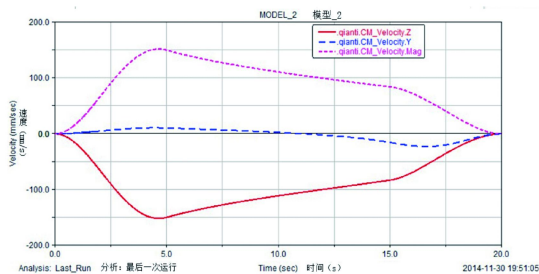


图7 驱动函数设定为 $\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 5, 25) + \text{STEP}(\text{time}, 5, 0, 15, 0) + \text{STEP}(\text{time}, 15, 0, 20, -25)$

对比图5、图6和图7可知,当速度函数设定为 $\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 5, 25) + \text{STEP}(\text{time}, 5, 0, 15, 0) + \text{STEP}(\text{time}, 15, 0, 20, -25)$ 时,钳体的启动平稳,速度变化平稳,而且能够实现平稳接近钻杆的目的,能够满足铁钻工在实际当中的工作要求。

4 结论

(1)通过ADAMS软件对铁钻工伸展机构的运动分析,能够明确了解伸展机构的实际运动的情况,即钳体伸出速度随时间的变化规律。

(2)利用ADAMS软件对铁钻工的伸展机构进

行了仿真分析。油缸的驱动速度采取 $\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 5, 25) + \text{STEP}(\text{time}, 5, 0, 15, 0) + \text{STEP}(\text{time}, 15, 0, 20, -25)$ 时,铁钻工的伸展动作较平稳,能够实现平稳地接近钻杆的目的,可以为伸展机构实际动作提供借鉴。

参考文献:

- [1] 孙友宏,王清岩,高科,等.“地壳一号”万米钻机在松科二井科学钻探工程应用方案[A].2014年中国地球科学联合学术年会——专题65:深部探测技术与实验——探测仪器与装备论文集[C].北京:2014.
- [2] 刘晓利.铁钻工旋扣机构研究与动力学分析[D].吉林长春:吉林大学,2014.
- [3] 赵武云,刘艳妍,吴建民,等.ADAMS基础与应用实例教程[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [4] 韩宝菊,俞荣标.虚拟样机技术及其动力学仿真分析[J].机械工程师,2008,(3):137-138.
- [5] 孙友宏,吕兰,沙永柏,等.一种铁钻工:中国,203066907U[P].2013-07-17.
- [6] 孙友宏,吕兰,王清岩,等.一种铁钻工回转及平移伸展机构:中国,203066905U[P].2013-07-17.
- [7] 钟小勇,李凤英.ADAMS函数的使用技巧[J].装备制造技术,2008,(11):100-102.

(上接第52页)

出现连接锥销拆卸困难甚至拆卸不下来的情况,因此在每完成一根桩后应对套管仔细检查、修复。

4 结语

施工表明,全套管工法比较适合在卵漂石地层成桩,施工质量较好,桩垂直度可以得到保证,加之噪声小、振动小、污染少,是一种绿色环保工法,适合在城市地区的成桩施工,其潜在的经济效益和社会效益巨大,是一种很有发展前景的工法。

参考文献:

- [1] 刘军,周与诚,等.北京卵漂石灌注桩机械成孔的适宜性研究[J].市政技术,2009,27(5).

- [2] 张金昌,宋志彬,等.CG1900型全套管冲抓成孔设备、器具及施工工艺的研究和应用[J].探矿工程,2001,(6).
- [3] 宋志彬,冯起赠,等.CG型全套管搓管成孔设备的研究和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1)
- [4] 王文正,程华清,等.漂石地层全套管钻机成桩技术[J].市政技术,2009,9(5).
- [5] 韩雪刚,刘魁刚,等.全套管钻机在漂石地层的应用型研究[J].铁道建筑技术,2011,(S1).
- [6] 朱芝同,宋志彬,冯起赠,等.全套管钻孔咬合桩在临近地铁基坑工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):65-69.
- [7] 宋志彬,冯起赠,和国磊,等.全回转套管钻机和全套管施工工艺的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):29-36.
- [8] 杨引娥.全套管旋挖钻进技术及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):39-42,46.