举升式动力猫道的研究设计与分析

翁　玮

长江大学　湖北荆州　434000

【摘　要】目前针对钻井作业中管柱上下钻台效率低、工人作业强度和安全性问题，本文设计一种举升式动力猫道系统，设计并阐述了该装置的基本结构设计和工作原理，同时对其重要部件利用ANSYSWorkbench静力学分析来验证其强度的稳定性，该装置可输送23/～31/的管柱，工作周期为60～70S，可将最大重量为0.5t的管柱运送至5m以上的钻台，运行平稳，通过液压和电控驱动运行，该装置可实现管柱上下钻台的自动化和机械化，从而提高钻井效率，降低工人作业强度和安全风险。

【关键词】动力猫道；ANSYS；举升式；自动化

我国目前的钻井作业中，钻具的上下钻台主要靠人工操作，自动化程度不够，导致钻井作业效率低，工人作业中也存在较高的安全风险，应用动力猫道装置便可以有效降低这些方面的问题。结合我国钻井工作中的实际情况，考虑到国内外的现状，因此研制出一种自动化程度较高的动力猫道，满足市场对钻机配套装置的要求，对降低工人劳动强度和安全风险、提高钻井效率有重要的实际意义。

动力猫道作为一种管柱运移装置，其功能主要是将钻井相关的管柱上下钻台，国内外常使用的动力猫道结构类型主要有三种：固定式猫道、举升式猫道、机械臂运移处理系统。固定式动力猫道结构简单，易于拆卸，但工作时管柱会在V型槽内摩擦滑动，很容易给管柱造成磨损，影响管柱使用寿命；机械手臂的优点是处理管子能力强、自动化程度高、效率高，但是由于其内部的机械结构比较复杂，因此制造成本高、安装耗时长、不宜频繁拆装和运输、维修比较困难，而且对于控制系统的控制精度要求比较高，控制系统所需要的元件要求也高。而举升式动力猫道是将管柱滚入V型槽后直接举升至相应高度，管柱在运移过程中平稳，管柱不易磨损，装置制造成本和难易程度相对于机械手臂系统来说都比较低。本文结合实际研制出一种举升式动力猫道装置，通过液压和电控系统进行驱动，对该装置建立三维模型并对其重要零部件进行有限元强度分析来验证可靠性，设计出满足相关工况的动力举升式猫道装置。

1　技术分析

1.1　装置结构

该动力猫道装置主要由猫道底座、支撑臂、移送臂、V型托盘、猫道小车、翻转机构、起升液压缸、托盘棘爪等部分构成如图1所示，其中V型托盘中安装了V型槽如图2所示，V型槽可在伸缩液压缸的驱动下被猫道小车在V型托盘中推动，该装置通过液压电控系统驱动完成动作。

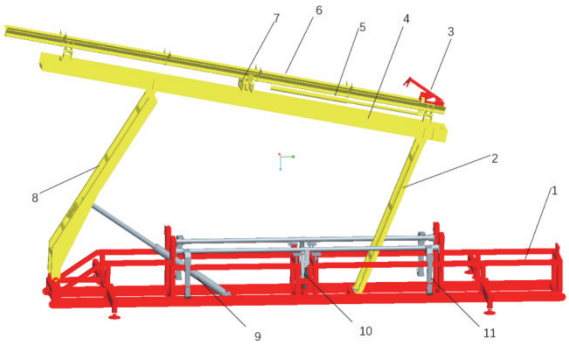


图1：动力猫道结构示意图

注：底座；2-后支撑臂；3-猫道小车；4-移送臂；5-伸缩油缸；6-V型托盘；7-翻转油缸；8-前支撑臂；9-起升液压缸；10-钩管液压缸；11-托盘棘爪

1.2　液压与电控

液压电控系统由液压站及执行机构控制阀组、电控系统等组成，为动力猫道装置提供动力与控制。液压站主要由主泵组、副泵组和循环泵组构成。主泵组为起升前支撑臂提供动力，副泵组为移送臂、钩管油缸、起升油缸、翻转油缸提供动力。循环泵组主要用于液压系统的循环冷却。

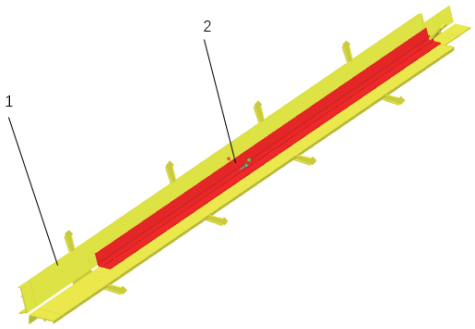


图2：V型托盘组合

注：1-V型托盘；2-V型槽

电控系统主要由PLC和控制柜组成。通过PLC实现对各执行机构的控制，完成动力猫道装置各项动作、功能互锁和报警保护等功能。

控制阀组主要包括油缸阀组、蓄能器阀组和同步阀组等。蓄能器阀组由手动换向阀、手动节流阀、蓄能器组成，在断电状况下，配合油缸阀组可将支撑臂下落至安全位置。油缸阀组用于控制输送移送臂、托盘v型槽、前支撑臂、钩管等机构动作。同步阀组可实现钩管机构和v型槽动作的同步要求。

1.3　工作原理

动力猫道机进行工作时，根据现场作业环境，可将底座支腿调节好相应合适的高度，使其工作平面与排管架和底座的工作平面在同一水平面上。

以下动作流程以司钻侧为例，司钻对侧流程相同，仅需将钩管油缸两端连接销拆卸，油缸安装至司钻对侧，并将上下管切换按钮旋至司钻对侧。

1.4　上管流程

（1）左、右上管侧选择，确保油管承接座处于上管位置；（2）托盘向司钻侧翻转，管柱从机械曾排架滚入（手动）上管机构；（3）钩管油缸伸出，抬起管柱，管柱沿着上管机构经托盘棘爪滚入托盘V型槽；（4）托盘翻转复位，钩管油缸缩回；（5）起升油缸驱动前支撑臂，将移送臂抬升至预定位置；（6）伸缩油缸驱动托盘伸出，将管柱送至井口；（7）作业工挂吊卡，管柱随吊卡上提，管柱下端沿“V“　型托盘滑出；（8）伸缩油缸驱动托盘缩回；（9）起升油缸收回，移送臂下放至水平位；（10）依次按照步骤 2-步骤9，进入下一根管柱上管循环。

1.5　下管流程

（1）左，右下管侧选择，确保钩管油缸处于缩回状态，油管承接座处于下管位置，斜支撑搭接一根油管；（2）起升油缸驱动前支撑臂，将移送臂抬升至预定位置；（3）伸缩油缸驱动托盘伸出；（4）管柱下端沿移送臂托盘下放，直至管柱完全放置托盘上，解开吊卡；（5）伸缩油缸驱动托盘带油管缩回；（6）起升油缸收回，移送臂带油管下放至水平位；（7）托盘向司钻侧圆转，管柱沿看托盘棘手、斜支撑等结构从托盘滚至排管架；（8）托盘翻转复位；（9）依次按照步骤2-步骤8，进入下一根管柱下管循环。

主要技术参数：

管柱长度：8m～10m；管柱规格：2　3/～3　1/；管具最大重量：0.5t；工作周期：60～70s；钻台高度：5m；运输尺寸：11.2m×1.8m×2m；功率：15kw。

2　主要结构设计

（1）四连杆机构。该动力猫道为四连杆机构，如图3所示。主要由以下5部分组成：V形托盘、前支撑臂、后支撑臂、猫道底座、　起升液压缸。起升液压缸为前支撑臂的起升提供动力，后支撑臂辅助支撑移送臂起升，V形托盘中的V型槽托载着管柱上、下钻台。液压缸、支撑臂和底座之间都采用销轴铰接。该装置的举升动力由起升液压缸提供。起升时，该液压缸活塞杆推出从而带动前支撑臂向上起升，此时后支撑臂和V型托盘也会跟着一起往钻台方向向上平稳运动至指定位置。

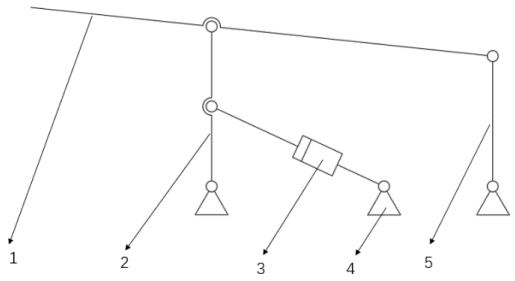


图3：四连杆机构示意图

注：1-V型托盘；2-前支撑臂；3-起升油缸；4-底座；5-后支撑臂

（2）翻转机构设计。翻转机构由液缸支座、翻转液压缸、翻转块三部分组成如图4所示，翻转块连接V型托盘，

在上管过程中，通过液压缸的伸出可以带动V型托盘翻转，管柱从排管架滚入托盘棘手中，然后钩管液压缸伸出使得管柱滚入托盘V型槽中，之后翻转机构回正，为后续运送管柱做准备；下管流程与上管流程步骤相反。

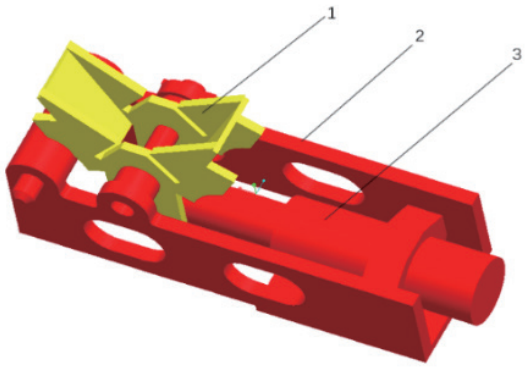


图4：翻转机构示意图

注：1-翻转块；2-液缸支座；3-液压缸

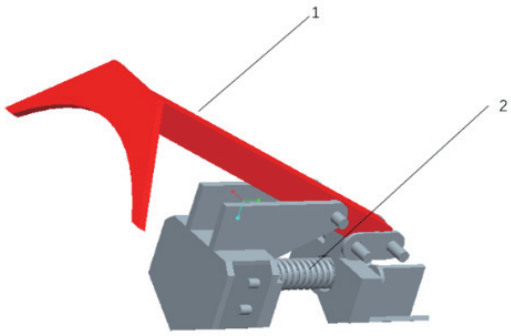
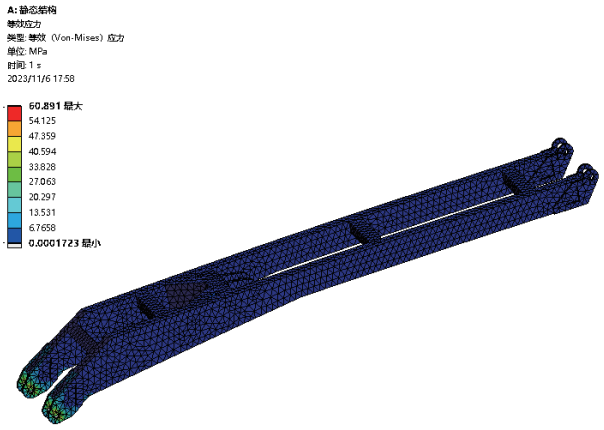


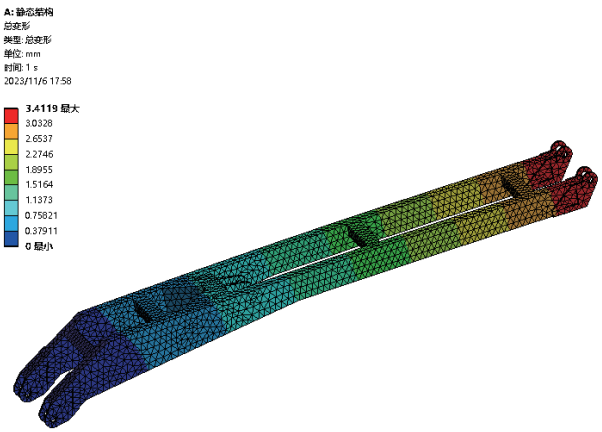
图5：猫道小车示意图

注：1-卡爪；2-缓冲装置

猫道小车设计。猫道小车安装于猫道面 V 型槽尾端，可带动V型槽从而使得管柱顺着猫道运移，管柱上钻台时，小车通过V型托盘下的伸缩液压缸驱动，可推动V型槽在托盘内进行滑动，从而带动管柱往钻台位置进行运移，到达指定位置后，作业工人控制吊卡将管柱送往台面，管柱下钻台时，可将管柱从台面安全平稳接送至猫道面，其工作流程基本与上管流程相反。小车和卡爪组件组成的连杆机构在上下管柱的过程中卡爪用来卡住管柱尾端，配合吊卡安全地将管柱运送到钻台台面或者接送至猫道面。在图5中可以看到在小车中间有缓冲装置，使得在管柱放置和运移过程中可以有效减少振动，使得管柱在运移过程中更加稳定，同时可减少装置和管柱的磨损，进而加强猫道小车的稳定性。



a 等效应力云图



b 总变形云图

图6：前支撑臂静力学分析图

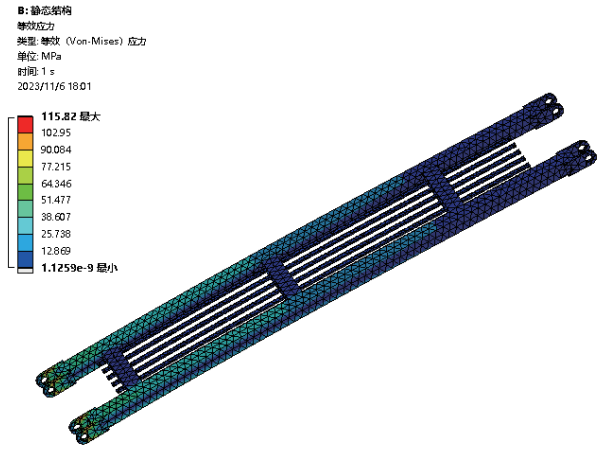
3 关键部件的有限元分析

支撑臂作为动力猫道举升机构的重要组成部件，在动力猫道装置工作过程中具有重要作用，因此其稳定性和安全性是作为判断该部件合格的重要依据。为合理设计出该部件的结构和强度，因此需要对该类部件进行静力学强度校核。该举升式动力猫道在工作过程中所承受的载荷发生在支撑臂和移送臂连接处，支撑臂所选用的材料为Q235，弹性模量为 206GPa，泊松比为0.3，密度为 7860kg/m³,屈服极限为235MPa。通过对该部件最大受力状态下的强度校核来判断是否满足工况。首先在proe5.0中建立起前后支撑臂的三维模型，通过该软件测量出支撑臂的体积，然后计算其重量，最后可计算出前后支撑臂在工作是所承载的最大载荷，前支撑臂为16646N，后支撑臂为11097N，固定约束在支撑臂与底座铰接处。由于支撑臂在起升过程中铰接受力

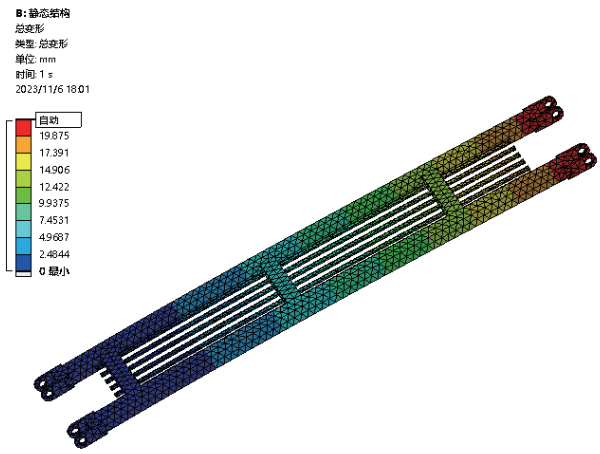
处一般在转动，可理解为主要只有半个连接面受力，因此所施加的载荷面为每个耳座的内环面的一半。最后通过仿真分析得出前支撑臂的静力学分析如图6所示，由图可知，前支撑臂的最大等效应力为60.891MPa，发生在支撑臂与底座铰接处；最大总变形为3.4119mm,发生在支撑臂与移送臂铰接处；最大等效应变发生在支撑臂与底座铰接处。

后支撑臂的静力学分析如图7所示，由图可知，前支撑臂的最大等效应力为115.82MPa，发生在支撑臂与底座铰接处；最大总变形为22.359mm,发生在支撑臂与移送臂铰接处；最大等效应变发生在支撑臂与底座铰接处。

通过数据可知，支撑臂的最大总变形和等效应变都处于安全范围，由于所选材料厚度大于16mm,所以Q235号钢的屈服强度为225MPa，取安全系数为1.5，则许用应力的大小为150MPa，远大于支撑臂的等效应力。由此可知，支撑臂的设计满足强度要求。



a 等效应力云图



b 总变形云图

图7：后支撑臂静力学分析图

4 结语

本文根据当前钻井作业中管柱上下钻台效率底、作业风险大的现状研制出一种举升式动力猫道系统，该装置通过液压和电力联合控制驱动，实现机电液一体化设计，同时对该装置的支撑臂进行静力学分析来验证其稳定性和可靠性，对相关重要部件设计和原理进行阐述，该装置能够实现管柱自动上下钻台，从而大大增加作业效率和工人安全，提高钻井作业的机械化和自动化，相对于一些小修作业的动力猫道，本装置可以将管柱举升至5m以上高度钻台，对实际生产制造具有参考意义。

参考文献：

[1]高煜.动力猫道装置的研制与应用[J].石化技术,2019,26(02):60-61.

[2]吴文秀,马勇超,姜姗.举升式动力猫道的研制[J].内江科技,2018,39(08):40-41.

[3]安艳竹.一种举升式液压动力猫道系统设计与研究[D].中国石油大学(华东),2020.

[4]白园园.液压举升式动力猫道的设计与研究[D].中国石油大学(华东),2019.

[5]刘国帅.自动化钻机动力猫道系统设计[D].中国石油大学(华东),2021.

[6]许峰,毛亚军,徐军等.动力猫道装置的研制[J].机械工程师,2017(12):148-149+152.

[7]李胜忠.DM13.7/4.5型动力猫道研制与应用[J].石油矿场机械,2022,51(06):61-65.

[8]刘佳豪,陈晓春,张心玉等.托举式液压动力猫道钻井现场使用分析及优化方案[J].石化技术,2020,27(11):276-277.

作者简介：

翁玮,(1998.05.11-),男,汉族,湖北黄冈,毕业于长江大学机械工程学院,硕士,机械专业,研究方向现代钻采机械设计。