

钻修井机扶持钳结构优化设计

罗立臣¹, 王长军¹, 马冬辉¹, 王家琦², 陈康², 刘权²

¹中海油能源发展装备技术有限公司, 天津

²湖北省聚元石油自动化装备股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年3月9日; 录用日期: 2023年4月22日; 发布日期: 2023年4月29日

摘要

本文介绍了一种单次只能抓取单杆管柱排管机械手用的扶持钳装置, 其可用于二层台排管机械手或钻台机械手, 进行对钻铤、钻杆、油管及部分套管的扶持排管作业。该扶持钳装置通过增加主钳指驱动液压缸的导向功能, 增长了主钳指驱动液压缸的使用寿命; 通过增加连杆数量提高了扶持钳的强度, 降低了管柱别开主钳指, 发生管柱脱出扶持钳的风险。同时, 该扶持钳装置通过改变左右主钳指组件的开度, 以实现直径粗细不同的管柱使用同一夹钳夹持的功能; 通过管柱挡块改变钳口深度, 以避免扶持钳同时夹持两根细管柱的意外情况发生, 通过传液压缸传感器信号检测和司钻房主控制系统的计算, 从而可以实现机械手排管作业完全自动化的目的。

关键词

排管机械手, 扶持钳, 提高寿命, 增加强度, 完全自动化

Optimization Design of Supporting Pliers for Drilling and Workover Rig

Lichen Luo¹, Changjun Wang¹, Donghui Ma¹, Jiaqi Wang², Kang Chen², Quan Liu²

¹CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin

²Hubei Juyuan Petroleum Automation Equipment Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Mar. 9th, 2023; accepted: Apr. 22nd, 2023; published: Apr. 29th, 2023

Abstract

This paper introduces a kind of support clamp device that can only grab the single pipe string for the manipulator, which can be used for the pipe discharge manipulator of monkey-board or drill floor manipulator to support the drill collar, drill pipe, tubing and part of the casing. The support-

ing tong device increases the service life of the main tong finger driving hydraulic cylinder by increasing the guiding function of the main tong finger driving hydraulic cylinder; by increasing the number of connecting rods, the strength of the clamp device is improved, and the risk of the pipe string falling out of the clamp device is reduced. At the same time, the supporting tong device can realize the function of using the same clamp to clamp the pipe strings with different diameters and thicknesses by changing the opening of the left and right main tong finger components; the depth of the jaw is changed by the pipe column stopper to avoid the accidental situation that the clamp device holds two thin pipe strings at the same time. The purpose of complete automation of the manipulator pipe arrangement can be achieved by transmitting the signal detection of the hydraulic cylinder sensor and the calculation of the driller's main control system.

Keywords

Pipe Discharge Manipulator, Support Clamp Device, Increases the Service Life, Increase Strength, Complete Automation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

为了提升钻机的钻井作业工作效率, 节约人工成本, 提高作业工人的安全性, 油田及钻井承包商对钻机二层台排送管机械手的需求日益迫切。国外主流钻机制造商, 例如 NOV 公司等早已推出自动排送管机械手产品并投入应用[1] [2]。

目前, 国内大部分的钻机在钻柱输送、建立根、钻柱排放等处理钻具的方式上仍旧停留在人力作业的模式上, 通过二层台工人与钻台工人上下配合, 采用手动的方式将立根从井口运移到指梁内, 在作业过程中, 操作工人不仅劳动强度大, 效率低下, 而且在起下钻过程中容易发生事故。

随着石油钻采难度逐渐增大, 这种传统立根处理方式的弊端也越来越凸显。为了达到钻采过程的高效率、低成本和不间断钻采的目标, 采用自动化的方式对立根进行排放, 将在提高作业效率的同时, 又能提升作业人员的安全指数。管柱排放系统能够显著降低钻井过程中起、下钻作业时的立根排放作业强度, 提高作业自动化水平和作业安全性[3]。二层台排管机械手是钻机和修井机管柱自动化处理系统的核心子系统, 具有非常重要的作用, 而扶持钳又是二层台排管机械手的核心部件, 扶持钳操作管柱的直径的范围决定了二层台排管机械手的适用范围和使用性能[4] (二层台排管机械手作业如图 1 所示)。

2. 常规二层台排管机械手的扶持钳存在的问题

在海洋平台的钻修井机上, 二层台排管机械手不仅需要操作大直径的钻铤和钻杆, 同时也需要操作小直径的油管, 有些平台上的作业管柱直径差达到了 4 倍以上(11 英寸的钻铤和 2-3/8 英寸油管), 现阶段的二层台排管机械手无法做到使用同一机械手的同一扶持钳既可以夹持大直径钻铤和小直径的油管或钻杆, 同时也很难使二层台排管机械手实现完全自动化作业的目的。

常规二层台排管机械手的扶持钳存在以下不足之处: 一是, 主钳指驱动液压缸缺少导向装置, 其中一个主钳指受力时, 液压缸活塞杆会受径向力, 容易造成漏油现象, 出现液压油污染环境的情况发生。二是, 主钳指驱动连杆左右各只有一根, 且有两个专利中主钳指二力杆是弯曲形状, 使二力杆容易发生

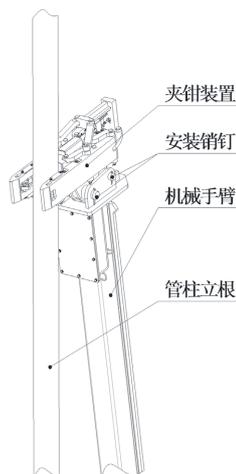


Figure 1. Schematic diagram of the operation structure of the pipe arranging robot on the racking board

图 1. 二层台排管机械手作业结构示意图

弯曲现象，扶持钳推扶管住时，管柱斜靠在主钳指上，若主钳指连杆变形，则，主钳指极易发生自动张开的情况，导致管柱脱出扶持钳的事故。三是，由于空间因素影响，扶持钳在宽度上的尺寸不能太大，故导致扶持钳在夹持粗细管柱时，钳口深度方向的尺寸做不到预期的尺寸要求，使得扶持钳可以同时夹持两根甚至两根以上的细管柱(如：主钳指收至最窄时，任然可以夹持两根直径尺寸为 2-3/8 英寸或 2-7/8 的油管或钻杆)，此时需要采用视频辅助观察的方法进行判别扶持钳是否只抓取了单根管柱，这样操作牺牲了二层台排管机械手的全自动排管的功能，大大的降低了作业效率，完全依靠视频辅助作业，也不利于作业安全性，使事故发生概率大大提高。

3. 二层台排管机械手扶持钳的优化方案

3.1. 提高扶持钳主驱动液压缸使用寿命的优化方案

提高驱动液压缸的使用寿命主要有两种方法：一是，增大液压缸型号，在受到同等载荷的情况下，大型号的液压缸使用寿命更长久；二是，更改液压缸的安装方式，增加液压缸活塞杆的导向功能，改善密封件的受力，从而提高液压缸的使用寿命。下面通过对比详述以上两个方案的优劣性，详见表 1：

Table 1. Comparison of advantages and disadvantages of schemes for improving the service life of the main drive hydraulic cylinder of the support tong

表 1. 提高扶持钳主驱动液压缸使用寿命方案优缺点对比表

方案一		方案二	
增大液压缸型号		增加液压缸活塞杆的导向功能	
优点	缺点	优点	缺点
油缸型号增大，使扶持钳主钳指位置自锁能力更强，使作业安全性提高	油缸体积增大，不适宜安装在扶持钳狭小的空间内，维护保养困难；同时使整个扶持钳体积增大，不适宜操作二层台指梁区域的管柱，容易发生刮蹭	油缸密封件受力改善后寿命明显提高，同时油缸体积减小，在保证维护保养的操作空间要求下，可以预留更多的空间用于改变连杆和主钳指的强度，使整个扶持钳整体强度得到大幅度的提升	无

通过对比发现, 方案二, 增加液压缸活塞杆的导向功能后, 其优点十分明显, 通过改善油缸密封件受到的径向力后, 可以明显提高油缸密封件的使用寿命, 漏油现象得到避免, 同时, 富裕的结构空间用于提升其他结构件的强度, 也可以大幅度的提高整个机械手扶持钳的整体强度, 因此选择方案二为优选方案。

3.2. 提高连杆强度增加机械手扶持钳作业安全性的优化方案

提高连杆强度增加机械手扶持钳作业安全性的方法也有两种: 一是, 将弯曲的连杆改成直线连杆形状, 同时增大连杆体积, 使其强度大幅提高, 从而避免作业过程中变形造成主钳指张开事故的发生; 二是, 将弯曲的连杆改成直线连杆形状, 同时将一组连杆更改为两组连杆, 两组连杆平行安装, 从而提高连杆系整体强度, 可避免作业过程中变形造成主钳指张开事故的发生。下面通过对比详述以上两个方案的优缺点, 详见表 2:

Table 2. Comparison of advantages and disadvantages of methods for improving the strength of connecting rods to increase the safety of manipulator gripper operation

表 2. 提高连杆强度增加机械手扶持钳作业安全性的方法优缺点对比表

方案一		方案二	
改变连杆形状, 同时增大连杆体积		改变连杆形状, 同时将一组连杆更改为两组连杆	
优点	缺点	优点	缺点
加工制造简单, 基本不改变成本	体积大, 安装维保不方便, 也使扶持钳整体体积增大, 容易发生刚蹭	可以不改夹钳整体尺寸的前提下成倍的增加强度, 同时多连杆铰链会使铰链内轴套间隙更小, 钳指稳定性更好, 作业风险降低	加工制造成本略有提升

通过对比发现, 方案一和方案二均将弯曲形状的连杆改成直线形状, 由于连杆是二力杆, 其只会受到单纯的拉力或压力, 弯曲状态下其连杆两端的孔距容易发生改变, 故, 将连杆改成直线型后, 其保持孔距不变的能力得到大幅提升, 从而减小主钳指受力张开的趋势。并且方案二中, 通过增加一组平行安装等强度的连杆, 可以在不改变整体尺寸的前提下成倍的提高强度, 其优势明显, 故选择方案二为优选方案。

3.3. 避免机械手扶持钳同时夹持双根管柱的优化方案

避免机械手扶持钳同时夹持双根管柱的方法有两种: 一是, 在扶持钳上方增加一个主动推拉的挡管机构, 在需要夹持不同管径尺寸的管柱时, 通过执行机构主动调节挡管机构的位置, 从而控制扶持钳钳口深度尺寸, 从而避免扶持钳同时夹持双根管; 二是, 在主钳指和夹钳座之间增加一套连杆装置, 连杆装置上安装有挡管机构, 在需要夹持不同直径的管柱时, 通过扶持钳主钳指开合的被动力, 由增加的连杆装置将挡管机构前后推拉, 以改变扶持钳钳口深度尺寸, 主钳指张开时, 挡管机构被向后拽, 主钳指收拢时, 挡管机构被向前推, 从而避免扶持钳同时夹持双根管(如图 2 所示)。下面通过对比详述以上两个方案的优缺点, 详见表 3。

通过对比发现, 方案二可以满足方案一的优点, 两种方案均可达到每一种管柱直径尺寸对应一个扶持钳钳口深度尺寸, 从而可以避免扶持钳同时夹持两根管柱, 同时方案二的结构简单, 使用成本更低, 故, 选择方案二为优选方案。

Table 3. Comparison of advantages and disadvantages of methods for avoiding manipulator holding pliers from holding two tubular columns simultaneously

表 3. 避免机械手扶持钳同时夹持双根管柱的方法优缺点对比表

方案一		方案二	
增加主动驱动的挡管机构，主动调节钳口深度		增加连杆装置和挡管机构，被动调节钳口深度	
优点	缺点	优点	缺点
可以对每一种尺寸的管柱均能单独调节钳口深度尺寸，位置准确	结构复杂，且液路上多两路有油管线，成本大幅提高，并且维护保养点增加	不额外增加驱动机构，使用成本低，在控制好运动系尺寸的前提下也可以达到每种尺寸的管柱对应不同的钳口深度	连杆数量多，对加工精度要求高

4. 优化设计后排管机扶持钳的结构组成

通过上述优选方案可知，优化后的扶持钳是在原有扶持钳的基础上增加了主钳指液压缸导向功能，同时也增加了主钳指驱动连杆的数量，并且，也增加了在改变扶持钳夹持宽度同时改变扶持钳深度的挡管机构，实现扶持钳单次只能夹持一根管柱的功能。

优化后排管机扶持钳的主要组成部件包括：扶持钳支座，导向架，带位置反馈的液压缸，主钳指驱动连杆，主钳指，悬持连杆，复合连杆，摆杆驱动连杆，摆杆，螺栓滚轮，挡管机构，带位置反馈的小钳指油缸，小钳指，小钳指连杆等零部件。

5. 优化设计后排管机扶持钳的工作原理(如图 2 所示)

现结合图 2 对排管架扶持钳的工作原理进行叙述：图中，夹钳支座上安装有带位置反馈的液压缸，液压缸的活塞杆的端部安装在导向架上，导向架的导轨可在夹钳支座上的 G 点进行前后滑动，导向功能，可以降低液压缸的密封件的磨损，提高使用寿命；导向架的 A 点和 B 点分别与两组主钳指驱动连杆铰接，主钳指、连杆和悬持连杆铰接与 C 点，主钳指、连杆和复合连杆铰接与 D 点，同时悬持连杆和复合连杆的另一端分别铰接于夹钳支座的 E 点和 F 点，从而以上连杆铰接安装后形成两组平行四边形连杆系，可以大幅度提升扶持钳的整体强度；主钳指上的滑槽内安装有螺栓滚轮，螺栓滚轮可以在主钳指上的滑槽内前后自由移动，螺栓滚轮与摆杆铰接与 J 点，摆杆的另一端与档管结构铰接与 H 点，挡管机构上的导

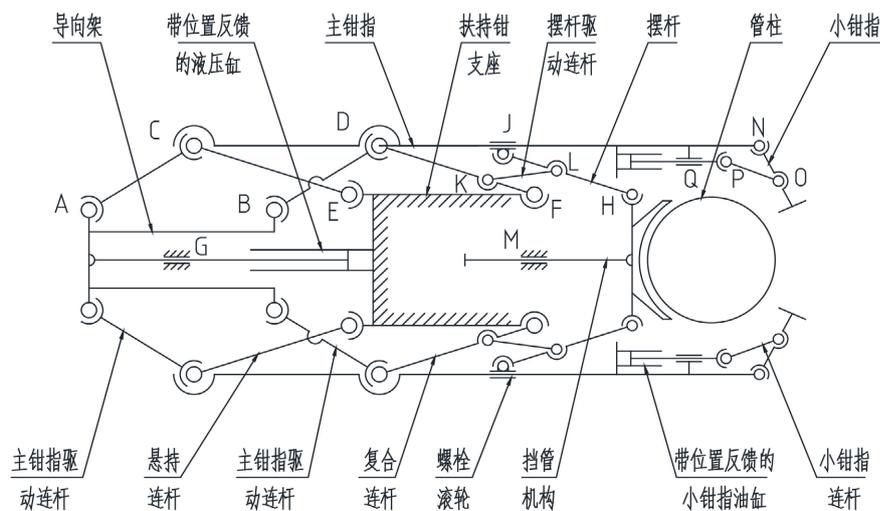


Figure 2. Structural schematic diagram of support tongs for pipe laying machine
图 2. 排管机扶持钳的结构原理图

柱安装在夹钳支座的导槽 M 处, 摆杆驱动连杆的两端分别铰接与复合连杆上的 K 点和摆杆上的 L 点。当主钳指液压缸伸出时, 两边主钳指间距减小, 且主钳指整体向后摆, 当 KF 和 JL 尺寸较小时, 由于摆杆驱动连杆 KL 由近似竖直状态向近似水平状态转换, 且 F 点位置不变, 故于摆杆驱动连杆 KL 会推动摆杆带动挡管机构向右运动, 使钳口深度减小; 同时主钳指驱动液压缸有位置反馈功能, 主控系统可以通过反馈的液压缸长度信号计算出当前的钳口深度, 从而在需要操作不同尺寸的管柱时, 调节不同的钳口开度和深度, 从而避免机械手扶持钳同时夹持两根管柱的情况发生; 主钳指的内侧安装有带位置反馈的小钳指油缸, 小钳指油缸的活塞杆通过导套在主钳指的 Q 点进行导向, 小钳指油缸的活塞杆端部与小钳指连杆铰接于 P 点, 小钳指与主钳指铰接于 N 点, 小钳指连杆与小钳指铰接于 O 点; 小钳指油缸收缩, 小钳指顺时针转动回收, 扶持钳打开, 管柱可以顺利自由进出扶持钳, 小钳指油缸伸出, 小钳指逆时针转动伸出, 扶持钳关闭, 管柱被包围在扶持钳内, 扶持钳可以推扶管柱移动(小钳指组件结构三维模型如图 3 所示); 小钳指上有位置反馈功能, 主控系统可以通过反馈的小钳指油缸的长度信号判断当前扶持钳小钳指的开关状态, 从而使作业完全自动化且安全的进行。整体机械手扶持钳结构三维模型设计完成后如图 4 所示。

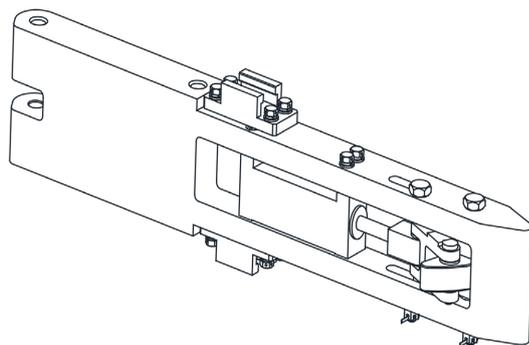


Figure 3. Schematic diagram of the three-dimensional model of the finger assembly structure

图 3. 小钳指组件结构三维模型示意图

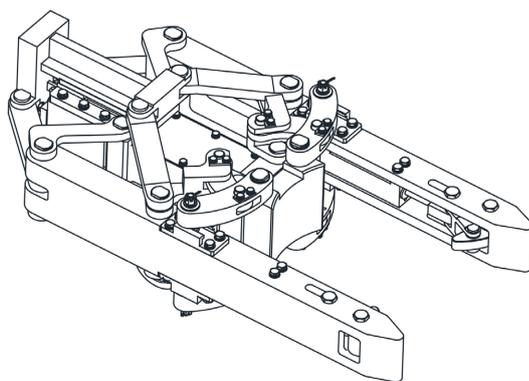


Figure 4. Schematic diagram of three-dimensional model structure of manipulator holding pliers

图 4. 机械手扶持钳结构三维模型结构示意图

6. 结论

- 1) 提出了增加主钳指驱动液压缸导向的优选方案, 该方案可以改善油缸密封件受到的径向力, 可以

明显提高油缸密封件的使用寿命，漏油现象得到避免。

2) 提出了改变连杆形状，同时增加连杆组数的优选方案，该方案可以在不改夹钳整体尺寸的前提下成倍地增加强度，同时多连杆铰链会使铰链内轴套间隙更小，钳指稳定性更好，在主钳指受到较大侧向力时被别开的可能性更低，使作业风险降低。

3) 提出来增加连杆装置和挡管机构被动调节钳口深度的优选方案，该方案可以达到每种尺寸的管柱对应不同的钳口深度，通过带位置反馈的主钳指驱动液压缸长度信号与司钻房主控制系统的共同作用，使排管作业实现了完全自动化的目的。

基金项目

海洋模块钻机自动化管理及操作系统研究服务，2022-FW-GK-HYFZ-1930/01。

参考文献

- [1] 胡送桥, 唐清亮, 陈明凯, 等. 钻机二层台排送管机械手刚柔耦合动力学仿真分析[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(1): 34-37.
- [2] 赵曛, 边守臣, 罗小昌, 等. 海洋钻修机二层台自动排送管系统基本设计[J]. 中国海洋平台, 2019, 34(4): 20-23.
- [3] 李联中, 颜子敏, 杨雷, 等. 钻机二层台推扶式排管机变幅机构优化研究[J]. 钻采工艺, 2022, 45(2): 110-114.
- [4] 王定亚, 张增年, 王汝华, 等. 推扶式管柱自动化处理系统研究及发展建议[J]. 石油机械, 2018, 46(9): 1-6.