

Optimal Design of the Racking Platform Piping System for Offshore Drilling and Repairing Machine

Baochun Li, Jian Zhao, Jun Chen, Xiaochang Luo*

COSL Production Optimization Drilling & Workover Operation Company, Tianjin
Email: *libch8@cosl.com.cn

Received: Mar. 3rd, 2020; accepted: Apr. 3rd, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

According to the advantages and disadvantages of the two-layer pipe arrangement system commonly used in domestic drilling and repair machine, we optimize the existing two-layer row pipe system to meet the structural characteristics of marine drill repair machine. The design optimizes the installation of the robotic arm on the monkey table. It is designed as a two-story table with adjustable finger beam according to the size of drill and repair well pipe column. According to the characteristics of Marine environment, the servo motor is used to drive, and the rotation Angle and coverage range of the two-deck robot arm are fully considered to improve the efficiency of traditional operation and equipment maintenance.

Keywords

Drilling and Repairing Machine, Racking Platform, Piping Systems, Optimized Design

*通信作者。

海洋钻修机二层台排管系统优化设计

李宝春, 赵 曛, 陈 俊, 罗小昌*

中海油服油田生产事业部钻修井作业公司, 天津

Email: *libch8@cosl.com.cn

收稿日期: 2020年3月3日; 录用日期: 2020年4月3日; 发布日期: 2020年6月15日

摘 要

本文根据目前国内钻修机常用二层台排管系统设计的优缺点, 优化现有二层台排管系统以满足海洋钻修机结构特点, 此设计优化了机械手臂在猴台上的安装方式, 并设计为根据钻修井管柱尺寸可调节指梁的二层台, 根据海洋环境的特点采用伺服电机驱动, 充分考虑二层台机械手臂的回转角度与覆盖范围, 提高传统作业与设备维修的作业效率。

关键词

钻修机, 二层台, 排管系统, 优化设计

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University 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. 引言

海洋钻修机二层台承载着钻修井作业管柱排放存储, 承放钻具等功能, 海洋钻修机二层台距离海面超过 60 m, 二层台上风速高, 井架工劳动强度大、安全风险高, 另外井架工安全逃生一直是困扰海洋钻修机装备技术管理人员的一个难题, 近年来, 随着自动化技术的成熟和机械手产业的发展, 二层台的排管系统解决了以上问题, 但经过长时间的使用和维护发现: 海洋钻修机常年矗立在采油平台, 设备维保及故障维修难度增加, 同时考虑到环保要求, 液压式二层台排管系统的高空飞油可能产生的海洋污染, 且部分地区冬季气温达 -25°C 发生了液压油乳化、设备反应不灵敏等现象。因此急需改进现有二层台排管系统, 满足设备维修维护, 且无污染的二层台排管机构适用于海洋石油平台。

2. 目前二层台排管系统现状分析

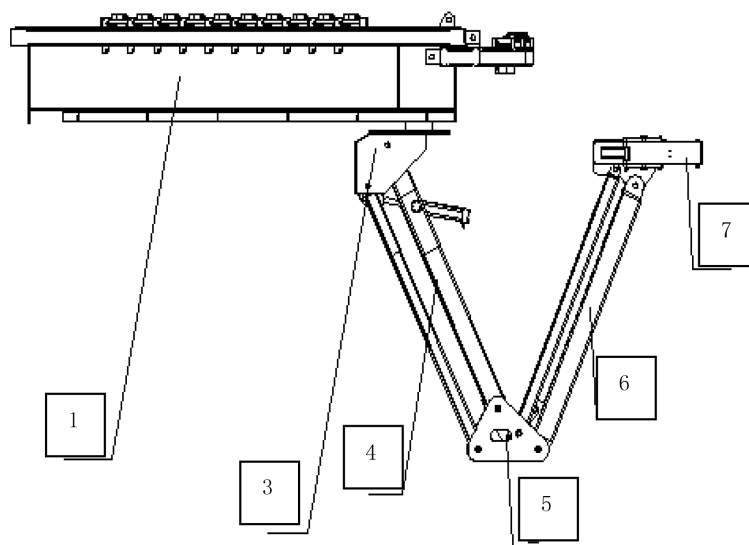
2.1. 机械手安装位置

目前陆地与海洋钻修机购置使用的二层台机械手都为下置式安装方式(图 1), 即安装位置在猴台下方, 机械手臂排管动作在指梁下方完成, 当设备故障后与人工操作不冲突[1], 由于海洋钻修机井架常年不放倒, 与车载型陆地钻机不同, 不便于设备保养与设备维修, 且遇到卡阻无法进行其他作业。

2.2. 驱动方式

国内常规使用的二层台机械手为液压驱动方式, 采用低速大扭矩马达减速机驱动, 能悬持大吨位钻

铤和特殊管柱，气动驱动指梁对立根一对一存储，通过液压系统增加高精度的比例节流调速阀，电控程序算法增加补偿功能等措施，实现机器人多关节复合运动轨迹精确控制，控制系统使立根运动轨迹自动规划[2]。但渤海地区处于低纬度地区，冬季最低温度可达 -25°C ，在低温状态下液压油容易发生乳化变质，机器人工作状态也会发生延迟，可能导致排管路径出现错误，且液压驱动方式需额外增加液压站与多条上井架的液压管线，液压管线无法进行固定，机器人体积较大，工作过程中容易发生管线挂管柱事故；检修困难，液压管线路径多，阀体多，出现故障，检修程序繁琐，拆装过程中容易高空散落液压油，容易污染环境。



1、二层台 2、滑道 3、回转机构 4、主变幅臂 5、连接机构 6、副变幅臂 7、夹持机构

Figure 1. Upper-mounted robotic arm

图 1. 上置式机械手臂

2.3. 适用管柱范围

目前海洋平台二层台指梁尺寸为 $3\text{-}1/2"$ (不可调节)，有少量的井配置 $2\text{-}3/8"$ 与 $4"\sim 5\text{-}1/2"$ 管柱[3]，设计方为满足路径精确设计为不可调节式指梁，但为满足调整井作业需求，只能采取人工单根作业方式，进行钻修井作业，速度慢，效率低，无法满足常规作业时夹持范围需要满足 $2\text{-}3/8"\sim 3\text{-}1/2"$ 、 $4"\sim 5\text{-}1/2"$ 排放要求，并且二层台未留有满足摆放 $\leq 9\text{-}5/8"$ 钻铤的位置的要求[4]。

2.4. 回转角度与回转半径

经过现场使用调研，国内厂商制造的二层台排管系统设备多为半回转与大回转角度两种，半回转的设备回转角度为 180° 回转，半径 $1.5\sim 4.3\text{ m}$ ；大回转角度的设备回转角度为 $\pm 135^{\circ}$ ，回转半径为 $1.5\sim 2.7\text{ m}$ 。海洋钻修机二层台具有空间小，结构紧凑，限制空间多等特点，所以要求机器人安装使用过程中保证回转半径及变幅范围满足作业需求，为达到人工与机械手在不同工况状态下使用的转换，要求机器人能够在人工作业时保持避让状态；在自动状态下能覆盖全部二层台指梁范围而不需要任何人工参与；这就要求海洋钻修机二层台排管系统必须为 360° 全回转角度，作业半径为覆盖全质量全立根承受范围。

3. 海洋钻修机二层台排管系统设计要求

根据以上现有服役二层台排管系统的设计中的缺陷项，设计一种可调指梁式二层台上置安装的排管

系统, 满足海洋钻修机特殊的结构特点及维修保养现状和海洋环境的特点, 必须满足如下要求:

- 1) 猴台上安装方式, 便于设备维修保养;
- 2) 采用全电驱驱动方式, 减少液压介质影响与多余管线设计
- 3) 可调节间距指梁, 满足不同管柱与钻具要求;
- 4) 全回转角度, 作业半径全覆盖。

4. 海洋钻修机二层台排管系统优化设计

4.1. 上置式机械手臂的设计

如图 2 所示, 将二层台排管系统的机械手臂设计为上置式(即安装于猴台上方), 通过齿轮齿条式滑移导轨进行前后滑移, 通过旋转机构进行回转夹持, 猴台后方设置避让平台, 在设备故障或者特殊作业情况下, 机械手臂可避让至避让平台, 井架工登二层台进行人工作业, 机械手臂上置式安装有如下设计优点:

- 1) 无需放倒井架便可进行设备日常的维护保养与故障维修;
- 2) 所有螺栓采用紧固防松螺栓避免设备悬挂造成的高空落物;
- 3) 设备检修或需要人工作业时, 排管系统机械手臂可避让至平台, 作业方式切换不冲突;
- 4) 拆装方便, 同型号钻机可配置相同滑移导轨, 互换性安装。

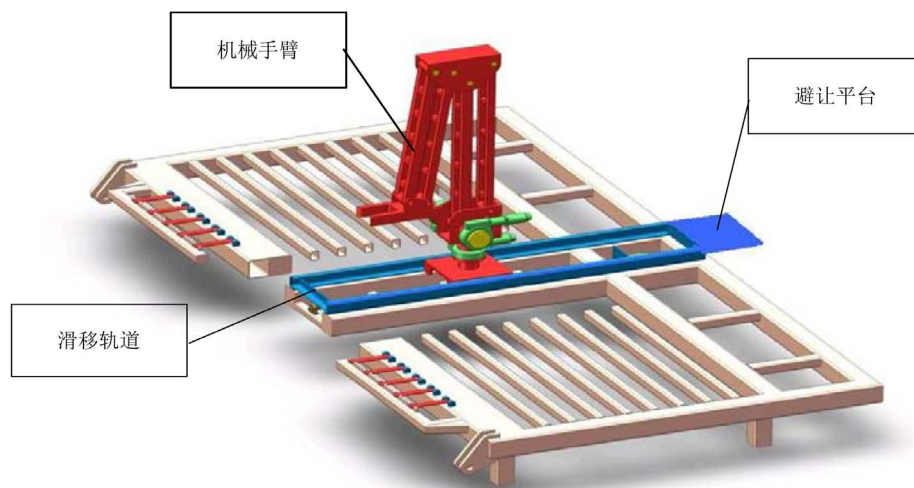


Figure 2. Upper-mounted robotic arm

图 2. 上置式机械手臂

4.2. 电驱式驱动方式设计

以工业机器人控制技术为基础, 根据海洋作业环境特点(低温度、高湿度、高盐雾), 选用防爆型伺服电机驱动齿轮减速机构, 减速机构输出端为机械手臂。二层台指梁锁为小型防爆伺服电机驱动锁销开启和关闭, 全电驱驱动方式程序路径实现存储记忆, 可设定多重自锁、互锁。有以下几种特点:

- 1) 防爆电机作温度范围为 $-30^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$, 适应海洋环境特点;
- 2) 避免高空(液压式机械手)漏油的风险;
- 3) 结构集成程度高, 控制精度高[5];
- 4) 关联线束简单, 无多余管线附带, 避免发生管线挂管柱事故。

4.3. 可调节指梁间距设计

可调节指梁间距的二层台根据渤海地区常规作业时夹持范围需要满足 2-3/8"~3-1/2"、4"~5-1/2"排放要求, 设计为“3/4 排变间距指梁机构”(如图 3 所示), 每组指梁包含 1 条固定指梁, 2 条平移指梁和 1 条伺服翻转指梁, 每组指梁最大可排放 4 排 2-3/8"~3-1/2"管柱, 当需要满足排放 4"~5-1/2"管柱时, 采用伺服旋转机构控制将可翻转指梁抬起与下放, 两个平移指梁可根据管柱排放空间独立平移调节, 变换成 3 排排放方式。可在集成控制系统中远程调控, 精密计算指梁间距大小, 二层台共设置 6 组“3/4 排变间距指梁机构”(如图 4)。可变范围以 HXJ180 钻修机为例, 3 排方式排放管柱容量可达 3"400 m, 4 排方式排放管柱容量可达 4500 m [6]。每根指梁设计立根锁紧弹簧, 防止管柱排放到位后发生滑移, 二层台前方设有钻铤摆放空间。可调节指梁间距设计有如下优点:

- 1) 满足了不同型号的管柱的排放需求;
- 2) 自动化调节指梁间距, 减少人工翻转作业;
- 3) 满足钻铤摆放空间要求[7] [8]。

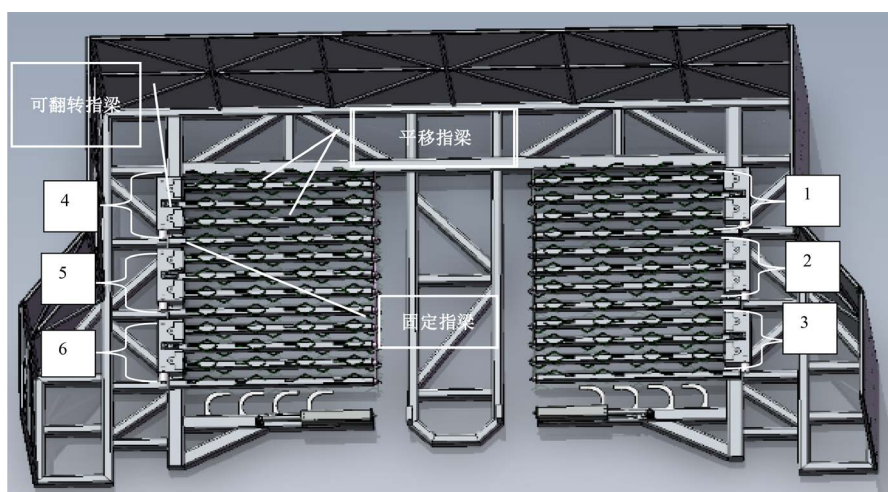
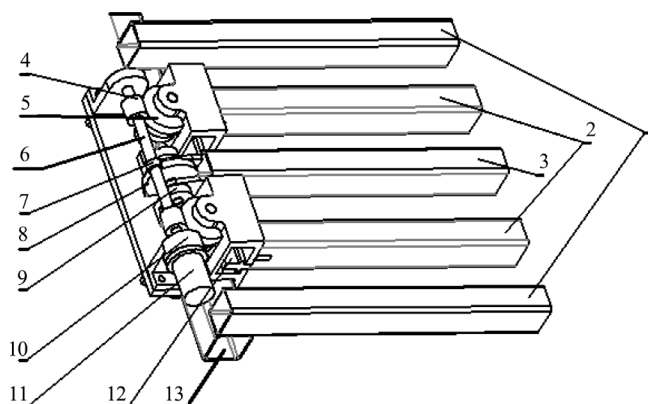


Figure 3. 3/4 Variable spacing mechanism

图 3. 3/4 排变间距指梁机构



1、固定指梁 2、滑动指梁 3、翻转指 4 蜗杆 5、蜗轮 6、传动轴 7、齿轮 A 8、齿轮 B 9、齿轮轴承座 10、传动轴轴承座 11、电机 12、滑动座 13、二层台纵梁

Figure 4. 3/4 Variable spacing mechanism

图 4. 3/4 排变间距指梁机构

4.4. 回转角度与回转半径设计

为达到人工与机器人在不同工况状态下使用的转换，要求机器人能够在人工作业时保持避让状态；在自动状态下能覆盖全部二层台指梁范围而不需要任何人工参与；这就要求机器人必须设计为 360°全回转角度，采用围栏式无限制圆周回转减速机结构，可实现 360°圆周回转和减速动作，可承受较大的轴向力、径向力和机械手臂的倾覆力，结构紧凑，承载能力大，适合在比较恶劣的油田环境下使用[9]。机械手臂半径设计为全指梁，全立根覆盖范围，以 HXJ135DB 型号钻修机为例，手臂半径 ≥ 2 m。如图 5 所示[10]。

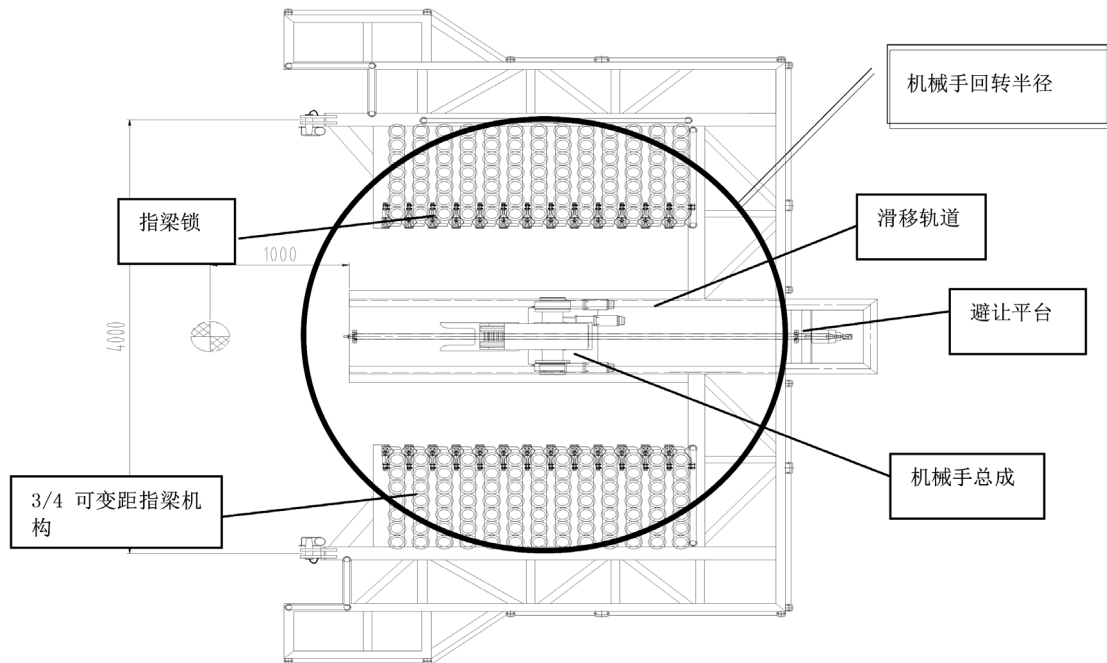


Figure 5. Radius of gyration
图 5. 回转半径

5. 优化前后综合对比

5.1. 优化前后参数对比

根据优化前与优化后的设计，在安装位置、驱动方式、指梁分布方式、回转方式四个方面做出优缺点对比(见表 1)。

Table 1. Compare optimization effects before and after
表 1. 优化前后参数对比表

对比项目	安装位置	驱动方式	指梁分布方式	回转方式
优化前	人工作业时与机械手臂不冲突，但不便于现场的维修维护操作	液压驱动容易发生高空漏油，管线束较多，容易发生挂管现象，低温情况下，排管不精确	固定式指梁，形式单一，只适合一种管柱排布	限制空间多，无法达到部分角度排不要求
优化后	设有避让平台，需要人工作业时与设备不冲突，上置式安装便于维修与维护	排管精确，无温度影响，无设环境污染风险	可适合 2-3/8"~3-1/2"、4"~5-1/2"多种管柱排布	360°全回转，臂展全覆盖，各个方位都可排布

5.2. 优化前后作业流程与效果对比

根据优化前与优化后的使用情况，对作业流程与使用效果进行对比(见表 2)。

Table 2. Compare processes and effects before and after
表 2. 优化前后作业流程与效果对比表

对比项目	作业流程	使用效果
优化前	1. 推扶管柱重心低; 2. 控制阀体多, 低温状态下动作延迟; 3. 不可调节式指梁, 适用管柱范围小, 作业自动化受到限制; 4. 回转范围小, 抓取推扶空间受限; 5. 机器人下方布置, 检修需放倒井架。	1. 排布管柱位置不精确; 2. 控制管线多, 工作过程中容易发生管线挂管柱事故, 液压管线路径多, 阀体多, 出现故障, 检修程序繁琐; 3. 适用范围小, 不适用于大修及钻井作业; 4. 出现管柱推扶盲点, 不利于管柱排布 5. 维护保养及检修困难,
优化后	1. 推扶重心升高, 抓取点靠近管箍; 2. 控制系统全电控, 控制精度高, 无延迟现象; 3. 作业范围广, 可适用于常规修井、大修、钻井等作业; 4. 全范围回转, 排布覆盖整个二层台; 5. 上方布置, 检修与维护随时可进行。	1. 抓取点升高, 排不管柱精确; 2. 全集成线束, 检修方便; 3. 可根据不同作业, 调整不同的管柱适用范围; 4. 排布范围广, 适用于各个点位的管柱排布; 5. 维护保养及检修方便, 。

6. 结论

通过对海洋钻修机二层台排管系统的优化设计, 在全面性, 有效性, 符合性等方面改进了现役二层台排管系统存在的问题, 建议海洋钻修机设备在二层台机械手的选择上着重考虑以下几个方面, 并适当的做出优化改进, 以满足钻修井作业的实际需求, 更适合现场作业流程标准。

- 1) 在满足安全性及经济性的前提下, 应极大限度的考虑设备维修和保养的可操作性;
- 2) 应全面考虑海洋平台井下管柱状况: 井况井深、钻具尺寸、工艺要求等;
- 3) 应充分考虑海洋环境(温差变化、高湿度、高盐度)和海洋钻修机的结构的特点。
- 4) 经过设计改造, 以上优化设计已在渤海油田率先投入使用, 目前使用参数平稳。

参考文献

- [1] 陈明凯, 唐清亮, 胡送桥, 等. 适用于在役陆地钻机的自动化立根排放系统[J]. 石油矿场机械, 2018, 47(6): 68-71.
- [2] 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.
- [3] 赵暎, 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(4): 20-23.
- [4] 陈高来. 简单间距可调式二层台指梁的设计与应用[J]. 机械研究与应用, 2016(6): 182-185.
- [5] 李正军. 现场总线与工业以太网及其应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [6] 中海油研究总院. Q/HS 2007.1-2013 海上石油平台修井机第 1 部分: 设计[S]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
- [7] 丁辉, 张超, 赵暎, 等. 海洋钻修机二层台机器人设计及选型研究[J]. 科技资讯, 2019(31): 42-44.
- [8] 鲍泽富, 胡广珊. 陆地钻机二层台自动排管系统研制[J]. 重型机械, 2018(5): 74-78.
- [9] 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.
- [10] 朱海东, 祝克强, 谭海波. 修井机二层台排管机械手虚拟样机设计[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(6): 51-53.