

修井作业油管自动传输机的研制与应用

王波, 汪勇彪, 管俊, 苏占雄, 王军

克拉玛依众城石油装备研究院股份有限公司, 新疆 克拉玛依 834000

DOI:10.61369/ERA.2025060002

摘要: 小修作业中, 油管的起下作业占用了70% 以上的时间。目前起下油管多采用人工传送方式, 劳动强度大、安全风险高、不易实现修井作业自动化。研制了一种油管传输机, 以机械自动化运作代替人工作业, 实现修井作业中油管的自动化传输。油管传输机基于西门子 S7-1200 设计, 控制液压系统运行, 与液压吊卡协同工作实现油管在井口与地面管排架之间的自动化传输。现场试验表明: 该装置可只由一名操作人员遥控操作即实现油管在液压吊卡与地面之间的传输, 大大降低了劳动强度和劳动风险, 提高了工作效率。

关键词: 修井作业; 油管传输; 机械结构; PLC 控制; 液压系统

Development and Application of Automatic Transmission Machine for Oil Pipe in Well Repair Operations

Wang Bo, Wang Yongbiao, Guan Jun, Su Zhanxiong, Wang Jun

Karamay Zhongcheng Petroleum Equipment Research Institute Co., Ltd. Karamay, Xinjiang 834000

Abstract: In minor repair operations, the lifting and lowering of oil pipes takes up more than 70% of the time. At present, manual transportation is commonly used for lowering oil pipes, which has high labor intensity, high safety risks, and is not easy to achieve automation in well repair operations. A tubing transfer machine has been developed to replace manual operation with mechanical automation, achieving automated transfer of tubing during well repair operations. The oil pipe transmission machine is designed based on Siemens S7-1200, which controls the operation of the hydraulic system and works in conjunction with the hydraulic hoist to achieve automated transmission of oil pipes between the wellhead and the ground pipe rack. Field tests have shown that the device can be remotely operated by only one operator to achieve the transmission of oil pipes between hydraulic elevators and the ground, greatly reducing labor intensity and risks, and improving work efficiency.

Keywords: well repair operation; oil pipeline transmission; mechanical structure; PLC control; hydraulic system

在油田开发过程中, 为保持油气产量长期稳定, 进一步挖掘油藏剩余潜力和提高采收率, 修井作业工作量将越来越大^[1]。在目前的小修作业中, 70% 以上的时间是用来起下油管^[2]。目前, 国内大部分油田修井作业一直采用吊卡与惯性小滑车互相配合对管柱进行起吊与下甩, 4人协同、轮流交换的作业方式^[3-4]。人工传送的方式不仅工人劳动强度大, 安全风险高, 而且难以实现修井作业自动化^[5]。在以加强油气田工作效率、实现资源合理利用为核心的新时代油气生产背景下, 本文中介绍的油管自动传输机以机械自动化作业代替人工作业, 减轻了工人劳动强度和安全风险、降低了修井作业成本, 具有广阔的应用价值和推广前景。

一、总体结构设计

该油管自动传输机总体由控制系统、液压系统、机械结构部分3大模块组成。装置的整体设计原理框图如图1所示。其中控制系统是油管自动传输机的控制核心, 液压系统为传输机整体提供动力来源, 机械结构中各运动单元由各自对应的液压缸或液压马达驱动。由遥控按钮下达动作指令至配电箱中的西门子 S7-

1200型 PLC 控制器, 通过 PLC 控制器控制各液压缸、液压马达对应的电磁阀的开度, 从而实现各动作单元进行相应的动作^[6]。

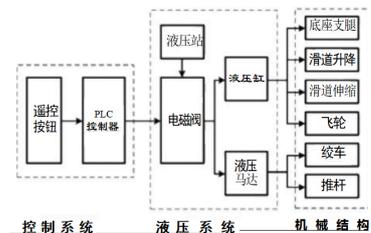


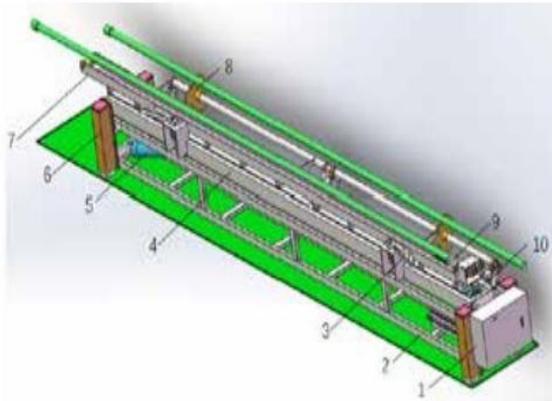
图1 油管传输机总体结构框图

基金项目: 本文系新疆维吾尔自治区科学技术厅重点科研项目: 面向油田修井作业的成套智能装备研发。

作者简介: 王波(1981.03-), 男, 汉族, 四川省蓬溪县人, 大专, 研究方向: 油田修井机及修井作业配套设备改造。

二、机械结构

油管自动传输机机械结构部分主要由固定底座、支腿、滑道、绞车、飞轮、推杆等组成，如图2所示。推杆和飞轮机构实现油管在管排架和输送滑道之间的上下动作，通过滑道的升降、伸缩和绞车的移动将油管输送至井口。



1- 配电箱；2- 固定底座；3- 推杆；4升降机构；5主油缸；
6- 支腿；7- 伸缩机构；8- 飞轮；9- 绞车；10- 副油缸

图2 传输机机械结构图

（一）固定底座

固定底座为各运动单元的安装基座，由钢材焊接而成。底座四角安装四个高度可调的液压支腿，四个支腿底部安装在接油盒上，防止油污落地。底座两侧分别安装两个推杆和飞轮，滑道安装于底座上部位置居中。配电柜安装于滑道非起升端一侧的底座前部，操作便利^[7]。

（二）支腿与滑道

修井作业现场环境一般比较恶劣，地面可能存在高低不平现象，因此采用液压油缸代替固定支腿，4个液压支腿高度可独立调节，液压支腿行程500mm。在高低不平的作业场地可通过调节各支腿高度保证传输机水平安放，防止传输机侧翻和油管滑落伤人。同时可调节滑道位置与地面管排架高度一致，便于油管上下^[8]。

滑道用于将地面油管升举后送至井口，由升降机构与伸缩机构两部分组成，分别由主副液压油缸驱动^[9]。滑道升降机构的升降端与主液压油缸连接，主液压油缸铰接于底座底部，固定端与固定底座成铰链连接，通过油缸行程变化实现滑道升降动作，其最大升起角度为30°，起升高度为3米。滑道伸缩机构安装在升降机构内部，一端与副液压油缸连接，油缸另一端连接在滑道固定端，油缸行程的变化控制滑道伸缩长度，最大伸长长度为3米。

（三）绞车与飞轮和推杆

绞车安装于滑道上。表面挖有三排凹槽，当液压吊卡抓取油管起吊时，油管一端卡入凹槽以防止滑落，绞车跟随油管沿滑道移动。绞车通过钢丝绳由安置于滑道固定端的液压马达驱动。飞轮和推杆用于使油管在滑道和管排架之间上下。推杆安装底座外侧，通过液压马达驱动可绕定轴在0至90°范围内摆动。飞轮通

过连杆机构由液压缸驱动。

（四）油管传输机工作流程

油管传输机工作分为送油管和下油管两个工作流程，流程简图如图所示。

（五）送油管与下油管

向井口输送油管时，液压缸通过连杆机构带动飞轮转动，飞轮勾齿勾取油管送至滑道并由推杆扶正，主液压油缸推动滑道升起至合适位置，副液压油缸推动滑道伸缩机构伸长将油管一端送至井口处，待液压吊卡抓取油管提升，绞车随油管沿滑道前进至顶端，完成送油管工作。

在接取井口起出的油管时，滑道升降机构升起，滑道伸缩机构伸长至井口合适位置，绞车前进至滑道顶端，油管下端放置绞车凹槽内，绞车后退将油管平稳放置在滑道，滑道伸缩机构缩回，滑道升降机构下降至水平，然后推杆将油管推送至飞轮齿槽处，飞轮转动将油管甩至管排架，完成下油管工作。

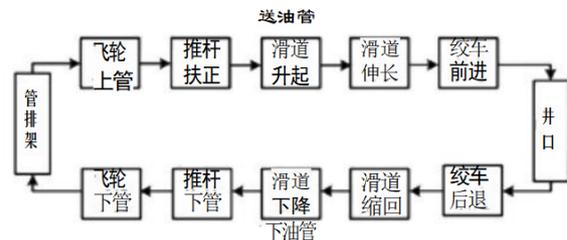


图3 油管传输机流程图

三、液压系统

液压系统设计液压站采用分离式结构，使用32排量高压齿轮泵，由18.5 kW电机直联带动，系统润滑性好，噪声小；泵站出口配置了压力表、安全阀、减压阀等标准设备，液压系统执行元件包括专用9路4WE10J31B/CG24N9Z5L型电磁换向阀，1支φ160mm举升液压缸，1支φ160mm伸缩液压缸，4支φ100mm支腿液压缸和4支50ml/r的液压马达。液压缸全部采用国产出口级液压缸，进口密封件、纯铜线圈，换向顺畅灵敏，马达是带有轴承支撑的轴配流液压马达，可承受加大的径向力，密封圈全部采用进口，承受背压高，使用寿命长，确保设备在各种状况下的正常运行^[10]。

四、控制系统

控制系统集成安装在控制柜内，主要由控制电路与遥控系统组成。遥控系统用于对控制电路下达动作指令，控制电路接收到动作指令后控制各电磁换向阀动作实现各种动作。

（一）控制电路

控制电路是整个控制系统的核心，控制电路以西门子S7-1200PLC控制器为控制核心、连接了变压器、继电器、电源开关、动作开关、接线端子、警铃、遥控接收器等。遥控接收器接收遥控器发出的动作指令传输至PLC控制器，

PLC 控制器依据预先编写的逻辑程序,将操作指令和限位开关与位移传感器的反馈信号进行处理,然后对被控对象发出通断命令。为防止遥控系统故障,控制柜面板同时安装有与遥控器功能相同的动作开关。

(二) 遥控系统

遥控系统采用台湾禹鼎 (TELECRANE)F24-14S 型工业无线遥控器,采用400MHz工业通讯频段,有效距离为100 m。遥控器配有14个双速按键,其中12个为功能按键,1个急停按键,1个启动按键,1个旋转钥匙,1个警报按键。其工作温度范围为-40℃~+85℃,适应国内绝大多数修井作业区域。

遥控系统设有自动与手动两种操作模式。进行手动模式操作时,先将控制柜模式选择开关打到“手动”,而后由遥控器上的“飞轮上管”“飞轮下管”“推杆上管”“推杆下管”“滑道上升”“滑道下降”“滑道伸长”“滑道缩回”“绞车前进”“绞车后退”等按键完成手动控制操作。进行自动模式操作时,将模式开关打到“自动”模式,按下“参数记忆”按键,然后根据手动操作模式完成一次上、下管操作,控制系统会记录传输机升降机构升降高度和伸缩机构伸长度,完成后按下“参数设置”按键,此时可使用遥控器“一键式上管”“一键式下管”按键,进而完成油管自动化传输。

五、现场应用

目前,该油管自动传输机已在克拉玛依油田经过多次现场试

验,如图所示,并已投入建业能源有限公司多个修井作业队使用。通过现场试验与作业队修井现场使用效果验证,该油管自动化传输机可只由一名操作人员通过遥控设备或配电柜面板旋钮完成油管传输工作,手动、自动控制模式效果均达到设计要求,输送高度和起升重量均达可满足小修作业需要,平均输送速度可达2根/分钟,满足了小修作业中油管传输工作的需要。

六、结论

1. 该油管自动化传输机取代了传统修井作业中靠人力搬运的油管传输方式,以机械化自动控制代替,传输效果和传输能力均满足了小修作业的需要。可以大量减少修井作业人员数量,同时降低了修井作业劳动强度,降低了作业人员的安全风险,对降低修井作业成本、提高修井作业效率和安全性有十分重要的意义。

2. 该油管自动化传输机自动化程度较高,设计结构简单、生产成本较低,可与目前大多数修井设备配套使用,便于大范围普及。

3. 该油管自动化传输机与本公司自主研发的最新型自动修井车配套使用可实现2~3名操作人员即可完成小修作业工序,对完全实现修井作业自动化具有十分重要的指导意义。

参考文献

- [1] 孙昊. 连续油管修井作业技术的应用探讨 [J]. 化学工程与装备, 2018(06): 99-100.
- [2] 沈银虎. 油田修井作业质量管理存在的问题及解决策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024(24): 19-21.
- [3] 何宝林; 陈小伟; 类淑菊; 黄儒康. 海洋石油修井作业安全智慧评估方法研究 [J]. 石油和化工设备, 2025(02): 13-15.
- [4] 吴小亮; 赵天增; 朱宏业. 提高井下修井作业施工中质量管理的对策探讨 [J]. 石化技术, 2023(12): 230-232.
- [5] 赵光磊. 试油修井作业过程中的安全管理策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024(03): 60-62.
- [6] 杨正军; 晁伟伟. 延长油田修井作业中油田气层的保护技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024(13): 157-159.
- [7] 王宏亮. 油田修井作业自动化装置的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023(10): 104-106.
- [8] 汪迪; 黄聪聪; 常双利. 水下井口轻型修井作业技术及设备发展概述 [J]. 海洋工程装备与技术, 2023(02): 126-130.
- [9] 刘成贵; 黄大勇. 清污修井作业关键技术及发展方向 [J]. 设备管理与维修, 2022(23): 127-131.
- [10] 孟祥革. 油田修井作业自动化装置的应用 [J]. 化学工程与装备, 2022(03): 55-56.