

远距离超高压水力喷砂切割装置

孙长利 苗典远 邢志彪 李巩 蒋凯

国家海上油气应急救援天津队

一、技术特点

在井喷应急抢险领域，三级井控状态下井口或近井口区域通常是明火高温或油气富集状态，这对井口障碍物的切割清理和井口修复带来巨大的困难，主要体现在人员无法靠近作业和不宜动明火。本项发明“远距离超高压水力喷砂切割装置”主要解决井控应急抢险中，在人员无法靠近抢险点时，对井筒或障碍物进行远距离不动明火的切割及修整，确保井控设备的顺利安装和人员设备的安全，有效推动抢险工作进展。

远距离超高压水力喷砂切割装置针对井控应急环境的特殊性，主要解决无法使用电气焊等热切割设备、人员无法近距离操作以及不规则井筒的切割。成果解决了超高压水力喷砂设备的小型化问题，最终实现设备小型化动员迅速、高压水力喷砂切割（不动火）、人员远距离控制切割，为井控应急提供高效安全的作业保障。

该套装备具备远距离伸缩能力和一定能力的自身防火功能，具备带火切割能力。配备单、双头切割执行机构，遥控操作距离达到 200 米，在井喷井口着火或有着火风险的情况下，远距离遥控操作切割执行机构，切割井口或平台坍塌的结构，最终利用爬犁或抓手，将障碍物清除，目的是要暴露井口，为后续井口重建建立条件。

远距离超高压水力喷砂切割装置主要参数：

- (1) 系统额定工作压力 250 兆帕；
- (2) 伸缩臂最大作业半径为 20 米，安全工作载荷 1 吨@20 米，回转机构 360 度旋转，折叠臂整体包裹耐高温防火材料，耐温不小于 500 摄氏度；
- (3) 伸缩臂液压控制系统压力 25 兆帕，系统可控制起重机的伸缩、回转、变幅和折臂的任何一个动作都可满负载、满速度工作，并可在负载、速度有所下降的情况下进行任意两个动作的联动，所有动作都可以从零到最大值无级变速控制；
- (4) 双臂切割机构的夹持范围 18-32 寸，喷嘴直径 1 毫米；
- (5) 单臂切割机构可横向、竖向和侧向安装，有效切割距离不小于 1.2 米；
- (6) 清障抓手可抓取 30 寸及以下管件。

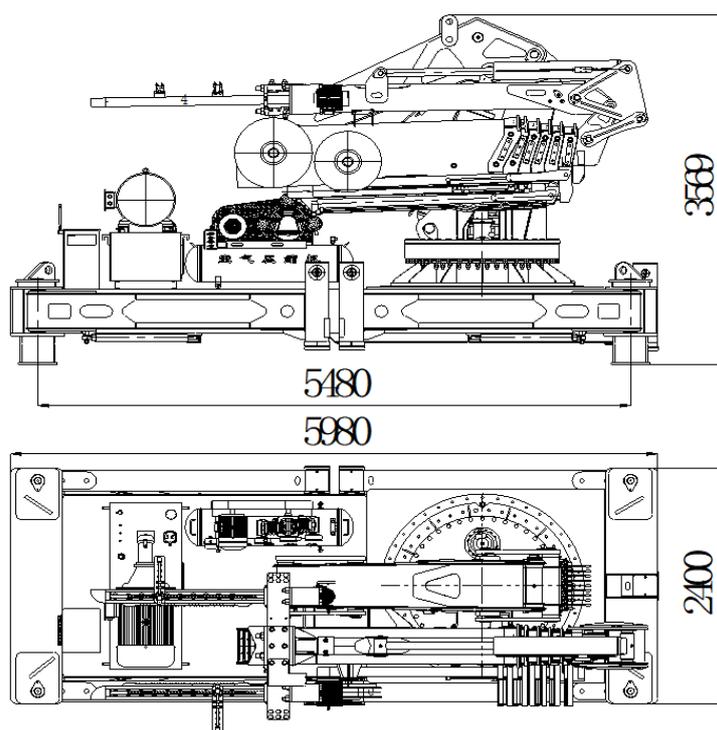


图 1 装置结构图

二、创新性

远距离超高压水力喷砂切割装置机械臂使用国内首创三次折叠+六节伸缩+“飞机”+伸缩结构，调平和变幅整合式设计（巧妙运用四连杆结构增大旋转角度），底盘伸缩式支腿的结构设计。国际首创将折叠臂技术引进至井控应急切割作业中，同时结合磨料射流切割技术，真正实现远距离操作，最大限度地确保了人员和设备的安全，切割效率高。远距离清障切割设备由动力单位、混砂单元、伸缩折叠臂、单/双臂切割执行机构和清障机械手等组成，该套设备通过遥控操作，完成切割清障作业。不动火、远距离、快速完成井口（损坏的防喷器、钻杆、法兰等）切割和修整，以及井口区域的障碍清除，确保其它井控设备的安装以及建立抢险人员的安全通道。

先进性：

(1) 国内首创三次折叠+六节伸缩+“飞机”+伸缩结构。



图 2 伸展臂实物图

(2) 国内首创调平和变幅整合式设计。(巧妙运用四连杆结构增大旋转角度)



图 3 调平和变幅整合式设计

(3) 国内首创底盘伸缩式支腿的结构设计。(四角摆动+正前伸缩)



图 4 底盘伸缩式支腿



图 5 多节油缸效果图

三、实践应用成效

远距离超高压水力喷砂切割装置为固定式装置，作业前使用吊车将装置安装在作业场所合适位置。装置最大作业距离 20 米，最大远程遥控距离 200 米，可满足海上平台和陆地井场安全施工距离条件。装置具备多角度多变位的水力切割、抓取、拖拽和吊运能力，满足场地复杂障碍物的清障需求。

井控抢险现场常见切割障碍有套管、井口帽、金属结构件、采油树、多层管柱等，为验证远距离超高压水力喷砂切割装置切割能力，进行了针对性切割能力实验。通过实验验证，装置具备切割井控常见金属件的能力，实验切割物品包括 7 寸套管、井口帽、5 寸旋塞阀、采油树和多层套管，金属材质包含典型的 P110-3Cr、4130 合金钢、45MnMo 合金钢、Q235B，实验成功切割壁厚范围 10.36 毫米至 410 毫米，切割厚度范围 87 毫米至 508 毫米。实验数据如下：



图 6 井口套管切割应用

表 1 远距离超高压水力喷砂切割装置应用记录

| 序号 | 试验时间 | 切割物品 | 切割方式 | 切割参数 | | | | | | | | | | 切割过程记录 | 切割过程照片 | 切割目的 |
|----|------------------|---------|-------|-----------|---------|-------|--------|----------|-------|-------|----|------|-----------|-----------------|--------|-------------------|
| | | | | 切割管径 | 切割壁厚 | 切割压力 | 切割速度 | 喷嘴口径 | 喷嘴长度 | 行走速度 | 材料 | 切割长度 | | | | |
| 1 | 2020.10.27 14:15 | 7寸套管 | 单管单喷头 | 4130-3Cr | 10.36mm | 87mm | 150Mpa | 3.8L/min | 2.0mm | 120mm | 慢速 | 80 | 28mm*2.5 | 单管单喷头打点式切割并修整切口 | | 切割设备有效性验证7m套管切割效果 |
| 2 | 2020.10.27 15:15 | 7寸套管 | 单管单喷头 | 4130-3Cr | 10.36mm | 87mm | 220Mpa | 1.7L/min | 2.0mm | 120mm | 慢速 | 80 | 11mm*2.5 | 单管单喷头连续切割并修整切口 | | 验证单管连续切割效果 |
| 3 | 2020.10.30 15:10 | 11寸套管 | 单管单喷头 | 4130合金钢 | 44mm | 240mm | 200Mpa | 2.5L/min | 2.0mm | 2.5mm | 慢速 | 80 | 96mm*2.5 | 单管单喷头连续切割并修整切口 | | 验证11寸套管连续切割效果 |
| 4 | 2020.11.03 | 5寸旋塞阀 | 单管单喷头 | 45MnMo合金钢 | 44mm | 145mm | 230Mpa | 1.8L/min | 2.0mm | 120mm | 慢速 | 80 | 70mm | 单管单喷头连续切割并修整切口 | | 验证设备切割效果 |
| 5 | 2020.11.06 | 采油树 | 单管单喷头 | 4130合金钢 | 42mm | 420mm | 210Mpa | 1.8L/min | 2.0mm | 2.5mm | 慢速 | 80 | 40mm | 单管单喷头连续切割并修整切口 | | 验证设备切割能力 |
| 6 | 2020.11.03 | 20寸多层套管 | 单管单喷头 | Q235B | 22mm | 508mm | 200Mpa | 1.8L/min | 2.0mm | 3mm | 慢速 | 80 | 107mm*2.5 | 单管单喷头连续切割并修整切口 | | 验证设备切割效果 |

四、推广应用情况

远距离超高压水力喷砂切割装置是一种远程遥控操作的切割破拆设备，集成化和自动化程度高，可以解决高压、高温、易燃易爆等高风险区域，人员和常规切割设备无法

近距离实施破拆的问题，使用超高压水力喷砂切割技术，能够高效切割金属与非金属材质的结构件，是油气田井喷失控后清障切割的关键抢险装备，填补了我国海洋浅水油气田井喷事故井口远距离切割装备技术的空白，进一步完善了油气田抢险救援技术体系，有力地推动我国油气田应急救援装备自主化建设的进程。

该套装置解决高危环境结构物破拆难题的同时，大大降低抢险人员暴露高危环境的风险，有效规避次生灾难事故发生，提升救援本质安全，社会效益巨大。该装置既是油气田井喷事故应急救援专业装备，也可应用在油气处理场站、管道等应急救援破拆清障作业中，具备广泛的应用前景。

五、成果产出情况

该成果获得中海油能源发展股份有限公司 2020 年度科技进步一等奖
项目获得发明专利“一种井控应急切割清障双臂执行机构”（ZL202010886341.9，授权日期 2022.05.06）。

六、代表性图片





七、成果联系人

姓名：邢志彪

邮箱：xingzhib@cnooc.com.cn

座机：022-25809826

手机：13920609399

地址：天津市滨海新区东四路国家海上油气应急救援天津基地