

复合式水下井口头取送工具的设计

赵树清 姜柯 陈奖 谢华

深圳市远东石油钻采工程有限公司 广东深圳 518068

摘要: 随着社会发展对能源需求的不断增加,海洋由于丰富的资源储备日益受到关注。特殊的地理环境导致海洋油气开发的难度远高于陆地,海洋油气开发过程中必备的关键设备水下井口头在油气开采中起着至关重要的作用,安全稳定的将水下井口头送入海底是海洋油气开采作业过程中极其重要的一环。本文通过分析研究,设计了一种新型的复合式水下井口头取送工具结构,该结构分别通过机械和液压两种方式驱动取送工具对水下井口头解锁脱手,并通过实验验证其可靠性。旨在为海洋石油开采提供更为安全可靠的取送工具,为我国海洋石油作业的进一步发展提供一些新的思路。

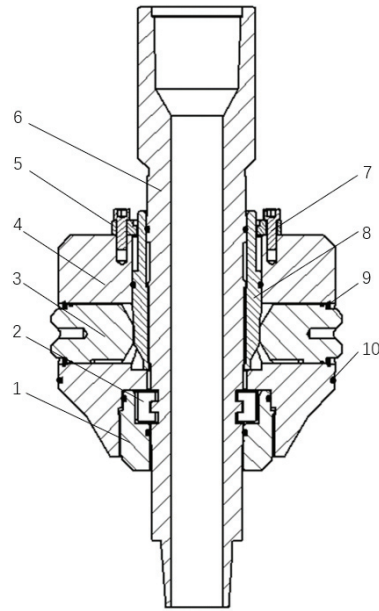
关键词: 取送工具;复合式;机械驱动;液压驱动;脱手;海洋油气

前言

随着社会的发展进步,能源问题日益严重,陆地油气开采已经难以满足生产生活的需求。深水和超深水是未来海洋油气开发的发展方向。^[1]水下井口系统是海洋油气开采中的重要组成部分^[2],在海洋油气开采及生产过程中,使用取送工具将水下井口头送入海底是不可或缺的关键步骤,由于海洋油气钻井成本高风险大,水下井口头的顺利安装对现场作业安全和作业成本的控制至关重要^[3]。水下井口头取送工具通常需要伸入井口头内腔,具有锁紧或释放水下井口头的功能,同时还应能够密封井口内腔承受一定的压力载荷。除具备以上功能外,还需具有操作简单、安全可靠等特点。

一、常规取送工具的特点

目前,我国海洋钻井使用的水下井口头系统主要是GE Vetco Gray、Dril-Quip、FMC、Cameron和Aker Kvaerner等公司的产品。各公司都研发配套了井口头系统取送工具,其中,市场占有率最大的是Vetco公司的SG-5系列机械式凸轮驱动取送工具^[4],其结构如图1所示。其特点是:在C形限位环的限位作用下,芯轴和壳



1-密封档环;2-C形限位环;3-锁爪;4-壳体;5-档环;6-芯轴;7-螺钉;8-机械凸轮;9-挡圈;10-密封圈

图1 机械式凸轮驱动取送工具

体之间不会产生轴向移动,只需要通过与之连接的钻柱带动取送工具的芯轴正向或反向旋转特定圈数,机械凸轮在芯轴的驱动下向下或者向上移动,进而使锁爪(或锁环)向外顶出锁紧或向内收回释放水下井口头。其优点是操作过程简单,作业成本低。但该工具结构也存在一定的不足,由于常规取送工具只有机械驱动一种操作方式,不具有备用处理手段,在水下井口头的取送作业过程中,尤其是对于作业周期长生产成本高的深水水域,

基金资助: 广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项 GDNRC[2023]50

作者简介: 赵树清(1981.12--),男,汉族,广东深圳人,研究生学历,高级工程师,现就职于深圳市远东石油钻采工程有限公司任技术部经理,主要从事石油工具设计开发工作。

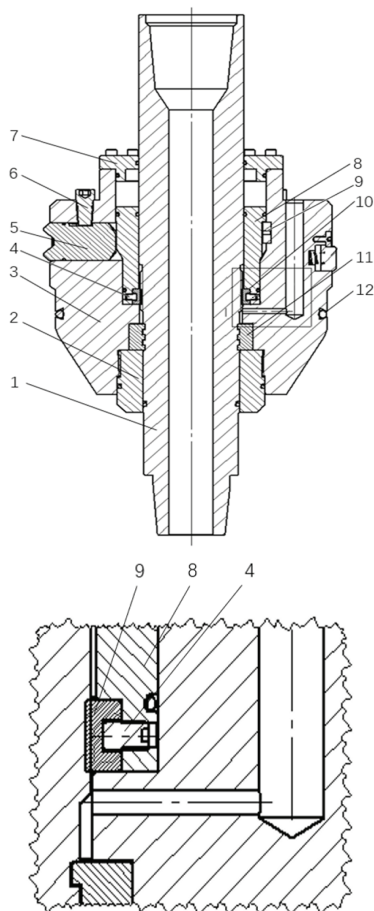
一旦取送工具的机械结构失效，会造成工具无法顺利与井口头解锁，进而导致整口井的报废，不仅会影响作业进度，还会给现场作业带来重大安全风险和不可估量的经济损失。

二、复合式取送工具结构和特点

为解决常规机械式凸轮驱动取送工具存在的操作方式单一、可靠性较差的问题，通过进行结构优化，设计了一套机械和液压复合式水下井口头取送工具，可分别通过机械驱动和液压驱动两种不同的操作方式控制锁爪伸出壳体或向壳体内收缩，尽量降低意外状况带来的不可预估的作业风险。

(一) 复合式取送工具结构

复合式取送工具主要由：芯轴、挡环、壳体、剪钉、锁爪、限位螺钉、密封环、驱动凸轮、机械驱动环、防转块、C形限位环以及密封圈等组成。驱动凸轮将芯轴和壳体之间的环空分割成上下两驱动腔，通过剪



1-芯轴；2-挡环；3-壳体；4-剪钉；5-锁爪；6-限位螺钉；7-密封环；8-驱动凸轮；9-机械驱动环；10-防转块；11-C形限位环；12-密封圈

图2 复合式取送工具结构

钉与芯轴上的机械驱动环进行轴向固定，详见图2。由于C形限位环的限位作用，芯轴与壳体之间不会产生轴向移动，在防转销的作用下驱动凸轮与壳体不会产生周向转动。

1. 机械驱动

芯轴与机械驱动环之间采用传动螺纹连接，需要锁合取送工具与水下井口头时，将工具置于水下井口头内腔，反向旋转芯轴，机械驱动环在芯轴的驱动下带动驱动凸轮向下移动，待驱动凸轮的大端与锁爪尾端接触，锁爪被完全顶出，水下井口头与取送工具完全锁合。

需要将取送工具与水下井口头解锁时，正向旋转芯轴，机械驱动环连同驱动凸轮一起沿芯轴向上移动，至驱动凸轮的小端对锁爪尾端形成避空，此时上提工具芯轴，锁爪在水下井口头内腔锁环槽锥面的挤压下向内移动，完成取送工具与水下井口头的解锁脱手。

2. 液压驱动

现场作业风险只存在于解锁阶段，故液压驱动通常只作为解锁使用。需要使用液压解锁时，只需通过ROV（无人遥控潜水器）将热拔插式快速接头插入工具壳体上连通下驱动腔的母接头（图中未画出），并向下驱动腔内注入压力驱动液。在液体驱动压力的作用下，连接机械驱动环的剪钉被剪断，驱动凸轮向上移动，至驱动凸轮的小端对锁爪尾端形成避空，此时上提工具芯轴，锁爪在水下井口头内腔锁环槽斜面的挤压下向内移动，完成取送工具与水下井口头的解锁脱手。

(二) 复合式取送工具的特点

通常情况下，可以使用方便快捷的机械驱动进行作业，遇到无法通过旋转芯轴解锁的情况时，便可使用ROV进行液压解锁，优化后的取送工具在增加工具安全系数的同时，并未对工具操作的便利性产生不利影响。

三、实验结果分析

为验证复合式取送工具的设计效果，我们进行了多次模拟实验。实验内容包括机械驱动和液压驱动两种操作方式的有效性和可靠性测试。

(一) 机械驱动测试

在实验室环境下进行了多次模拟机械驱动操作，确保机械驱动环和驱动凸轮的配合精确。测试结果显示，机械驱动环在芯轴旋时能顺利带动驱动凸轮移动，实现锁爪的伸缩操作。

为了进一步验证机械驱动的可靠性，我们将复合式操作工具与水下井口头进行了配合实验。实验过程如下：

1. 将复合式取送工具与水下井口头对接。

2.反向旋转芯轴至限位,确认旋转圈数与设计相符,上提工具芯轴,水下井口头被提起,且二者轴向未产生相对移动,验证复合式取送工具与水下井口头锁合,确认机械操作能够顺利将锁爪顶出。

3.对水下井口头内腔进行1.5倍额定工作压力静水压测试,确认保压时间内未产生泄漏。

4.正向旋转芯轴至限位,并确认旋转圈数与反向旋转圈数相同,上提工具芯轴,取送工具与水下井口头脱离,顺利解锁脱手。

多次现场实验结果显示,机械驱动操作过程顺利,无卡滞现象发生,锁合和解锁效果良好。

(二) 液压驱动测试

液压驱动测试主要验证在机械驱动失效情况下,液压驱动是否能可靠完成解锁操作。测试步骤如下:

1.在实验室环境下模拟现场机械驱动失效场景,将复合式取送工具与被锁合的水下井口头一起送入测试水池,准备液压驱动系统。

2.通过ROV将热拔插式快速接头插入与工具壳体连接的母接头。

3.向下驱动腔内注入驱动液,观察驱动压力值的变化,听到剪钉被剪断的声音时记录驱动液压力值,同时观察到驱动压力值下降;继续注入驱动液,至液压驱动系统压力连续升高,说明此时驱动凸轮向上移动至上行极限;上提工具芯轴,复合式取送工具与水下井口头完全脱开。

液压驱动测试结果表明,液压系统在液体压力驱动作用下,能够迅速剪断剪钉,促使驱动凸轮向上移动,完成解锁操作。液压驱动解锁过程平稳可靠,无泄漏和卡滞现象发生。

(三) 实验结果与理论值对比

剪钉选用材料为黄铜H62,供货状态Y2,抗拉强度为355~470MPa,剪钉规格为M12,数量为12个。又知驱动套筒的内外密封面尺寸分别为 $d=178\text{mm}$, $D=249\text{mm}$ 。根据理论计算,注入下驱动腔的驱动液压力值在9.5~12.6MPa范围内剪钉可被剪断。

通过对该批剪钉进行抽样,测得剪钉的剪断力如表1所示。根据表1中测的数据可知该批次剪钉平均剪断力为20.04kN,12个剪钉的总剪切力约为240.48kN。

表1 剪钉剪切力 The Shear Force of screw

序号	1	2	3	4	5	平均
剪切力/kN	19.9	20.3	19.9	20.1	20.0	20.04

根据理论计算,剪钉被剪断的驱动液压力值约为10.10MPa,实验时从数显压力记录仪中读取最大压力值为10.31MPa,与理论计算结果偏差为2%,实验值与理论值相符。

(四) 综合测试分析

通过对复合式取送工具机械和液压两种驱动方式的综合测试,得出以下结论:

- 1.复合式取送工具在机械驱动方式下,能够实现稳定可靠的锁合和解锁操作,适用于日常作业。
- 2.在机械驱动失效情况下,液压驱动系统能有效完成解锁操作,为取送工具增加了一重安全保障。
- 3.复合式取送工具的设计,克服了常规机械凸轮式取送工具驱动方式单一的缺陷,提高了作业的安全性和可靠性。

结论

本文通过分析常规机械式凸轮驱动取送工具存在的问题,并对新型复合式取送工具的结构和驱动方式进行详细设计和实验验证,提出了一种安全可靠、操作简便的复合式水下井口头取送工具。该工具的应用将有效降低常规取送工具在水下井口头安装过程中可能出现的作业风险,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 庞世强, 向小荣, 师涛, 等. HJJ900/64-T型海洋超深井井架可靠性分析[J]. 石油机械, 2020, 48(6): 63-68, 104.
- [2] 耿亚楠, 王名春, 孙翀, 等. 水下井口及配套工具压力测试工装设计与分析[J]. 海洋工程装备与技术, 2023, 10(2): 14-21.
- [3] 赵树清, 姜柯, 段异生, 等. 海洋深水用液压式水下井口头送入工具: 202220769193[P]. 2024-06-27.
- [4] 李旭冉, 肖文生, 杨祥祥. 海洋深水钻井井口头系统下放工具研究[J]. 石油机械, 2013(5): 5. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4578.2013.05.011.