◀钻井技术与装备▶

海上固定式平台7 000 m自动化钻机系统的研制*

王 兵[1] 朱本温[2] 魏双会[2] 刘雅静[2] 卞勋杰[2] 时琦昊[2] 巨鹏如[2]
（1. 中海油田服务股份有限公司一体化和新能源事业部 2. 兰州兰石石油装备工程股份有限公司）

王兵，朱本温，魏双会，等. 海上固定式平台7 000 m自动化钻机系统的研制［J］. 石油机械，2025，53（10）：96-102.

Wang Bing，Zhu Benwen，Wei Shuanghui，et al. A 7 000 m automated drilling rig system for offshore fixed platform［J］. China Petroleum Machinery，2025，53（10）：96-102.

摘要：针对当前海上模块钻机存在的自动化水平较低、现场作业环境恶劣和人员劳动强度大的问题，研制配套了适用于海上固定平台的自动化钻机系统。该钻机系统在国内平台上配套了双司钻环网集成控制系统、自动水平猫道、复合式二层台排管机、全液压转盘、五缸钻井泵等关键钻井装备，实现了管具上下钻台的自动化输送作业，钻台井口和二层台区域的基本无人化作业，钻井泵房区域、司钻房集中操作的舒适化作业。现场使用结果表明：所配套的自动化装备能够较好地满足现场作业，人员作业环境得到明显改善，劳动强度大大减轻；所配套的双司钻集成控制系统能够实现钻机参数和控制的统一集中管理，操作方便安全；所配套的五缸钻井泵在满足作业性能的前提下，总质量更轻、现场作业空间更加宽敞舒适，较好体现了以人为本的操作维护理念。该钻机系统的成功研制和应用可为今后新建造海洋模块钻机、老旧平台自动化升级改造提供参考依据和思路。

关键词：海上模块钻机；自动化钻机；环网集成控制系统；自动水平猫道；排管机
中图分类号：TE951 **文献标识码：**A DOI：10. 12473/CPM. 202502005

A 7 000 m Automated Drilling Rig System for Offshore Fixed Platform

Wang Bing[1] Zhu Benwen[2] Wei Shuanghui[2] Liu Yajing[2] Bian Xunjie[2] Shi Qihao[2] Ju Pengru[2]
（1. *Integration Solution & New Energy Division*, *China Oilfield Services Limited*; 2. *Lanzhou LS Petroleum Equipment Engineering Co.*, *Ltd.*）

Abstract: To address the issues of low automation level, harsh working environment and high labor intensity of current offshore modular drilling rigs, an automated drilling rig system suitable for offshore fixed platform was newly developed. The drilling rig system is equipped with key drilling equipment such as dual driller ring network integrated control system, automatic horizontal catwalk, composite monkey board pipe racker, full hydraulic rotary table and five-cylinder mud pump for the first time on domestic platform, achieving automated transportation of pipes to/from drill floor, basic unmanned operation in drill floor wellhead and monkey board areas, and comfortable centralized operation in mud pump room and driller room. Field application results show that the supporting automation equipment effectively meets field operation requirements, significantly improving the working environment of personnel and greatly reducing labor intensity. The supporting dual driller integrated control system enables unified centralized management of drilling rig parameters and control, ensuring convenient and safe operation. The supporting five-cylinder drill pump achieves optimal operational performance while offering lighter total weight and

* 基金项目：甘肃省科研基金重点项目“海洋钻修机集成控制系统研制”（23JRRA1557）；甘肃省创新联合体科技重大专项“2000HP可搬迁式海洋模块钻机技术开发及产业化”（24ZD17GA001）。

more spacious field operation conditions, embodying a man-oriented operation and maintenance concept. The successful development and application of the drilling rig system provide reference basis and technical approaches for building new offshore modular drilling rigs and automation upgrading of aging platforms in the future.

Keywords: offshore modular drilling rig; automated drilling rig; ring network integrated control system; automatic horizontal catwalk; pipe racker

0　引　言

近年来，国内石油钻机自动化技术迅速发展，钻机的自动化、智能化程度不断提高，大量创新型的自动化设备在国内陆地钻机上实现了应用，在管柱输送、管柱上卸扣、管柱排放等操作方面实现了自动化作业，在设备控制方面配套了“一键联动”司钻集成控制系统，钻机的自动化程度有了大幅提升，大大解放了人力作业，提高了钻井作业效率[1-7]。海洋模块钻机安装在近海的导管架平台上，一般作业水深在 300 m 以深[8]。从 1981 年埕北油田的第 1 套模块钻机开始，模块钻机在我国已走过 40 多年的发展历程，在渤海湾地区、东海区域、南海东部、南海西部等海域得到了大量应用，是我国海洋油气田开采的主力平台[9]。但是，当前国内的海上模块钻机自动化程度非常低，仍旧主要采用传统的人工作业方式，在管具上下钻台、二层台区管具排放、井口区卡瓦及钻井液收集等作业方面需要大量的体力劳动，劳动强度大，作业环境恶劣，并且现场容易发生操作安全事故[10]。

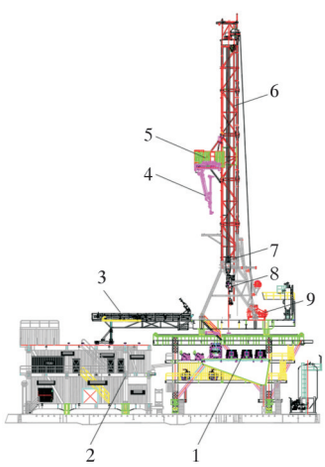
针对上述情况，国内中海油等钻井作业公司也加大了对海上钻机自动化升级推广的力度，开发新型技术及自动化装备。2022 年，中海油与兰州兰石石油装备工程股份有限公司联合研制了适用于海上固定式平台的环网全集成自动化钻机系统，并在渤海湾海洋模块钻机上实现应用。该钻机配套了自动水平猫道[11]、复合式二层台排管机、集成式铁钻工、全液压驱动转盘、双司钻及环网集成控制系统等新型装备，实现了管具输送、管具排放、管具上卸扣等作业流程的自动化。该钻机系统的成功研制和应用可为今后新建造海洋模块钻机、老旧平台自动化升级改造提供参考依据和思路。

1　技术分析

1.1　钻机总体设计方案

海洋模块钻机由钻井设备模块、钻井支持模块、散料罐模块、固井模块、录井模块等组成，包含自动水平猫道、复合式二层台排管机、五缸钻井泵等新型钻井装备。钻机配套 2 台五缸单作用活塞泵；ZP375Y 全液压转盘，由 4 台马达驱动；井架采用自升式安装。

钻机的总体方案如图 1 所示。



1—钻井模块；2—钻井支持模块；3—自动水平猫道；4—复合式二层台排管机；5—动力二层台；6—自举式井架；7—游车；8—吊卡导向装置；9—钻井绞车。

图 1　海洋模块钻机总体布置方案图

Fig. 1　Overall layout of offshore modular drilling rig

钻机的主要技术参数如下：

名义钻深范围：7 000 m（ø114. 0 mm 钻杆）；

最大钩载：4 500 kN；

绞车配套电机功率：2×800 kW；

管具输送处理范围：ø73. 0~ø965. 2 mm（2⅞~38 in）；

二层台管具排放处理范围：ø73. 0~ø254. 0 mm（2⅞~10 in）。

该模块钻机通过自动水平猫道（集成了管具排放架、管具缓冲机械手）实现了管具上下钻台的自动化操作：通过集成式铁钻工、动力卡瓦，实现了管具上卸扣的自动化操作；通过吊卡导向装置、复合式二层台排管机、动力二层台等设备，实现了管具排放的自动化；通过双司钻及环网集成控制系统，实现对整套钻机的远程集中控制。该钻机系统已完成船厂内建造和海上平台的安装应用，如图 2 所示。



a. 船厂内生产建造



b. 海上应用

图 2　海洋模块钻机现场建造及应用图

Fig. 2　Shipyard operation and offshore application of modular drilling rig

1.2　双司钻集成控制系统

双司钻集成控制系统是整套钻机的控制核心，用于实现对钻机配套设备远程集中控制、重要参数显示、实时状态监控等功能。按照功能划分，该系统包含双司钻操作模块、环网集成控制系统模块、钻井仪表模块、防碰互锁模块等 4 个部分。

1.2.1　双司钻操作模块

当前，传统老旧海洋模块钻机仍旧以传统的司钻操作台为主，各设备的操作台相互独立，通过搭积木的方式布置在司钻房内各个位置，操作时主要以各操作台的旋钮、按钮、手柄等实体操作为主，同时司钻房内布置较为繁杂，后期升级困难，如图 3a 所示。

该项目在海洋模块钻机司钻房内首次配套 2 台完全相同的司钻椅，每台司钻椅配置独立的工控机和 PLC 控制器，实现工控机硬盘热备份，提高系统可靠性。2 台司钻椅完全相同，可通过登录不同的账户，实现主副司钻协同配合作业。在设计上，定义操作椅功能互锁，避免有操作功能重叠的账户分别在 2 个司钻椅上登录，从而避免 2 台司钻椅同时操作 1 台设备的情况。同时首次配套超级司钻操作能力，当一台司钻椅出现故障后，另一台司钻椅可具备操作整台钻机设备的能力。新研制的司钻房内景如图 3b 所示。



a. 老旧司钻房操作内景图　　b. 新研制司钻房操作内景图

图 3　老旧平台司钻房内部操作与新研制双司钻集成控制系统对比图

Fig. 3　Comparison between indoor scenes of driller rooms at old platform and newly developed one with dual driller integrated control system

1.2.2　环网集成控制系统模块

环网集成控制系统是钻机的核心控制模块，该系统摒弃了传统钻机系统的树状控制网络，首次采用了环网集成控制系统。基于海洋模块钻机设备的实际布局，将采集的设备信号就近接入对应的 PLC 控制系统中，所有的 PLC 控制系统通过环形工业控制网络进行集成，单一模块出现故障，不影响其他设备的操作和运行。同时，环网处发生通信中断，可通过环网的另一个方向继续通信，通信的可靠性更高。环网架构如图 4 所示。另外，环网可以集成更多的控制模块，便于后期的设备升级或者更换改造，并且由于所有设备都直接集成在环网中，网络上的任何设备可以读取任一设备信息，便于设备间信息交互，便于钻机的信息化、自动化、智能化功能的设计。

1.2.3　钻井仪表系统模块

钻井仪表系统模块包含 2 部分：一是在司钻椅前方设置机械式的大钩悬重表，便于司钻操作人员随时查看大钩载荷，见图 5a；二是将现场的钻井仪表信号接入对应的 PLC 系统中，处理后的数值在司钻操作的显示屏上进行显示，见图 5b。

这种采用一体化触摸屏显示钻井仪表参数的形式，省去了传统独立的钻井仪表显示台和数据采集处理模块 DAQ。在钻机建造时只需要采购配套相应的现场仪表硬件，将硬件采集到的信号通过程序处理接入到 PLC 控制系统中，也降低了钻井仪表模块的采购成本。

1.2.4　防碰互锁模块

由于钻机配套了自动水平猫道、集成式铁钻工、复合式二层台排管机、动力卡瓦、吊卡导向装置/顶驱等多种自动化设备，在作业时各设备交叉运行，容易产生设备碰撞、管具交接掉落、设备操作逻辑错误等多种风险。通过对各设备的运动状态监测控制，获得实时位置信息，防止多设

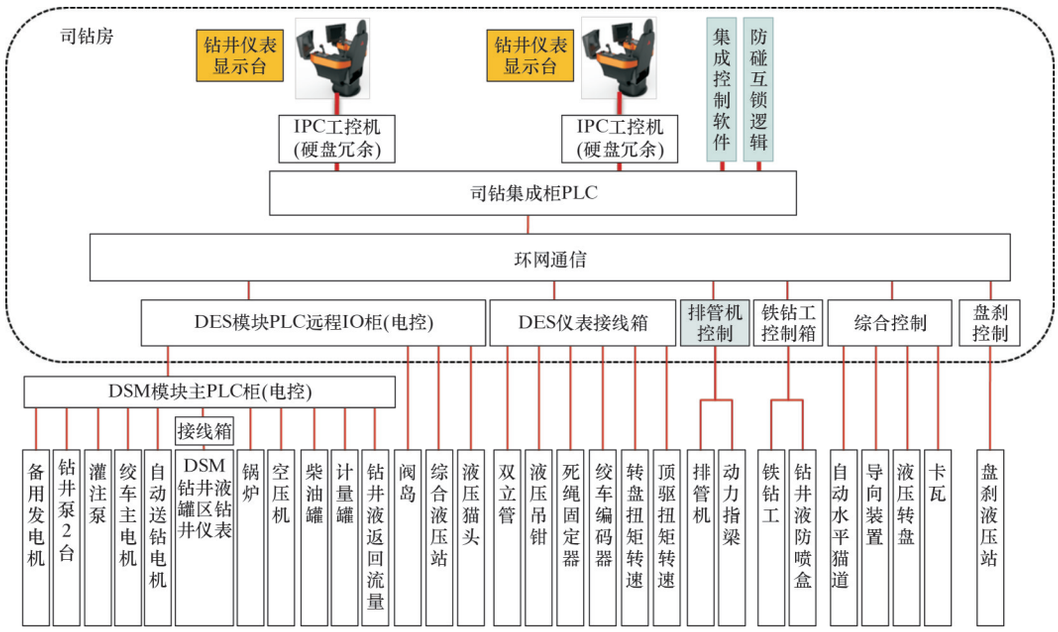


图 4　新研制海洋模块钻机双司钻集成环网示意图

Fig. 4　Dual-driller integrated ring network of newly developed offshore modular drilling rig



a. 显示台



b. 参数显示界面

图 5　钻井仪表显示画面

Fig. 5　Drilling instrument display station and interface

备联动时进入同一区域碰撞，从后台程序中自动避免现场易发生的风险，减少对人员经验的依赖性，钻机作业更安全。

主要的防碰保护逻辑包括以下几点：

（1）游动系统与复合式二层台排管机的防碰保护。当二层台排管机进入井口干涉区时，提升系统须禁止进入低于二层台的防碰危险区。当游动系统在二层台及以下高度时，须禁止排管机进入井口干涉区。

（2）游动系统与铁钻工的防碰保护。当铁钻工伸出至井口区域时，禁止游动系统下行进入设定的高度范围。当游动系统在设定的干涉高度范围内，铁钻工进入井口有碰撞的风险区域时，禁止铁钻工进入井口。

（3）吊环与猴台的防碰保护。当吊环处于伸出状态时，禁止吊环进入二层台高度区域，防止吊环伸出碰撞猴台。

（4）铁钻工与自动水平猫道的防碰保护。当自动水平猫道运动至井口区域附近时，禁止铁钻工到达同一区域。同样，当铁钻工在井口区域时，禁止自动水平猫道运动至井口。

主要的互锁保护逻辑包括以下几点：

（1）游动系统与防喷器互锁保护。当防喷器处于关闭状态时，为避免拉扯防喷器内的管具，应禁止游动系统升降。

（2）顶驱/转盘与防喷器互锁保护。当防喷器处于关闭状态时，为避免井内管具损坏，应禁止顶驱/转盘旋转。

（3）钻井泵与顶驱内防喷器互锁保护。当顶驱内防喷器处于关闭状态时，应禁止钻井泵作业。

（4）游动系统与铁钻工互锁保护。当铁钻工夹紧钳或者旋扣钳夹紧管具时，应禁止游动系统升降。当游动系统上下行运动时，应禁止铁钻工夹紧管具，防止管具损坏。

（5）转盘与动力卡瓦互锁保护。由于动力卡瓦通过气管线或者液压管线与钻台供气供油口连接，为保护管线，当动力卡瓦安装到位时应禁止

转盘旋转。

（6）液压吊卡与动力卡瓦互锁保护。在起下钻模式下，当动力卡瓦处于打开状态时应禁止液压吊卡打开。当液压吊卡处于打开状态时应禁止卡瓦打开，以防止卡持在吊卡或者卡瓦中的管具掉落。

（7）液压吊卡与复合式二层台排管机互锁保护。若排管机当前处于排管模式，吊卡距离钻台的高度在设定的范围内设定值；若排管机未夹持管柱或悬持管柱，则禁止吊卡打开。排管机当前处于送管模式，吊卡距离钻台的高度在设定值之间（根据不同的钻机配套装置，设置不同的大钩高度范围），若吊卡未关闭，则二层台排管机各钳头打开操作无效。

考虑到现场作业时的特殊操作，所有的防碰互锁均设置“屏蔽”功能，以满足现场操作的灵活性。需注意的是，“屏蔽”功能开启后，对应的防碰互锁功能程序不再起作用，操作者应注意现场操作安全，防止意外发生。

1.3　管具处理自动化方案

1.3.1　自动水平猫道

自动水平猫道在模块钻机上应用配套，替代传统的坡道，实现了钻杆、钻铤、油管、大套管从 DSM 堆场到钻台井口的自动化输送操作，满足模块钻机不同井位的工作需求，具有本地应急、无线遥控、司钻房远程集成操作 3 种控制方式，无需再进行手动推扶管具，可减少 1 名现场操作工人，也减小了人员受伤的风险。自动水平猫道的技术参数如表 1 所示。

表 1　自动水平猫道技术参数

Table 1　Technical parameters of automatic horizontal catwalk

序号	参数名称	数值或描述
1	最大运输管径/mm	965.2
2	最大运输管长/m	>12.3
3	大车额定载荷/kN	≥150
4	大车工作速度/(m·s^{-1})	0~0.4
5	大车驱动方式	液压马达+齿轮齿条
6	小车额定载荷/kN	40
7	小车工作速度/(m·s^{-1})	0~0.5
8	小车驱动方式	液压马达+链传动
9	排管架容量	6 根 ø149.2 mm(5⅞ in)钻杆

自动水平猫道的主要组成、建造实物分别如图 6a、图 6b 所示。

在模块钻机上应用自动水平猫道，需要格外注意两方面：一是由于模块钻机进行的是丛式钻井模式，应核实 DES 模块在最靠近 DSM 模块的极限井位时，猫道的尾端不与 DSM 模块测井平台干涉，并且猫道长度满足处理套管要求；二是由于猫道的吊装采用平台吊机资源，考虑吊机与猫道的距离和载荷，自动水平猫道的设计吊装质量最好控制在 20 t 以内，以满足安全吊装的需求。



a. 三维设计方案　　b. 现场应用

图 6　自动水平猫道的设计方案、建造实物图

Fig. 6　Design scheme and as-built drawing of automatic horizontal catwalk

1.3.2　复合式二层台排管机

复合式二层台排管机安装在井架二层台的舌台下方，替代传统钻机中的井架工，在二层台处实现了无人操作，排管机可直接实现 ø73.0~ø149.2 mm（2⅞ ~ 5⅞ in）钻杆或油管立根的夹持操作，实现在动力指梁中直接排放，无需再进行人员下部推扶作业，可减少二层台处及钻台工共 2 名现场操作工人，也减小了人员受伤的风险。排管机的主要技术参数如表 2 所示。

表 2　二层台排管机技术参数

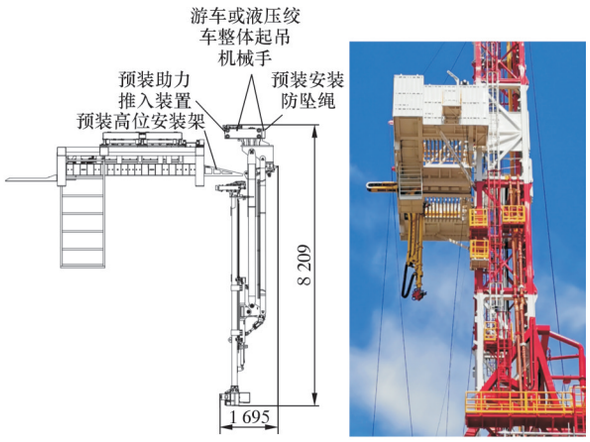
Table 2　Technical parameters of pipe racker of monkey board

序号	参数名称	数值或描述
1	悬持管柱直径范围/mm	73.0~149.2(2⅞ ~ 5⅞ in)钻杆
2	扶持管柱直径范围/mm	152.4~254.0(6~10 in)钻铤
3	最大悬持能力/kN	15
4	最大扶持能力/kN	35
5	机械手行走范围/m	0~3

不同于常规推扶式排管机的安装方式，复合式排管机由于长度较长，常规推扶式排管机跟随井架起升的方式不再适用。该项目排管机系统采用独立安装机械手的方式，首先完成井架和游动系统的安装；然后利用游动系统吊装机械手至二层台位置，在猴台端部额外安装 2 块机械手导向板，将机械手放在导向板的槽内拉入轨道内，实现整个机械手的便携式安装。安装方案及建造实物如图 7 所示。

1.4　全液压驱动转盘

新研制应用全液压驱动转盘 ZP375Y，主驱动装置采用 4 台液压马达以及液压控制阀组安装在液压转盘本体内。该转盘最大静载荷 5 850 kN，最高转速可达 75 r/min，最大工作扭矩 20 000 N·m，液



a. 安装方案图　　b. 现场应用

图 7　二层台排管机的安装方案、建造实物图

Fig. 7　Installation scheme and as-built drawing of pipe racker of monkey board

压系统流量达 580 L/min。相对于传统电驱转盘，节省了转盘驱动装置空间，体积更小。

液压转盘由机械系统、电控系统和液压系统等部分组成，液压转盘的设计安全因数以及设计验证符合 API 7K 规范要求。ZP375Y 液压转盘液压系统的主要功能是控制 4 个驱动马达正反转、调节马达的转速及扭矩、控制锁紧机构进行锁紧和解锁。针对转盘的反扭矩释放功能，在马达 A、B 口增加旁通节流回路，节流采用调速阀，控制反扭矩时转盘反转，采用电磁球阀控制该回路通断。当出现反扭矩之后，进行反扭矩释放，释放时需检测转盘反转速度，防止转盘反转过快出现事故。

1.5　五缸钻井泵

五缸钻井泵是近年来在陆地上推广应用的新型产品，国内很多公司都研发应用了五缸钻井泵[12]。项目组将五缸钻井泵应用在海洋模块钻机上。

相对于三缸钻井泵，五缸钻井泵的主要优势有以下几点：

（1）五缸钻井泵钻井排量大，单台泵在额定冲次下（缸套规格为 190 mm），额定排量可达到 4 975 L/min，相对于三缸钻井泵（额定排量为 3 126 L/min），排量提升 59.1%。在模块钻机上配置 2 台五缸钻井泵即可满足 7 000 m 钻井工艺需求，减少 1 台钻井泵配置。

（2）总体质量轻。单台五缸钻井泵的质量为 46 t，2 台五缸钻井泵的总质量为 92 t，相对于模块钻机常规 3 台三缸钻井泵（单质量 37 t，总质量 111 t）的配置，质量可减轻 19 t，减少平台结构的建造成本。

（3）五缸钻井泵相对于三缸钻井泵，理论排量及泵压的不均匀度均降低，更利于维护井下压力稳定，提升钻井作业安全性；另外也间接延长了缸套、活塞、阀总成等易损件的使用寿命，减少了使用维护成本。

（4）2 台五缸钻井泵的占地空间小，泵房空间较为宽敞，操作舒适，在钻井泵维护保养、大修等方面有足够的操作空间，便于现场使用和维护。

2　试验及应用

该项目钻机自 2022 年年底投入应用，截至 2024 年 3 月，已完成 7 批次共 26 口井的钻井作业，实现钻完井作业速度整体提高 18.9%；并在 2024 年 12 月完成了最大斜深 6 566 m 和最大水平位移 5 766 m 的大位移井施工，成为渤海油田的双项冠军，充分检验了装备的良好性能。截至目前，以双司钻集成控制系统为代表的钻机各设备运行良好，相对于传统海洋模块钻机，井口上卸扣、管具排放等操作全面实现了自动化，劳动强度降低了 85% 以上；并且系统运行稳定，故障率低、防碰互锁性能可靠，大大减少了现场危险事故的发生，提高了现场作业效率和安全性。

3　结　论

（1）钻机作业的自动化、智能化、少人化是今后海洋模块钻机的重点发展方向。在海上模块钻机上配套应用了双司钻集成控制系统、自动水平猫道、复合式二层台排管机、全液压转盘、五缸钻井泵等新型装备，大大降低了现场劳动强度，作业环境得到明显改善，为后续海洋钻机自动化配套提供了参考和依据。

（2）双司钻集成控制系统集成双司钻操作模块、环网集成控制系统模块、钻井仪表模块、防碰互锁模块，能够实现钻井参数和控制的统一管理，操作方便安全，较好地满足了现场应用需求。

（3）管具处理自动化能够基本实现管具上下钻台、井口、二层台等危险区域的无人化操作，大大减少了现场安全事故的发生。

（4）五缸钻井泵在海上钻机进行了成功实践，在满足作业性能的前提下，质量更轻、现场作业空间更加宽敞舒适，较好体现了以人为本的操作维护理念。

参　考　文　献

[1] 贺会群，张行，巴莎，等. 我国油气工程技术装备智能化和智能制造的探索与实践［J］. 石油机械，2024，52（6）：1-11.
HE H Q，ZHANG H，BA S，et al. Exploration and practice of intelligence and intelligent manufacturing of oil and gas engineering equipment in China［J］. China Petroleum Machinery，2024，52（6）：1-11.

[2] 王维旭，曹晓宇，马继光，等. 12 000 m特深井自动化钻机研制与应用［J］. 探矿工程，2024，51（4）：7-13.
WANG W X，CAO X Y，MA J G，et al. Development and application of automatic drilling rig for 12 000 m extra-deep wells［J］. Drilling Engineering，2024，51（4）：7-13.

[3] 张斌，曹晓宇，周天明，等. 深井超深井钻井装备技术现状与发展趋势探讨［J］. 钻采工艺，2024，47（2）：141-151.
ZHANG B，CAO X Y，ZHOU T M，et al. Discussion on current situation and development trend of drilling equipment for deep and ultra-deep wells［J］. Drilling & Production Technology，2024，47（2）：141-151.

[4] 杨斌，李博洋，杨德刚，等. 石油钻机全集成化升级的开发与应用［J］. 石油机械，2024，52（12）：17-22.
YANG B，LI B Y，YANG D G，et al. Development and application of fully integrated upgrading of rigs［J］. China Petroleum Machinery，2024，52（12）：17-22.

[5] 张鹏飞，朱永庆，张青锋，等. 石油钻机自动化、智能化技术研究和发展建议［J］. 石油机械，2015（10）：13-17.
ZHANG P F，ZHU Y Q，ZHANG Q F，et al. Research and development of automatic and intelligent technologies for drilling rig［J］. China Petroleum Machinery，2015（10）：13-17.

[6] 王定亚，王耀华，于兴军. 我国管柱自动化钻机技术研究及发展方向［J］. 石油机械，2017，45（5）：23-27.
WANG D Y，WANG Y H，YU X J. Research and development trend of domestic automated drilling rig［J］. China Petroleum Machinery，2017，45（5）：23-27.

[7] 魏培静，王定亚，肖磊，等. 我国石油钻机控制技术现状与后续发展思考［J］. 石油机械，2018，46（6）：1-6.
WEI P J，WANG D Y，XIAO L，et al. The status and future development of drilling rig control technology in China［J］. China Petroleum Machinery，2018，46（6）：1-6.

[8] 王定亚，丁莉萍. 海洋钻井平台技术现状与发展趋势［J］. 石油机械，2010，38（4）：69-72.
WANG D Y，DING L P. The status and development trend of offshore drilling platform technology［J］. China Petroleum Machinery，2010，38（4）：69-72.

[9] 张美荣，徐田甜，赵福海. 我国海上固定式平台模块钻机发展综述［J］. 中国造船，2008，49（增刊2）：1-14.
ZHANG M R，XU T T，ZHAO F H. Overview on the development of module drilling rig in Chinese offshore oil fixed platform［J］. Ship Building of China，2008，49（Sup. 2）：1-14.

[10] 郭华，周超，郑清华，等. 中国海上固定平台模块钻机自动化技术现状及展望［J］. 中国海上油气，2022，34（4）：194-202.
GUO H，ZHOU C，ZHENG Q H，et al. Present status and prospect of automation technology of offshore fixed platform modular drilling rig in China［J］. China Offshore Oil and Gas，2022，34（4）：194-202.

[11] 师涛，卞勋杰，王兵，等. 海洋模块钻机用自动水平猫道的研制及应用［J］. 机械研究与应用，2023，36（4）：87-90.
SHI T，BIAN X J，WANG B，et al. Development and application of automatic horizontal catwalk for offshore modular drilling rig［J］. Mechanical Research & Application，2023，36（4）：87-90.

[12] 赵珑，张天临，牛玺辉，等. LS-2600五缸钻井泵设计与应用［J］. 机械研究与应用，2024，37（1）：98-101.
ZHAO L，ZHANG T L，NIU X H，et al. Design and application of LS-2600 five-cylinder drilling pump［J］. Mechanical Research & Application，2024，37（1）：98-101.

第一作者简介：王　兵，工程师，生于1981年，2010年毕业于河北工业大学电气自动化专业，现从事海洋石油钻修机设计建造工作，地址：（300459）天津市塘沽区。email：wangbing4@cnooc.com.cn。

通信作者：朱本温，高级工程师。email：zhubenwen208@163.com。

收稿日期：2025-02-06　　**修改稿收到日期：**2025-04-17

（本文编辑　刘　锋）