

海洋石油机械制造及工具现代技术要点分析

倪凯鹏 赵宇 王鹏 杨青松 张家伟
海油发展装备技术公司加工制造中心 天津 300452

摘要: 本文围绕海洋石油机械制造及工具技术展开, 涵盖材料应用、加工工艺、钻井采油工具、智能化自动化技术等要点。分析高强度耐腐蚀材料、精密成型加工、钻头设计、随钻测量、修井打捞、管道铺设等关键技术, 探讨智能化制造系统、远程控制、故障诊断等创新应用, 并展望绿色环保、集成模块化、多功能复合等发展趋势, 为行业技术升级提供参考。

关键词: 海洋石油机械; 制造工艺; 作业工具; 智能化技术; 发展趋势

引言: 随着全球能源需求持续增长, 深海油气资源开发日益受到重视。海洋石油机械作为关键装备, 直接影响开采效率与作业安全。面对复杂多变的海洋环境, 传统制造与作业方式已难以满足高精度、高可靠性的要求。在此背景下, 深入研究先进材料、智能控制与高效作业工具等核心技术, 成为推动海洋石油工业发展的重点方向。本文系统梳理相关领域的关键技术与应用现状, 为后续技术创新与工程实践提供支撑。

1 海洋石油机械制造基础技术

1.1 材料应用技术

海洋石油机械长期处于高盐、高压、强腐蚀的复杂环境, 材料选择直接决定机械使用寿命与性能。高强度耐腐蚀材料是核心, 这类材料具备优异机械强度, 能承受深海作业的巨大压力, 在海水腐蚀介质中展现良好化学稳定性。以超级奥氏体不锈钢为例, 通过特殊合金配比设计, 增强抵抗氯离子腐蚀能力, 防止应力腐蚀开裂, 满足海洋机械对强度与耐腐蚀性的需求。特殊环境适应性材料选择需遵循严格标准, 首先考虑环境温度, 深海低温要求材料在极低温度下保持良好韧性, 避免脆断; 其次考量海水电化学特性, 选择合适电极电位材料, 减少电偶腐蚀风险; 还需关注材料耐磨性, 应对机械运转中的摩擦损耗^[1]。材料可加工性也是重要指标, 确保材料能通过锻造、切削等工艺制成所需机械部件。复合材料在海洋石油机械制造中展现广阔应用前景, 碳纤维增强复合材料凭借高比强度、高比模量特性, 可用于制造轻量化部件, 如无人机舱设备外壳、深海探测仪器框架等, 在保证强度同时减轻机械整体重量, 降低能源消耗。陶瓷基复合材料以其耐高温、抗氧化优势, 适用于制造发动机燃烧室、涡轮叶片等高温部件, 提升机械在极端工况下的可靠性。

1.2 加工制造工艺

精密成型加工技术是制造高精度海洋石油机械部件的关键。金属注射成型技术将传统粉末冶金工艺与塑料注射成型技术相结合, 通过模具填充金属粉末与粘结剂的混合物料, 经脱脂、烧结等工序, 可制造出复杂形状的精密切件, 如小型阀门、泵体叶轮等, 满足海洋机械对零部件小型化、精密化的需求。焊接与连接工艺在机械制造中不可或缺。激光焊接技术凭借能量密度高、热影响区小的特点, 适用于焊接薄壁金属部件, 能有效减少焊接变形, 提高接头强度与密封性, 常用于海洋管道、压力容器的制造。搅拌摩擦焊则通过搅拌头的高速旋转与移动, 使焊接材料在热-机械作用下实现固相连接, 避免传统熔焊过程中产生的气孔、裂纹等缺陷, 尤其适用于铝合金等低熔点金属的焊接。表面处理及防护技术为海洋石油机械提供长效保护。热喷涂技术通过将金属、陶瓷等材料加热至熔融或半熔融状态, 喷涂于机械部件表面形成防护涂层, 可显著提高部件的耐磨性、耐腐蚀性和耐高温性能。化学镀镍-磷合金技术能在金属表面形成均匀、致密的非晶态镀层, 增强表面硬度与抗蚀能力, 广泛应用于海洋机械的轴类、齿轮类零件防护。

2 海洋石油作业工具现代技术

2.1 钻井工具技术

钻头设计与制造技术是钻井作业高效推进的关键。现代钻头设计融合力学、材料学原理, 根据不同地质条件优化切削结构。针对坚硬岩层, 采用孕镶金刚石钻头, 将细小金刚石颗粒均匀镶嵌于胎体中, 利用金刚石高硬度特性破碎岩石; 对于软地层, 则设计刮刀式钻头, 通过宽大的切削刃快速切削岩层。制造过程中, 运用粉末冶金工艺将胎体材料与金刚石颗粒高温烧结成型, 确保钻头整体结构强度与耐磨性^[2]。钻杆特殊制造工艺直接影响钻井作业安全性与稳定性。钻杆需承受巨大的拉、压、扭等复合应力, 其制造采用高强度合金钢,

通过热轧工艺成型管体,经调质处理提升材料综合力学性能。管体两端进行加厚处理,增强接头部位强度,采用摩擦焊接技术将接头与管体牢固连接,保证连接处具备与管体一致的承载能力。在钻杆外表面涂覆特殊防护涂层,防止海水腐蚀与井下复杂介质侵蚀,延长使用寿命。随钻测量工具技术要点在于实时获取井下信息。这类工具集成多种传感器,能够测量井眼轨迹参数,如井斜角、方位角等。利用电磁波或泥浆脉冲传输技术,将测量数据快速传输至地面控制系统。其内部结构采用模块化设计,便于更换和维护传感器模块。为适应井下高温、高压环境,工具外壳采用高强度耐蚀合金制造,内部电路进行特殊防护处理,确保在恶劣工况下稳定工作,为钻井轨迹精确控制提供数据支持。

2.2 采油作业工具技术

完井工具制造技术决定油井投产质量与后期开采效率。完井工具包括封隔器、套管扶正器等,封隔器设计采用液压或机械密封原理,通过特殊的橡胶密封件与金属结构配合,实现油层与井筒的有效隔离。制造时,橡胶密封件选用耐油、耐温材料,经模压成型确保密封性能;金属部件采用精密加工工艺,保证各部件配合精度。套管扶正器通过合理的叶片设计,在套管下入过程中使其居中,保障固井质量,其制造采用高强度塑料或金属材料,具备良好的耐磨性与抗冲击性。修井作业工具核心技术聚焦故障处理与油井修复。打捞工具是修井关键,如公锥、母锥等,其设计根据落物形状与尺寸优化打捞结构。制造时采用高强度合金钢锻造,经热处理提高硬度与韧性,打捞部位表面进行特殊处理,增强与落物的咬合能力。磨铣工具用于清除井下障碍物,其刀头采用硬质合金材料,通过焊接或镶嵌工艺固定于磨铣管柱上,利用旋转切削原理破碎障碍物。修井工具还配备液压控制系统,实现远程操作与精准控制,提高作业效率与安全性。海底管道铺设工具技术是深海油气输送的保障。管道铺设采用专用的铺设船与铺设设备,张紧器用于控制管道铺设过程中的张力,其结构采用液压驱动,通过多个滚轮均匀施加压力,保证管道铺设的直线度与稳定性。管道焊接设备采用自动焊接技术,配备多轴机械臂与视觉检测系统,实时监控焊接质量,确保焊接接头强度与密封性。对于深海管道铺设,还需运用水下机器人辅助作业,水下机器人携带检测仪器对铺设后的管道进行无损检测,及时发现并处理潜在缺陷,保障海底管道安全运行。

3 智能化与自动化技术应用

3.1 机械制造智能化技术

智能制造系统由多个关键部分构成。基础层包括各类制造装备,如数控机床、工业机器人等,是实现生产加工的硬件载体。网络层搭建数据传输通道,借助工业以太网、5G等技术,实现设备间、设备与系统间的数据交互。平台层整合生产数据,通过工业云平台进行存储与分析,为决策提供支持^[3]。应用层则涵盖生产计划管理、质量控制等功能模块,实现制造流程的智能化调度。数控加工与自动化生产线技术提升制造精度与效率。数控加工依靠数字代码控制机床运动,通过伺服电机驱动滚珠丝杠,实现刀具或工件的精准定位与运动。多轴联动技术使机床能够同时控制多个坐标轴,加工复杂曲面零件。自动化生产线将多台数控设备与物料传输系统、机器人相结合,物料经自动化输送装置进入加工工位,机器人完成上下料操作,不同工序间无缝衔接,减少人工干预,降低生产周期。制造过程监测与控制技术保障产品质量。传感器实时采集设备运行参数,如温度、振动、电流等,通过信号处理模块将物理量转化为电信号并传输至控制系统。基于预设阈值,控制系统判断设备运行状态,当参数异常时触发报警并自动调整加工参数。例如,当机床主轴温度过高,系统自动降低切削速度,避免因过热导致刀具磨损或零件变形。利用视觉检测技术对加工零件进行尺寸、表面质量检测,不合格产品自动剔除,确保成品合格率。

3.2 作业工具智能化技术

智能工具传感与监测技术实现作业状态感知。各类传感器集成于作业工具,压力传感器监测钻井工具的钻压与扭矩,判断钻头破岩负荷;位移传感器测量采油工具的运动位置,确保操作精度。光纤传感器则可实时监测海底管道的应变与温度变化,检测管道是否存在泄漏或变形。这些传感器将采集的数据转化为数字信号,通过无线或有线传输方式发送至监控终端,为作业决策提供依据。远程控制与自动化操作技术提升作业安全性与便捷性。操作人员通过控制终端发送指令,经通信网络传输至作业工具的控制系统。对于深海作业工具,借助卫星通信或海底光缆实现指令传输。自动化操作程序根据预设规则执行任务,如自动控制钻井工具的钻进速度与方向,或操控海底管道铺设设备进行焊接与铺设。在遇到复杂工况时,系统可自动切换至应急模式,保障设备与人员安全。工具状态诊断与维护技术延长设备使用寿命。基于大数据与机器学习算法,对工具运行数据进行分析,建立故障预测模型。通过对比实时数据与正常运行数据的差异,提前识别潜在故障。例如,当检测到钻井工具的振动频率异常变化,系统判断可能存在轴承

磨损或部件松动,及时发出维护提示。维护管理系统根据诊断结果制定维护计划,安排备件更换与设备检修,减少非计划停机时间,提高作业连续性。

4 技术发展趋势与创新方向

4.1 制造技术发展趋势

海洋石油机械制造领域,绿色环保制造技术成为重要走向。传统制造产生大量废弃物,污染海洋环境。新型清洁生产工艺改变这一状况,改进切削加工工艺,使用可降解切削液,避免废液污染;采用低能耗热处理技术,降低能源消耗。同时建立废旧机械零部件回收体系,对金属、复合材料等进行再生处理,提高资源利用率,减少对原生资源的依赖^[4]。集成化与模块化制造趋势显著。集成化将动力、控制、监测等系统整合,优化机械系统内部连接。在海洋石油钻井平台制造中,集成设计使各系统数据交互更顺畅,提升整体性能。模块化制造把机械产品拆解为标准化模块,每个模块具备独立功能。采油设备制造时,各模块可单独生产、测试,后期按需组合安装,缩短制造周期,方便设备维护升级,出现故障能快速更换对应模块。先进制造技术融合加速。3D打印技术与传统机械加工结合,解决海洋石油机械复杂零部件制造难题,对形状不规则、内部结构复杂的部件,可直接成型,减少加工工序。计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)与数控加工技术深度融合,实现从设计建模到生产加工的一体化流程,提升制造精度和效率。虚拟制造技术模拟制造过程,提前发现设计缺陷和工艺问题,优化制造方案。

4.2 作业工具创新方向

海洋石油作业工具朝着新型高效方向研发。钻井工具领域,改进钻头结构,优化切削齿形状和排列,增强对不同岩性地层的适应性,减少磨损,延长使用寿命。采油作业中,开发特殊抽油泵,提升对高粘度原油的抽

取能力;研制分层开采工具,实现不同油层精准开采。海底管道铺设工具方面,新型焊接工具提高管道焊接质量与速度。多功能复合工具成为技术趋势。在修井作业,开发集检测、切割、打捞功能于一体的工具。前端传感器监测井下状况,中间切割装置处理障碍物,后端负责打捞零部件。钻井过程中,多功能随钻工具同步进行地层参数测量、钻井液性能监测和井下工况调节,为作业提供全面数据与操作支持。提升工具可靠性是关键技术路径。选用高强度、高韧性材料制造工具主体,增强抗疲劳、抗断裂能力。运用涂层技术对工具表面处理,提高耐磨性和耐腐蚀性。设计阶段借助有限元分析优化结构,降低应力集中。建立严格检测体系,制造时对关键部位无损检测,使用过程中通过传感器监测运行状态,预测故障,及时维护更换,保障作业安全稳定。

结束语

海洋石油机械制造及作业工具的技术进步,是推动海上油气开发向深水化、智能化迈进的重要动力。从材料选择到制造工艺,从工具设计到智能控制,各个环节均需不断优化以适应严苛作业环境。未来,随着绿色制造理念的深化与多功能工具的发展,海洋石油机械将朝着更高效、更可靠、更具适应性的方向演进,进一步提升我国海洋油气资源开发能力与技术水平。

参考文献

- [1]蔡冰,夏斌,朱倩.海洋石油钻井机械及工具现代技术要点分析[J].中国设备工程,2022(13):195-197.
- [2]杜震.海洋石油机械防腐蚀技术分析及应用[J].机电产品开发与创新,2022,35(5):127-129.
- [3]马宝记.海洋石油钻井设备的维护与管理[J].技术与市场,2022(10):187-188.
- [4]张晨.海洋石油机械设备备件管理技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(17):76-77.