

项目名称：深海采矿立管关键技术创新与工业应用

提名者：天津钢管制造有限公司

提名奖项和等级：天津市科学技术发明奖一等奖

主要完成单位：

天津钢管制造有限公司

中国石油大学（北京）

主要完成人：

黄永智、王宴滨、史彬、张哲平、陈严飞、张旭、吕春莉、杨腾飞、王金铎、张广瑞

项目简介：

2022年，我国锰、镍、钴等多金属结核矿产对外依存度均超过90%，能源矿产安全面临巨大威胁。深海蕴藏着极为丰富的矿产资源，实现深海矿产资源的高效开发是解决我国当前矿产资源日趋紧张的关键，也是确保国家矿产安全的必由之路。深海采矿立管是实施深海采矿工程不可或缺的装备，然而，深海采矿面临海洋环境复杂、作业风险高、工程控制难等客观约束，对立管的抗疲劳性能及其安全高效作业控制技术提出了更高的要求。如何考虑深海采矿环境、工程约束和作业目标，建立深海采矿立管关键技术并实现工业应用，对于确保深海矿产资源高效开发和我国矿产安全具有重要意义。

自2012年，天津钢管制造有限公司联合中国石油大学（北京），在国家科技重大专项、国家重点研发计划以及企业重点项目的支持下，经过10余年科技攻关和工程实践，成功研发了深海采矿立管系列产品，创建了一套深海采矿立管设计控制关键技术，并获成功应用。主要发明点如下：

发明点 1、发明了深海采矿立管高强度、高韧性、高抗疲劳管体材料。建立了Cr-Mo-V-B系材料成分调控方法，发明了微合金元素析出窗口精确控制方法，立管材料屈服强度达1100MPa以上，平均硬度40HRC，疲劳寿命大于100000次，断裂韧性大于0.1mm，材料综合性能指标相较常规X65材料提升30%以上。

发明点 2、发明了深海采矿立管设计与整管性能评价技术。发明了低接触应力齿形+三段式金属对金属抗疲劳密封连接结构的整体设计方法，研发了TP-FE系列高抗疲劳接头和13-3/8"，9-5/8"和7"三种深海采矿立管产品，建立了全尺

寸深海采矿立管评价试验平台和整管全寿命周期性能评价试验方法，管柱整体疲劳寿命 $SAF \leq 1.5$ ，单根拆装时间小于 20min，同时满足了立管高连接强度、高密封性能、高疲劳寿命及快速拆装等苛刻要求。

发明点 3、创建了深海采矿立管全流程安全高效作业设计控制技术。综合考虑海洋环境载荷、深海采矿工程约束与作业目标，建立了深海采矿立管全流程作优化设计技术，首次在国内深海采矿中应用 P110 钢级抗疲劳螺纹连接立管，解决了长距离粗颗粒矿物水下安全高效输送技术难题，采矿最大水深 1305m，创国内纪录。

主要技术支撑材料：

（一）知识产权和标准规范

| 编号 | 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家（地区） | 授权号（标准编号） | 权利人（标准起草单位） |
|----|------------|------------------------------|--------|------------------|-------------|
| 1 | 发明专利 | 一种获取金属材料在静态压缩状态下应力应变曲线的方法 | 中国 | ZL2018107869711 | 天津钢管制造有限公司 |
| 2 | 发明专利 | 一种获取金属材料在静态拉伸状态下应力应变曲线的方法 | 中国 | ZL2018107869764 | 天津钢管制造有限公司 |
| 3 | 发明专利 | 一种用于海洋复合软管的骨架层及其专用类 E 型截面异型材 | 中国 | ZL201811364330.3 | 中国石油大学（北京） |
| 4 | 发明专利 | 用于海洋复合软管的异型材和骨架层及含该骨架层的产品 | 中国 | ZL201910393056.0 | 中国石油大学（北京） |
| 5 | 发明专利 | 异型材和骨架层以及含该骨架层的海洋复合软管 | 中国 | ZL202110051573.7 | 中国石油大学（北京） |
| 6 | 发明专利 | 海洋非粘结柔性软管的端部接头配件、立管结构及其应用 | 中国 | ZL202111501715.1 | 中国石油大学（北京） |
| 7 | 发明专利 | 一种用于海洋非粘结复合柔性软管的 | 中国 | ZL202110136932.9 | 中国石油大学（北京） |

| | | | | | |
|----|------|--------------------------|----|------------------|------------|
| | | 异型材和抗压铠装层 | | | |
| 8 | 发明专利 | 一种用于海洋复合软管的抗压铠装层及其专用异型材 | 中国 | ZL202110203681.1 | 中国石油大学（北京） |
| 9 | 发明专利 | 一种用于海洋复合软管的 X 型异型材和抗压铠装层 | 中国 | ZL202110799686.5 | 中国石油大学（北京） |
| 10 | 发明专利 | 一种基于 C 型截面变形元件深水管中管止屈器 | 中国 | ZL201420649094.0 | 中国石油大学（北京） |

（二）代表性论文

| 编号 | 论文名称/刊名 | 发表时间 | 通讯作者 | 第一作者 | 其他作者 |
|----|--|--------|------|------|---------|
| 1 | Study on the marine environment limiting conditions of deepwater drilling for natural gas hydrate | 2022 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 2 | Investigation on influence of temperature and pressure on fatigue damage of subsea wellhead in deepwater drilling | 2022 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 3 | Influence of the heave motion of a floating drilling platform on the cross-flow vortex-induced vibration of the deepwater drilling riser | 2022 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 4 | On the static mechanics of the tubular system during installation of the surface casing in deepwater drilling | 2021 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 5 | Influence of the damping matrix and mud discharge on the recoil response of deepwater drilling riser after emergency | 2021 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |

| | | | | | |
|---|---|--------|-----|-----|---------|
| | disconnection | | | | |
| 6 | Study on the Mechanical Characteristics and Operating Envelope of Freestanding Drilling Riser in Deepwater Drilling | 2020 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 7 | Recoil analysis of deepwater drilling riser after emergency disconnection | 2019 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |
| 8 | Longitudinal vibration analysis of marine riser during installation and hangoff in ultra deepwater | 2016 年 | 王宴滨 | 王宴滨 | 高德利, 房军 |