

# 我国油井管国产化技术进展及展望

冯耀荣<sup>1\*</sup>, 李鹤林<sup>1</sup>, 韩礼红<sup>1</sup>, 张忠铨<sup>2</sup>, 张传友<sup>3</sup>, 成海涛<sup>4</sup>, 白真权<sup>1</sup>, 田研<sup>5</sup>, 石晓霞<sup>6</sup>, 谢俊峰<sup>7</sup>, 乐宏<sup>8</sup>, 郑明科<sup>9</sup>

1 中国石油集团工程材料研究院石油管材及装备材料服役行为与结构安全国家重点实验室, 西安 710077

2 宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900

3 天津钢管制造有限公司, 天津 300301

4 攀钢集团成都钢钒有限公司, 成都 610300

5 衡阳华菱钢管有限公司, 衡阳 421001

6 内蒙古包钢钢联股份有限公司, 包头 014010

7 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 库尔勒 841000

8 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司, 成都 610031

9 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司, 西安 710016

\* 通信作者, fengyr@cnpc.com.cn

收稿日期: 2021-06-25

国家重点研发计划“石油天然气工业非API 石油专用管质量基础设施关键技术体系研究—课题5 非API 石油专用管标准化技术(编号: 2019YFF0217505)”、国家863计划: 抗CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S 腐蚀13Cr型低成本油井管开发和利用(编号: 2003AA331010)、国家863计划: 超深井用高性能油井管材料及关键技术研究(编号: 2007AA03Z509)、国家科技支撑计划: 高强度耐腐蚀油井管用钢生产技术(编号: 2011BAE25B04)和中国石油集团科技计划: 油井管柱完整性技术研究(编号: 2011A-4208)联合资助

**摘要** 综述了我国油井管国产化技术的主要进展, 提出了油井管的发展方向。针对我国油井管大量进口、产品质量性能低、油井管质量基础设施(包括石油专用螺纹计量、标准化、认证认可、检验检测)不健全, 难以满足石油勘探开发需求等瓶颈和技术难题, 石油工业和冶金工业历时30余年联合攻关, 创立了“石油管工程”新学科, 建立了油井管国产化理论技术体系; 开发了超纯净钢冶炼、三辊高精度高效连轧、高均匀性热处理、特殊材料新钢种设计、成分—组织—性能—工艺综合调控、特殊螺纹连接设计与加工等成套技术, 打破国外垄断, 开发了10大类60余种高端油井管新产品, 年产量达到500万t, 基本实现了油井管的全面国产化与工业化应用并大量出口; 构建了我国石油专用螺纹计量、标准化、认证认可、检验检测等油井管质量基础设施, 有效支撑了油井管的国产化 and 大批量工业化应用。使我国油井管生产制造及配套技术实现了重大跨越, 产生了重大经济效益和显著社会效益。面对我国油气工业发展的新形势和新挑战, 特别是超深、非常规、海洋油气开发、煤炭地下气化、页岩油原位转化、天然气水合物开采等复杂力学—化学工况条件, 以及确保油气井长期安全可靠与经济生产需求, 应持续创新, 实现我国油井管关键核心技术自立自强, 支撑保障油气工业健康发展, 引领油气工业和相关产业技术进步。

**关键词** 油井管; 钻柱构件; 油管; 套管; 国产化; 石油管工程; 质量基础设施; 螺纹计量; 标准化; 认证认可; 检验检测; 发展方向

引用格式: 冯耀荣, 李鹤林, 韩礼红, 张忠铨, 张传友, 成海涛, 白真权, 田研, 石晓霞, 谢俊峰, 乐宏, 郑明科. 我国油井管国产化技术进展及展望. 石油科学通报, 2022, 02: 229-241

FENG Yaorong, LI helin, HAN lihong, ZHANG Zhonghua, ZHANG Chuanyou, CHENG Haitao, BAI Zhenquan, TIAN Yan, SHI Xiaoxia, XIE Junfeng, LE Hong, ZHENG Mingke. Progress and prospects of manufacturing technology for oil country tubular goods in China. Petroleum Science Bulletin, 2022, 02: 229-241. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2022.02.021

# Progress and prospects of manufacturing technology for oil country tubular goods in China

FENG Yaorong<sup>1</sup>, LI helin<sup>1</sup>, HAN lihong<sup>1</sup>, ZHANG Zhonghua<sup>2</sup>, ZHANG Chuanyou<sup>3</sup>, CHENG Haitao<sup>4</sup>, BAI Zhenquan<sup>1</sup>, TIAN Yan<sup>5</sup>, SHI Xiaoxia<sup>6</sup>, XIE Junfeng<sup>7</sup>, LE Hong<sup>8</sup>, ZHENG Mingke<sup>9</sup>

*1 State Key Laboratory of Performance and Structure Safety for Petroleum Tubular Goods and Equipment Materials, CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an 710077, China*

*2 Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China*

*3 Tianjing Pipe Corporation, Tianjin 300301, China*

*4 Chengdu Steel & Vanadium Co., Ltd., PanSteel Group, Chengdu 610300, China*

*5 Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, China*

*6 Hengyang Valin Steel Tube Co., Ltd., Hengyang 421001, China*

*7 PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China*

*8 PetroChina Southwest Oilfield Company, Chengdu 610031, China*

*9 PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710016, China*

**Abstract** The main progress of localization technology of Oil Country Tubular Goods (OCTG) in China is summarized, and the development direction of OCTG is put forward. In view of the bottlenecks and technical problems in China, such as a large amount of imported OCTG, low quality and performance of products, imperfect quality infrastructure of OCTG(including thread measurement, standardization, certification, inspection and testing), and difficulty in meeting the needs of oil & gas exploration and development, a new discipline of "Petroleum Tubular Goods Engineering" was established after more than 30 years of joint research. The theoretical and technical system of OCTG localization has been established. A complete set of technologies, such as smelting ultra-pure steel, high precision and high-efficiency hot rolling mills, high uniformity heat treatment, new design of special steels, composition/microstructure/properties and performance/process comprehensive control, premium connection design and processing, has been developed, breaking the foreign monopoly, and developing more than 60 kinds of new high-end OCTG products in 10 categories, with annual output reaching 5 million tons, OCTG has been basically localized and industrialized and exported in large quantities; The quality infrastructure of OCTG such as thread measurement, standardization, certification and approval, inspection and testing has been developed, which supports the effective localization and large-scale industrial application of OCTG. Great strides have been made in China's OCTG manufacturing and supporting technologies, resulting in significant economic and social benefits. Facing the new situation and challenges of China's oil and gas industry development, especially complex mechanical and chemical conditions such as ultra-deep, unconventional, offshore oil and gas development, underground coal gasification, in-situ shale oil conversion and natural gas hydrate exploitation, as well as ensuring the long-term safety and reliability of oil and gas wells and the demand of economic production, continuous innovation should be pursued to realize the self-reliance of key core technologies of OCTG in China. This will support and guarantee healthy development and lead technological progress in the oil and gas industry and related industries.

**Keywords** oil industry tubular goods; drill stem components; tubing; casing; manufacturing technology; petroleum tubular goods engineering; quality infrastructure; thread measurement; standardization; certification and accreditation; inspection and testing; development direction

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2022.02.021

## 0 引言

油井管包括钻柱构件、套管和油管等,通过专用螺纹连接形成钻柱、套管柱和油管柱。钻柱是油气开发的主要工具,套管柱和油管柱则是封隔地层和开采油气的唯一通道<sup>[1]</sup>。套管寿命决定油气井寿命,从而决定油气田的寿命。我国年生产油气约3.5亿t,年均消耗油井管约350万t,耗资约250亿元<sup>[2]</sup>。国内外油

井管普遍采用美国石油学会(API)标准进行生产。上世纪90年代前,受生产能力和技术水平所限,我国只能生产少部分API标准H40~N80低端油套管,进口量高达90%,而钻柱构件基本依靠进口,成为制约我国油气工业发展的瓶颈。早期的API标准主要解决油井管产品互换性和最基本的性能要求,质量性能指标要求十分宽泛,缺乏韧性等关键技术指标,产品性能和质量水平较低,油井管使用过程中大量失效<sup>[3-9]</sup>,不

但产生巨大的经济损失和社会影响,而且严重影响油气田的勘探开发和正常生产。我国油气井工况十分复杂,最深近 9000 m,井下温度逾 200 °C,压力高达 150 MPa,并常伴随 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、Cl<sup>-</sup> 等复杂腐蚀介质及山前构造、盐膏层等地质环境,对油井管的性能质量和安全可靠要求很高。德国、法国、日本、美国等发达国家的制造商已形成系列化 API 和非 API 标准油井管产品,并垄断了国内市场。为满足我国石油工业发展对油井管的巨大需求,迫切需要开展油井管国产化关键核心技术攻关,全面提升我国油井管的技术水平和生产能力,建立与之相应的技术支撑体系,实现油井管的全面国产化,为国家油气能源安全提供保障,促进冶金、制造等相关产业发展。

为此,从 1985 年开始,原石油工业部和冶金工业部联合立项,在宝钢引进 Φ140 无缝钢管生产线,专项投资新建天津钢管公司,引进全规格生产线。特别建立石油工业部石油专用管质量监督检验测试中心和石油管工程重点实验室,正式启动我国油井管的国产化工作<sup>[10]</sup>,冶金和石油两大部门联合开展油井管国产化关键核心技术攻关、应用基础与工程应用研究、质量基础设施(计量、标准、认证认可、检验检测)体系建设。经过石油工业和冶金工业三十余年的艰苦努力,基本实现油井管的全面国产化与规模化工业应用并大量出口,取得一系列重大成果,进入国际领跑者行列。总结我国油井管国产化的成功经验,对我国油气工业和冶金、制造工业持续发展具有重要意义。

## 1 我国油井管国产化的理论技术体系

从油井管的失效分析入手,阐明失效模式,揭示油井管在不同力学和环境条件下的失效机理和原因,建立失效判据,提出与之对应的关键技术指标要求及检测评价方法,制定技术标准,揭示材料成分、显微组织、结构尺寸、性能包括服役性能和安全可靠性之间的关系,从而通过优化成分设计和制造工艺对油井管的组织和性能进行综合调控(见图 1),是油井管国产化的一条成功经验。

### 1.1 创立了“石油管工程”新学科,建立了石油管工程重点实验室,为油井管国产化及工业化应用奠定了基础

创立了“石油管工程”新学科<sup>[2,10-13]</sup>。“石油管工程”致力于研究不同服役条件下石油管的失效规律、机理及克服失效的途径,是材料科学与工程、冶金工

程、机械工程、力学、化学、安全科学与技术、石油天然气工程、计算机科学与技术、标准化与计量测试技术等多学科交叉的边缘学科,它把相关学科的理论成果和最新技术尽可能地运用于石油管从设计生产制造到使用的全生命周期,最大限度保障石油管的质量性能、安全可靠性和使用寿命,并有效控制失效风险,降低油气工业成本。其主要技术领域包括石油管的力学行为、环境行为、材料服役性能与其成分/组织/结构/性能/工艺的关系、失效控制及预测预防(见图 1)。提出从服役条件出发,研究石油管的力学行为、环境行为和两者的耦合,为油井管关键技术指标的建立和标准制订提供了基本思路和方法,并使关键技术指标和标准的建立更加科学和严密;提出研究材料成分/组织/结构/性能(含服役性能)/工艺的关系,为油井管产品设计研发制造和质量性能综合调控奠定坚实基础,使其服役性能切实满足特定服役工况需求;提出研究石油管的失效控制与预测预防,为确保油井管全生命周期的安全性和完整性提供了思路和方法。“石油管工程”为油井管全面国产化提供了基本遵循。

与此同时,创建了“石油管材及装备材料服役行为与结构安全国家重点实验室”和“中国石油天然气集团公司石油管工程重点实验室”<sup>[2,10,13]</sup>,构成石油管工程和油井管国产化技术创新体系的重要组成部分。

### 1.2 研究揭示了复杂工况油井管服役行为规律与机理,建立了油井管失效判据、关键性能指标和标准,在油井管设计制造、性能质量控制、安全使用中发挥了重要作用

1) 研究提出不同钢级钻杆的韧性要求(见图 2)<sup>[14-15]</sup>,获得饱和硫化氢环境下钻杆材料的韧性损失规律(见图 3)<sup>[16]</sup>,在国际上首次建立了含损伤缺陷钻杆的适用性评价方法<sup>[17-18]</sup>,研制修订 3 项国家和行业标准,其中抗硫钻杆关键技术指标及要求全面修订 ISO 11961 国际标准,有效控制了钻杆的脆性断裂、疲劳和腐蚀疲劳及应力腐蚀失效。

2) 建立了套管强韧性匹配计算方法,提出高强度套管材料韧性要求<sup>[19-21]</sup>,首次提出高抗挤套管分级方法和关键技术指标要求(见图 4)<sup>[22-24]</sup>,首次建立了稠油蒸汽热采井套管应变设计和评价准则(见图 5)<sup>[18,25-26]</sup>,形成 3 项国家、行业和企业标准,其中高抗挤套管标准纳入 ISO 11960 标准,有效控制了高强度套管脆性断裂、外压挤毁和热变形失效。

3) 系统研究揭示了油套管的腐蚀失效规律与机理,提出失效控制方法<sup>[12,18,27-29]</sup>。建立了油套管材料

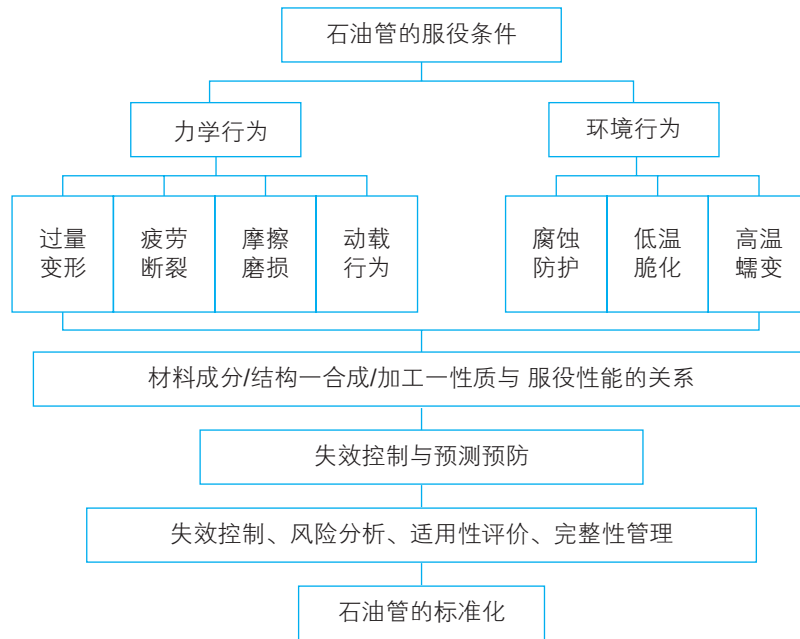


图1 石油管工程学科体系

Fig. 1 System of petroleum tubular goods engineering

CO<sub>2</sub> 腐蚀速率预测新模型, 预测精度达到 95% 以上; 建立了基于全生命周期的高温高压气井油套管腐蚀评价和选材方法, 构建了高温高压气井油套管选材图, 形成耐蚀合金油套管选用行业标准; 研发了超级 13Cr 油管应力腐蚀断裂控制技术, 以低开裂敏感的甲酸盐完井液体系替代磷酸盐完井液体系, 2015 年以来在塔里木油田应用超过 50 口井, 至今未出现环空带压或油套管柱腐蚀断裂失效。

4) 建立了特殊螺纹油管管的密封准则、密封可靠性计算与评价方法, 构建了套管柱失效概率和安全可

靠性计算与评价方法<sup>[13,18,29-32]</sup>, 制定了 2 项行业标准; 在系统总结高温高压及高含硫气井油套管柱研究成果和实践经验的基础上, 制定了《油气井管柱完整性管理》行业标准和相关管理规范<sup>[33-36]</sup>, 在塔里木油田应用后井完整性从 70% 提高到 79%。

## 2 我国油井管国产化技术与产品体系

为满足复杂深层、严酷腐蚀环境、非常规油气开发、特殊结构井和特殊工艺井、大排量高压强腐蚀

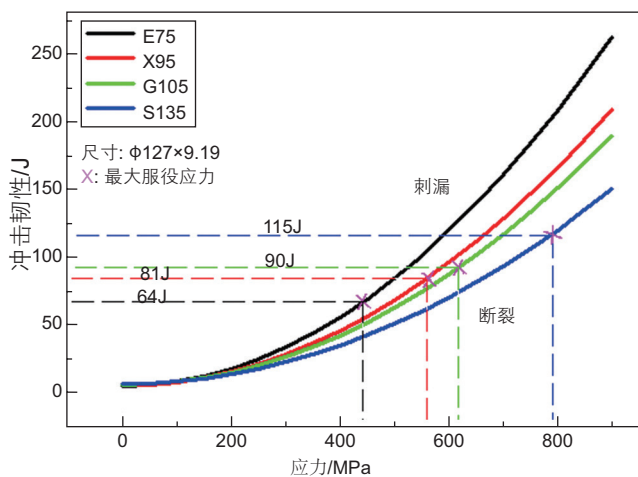


图2 钻杆韧性要求

Fig. 2 Toughness requirement of drill pipe

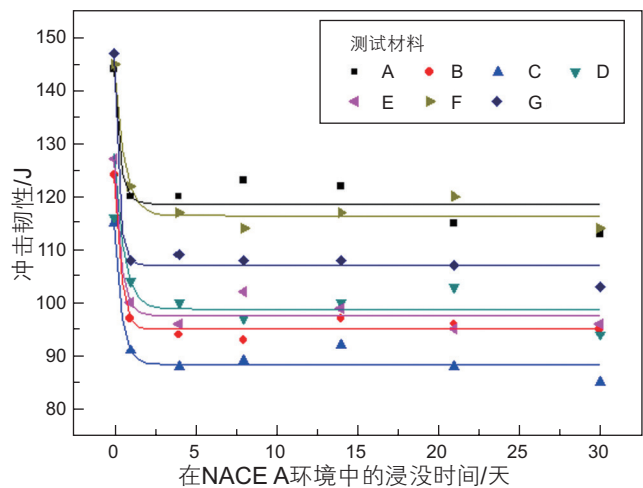


图3 抗硫钻杆韧性损失规律

Fig. 3 Toughness loss law of sulfur-resistant drill pipe

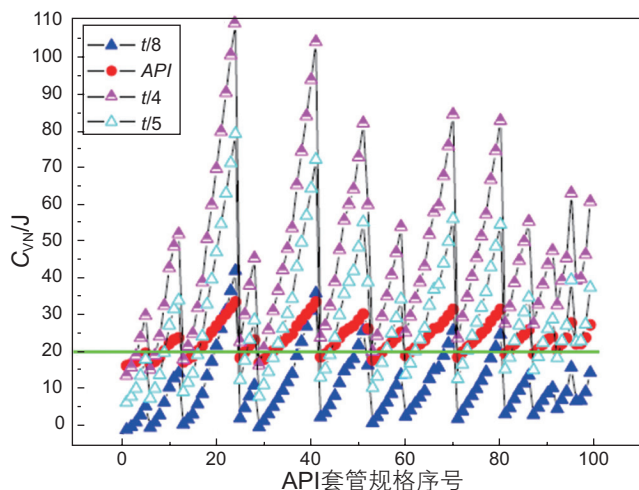


图4 140ksi钢级套管韧性要求

Fig. 4 Toughness requirement of 140ksi steel casing

多次酸化压裂增产改造等工艺技术的需求,在全面实现API标准油井管产品国产化的同时,必须研发满足上述工况需求的非API钢级、非API螺纹结构、非API规格的系列油井管技术和产品。在国家相关科技计划的支持下,冶金和石油两大系统联合攻关,构建了我国油井管合金化成分和组织控制体系,揭示了不同合金体系材料的强韧化与耐腐蚀机理与规律,发明了50多个油井管产品新钢种,建成20余条油井管专用生产线,研发了高端产品制造关键技术,解决了复杂工况油井管高纯净度、低偏析、高尺寸精度、窄幅性能控制等关键技术难题,实现油井管全面国产化与工业化应用,年产量达500万t,覆盖10大类高端产品<sup>[37-87]</sup>,整体技术和能力达到国际先进水平,部分技术处于国际领先地位。

### 2.1 构建了我国油井管合金化成分和组织控制体系

1) 首次提出“非晶态腐蚀产物膜控制”理论,开发出36MnCrVNbN、20Cr3MoCuNi、1Cr13NiMo等新钢种,解决了不同CO<sub>2</sub>环境经济合理选材问题,填补国内外空白。

2) 运用“电子空位数”理论,攻克了奥氏体合金有害相析出控制难题,解决了我国高酸性气田开发用镍基合金材料“卡脖子”问题。

3) 通过析出相控制、细晶强化和高屈强比合金设计,开发出20CrMoNbTiB、28CrMoTi、30CrMoNbTi、20MnMoTi、25CrMoV等新钢种,开发了高抗硫、高强高韧、高强抗挤毁、耐热油井管等新产品,技术指标国际领先,其中C110抗硫油套管硬度比国际同类产品降低2~3 HRC,140~155 ksi高强油井管横向冲击韧

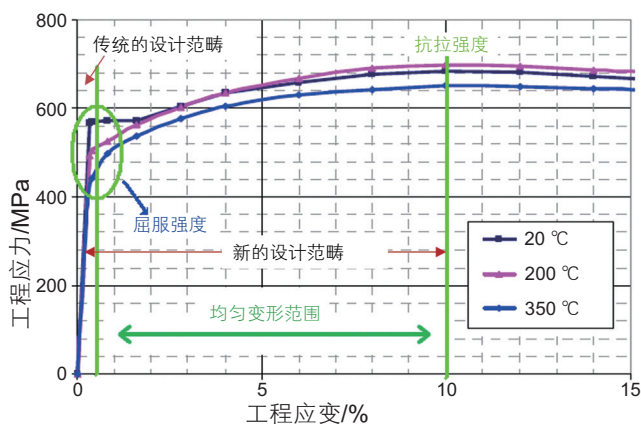


图5 热采套管柱应变设计方法

Fig. 5 Strain-based design method of thermal recovery casing string

性达到10%屈服强度要求,160 ksi超高强度抗挤套管晶粒度由常规套管7~8级细化到10级以上,抗挤强度超出API标准50%以上。

### 2.2 开发了高端油井管产品制造关键技术

1) 自主开发了高合金管材超高纯净度、夹杂物和偏析控制等核心工艺技术,有害析出相控制在0.3%以下,远高于1%的标准要求,确保了抗腐蚀性能要求。

2) 开发了低合金油井管超高纯净钢冶炼和低缺陷管坯连铸技术,有害元素S、P、O含量分别达到7 ppm、56 ppm、14 ppm(见图6),远优于国际上同类产品。

3) 开发了高抗挤套管专用轧制孔型,高抗挤套管壁厚精度达到 $\pm 5\% \sim 7\%$ ,较API标准要求提高40%以上。

4) 开发了258 PQF、460 PQF和508 PQF等大口径三辊连轧机组以及488 mm和554 mm轧管孔型,生产效率提高了23%;开发了轧管工艺及配套工模具,毛管扩径率达到45%以上,轧制生产效率提高30%以上。

5) 自主开发出新一代钢管离线控制冷却装备,可实现冷却分级自动控制,大幅提升冷却均匀性和冷却强度,产品淬火硬度提升8%以上,整管强度均匀性波动不大于25 MPa。

### 2.3 开发了系列化特殊螺纹连接油套管,覆盖主要复杂气井工况

1) 基于金属—金属密封、变角度承载螺纹和扭矩台肩结构优化,开发了具有优良结构和密封完整性的

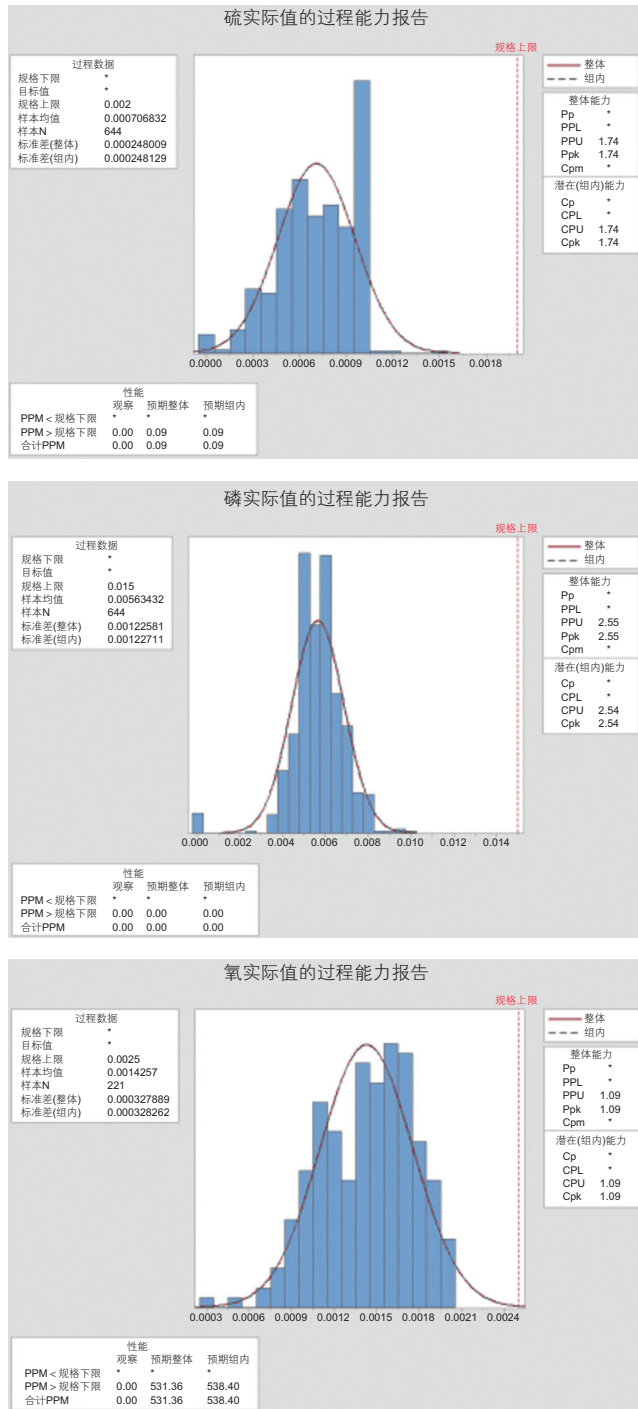


图6 油井管材的S、P、O杂质元素控制统计值  
Fig. 6 Statistical values of S, P and O elements of OCTG

BGT2、TP-CQ、TP-G2等12种气密封特殊螺纹油管产品，满足了塔里木、西南等超深高温高压气井需要，应用超过100万t。

2) 首创一种经济型气密封特殊扣BG-PC/BG-PT，创新性地采用螺纹密封设计，实现内外螺纹完全啮合，消除了螺纹间隙所产生的泄漏通道，气密封性能达到70 MPa，免除了密封面加工，降低了制造成本。

3) 设计研发了既安全又经济的水平气井用新型特殊螺纹套管及制备技术，满足了4200 m深、弯曲狗腿度20°/30 m、液体压裂内压90 MPa、气体生产压力50 MPa、150 °C水平井压裂改造和生产井工况下螺纹连接的强度和密封可靠性。该特殊螺纹套管在长庆、延长、新疆等油气田应用超过15万t。

4) 开发了“API长圆螺纹套管+CATTS101高级螺纹密封脂”套管柱技术，在长庆苏里格气田直井应用超过10 000口井，在保证套管柱使用安全的前提下，套管成本降低了20%~30%。

### 3 我国油井管国产化技术支撑体系

全面实现我国油井管的国产化，除政府支持外，还必须构建强大的技术支撑体系。油井管国产化的技术支撑，主要依靠我国油井管质量基础设施来实现，包括石油专用螺纹计量、油井管标准化、认证认可、检验检测等。在石油专用螺纹计量方面，建立了国家石油螺纹参量计量基准装置，并实现了与国际接轨；建立了石油工业专用螺纹量规计量站，辐射全部油井管制造商及用户。在油井管标准化方面，建立了涵盖通用基础、设计与选材、产品制造、检验与试验、使用与维护、失效分析与完整性的油井管全寿命周期标准体系(见图7)<sup>[88-100]</sup>，涵盖典型工况的10大类产品共91项标准，其中自主制定80项，标准体系中抗硫钻杆、热采套管、高抗挤套管核心标准填补了国内外空白。在油井管认证认可方面，除API油井管产品会标使用权认证外，建立了石油管材认可机构、CNAS认可实验室、检查机构、鉴定评审机构，对相关认证机构进行认可，对油井管产品、相关服务、管理体系进行认证；在检验检测方面，建立了国家石油管材质量监督检验中心、型式试验机构，开展油井管产品、服务、管理体系认证相关的检验检测；同时，建立了油井管生产厂出厂检验、国家或行业质量监督抽检、驻厂质量监督(设备监理)、用户验收检验等技术与管理体系。

为支撑认证认可工作，除对油井管产品化学成分、力学性能、结构尺寸进行检验检测外，还要对油井管的服役性能如油井管在不同服役条件下的性能(如一次断裂抗力、应力腐蚀、疲劳或腐蚀疲劳、螺纹连接的结构完整性和密封完整性等)进行检测评价。相应地，建立了复杂力学与环境条件下油井管全尺寸试验平台和系统的评价方法<sup>[29]</sup>，涵盖12台(套)能够模拟油井管服役条件的实物试验系统，覆盖国内主要油气

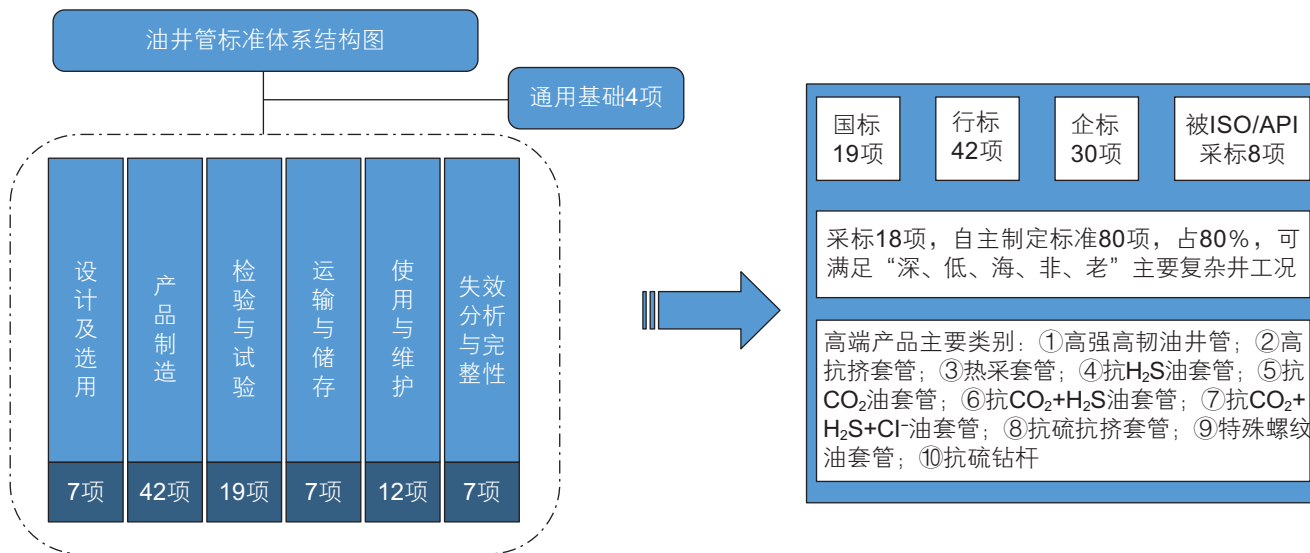


图7 我国油管产品与技术标准体系

Fig. 7 The standard and system of OCTG products and technology in China

井工况，其中实物应力腐蚀试验系统和非常规油气井筒模拟试验系统及试验评价技术为国际领先。

#### 4 结语及展望

综述了我国油管国产化理论技术体系、油管技术与产品体系、技术支撑体系等方面的主要进展。

1) “石油工程”新学科的创立，形成我国油管国产化的理论技术体系，为油管国产化及工业化应用奠定了基础。

2) 从油管的失效分析入手，阐明失效模式，揭示油管在不同力学和环境条件下的失效机理和原因，建立失效判据，提出与之对应的关键技术指标要求及检测评价方法，制定技术标准，揭示材料成分、显微组织、结构形状、性能包括服役性能和安全性之间的关系，从而通过优化成分设计和制造工艺对油管的组织和性能进行综合调控，是油管国产化的一条成功经验。

3) 形成我国油管国产化技术与产品体系。构建了我国油管合金化成分和组织控制体系，揭示了不同合金体系材料的强化与耐腐蚀机理与规律，发明了50多个油管产品新钢种，建成20余条油管专用生产线，研发了高端产品制造关键技术，解决了复

杂工况油管高纯净度、低偏析、高尺寸精度、窄幅性能控制等关键技术难题，实现油管全面国产化与工业化应用并大批量出口，年产量达500万t，覆盖10大类高端产品，整体技术和能力达到国际先进水平，部分技术处于国际领先地位。

4) 形成我国油管质量基础设施，包括石油专用螺纹计量、油管标准化、认证认可、检验检测等4个方面，有效支撑了油管的国产化 and 大批量工业化应用。

5) 面对我国油气工业发展的新形势和新挑战，特别是超深、非常规、海洋油气开发、煤炭地下气化、页岩油原位转化、天然气水合物等复杂力学—化工况条件，油气井长期安全可靠与经济生产，以及油气开发与大数据和人工智能融合发展需求，在全面实现油管国产化的基础上，进一步提升油管产品的质量可靠性，持续完善耐蚀合金油套管、特殊螺纹连接油套管、连续管、可膨胀套管、超高强度高抗扭钻杆、铝合金/钛合金钻杆、经济型油管等技术和产品系列，开发超高温高压强腐蚀环境特种油管、双金属油管、复合材料油管、智能油管技术和产品，持续创新，实现我国油管关键核心技术自立自强，支撑保障油气工业健康发展，引领油气工业和相关产业技术进步。

#### 参考文献

[1] 宋治, 冯耀荣. 油管与管柱技术及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007. [SONG Z, FENG Y R. OCTG and pipe string technology and its application[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.]

- [2] 冯耀荣, 马秋荣, 张冠军. 石油管材及装备材料服役行为与结构安全研究进展及展望[J]. 石油管材与仪器, 2016, 2(01): 1-5. [FENG Y R, MA Q R, ZHANG G J. Research progress and prospect of performance and structural safety for petroleum tubular goods and equipment materials[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2016, 2(1): 1-5.]
- [3] 石油管材研究中心失效分析研究室. 1988年全国油田钻具失效情况调查报告[M]//中国石油天然气总公司石油管材研究中心石油专用管论文集 1992(6): 327-336. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993. [Failure Analysis Research Division of Tubular Goods Research Center. 1988 national investigation report on drilling tool failure in oil fields [M] // Proceedings of OCTG, Tubular Goods Research Center of CNPC. 1992 (6): 327-336, Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1993.]
- [4] 石油管材研究中心失效分析室. 石油钻柱失效分析综述[M]//中国石油天然气总公司石油管材研究中心石油专用管第二集: 31-49. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989. [Failure Analysis Research Division of Tubular Goods Research Center. Review of failure analysis of drill string[M] // Proceedings of OCTG II: 31-49, Tubular Goods Research Center of CNPC. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1989.]
- [5] 李鹤林, 李平全, 冯耀荣. 石油钻柱失效分析及预防[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. [LI H L, LI P Q, FENG Y R. Failure analysis and prevention of oil drill string [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.]
- [6] 李鹤林, 冯耀荣. 石油钻柱失效分析及预防措施[J]. 石油机械, 1990, 18(08): 38-44+7-8. [LI H L, FENG Y R. Failure analysis and preventive measures of oil drill string [J]. Petroleum Machinery, 1990, 18 (08): 38-44 + 7-8.]
- [7] 宋治. 油层套管损坏原因分析及预防措施[J]. 石油学报, 1987, 8(02): 101-107. [SONG Z. Cause analysis and preventive measures of oil reservoir casing damage [J]. Acta Petrolei Sinica, 1987, 8 (02): 101-107.]
- [8] 张毅, 王世宏. 国产油井管的质量状况[J]. 石油工业技术监督, 1997, 13(05): 10-12. [ZHANG Y, WANG S H. Quality status of domestic OCTG[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 1997, 13 (05): 10-12.]
- [9] 张毅, 李鹤林, 陈诚德. 我国油井管现状及存在的问题[J]. 焊管, 1999, 22(05): 1-10+60. [ZHANG Y, LI H L, CHEN C D. Current situation and existing problems of OCTG in China [J] Welded Pipe and Tube, 1999, 22 (05): 1-10 + 60.]
- [10] 校忠仁著. 李鹤林传[M]. 北京: 科学出版社, 人民出版社, 2017. [XIAO Z R. Biography of LI H L. Beijing: Science Press, People's Publishing House, 2017.]
- [11] 李鹤林. 石油管工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. [LI H L. Petroleum tubular goods engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.]
- [12] 李鹤林. 石油管工程学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2020. [LI H L. Petroleum tubular goods engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020.]
- [13] 冯耀荣, 张冠军, 李鹤林. 石油管工程技术进展及展望[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(01): 1-8. [FENG Y R, ZHANG G J, LI H L. Progress and prospect on technology of petroleum tubular goods engineering[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, 3(1): 1-8.]
- [14] 冯耀荣, 马宝钿, 金志浩, 等. 钻柱构件失效模式与安全韧性判据的研究[J]. 西安交通大学学报, 1998, 32(04): 56-60. [FENG Y R, MA B D, JIN Z H, et al. Investigation on failure mode and safety toughness criterion for drill stem element[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1998, 32(04): 56-60.]
- [15] 李方坡, 韩礼红, 刘永刚, 等. 高钢级钻杆韧性指标的研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(05): 130-133. [LI F P, HAN L H, LIU Y G, et al. Study on toughness index of high steel grade drill pipe [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35 (05): 130-133.]
- [16] HAN L H, HU F, WANG H, et al. Research on the requirement of impact toughness for petroleum drill pipe steel used in critical sour environment[J]. Advanced Materials Research Vols. 284-286 (2011), 1106-1110.]
- [17] 张平生, 韩晓毅, 罗卫国, 等. 钻杆适用性评价及其软件[M]//中国石油天然气集团公司管材研究所: 463-474. 石油管工程应用基础研究论文集, 北京: 石油工业出版社, 2001. [Fitness-for-service assessment of drill pipe and its software [M] // Tubular Goods Research Institute of CNPC: 463-474, Collection of basic research papers on the application of petroleum tubular goods engineering, Beijing: Petroleum Industry Press, September 2001.]
- [18] 冯耀荣, 韩礼红, 张福祥, 等. 油气井管柱完整性技术研究进展与展望[J]. 天然气工业, 2014, 34(11): 73-81. [FENG Y R, HAN L H, ZHANG F X, et al. Research progress and prospect of oil and gas well tubing string integrity technology[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(11): 73-81.]
- [19] 陈秀丽, 韩礼红, 冯耀荣, 等. 高钢级套管韧性指标适用性计算方法研究(上)[J]. 钢管, 2008, 24(03): 13-17. [CHEN X L, HAN L H, FENG Y R, et al. Study on applicability calculation method of toughness index of high steel casing (I) [J]. Steel Pipe, 2008, 24 (03): 13-17.]
- [20] 陈秀丽, 韩礼红, 冯耀荣, 等. 高钢级套管韧性指标适用性计算方法研究(下)[J]. 钢管, 2008, 24(04): 23-27. [CHEN X L, HAN L H, FENG Y R, et al. Study on applicability calculation method of toughness index of high steel casing (II) [J]. Steel Pipe, 2008, 24 (03): 13-17.]
- [21] 张毅, 吉玲康, 宋治, 等. 油层套管射孔开裂的安全韧性判据[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 1998, 11(06): 52-55. [ZHANG



- Y, JI L K, SONG Z, et al. Safety toughness criterion for perforation cracking of oil reservoir casing [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Edition of Natural Science), 1998, 11 (06): 52–55.]
- [22] 申昭熙, 冯耀荣, 解学东, 等. 套管抗挤强度分析及计算[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2008, 47(03):139–142+194–195. [SHEN Z X, FENG Y R, XIE X D, et al. Analysis and calculation of casing collapse strength [J] Journal of Southwest Petroleum University (Edition of Natural Science), 2008, 47 (03): 139–142 + 194–195.]
- [23] 申昭熙, 冯耀荣, 解学东, 等. 外压作用下套管抗挤强度研究[J]. 石油矿场机械, 2007, 35(11): 5–9. [SHEN Z X, FENG Y R, XIE X D, et al. Study on collapse strength of casing under external pressure [J]. Oil Field Equipment, 2007, 35 (11): 5–9.]
- [24] 申昭熙, 林凯. ISO 11960: 2020《石油天然气工业油气井套管或油管用钢管》标准解读[J]. 石油工业技术监督, 2020, 36(09): 29–31+35. [SHEN Z X, LIN K. Interpretation of ISO 11960:2020 steel pipe for casing or tubing of oil and gas wells in petroleum and natural gas industry [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2020, 36 (09): 29–31 + 35.]
- [25] 韩礼红, 谢斌, 王航, 等. 稠油蒸汽吞吐热采井套管柱应变设计方法[J]. 钢管, 2016, 45(03): 11–18. [HAN L H, XIE B, WANG H, et al. Strain based design method of casing string in heavy oil steam thermal recovery well [J] Steel Pipe, 2016, 45 (03): 11–18.]
- [26] HAN L H, WANG H, WANG J J, et al. Strain-based casing design for cyclic-steam-stimulation wells[J]. Society of Petroleum Engineers, (SPE 180703), the SPE Canada heavy oil technical conference, Calgary, 7–9 June 2016, May 2018, SPE Production & Operations 409.]
- [27] 李鹤林. 预测CO<sub>2</sub>腐蚀速率的新模型[M].//李鹤林文集(下)——石油管工程专辑: 518–525. 北京: 石油工业出版社, 2017. [LI H L. A new model for predicting CO<sub>2</sub> corrosion rate [M]// Collected works of LI H L (Part 2) – Petroleum tubular goods engineering album: 518–525, Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.]
- [28] LEI XW, FENG Y R, FU A Q, et al. Investigation of stress corrosion cracking behavior of super 13Cr tubing by full-scale tubular goods corrosion test system[J]. Engineering failure analysis. 2015, 50: 62–70.]
- [29] 冯耀荣, 付安庆, 王建东, 等. 复杂工况油套管柱失效控制与完整性技术研究进展及展望[J]. 天然气工业, 2020, 40(02): 106–114. [FENG Y R, FU A Q, WANG J D, et al. Failure control and integrity technologies of tubing/casing string under complicated working conditions: Research progress and prospect[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(02): 106–114.]
- [30] 樊恒, 闫相祯, 冯耀荣, 等. 基于分项系数法的套管实用可靠度设计方法[J]. 石油学报, 2016, 37(6): 807–814. [FAN H, YAN X Z, FENG Y R, et al. Practical reliability design method of casing based on partial coefficient method [J]. ACTA PETROLEI SINICA, 2016, 37 (6): 807–814.]
- [31] 刘文红, 林凯, 冯耀荣, 等. 基于Kriging模型的特殊螺纹油管和套管接头密封可靠性分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(03): 163–169. [LIU W H, LIN K, FENG Y R, et al. Sealing reliability analysis of tubing and casing with premium connections based on Kriging model [J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2016, 40 (03): 163–169.]
- [32] 中华人民共和国石油天然气行业标准. SY/T 7456—2019 油气井套管柱结构与强度可靠性评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019. [Oil and Gas Industry Standard of the PRC. SY/T 7456–2019 The evaluation method of the structure and strength reliability of casing strings for oil and gas wells[S]. Beijing: China Standard Press, 2019.]
- [33] 中华人民共和国石油天然气行业标准. 油气井管柱完整性管理: SY/T 7026—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [Oil and Gas Industry Standard of the PRC. SY/T 7026–2014 Integrity management of pipe strings for oil and gas wells[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [34] 吴奇, 郑新权, 张绍礼, 等. 高温高压及高含硫井完整性指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017. [WU Q, ZHENG X Q, ZHANG S L, et al. High temperature and high pressure and high sulfur well integrity guide[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.]
- [35] 吴奇, 郑新权, 张绍礼, 等. 高温高压及高含硫井完整性设计准则[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017. [WU Q, ZHENG X Q, ZHANG S L, et al. High temperature and high pressure and high sulfur well integrity design guidelines[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.]
- [36] 吴奇, 郑新权, 邱金平, 等. 高温高压及高含硫井完整性管理规范[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017. [WU Q, ZHENG X Q, QIU J P, et al. High temperature and high pressure and high sulfur well integrity management specifications[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.]
- [37] 中国钢管70年编写组编. 中国钢管70年[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2019. [Compiling team for “70 years of chinese steel pipe industry”. 70 years of chinese steel pipe industry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2019.]
- [38] 李鹤林, 韩礼红, 张文利. 高性能油管的需求与发展[J]. 钢管, 2009, 38(01): 1–9. [LI H L, HAN L H, ZHANG W L. Demand and development of high performance OCTG[J]. Steel pipe, 2009, 38 (01): 1–9.]
- [39] 李鹤林, 张亚平, 韩礼红. 油井管发展动向及高性能油井管国产化(上)[J]. 钢管, 2007, 36(06): 1–6. [LI H L, ZHANG Y P, HAN L H. Development trend of OCTG and localization of high performance OCTG (Part I) [J] Steel Pipe, 2007, 36 (06): 1–6.]
- [40] 李鹤林, 张亚平, 韩礼红. 油井管发展动向及高性能油井管国产化(下)[J]. 钢管, 2008, 37(01): 1–6. [LI H L, ZHANG Y P, HAN L H. Development trend of OCTG and localization of high performance OCTG (Part I) [J] Steel Pipe, 2008, 36 (01): 1–6.]
- [41] 张春霞, 齐亚猛, 张忠铎. 超级13Cr在H<sub>2</sub>S和CO<sub>2</sub>共存环境下的腐蚀行为影响研究[J]. 宝钢技术, 2020(01): 7–12. [ZHANG C X, QI Y M, ZHANG Z H. Effect of super 13Cr on corrosion behavior in H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> coexisting environment [J]. Baosteel Technology,

- 2020 (01): 7-12.]
- [42] 李博, 张忠铎, 刘华松, 等. 高强耐蚀管钢点状偏析及带状缺陷的特征与演变[J]. 金属学报, 2019, 55(06): 762-772. [LI B, ZHANG Z H, LIU H S, et al. Characteristics and evolution of the spot segregations and banded defects in high strength corrosion resistant tube steel [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2019, 55 (06): 762-772.]
- [43] 耿豪, 张忠铎, 唐海燕, 等. 高强度油井套管钢偏析与含Nb析出相研究[J]. 钢铁研究学报, 2019, 31(04): 387-393. [GENG H, ZHANG Z H, TANG H Y, et al. Study on segregation and Nb containing precipitates of high strength oil well casing steel [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2019, 31 (04): 387-393.]
- [44] 王琍, 张忠铎, 黄志荣, 等. 油套管特殊螺纹接头抗粘扣自润滑涂层性能研究[J]. 钢管, 2018, 47(02): 16-20. [WANG L, ZHANG Z H, HUANG Z R, et al. Study on properties of anti sticking self-lubricating coating for premium connection tubing and casing [J]. Steel Pipe, 2018, 47 (02): 16-20.]
- [45] 孙建安, 王琍, 张忠铎. 有限元模拟仿真在特殊螺纹接头设计开发中的应用[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(06): 9-14. [SUN J A, WANG L, ZHANG Z H. Application of finite element simulation in the design and development of premium connection[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, 3 (06): 9-14.]
- [46] 董晓明, 张忠铎, 罗蒙. 页岩气开发用高强高韧套管设计及适用性研究[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(01): 47-51. [DONG X M, ZHANG Z H, LUO M. Study on design and applicability of high strength and high toughness casing for shale gas development [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, 3 (01): 47-51.]
- [47] 董晓明, 陈业新, 张忠铎. 耐硫化氢腐蚀钢在硫化氢介质中的腐蚀行为[J]. 腐蚀与防护, 2016, 37(10): 832-837. [DONG X M, CHEN Y X, ZHANG Z H. Corrosion behavior of hydrogen sulfide resistant steel in hydrogen sulfide medium [J]. Corrosion and Protection, 2016, 37 (10): 832-837.]
- [48] 董晓明, 陈业新, 张忠铎. V、N含量和热处理对抗腐蚀油套管组织和性能的影响[J]. 功能材料, 2016, 47(09): 9057-9062. [DONG X M, CHEN Y X, ZHANG Z H. Effects of V、N content and heat treatment on microstructure and properties of corrosion resistant tubing and casing [J]. Functional Materials, 2016, 47 (09): 9057-9062.]
- [49] 董晓明, 张忠铎, 孙文. 深井和页岩气开发用超高强度高韧性套管的研制[J]. 钢管, 2016, 45(04): 27-32. [DONG X M, ZHANG Z H, SUN W. Development of ultra high strength and high toughness casing for deep well and shale gas development [J]. Steel Pipe, 2016, 45 (04): 27-32.]
- [50] 董晓明, 张忠铎, 尹卫东, 等. 深井开发用超高强度高韧性套管组织对韧性的影响研究[J]. 上海金属, 2015, 37(05): 1-5. [DONG X M, ZHANG Z H, YIN W D, et al. Study on the effect of ultra-high strength and high toughness casing structure on toughness for deep well development [J]. Shanghai Metal, 2015, 37 (05): 1-5.]
- [51] 李大朋, 张雷, 张春霞, 等. 热处理温度对G3合金耐点蚀性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2015, 44(07): 1777-1781. [LI D P, ZHANG L, ZHANG C X, et al. Effect of heat treatment temperature on pitting corrosion resistance of G3 alloy [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2015, 44 (07): 1777-1781.]
- [52] 姚赞, 张忠铎, 刘耀恒. 合金元素对双相钢性能影响及其热加工性能研究[J]. 宝钢技术, 2015(03): 17-21. [YAO Z, ZHANG Z H, LIU Y H. Effect of alloying elements on properties and hot working properties of dual phase steel [J]. Baosteel Technology, 2015 (03): 17-21.]
- [53] 赵永安, 丁维军, 张忠铎, 等. 复杂井况条件下的管柱完整性研究及产品开发[J]. 宝钢技术, 2015(01): 66-71. [ZHAO Y A, DING W J, ZHANG Z H, et al. Research on pipe string integrity and product development under complex well conditions [J]. Baosteel Technology, 2015 (01): 66-71.]
- [54] 缪乐德, 张毅, 杨建强, 等. 不同热处理状态下镍基耐蚀合金析出相的定性定量分析[J]. 冶金分析, 2015, 35(01): 6-12. [MIAO L D, ZHANG Y, YANG J Q, et al. Qualitative and quantitative analysis of precipitates in nickel base corrosion resistant alloy under different heat treatment conditions [J]. Metallurgical Analysis, 2015, 35 (01): 6-12.]
- [55] 杨建强, 张忠铎, 张春霞, 等. 低合金钢抗硫油套管选材与评价方法[J]. 石油与天然气化工, 2014, 43(03): 275-278+283. [YANG J Q, ZHANG Z H, ZHANG C X, et al. Selection and evaluation method of low alloy steel sulfur resistant tubing and casing [J]. Oil & Natural Gas Chemical Industry, 2014, 43 (03): 275-278 + 283.]
- [56] 丁维军, 张忠铎. 宝钢钢管产品技术的发展[J]. 钢管, 2014, 43(03): 9-16. [DING W J, ZHANG Z H. Development of steel pipe product technology in Baosteel [J]. Steel Pipe, 2014, 43 (03): 9-16.]
- [57] 张忠铎, 杨建强, 张春霞, 等. 镍基合金油套管的析出相及对腐蚀性能的影响[J]. 宝钢技术, 2011(06): 1-6+11. [ZHANG Z H, YANG J Q, ZHANG C X, et al. Precipitated phase of nickel base alloy tubing and casing and its effect on corrosion performance [J]. Baosteel Technology, 2011 (06): 1-6 + 11.]
- [58] 张忠铎, 张春霞, 陈长风, 等. 高酸性腐蚀气田用镍基合金油套管的开发[J]. 钢管, 2011, 40(04): 23-28. [ZHANG Z H, ZHANG C X, CHE C F, et al. Development of nickel base alloy tubing and casing for high acid corrosion gas field [J]. Steel Pipe, 2011, 40 (04): 23-28.]
- [59] 沈琛, 张忠铎, 张春霞. 高酸性腐蚀气田用BG2250-125镍基合金油管开发[J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 35-38. [SHEN

- C, ZHANG Z H, ZHANG C X. Development of BG2250-125 nickel base alloy tubing for high acid corrosion gas field [J]. China Engineering Science, 2010, 12 (10): 35-38.]
- [60] 张忠铎, 张春霞, 殷光虹, 等. 宝钢抗腐蚀系列油井管的开发[J]. 宝钢技术, 2009(S1): 62-66. [ZHANG Z H, ZHANG C X, YIN G H, et al. Development of anti-corrosion series OCTG in Baosteel [J]. Baosteel Technology, 2009 (S1): 62-66.]
- [61] 谭淳礼, 张忠铎, 蔡海燕, 等. 经济型抗H<sub>2</sub>S+CO<sub>2</sub>腐蚀油管BG110S-2Cr开发[J]. 钢管, 2008(03): 24-27. [TAN Z L, ZHANG Z H, CAI H Y, et al. BG110S-2Cr development of economical H<sub>2</sub>S + CO<sub>2</sub> corrosion resistant tubing[J]. Steel Pipe, 2008 (03): 24-27.]
- [62] 张忠铎, 黄子阳, 孙元宁, 等. 3Cr抗CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>S腐蚀系列油套管开发[J]. 宝钢技术, 2006(03): 5-8+59. [ZHANG Z H, HUANG Z Y, SUN Y N, et al. Development of 3Cr anti-CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S corrosion series tubing and casing [J]. Baosteel Technology, 2006 (03): 5-8 + 59.]
- [63] 张忠铎, 郭金宝, 蔡海燕, 等. 经济型抗CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S腐蚀油套管的开发[J]. 钢管, 2004(05):18-21. [ZHANG Z H, GUO J B, CAI H Y, et al. Development of economical anti-CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S corrosion tubing and casing [J]. Steel Pipe, 2004 (05): 18-21.]
- [64] 张忠铎, 孙中渠, 黄子阳, 等. 经济型抗CO<sub>2</sub>腐蚀油套管用低合金钢的研究[J]. 宝钢技术, 2002(04): 37-40. [ZHANG Z H, SUN Z Q, HUANG Z Y, et al. Study on economical low alloy steel for CO<sub>2</sub> corrosion resistant tubing and casing[J]. Baosteel Technology, 2002 (04): 37-40.]
- [65] 黄永智, 李轩, 戴昆, 等. 页岩气生产套管损坏原因浅析与推荐解决方案[J]. 石油管材与仪器, 2020, 6(04): 82-85. [HUANG Y Z, LI X, DAI K, et al. Cause analysis and recommended solution of casing damage in shale gas production [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6 (04): 82-85.]
- [66] 黄永智, 张哲平, 张传友, 等. 基于应变设计的热采井套管研究[J]. 石油管材与仪器, 2020, 6(03): 34-37. [HUANG Y Z, ZHANG Z P, ZHANG C Y, et al. Research on casing of thermal production well on strain based design [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6 (03): 34-37.]
- [67] 窦志超, 姚勇, 顾顺杰, 等. 高品质石油管材组织细化控制研究[J]. 四川冶金, 2018, 40(01): 17-19+23. [DOU Z C, YAO Y, GU S J, et al. Study on microstructure refinement control of high quality petroleum pipe [J]. Sichuan Metallurgy, 2018, 40 (01): 17-19 + 23.]
- [68] 李效华, 张国柱, 张传友, 等. -100℃低温无缝钢管的开发[J]. 钢管, 2014, 43(01): 25-30. [LI X H, ZHANG G Z, ZHANG C Y, et al. Development of -100 °C low temperature seamless steel pipe [J]. Steel Pipe, 2014, 43 (01): 25-30.]
- [69] 周晓锋, 张传友, 史庆志. PQF连轧管机在天津钢管的发展[J]. 钢管, 2012, 41(02): 38-41. [ZHOU X F, ZHANG C Y, SHI Q Z. Development of PQF continuous pipe mill in Tianjin Steel Pipe Company[J]. Steel Pipe, 2012, 41 (02): 38-41.]
- [70] 周晓锋, 史庆志, 张传友. 提高MPM连轧管机组芯棒使用寿命的措施[J]. 钢管, 2010, 39(04): 70-73. [ZHOU X F, SHI Q Z, ZHANG C Y. Measures to improve the service life of mandrel of MPM continuous pipe mill [J]. Steel Pipe, 2010, 39 (04): 70-73.]
- [71] 周晓锋, 张宝惠, 张传友, 等. 除氧化物剂和芯棒润滑对热连轧无缝钢管产生内结疤缺陷的影响分析[J]. 钢管, 2010, 39(03): 41-44. [ZHOU X F, ZHANG B H, ZHANG C Y, et al. Analysis on the influence of oxide remover and mandrel lubrication on the internal scar defect of hot continuous rolling seamless steel pipe [J]. Steel Pipe, 2010, 39 (03): 41-44.]
- [72] 白兴国, 梅丽, 陈建伟, 等. 淬火温度对石油套管用钢27MnCrV冲击韧性的影响[J]. 特殊钢, 2010, 31(02): 63-65. [BAI X G, MEI L, CHEN J W, et al. Effect of quenching temperature on impact toughness of 27MnCrV steel for oil casing [J]. Special Steel, 2010, 31 (02): 63-65.]
- [73] 周晓锋, 张传友. 天钢Φ258PQF连轧管机组介绍[J]. 钢铁研究, 2009, 37(05): 46-50. [ZHOU X F, ZHANG C Y. An Introduction to Φ258PQF continuous pipe mill in Tiangang [J] Iron and steel research, 2009, 37 (05): 46-50.]
- [74] 孙开明, 李士琦, 张传友, 等. 26CrMo4V钢高抗挤套管内折叠的分析和改进工艺措施[J]. 特殊钢, 2008, 29(06): 31-33. [SUN K M, LI S Q, ZHANG C Y, et al. Analysis and improvement measures of inner folding of 26CrMo4V steel high collapse resistant casing [J]. Special Steel, 2008, 29 (06): 31-33.]
- [75] 张传友, 章华明, 刘江成, 等. 93/4"特殊通径高抗挤套管的开发[J]. 天津冶金, 2008(05): 21-24+147. [ZHANG C Y, ZHANG H M, LIU J C, et al. Development of 9-3 / 4 "special diameter high collapse resistant casing [J]. Tianjin Metallurgy, 2008 (05): 21-24 + 147.]
- [76] 周家祥, 张传友, 江勇. 高强度低温高韧性套管的开发[J]. 天津冶金, 2008(05): 29-32+148. [ZHOU J X, ZHANG C Y, JIANG Y. Development of high strength, low temperature and high toughness casing [J]. Tianjin Metallurgy, 2008 (05): 29-32 + 148.]
- [77] 李连进, 王惠斌, 宗卫兵, 等. 石油套管残余应力对抗压溃强度影响的数值模拟[J]. 钢铁, 2005(06): 51-54. [LI L J, WANG H B, ZONG W B, et al. Numerical simulation of the effect of residual stress of oil casing on collapse strength [J]. Iron and Steel, 2005 (06): 51-54.]
- [78] 宗卫兵, 张传友, 沈淑君, 等. 非API标准规格TP120TH稠油热采井专用套管的开发[J]. 天津冶金, 2005(01): 15-19+53. [ZONG W B, ZHANG C Y, SHEN S J, et al. Development of special casing for TP120TH heavy oil thermal recovery well with non API standard specification [J]. Tianjin Metallurgy, 2005 (01): 15-19 + 53.]
- [79] 李勤, 肖功业, 张传友, 等. TP110TT高抗挤套管的开发[J]. 天津冶金, 2005(01): 19-21+53. [LI Q, XIAO G Y, ZHANG C Y, et al. Development of TP110TT high collapse resistant casing [J]. Tianjin Metallurgy, 2005 (01): 19-21 + 53.]

- [80] 李勤, 张传友, 肖功业. 高抗挤毁石油套管的试制[J]. 钢管, 2004(04): 28-31. [LI QIN, ZHANG C Y, XIAO G Y. Trial production of high collapse resistant oil casing [J]. Steel Pipe, 2004 (04): 28-31.]
- [81] 何建中, 张昭, 石晓霞, 等. 稀土在包钢无缝钢管的研究应用与发展[J]. 金属功能材料, 2020, 27(02): 21-27. [HE J Z, ZHANG Z, SHI X X, et al. Research, application and development of rare earth in seamless steel pipe of Baotou Steel [J]. Metal Functional Materials, 2020, 27 (02): 21-27.]
- [82] 张行刚, 石晓霞, 刘金. 稀土微合金化稠油热采井套管BT100H的研究[J]. 石油管材与仪器, 2018, 4(01): 50-54. [ZHANG X G, SHI X X, LIU J. Study on rare earth microalloyed heavy oil thermal recovery well casing BT100H [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2018, 4 (01): 50-54.]
- [83] 田研, 赵明纯. 高强度油井管钢中的Nb偏析及形成机制分析[J]. 钢铁研究学报, 2020, 32(04): 344-350. [TIAN Y, ZHAO M C. Analysis of Nb segregation and formation mechanism in high strength OCTG steel [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2020, 32 (04): 344-350.]
- [84] 王新虎, 申照熙, 王建东, 等. 特殊螺纹油管与套管的上扣扭矩构成与密封性能研究[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(12): 45-50. [WANG X H, SHEN Z X, WANG J J, et al. Study on makeup torque composition and sealing performance of premium connection tubing and casing [J]. Oil Field Equipment, 2010, 39 (12): 45-50.]
- [85] 王建东, 冯耀荣, 林凯, 等. 特殊螺纹接头密封结构比对分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(05): 126-130. [WANG J D, FENG Y R, LIN K, et al. Comparison analysis of premium connection's seal structure[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(5): 126-130.]
- [86] 王建东, 林凯, 赵克枫, 等. 低压低渗苏里格气田套管柱经济可靠性优化[J]. 天然气工业, 2007(12): 74-76+166-167. [WANG J D, LIN K, ZHAO K F, et al. Reliability and economical optimization of casing string used in Sulige gas field with low pressure and low permeability reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(12): 74-76.]
- [87] 王建东, 林凯, 赵克枫, 等. 低效气田套管经济可靠性选择[J]. 石油钻采工艺, 2007(05): 98-101+125. [WANG J D, LIN K, ZHAO K F, et al. Reliable and economical selection for casing pipe in low-potential gas field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(5): 98-101.]
- [88] 樊治海, 方伟, 秦长毅, 等. 实施标准化战略, 促进“油井管工程”发展[J]. 石油工业技术监督, 2004, 20(02): 14-19. [FAN Z H, FANG W, QIN C Y, et al. Implement standardization strategy and promote the development of "OCTG engineering" [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2004, 20 (02): 14-19.]
- [89] 樊治海, 方伟, 葛明君, 等. 我国“油井管工程”标准化进展[J]. 石油工业技术监督, 2006, 22(06): 5-9. [FAN Z H, FANG W, GE M J, et al. Progress in standardization of "OCTG engineering" in China [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2006, 22 (06): 5-9.]
- [90] 樊治海, 方伟. “十五”石油管材标准化进展及“十一五”发展方向[J]. 石油工业技术监督, 2006, 22(08): 31-34. [FAN Z H, FANG W. Progress of petroleum pipe standardization in the Tenth Five Year Plan and the development direction of the Eleventh Five Year Plan [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry 2006, 22 (08): 31-34.]
- [91] 秦长毅, 方伟. 瞄准国际前沿, 提升标准水平, 引领技术发展[J]. 石油工业技术监督, 2006, 22(08): 49-51+53. [QI C Y, FANG W. Aim at the international frontier, improve the standard level and lead the technological development [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2006, 22 (08): 49-51 + 53.]
- [92] 方伟, 冯耀荣, 徐婷. 石油管材专业标准化进展[J]. 石油工业技术监督, 2009, 25(02): 9-14. [FANG W, FENG Y R, XU T. Progress in standardization of petroleum pipe specialty [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2009, 25 (02): 9-14.]
- [93] 方伟, 许晓锋, 徐婷. 油井管标准化及非API油井管标准体系[J]. 石油工业技术监督, 2010, 26(06): 20-23+42. [FANG W, XU X F, XU T. OCTG standardization and non API OCTG standard system [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2010, 26 (06): 20-23 + 42.]
- [94] 李为卫, 方伟, 冯耀荣. 加强油井管标准实施, 支撑保障油田建设[J]. 石油工业技术监督, 2013, 29(05): 41-44. [LI W W, FANG W, FENG Y R. Strengthen the implementation of OCTG standards to support and ensure oilfield construction [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2013, 29 (05): 41-44.]
- [95] 徐婷, 邓波, 吕华. 石油管材标准体系研究及发展展望[J]. 中国标准化, 2014, 55(03): 57-60. [XU T, DENG B, LV H. Research and development prospect of petroleum pipe standard system [J]. China Standardization, 2014, 55 (03): 57-60.]
- [96] 许晓锋, 李为卫, 秦长毅, 等. 石油管材标准体系优化研究[J]. 石油管材与仪器, 2015, 1(06): 77-81. [XU X F, LI W W, QIN C Y, et al. Study on Optimization of petroleum pipe standard system [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2015, 1 (06): 77-81.]
- [97] 方伟, 许晓锋, 徐婷, 等. 油井管标准化最新进展[J]. 石油工业技术监督, 2017, 33(04): 1-5+17. [FANG W, XU X F, XU T, et al. The latest progress of OCTG standardization [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2017, 33 (04): 1-5 + 17.]
- [98] 方伟, 张华, 许晓锋, 等. 石油管材标准体系现状及建设规划[J]. 石油管材与仪器, 2021, 7(01): 88-93. [FANG W, ZHANG H, XU X F, et al. Current situation and construction planning of petroleum pipe standard system [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2021, 7 (01): 88-93.]

- [99] 刘亚旭, 李鹤林, 杜伟, 等. 石油管及装备材料科技工作的进展与展望[J]. 石油管材与仪器, 2021, 7(01): 1-5. [LIU Y X, LI H L, DU W, et al. Progress and prospect of scientific and technological work of petroleum pipe and equipment materials [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2021, 7 (01): 1-5.]
- [100] 冯耀荣, 李鹤林, 徐婷, 等. 我国油井管标准化技术进展及展望[J]. 石油管材与仪器, 2021, 7(03): 1-6. [FENG Y R, LI H L, XU T, et al. Progress and prospect of standardization technology for oil country tubular goods in China [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2021, 7(03): 1-6.]

(责任编辑 陈勉 编辑 马桂霞)