

我国石油天然气管材再制造发展战略研究

“我国石油天然气管道再制造发展战略研究”课题组

摘要：管材作为石油天然气勘探、开采、运输的重要材料，由于腐蚀、磨损、结垢造成的管材失效，而被大量废弃，在油田堆积如山，造成了巨大的资源浪费和环境污染。本文分析石油天然气废旧管材的处理现状及存在的问题，利用先进的再制造技术对管材再制造的经济效益、社会效益和环境效益进行了论证，提出自主创新的石油天然气管材再制造产业模式及发展建议，为我国石油天然气行业降本增效和节能减排目标的实现提供新理念、新技术，为促进石油天然气行业循环经济的建设提供决策建议。

关键词：石油；天然气；管材；再制造

中图分类号：TE9 **文献标识码：**A

Research on Development Strategies for the Remanufacturing of China's Oil and Gas Pipelines

The Research Group for the Research on China's Development Strategy for Oil and Gas Pipeline Remanufacturing

Abstract: Although they are an important means of prospecting, exploiting, and transporting oil and gas, many oil and gas pipelines have largely been abandoned due to tubing failure caused by corrosion, wear and tear, and scaling. Pipelines are piling up in oilfields, resulting in an enormous waste of resources, as well as environmental pollution. This paper analyzes the treatment status and existing problems of oil and gas pipelines waste. Using an advanced remanufacturing technology, it demonstrates the economic, social, and environmental benefits of remanufacturing pipelines. In addition, this paper suggests an industrial mode for the remanufacturing of China's oil and gas pipelines, and describes some development proposals to promote independent innovation. These authors present a new concept and new technology that will decrease costs and increase benefits in China's oil and gas industry, achieve the goal of energy conservation and emissions reduction, and promote the construction of a circular economy in the oil and gas industry.

Keywords: oil; gas; pipelines; remanufacturing

石油天然气作为基础能源被广泛应用于人类生活的各个领域，已成为社会生产力发展的主要促进因素。随着石油行业大量新油井的不断投产，管材使用量呈逐年递增的趋势。中国石油天

然气集团公司国内的 15 个油田，拥有井下油管近 4.4×10^8 m，约为 4×10^6 t；中国石油化工集团公司国内的 12 个主要油田，拥有井下油管 2.2×10^8 m，约为 2×10^6 t [1]。

收稿日期：2017-04-25；修回日期：2017-05-19

联系人：郭蕾，E-mail: jordon230@163.com

资助项目：中国工程院咨询项目“我国石油天然气管道再制造发展战略研究”（2015-XY-28）

本刊网址：www.enginisci.cn

一、我国石油天然气管材报废、修复现状及存在的问题

(一) 石油天然气管材报废现状

由于油气中含有 H_2S 、 CO_2 等气体，以及管材所处地的土壤盐碱化程度、地下水矿化度、氯离子含量等介质因素，造成管线内外的腐蚀。此外，由于油井广泛采用注水开采，随着开采年限增加，含水率逐年上升，一些老油井含水率超过 80%，这些诱因导致管线出现锈蚀、穿孔、泄露、爆管等，严重影响油气田的安全生产及周边环境。据统计，国内油气田每年报废的油管约为 7×10^5 t [1]。

(二) 石油天然气管材修复现状

目前采用的管材修复技术仍为传统处理技术。以油管为例，油管修复工艺的一般程序为：分选—清洗—校直—探伤—车螺纹—换接箍—试压—通畅。从图 1 中可以看出，传统油管修复过程仅仅是旧油管的分选过程，油管腐蚀、磨损所造成的缺陷并没有从根本上得到修复。而仅有少量的油管可以采用一些简单的修复技术进行修复，且修复率有限。而且油管在初选、探伤、试压、通畅环节中都会有产品报废的情况发生，进而导致人力、物力、财力的浪费。

传统处理技术只是对废旧管材进行简单的处理，并没有对管材的性能进行提升，管材的使用寿命仍为其自身的剩余寿命，修复后的管材仅有少量能进行降级使用，而大部分作为油田报废材料堆放在料场，只能作为资产账目上的数字存在，彻底失去价值，造成极大的浪费。

(三) 石油天然气管材资源化利用存在的问题

目前，针对这些废弃的管材，仍缺乏科学合理

的解决办法，基本上采用降级使用或回炉冶炼，造成极大的资源浪费和环境污染。

1. 理念滞后问题

长期以来，由于我国石油天然气产业结构对管材资源化没有明确的定位、需求和发展态度，致使相关部门在制定石油天然气产业发展规划时，对石油天然气行业可持续发展的需求研究不足，有些政策和法规对管材资源化的发展客观上设置了障碍。同时，各个油气田的具体情况各有不同，且各部门或机构对管材资源化的认识深度不一致，管材资源化理念在我国石油天然气行业发展的重要意义尚未引起足够的重视。

2. 技术瓶颈问题

油田管材的使用及废旧处理主要由各个油田负责，而油田作为石油天然气的生产企业，对废旧管材的处理技术关注不够，未投入专门力量进行研究，导致管材的修复仅采用相对简单的维修技术，只是对废旧管材进行简单的清洗、校直、探伤、换接箍等工作，并没有对材料本身防腐、耐磨、抗结垢、耐压性等性能进行改进，修复后的管材达不到管材使用标准，更多的只能进行降级使用。

3. 环境污染问题

由于缺少有效的管理和科学规范的处理方法，一些废旧管材直接暴露于环境中，最后形成固体垃圾，造成空气、土壤和水质的严重污染。清洗过程中有些单位采用酸洗、碱洗等清洗方法，这些清洗方法会对环境造成严重污染，且存在一定的安全隐患。此外，不合理的清洗、修复过程中产生的废气、废水、废渣对生态环境产生负面影响。

二、我国石油天然气管材再制造发展战略研究

中国工程院工程管理学部于 2015 年启动了“我

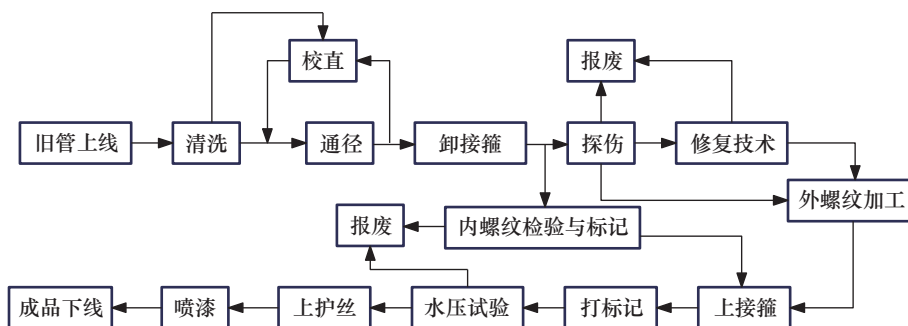


图 1 油管的传统处理工艺流程

国石油天然气管道再制造发展战略研究”咨询项目，经过6位院士和近50位专家的辛勤工作，先后调研了包括西南油气田、塔里木油田、新疆油田、吐哈油田、吉林油田、冀东油田、华北油田等，从石油天然气管材再制造的定义、内涵、特点、再制造体系、关键技术、效益等几个方面进行深入分析，形成了我国石油天然气管道再制造发展战略研究报告。

（一）再制造的定义、内涵及特点

1. 再制造的定义

再制造是以产品全寿命周期理论为指导，以优质、高效、节能、节材、环保为准则，以先进技术和产业化生产为手段，进行修复、改造废旧装备的一系列技术措施或工程活动的总称 [2,3]。

2. 再制造的内涵及特点

再制造是相对于制造而言。制造是生产新产品的过程，将原材料加工成适用的产品，以满足市场对产品的需求。再制造是将达到使用寿命的产品通过修复和技术升级改造使其达到甚至超过原型产品的加工过程。再制造是制造产业链的延伸，是绿色制造的重要组成部分，相对于以原始资源为基础的制造而言，再制造生产过程的能源和资源需求、废物废气排放显著降低。再制造的重要特征是：再制造后的产品质量和性能不低于新产品，成本只是新产品的50%，同时节能60%、节材70%，对环境的不良影响显著降低 [2,3]。

3. 自主创新的再制造产业模式

欧美等国家的再制造是在原型产品制造工业的基础上发展起来的，通常在设计阶段提出可再制造指标，技术上主要以“换件修理法”和“尺寸修理法”为主 [1]。“换件修理法”是将损伤零件整体更换为新品零件，“尺寸修理法”是将失配的零件表面尺寸加工到可以配合的范围，这种模式的缺点是资源能源消耗大，旧件再制造率低。

我国的再制造是在维修工程、表面工程基础上发展起来的，主要采用“尺寸恢复法”和“性能提升法”，可使再制造率显著提高、资源能源消耗显著降低，具有突出的节能减排效果 [3]。

我国从20世纪末开始对再制造的基础理论和关键技术进行系统研究与实践，目前已探索形成了“以高新技术为支撑，以恢复尺寸、提升性能的表

面技术为手段，产学研相结合，既循环又经济”的特色再制造产业模式 [2]，受到了国内外的广泛认可。

（二）石油天然气管材再制造体系研究

我国石油天然气管材再制造作为刚刚兴起的产业，经过近几年的发展，围绕全寿命周期理论，已经初步形成了以旧件清洗、检测评估、再制造关键技术、推广应用为主体的循环经济产业模式，构建了石油天然气管材再制造技术及管理体系，如图2所示。

（三）石油天然气管材再制造关键核心技术

1. 绿色清洗技术

借助清洗设备或清洗液，采用机械、物理、化学或电化学方法，去除管材表面及内壁附着的油脂、锈蚀、泥垢、积碳等污染物，使管材表面达到所要求的清洁度。常用的清洗技术有：热能清洗技术、液流清洗技术、压力清洗技术、喷射清洗技术、泡沫喷射清洗技术、高压水射流清洗技术、摩擦与研磨清洗技术、电解清洗技术、超声波清洗技术等。

2. 无损检测与寿命评估技术

在不破坏材料完整性的基础上对管材内部、表面/近表面质量性能进行评价，通过光、电、声、磁等技术分别对再制造前的管材开展无损检测，以及再制造后的管材进行寿命预测评估。目前已有多种无损检测技术引入到管材再制造的质量控制领域，其中超声检测、射线检测、涡流检测、磁粉检测和渗透检测是最为常用的五种无损检测技术。

3. 表面工程技术

表面工程技术是再制造的核心环节。通过各种表面工程技术、材料加工技术等使损伤失效零件恢复尺寸和性能，达到零件服役要求。我国自主创新的再制造模式是基于先进表面工程的“尺寸恢复”与“性能提升”方法，利用先进的表面工程技术，将失效零件恢复到原尺寸，并保证其质量和性能不低于原型新品，大大降低了生产成本，最大限度地满足了节能减排的要求。根据石油天然气管材失效形式、损伤程度和服役性能要求，纳米复合电刷镀、热喷涂、离心自蔓延、纳米涂料等表面工程技术可对其进行再制造。



图 2 我国石油天然气管材再制造技术及管理体

(四) 石油天然气管材再制造效益分析

1. 经济效益

(1) 直接经济效益

据统计，每米新油管及防腐费用需 120 元，而废旧油管再制造成金属陶瓷复合油管为 69 元，每米可节约 51 元。再制造 5×10^5 t 废旧油管（约 5.5×10^7 m），可节省投资约 28.05 亿元 [4]。另按照国家“以旧换再”可获 10% 补贴的政策，可获补贴 4 亿元。就再制造企业而言，再制造 5×10^5 t 废旧油管，企业可创造产值 40 亿元，上缴税金 5 亿元。

(2) 间接经济效益

5×10^5 t 再制造油管可用于 4 万口油水井，按分别提升注水井和油井的 50% 和 20% 修井周期统计，注水井、油井分别减少修井 1~2 次，间接减少经费投入 12 亿元。

2. 社会效益

(1) 减少安全隐患

油气管道的安全直接影响企业生产秩序、地方

经济发展、社会稳定以及国家能源的安全供应。油气管道一旦失效，不仅会造成巨大的经济损失，还极易破坏环境，引起人员伤亡等重大事故 [5]。再制造管材不仅可以使废旧管材尺寸得以恢复，同时可以提高其性能。其防腐性能是原型新品的 5 倍以上，耐磨性能较新品提升 3 倍，抗结垢性能是新品的 2 倍，可以大大提高管材的服役性能。

(2) 增加就业岗位

再制造属于劳动密集型产业，石油天然气废旧管材再制造过程中所涉及的回收、拆解、检测、表面工程技术、机械加工等环节将带动一批相关产业，解决就业问题。据统计，再制造 5×10^5 t 废旧管材，可提供 3 000 个就业岗位。

3. 环境效益

(1) 节材方面

管材再制造是直接利用废旧管材进行生产。原管材在第一次制造中的大部分材料（85%~95%）和能源（约 85%）得到了保存，减少了因新管材生

产所需材料和能源对原生矿产的开采。同时再制造油管使用寿命是普通油管的3倍以上,可节省两份新管的投入。据此计算, 5×10^5 t 废旧油管再制造,可节省钢材 1.68×10^6 t。

(2) 节能、减排方面

再制造作为循环经济的重要形式,能够极大地节约能源,减少温室气体的排放。再制造 5×10^5 t 油管较制造新油管节能93%,可节约 1.73×10^6 t 标准煤,节水约 7.56×10^6 t,减少 CO_2 排放量约 3.36×10^6 t。

综上所述,管材再制造减少了废旧管材的环保处理量和新品的生产量,降低了环境污染,增加了就业机会,具有显著的经济效益、社会效益和环境效益,可为石油化工行业的降本增效、节能减排目标的实现提供技术支撑。

三、我国石油天然气管材再制造发展建议

石油天然气管材再制造以节约资源、节省能源、保护环境为特色,以信息技术、纳米技术、生物技术等高新技术为核心,充分开发和利用废旧管材蕴含的价值,缓解资源短缺与浪费的矛盾,降低因大量失效、报废管材所造成的环境污染,是废旧管材资源化的最佳途径[6]。目前我国石油天然气管材再制造产业仍处于起步发展阶段,为更加科学合理地推进我国石油天然气管材再制造产业的发展,提出如下建议。

(一) 推广普及管材再制造理念,提升管材再制造的认知度

石油天然气管材再制造目前我国刚刚兴起,了解管材再制造的企业不多,应用的企业更少。为了提高对管材再制造的认知,需运用多种方法开展多种形式的管材再制造产业宣传活动,积极推广管材再制造产品的使用,加强对管材再制造的节能减排、降本增效等优势的报道,提升管材再制造的“品牌”认知度。

(二) 建立石油天然气管材再制造“政产学研用”协同创新体系

以政府为引导,高校、科研院所为技术创新支撑,企业为技术创新主体,深化“政产学研用”

的深度融合,加强各类创新主体之间的协同作用,提升我国石油天然气管材再制造行业的协同创新能力。

(三) 完善石油天然气管材再制造标准体系与法律体系

积极推进管材再制造的质量标准、技术标准、管理标准等标准体系的建立,重点围绕废旧管材的设计、回收、拆卸、清洗、检测、再制造加工、检验等操作的规范性,健全我国石油天然气管材再制造标准体系与法律法规。

(四) 积极推进自主创新的管材再制造产业模式

石油天然气管材再制造产业应结合其自身特点,以全寿命周期理论为指导,以“恢复尺寸、提升性能”的表面工程技术为依托,“产学研”相结合,加大力度推进既循环又经济的再制造产业模式。推进高效拆解、绿色清洗、无损检测、寿命评估、先进表面工程技术等绿色、高效再制造关键技术再制造行业中的应用,确保管材再制造产品质量,结合互联网+等技术建立管材再制造逆向物流管理和评估平台,通过与正向物流链接,利用信息流引导控制技术流、设备流、材料流和人员流,围绕全寿命周期理论构建管材再制造服务体系。促进国家循环经济的发展。

(五) 加强石油天然气管材再制造产品认证

石油天然气管材再制造认证工作的开展,可以提高企业及产品在消费者心中的认可度,增强消费者对再制造产品在可靠性、安全性等方面的认知。为了使石油天然气管材再制造获得良好的发展环境,不仅要再对再制造管材的质量进行认证,还应对再制造企业的资质和再制造企业管理体系进行认证,建立石油天然气管材再制造产品认证目录。

(六) 围绕“一带一路”战略,带动石油天然气管材再制造产业“走出去”

随着国家“一带一路”战略布局的持续推进,以俄罗斯、哈萨克斯坦、土库曼斯坦、阿塞拜疆、伊朗、沙特阿拉伯等为代表的“一带一路”主要资源国的多数油气资源已经基本钻探完成,发现

大型油田的可能性越来越小, 油田开采成本日趋增加。与此同时大多油田均已步入开发后期, 与之相伴的管材维修保养、报废等问题也会随之而来, 这就为我国的石油天然气管材再制造产业走向世界提供了机遇, 一方面可为我国带来巨大的经济利益, 另一方面也将提升我国石油天然气行业的核心竞争力。

致谢

《我国石油天然气管道再制造发展战略研究》项目研究历时 1 年, 感谢中国工程院管理学部的立项支持以及在项目研究过程中的指导, 感谢孙永福、王玉普、李鹤林、袁晴棠、胡文瑞等院士及中国石油集团勘探开发研究院、宁夏石油装备再制造有限公司等相关单位对项目的指导和支持。

参考文献

[1] 于洋. 再制造让废旧油管重生——访中国工程院院士徐滨士

[J]. 中国石油石化, 2014 (15): 12-16.

Yu Y. Remanufacturing gives new life of the waste oil pipe—Interview with Chinese Academy of Engineering Xu Binshi [J]. China Petrochem, 2014 (15): 12-16.

[2] 徐滨士. 装备再制造工程的理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

Xu B S. Theory and technology of equipment remanufacturing engineering [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.

[3] 徐滨士. 再制造与循环经济 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Xu B S. Remanufacture and recycling economy [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2007.

[4] 吴晨. 一个利国利民新产业——我国废旧油管再制造技术突破及发展潜力情况调查 [N]. 石油商报, 2014-06-27(1).

Wu C. A new industrial investigation on technology innovation and development potential of waste oil pipe remanufacturing in China [N]. Oil Daily, 2014-06-27(1).

[5] 孙浩然. 国外油气管道安全保护对我们的启示 [J]. 中小企业管理与科技, 2015 (11): 129.

Sun H R. Enlightenment from foreign oil and gas pipeline safety protection [J]. Management & Technology of SME, 2015 (11): 129.

[6] 郑天阳. 再制造让循环经济焕发生机 [N]. 科学导报, 2015-08-14(3).

Zheng T Y. Remanufacturing gives circular economy a new outlook [N]. Science Review, 2015-08-14(3).