



石油石化 金属材料应用及发展

张国信 熊建新 龚宏 苏航 主编

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF
PETROLEUM AND PETROCHEMICAL
METAL MATERIALS

非外借



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油石化金属材料应用及发展

张国信 熊建新 龚 宏 苏 航 主编

中國石化出版社

内 容 提 要

本书详细阐述了石油石化金属材料的应用及发展。全书内容分为四部分,第一部分介绍了石油石化金属材料的应用现状,包括石油地质专用管、油气长输管线焊接钢管、大型储罐用钢、压力容器用钢的应用和研发情况,以及金属材料的分类和特点,包括国内外低合金钢、不锈钢、耐蚀合金钢、钛合金以及焊接材料等;第二部分具体论述了油田用金属材料、油气储运金属材料 and 炼油、化工以及煤化工用金属材料,内容包括选材原则、国内外应用现状、存在的问题和需求与趋势;第三部分介绍了石油石化金属材料的检测以及石化设备常见的腐蚀及失效分析;第四部分结合石油石化行业发展趋势,对石油石化金属材料的未来发展进行了展望。

本书可供从事石油石化金属材料研发、生产、使用的工程技术人员使用,也可供从事物资采购、材料管理的技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油石化金属材料应用及发展 / 张国信等主编.
—北京:中国石化出版社,2018.10
ISBN 978-7-5114-4899-6

I. ①石… II. ①张… III. ①石油化工-化工设备-金属材料-研究 IV. ①TE960.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 234281 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 24 印张 516 千字
2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷
定价:120.00 元



《石油石化金属材料应用及发展》

编 委 会

顾 问：徐 钢 李 波 王妙云 刘 跃

主 编：张国信 熊建新 龚 宏 苏 航

编委会：（以姓氏拼音字母为序）

中国石油化工集团公司：

白冶红	白 桦	陈崇刚	狄 彦	段 瑞
方 华	范 伟	龚 宏	郭为民	郭文元
何承厚	姜志阳	蒋海军	李广月	李群生
刘 欢	刘锦昆	刘 跃	卢衍波	戚志强
孙丙向	苏 月	王金光	王建军	王妙云
徐 钢	熊建新	叶海超	杨俊岭	余良俭
元少昀	张国信	张迎恺		

中国钢研科技集团公司：

鲍 磊	顾 虎	高宏斌	李 波	李箕福
刘清友	罗小兵	赖 艳	茅益明	马章林
潘 涛	邵 冲	苏 航	孙新军	宋志刚
汪 兵	汪海波	徐廷浩	杨 钢	郑文杰

前 言

石油石化是国家的支柱产业，在我国国民经济的发展中发挥着不可替代的作用。石油石化工业是迄今为止使用金属材料种类最多、腐蚀介质最复杂和承受大量各种复杂载荷的工业体系。金属材料是石油石化行业中应用最广泛、不可或缺的资源，石油石化的各生产领域，如石油勘探和开采、油气输送、石油炼制和化工、原料和产品储存等，都需要使用不同的装备。这些装备，大到钻机、压力容器和管道，小到泵阀、管件，都离不开金属材料。金属材料在使用中还要承受各种苛刻的工作条件，如强腐蚀、高温或低温、高压、高磨损等。金属材料是石油石化的发展基石，材料安全关系到装置的安全生产、经济效益、发展规模和企业形象。国际上石油石化装备的每一次重大进步也都是以材料技术进步为先导，并集中反映在石油钻采、石化容器、管道、机械等主要石油石化材料应用领域。

随着中国石油石化行业的快速发展，材料问题已日益成为石油石化技术进步的制约因素。一方面，装备大型化、原料劣质化、装置长周期运行要求对材料的服役性能提出更高要求；另一方面，高硫油气田开采、页岩油/气开采、煤制气、煤化工等绿色低碳战略新兴业务对新材料的应用需求逐渐增多，特别是对具有耐高压、高温、低温、腐蚀及磨损等特殊要求材料的研究和应用提出了迫切需求。

为了满足石油石化工程和装备发展的战略需求，2013年，中国石化科技部、物装部联合中国钢研科技集团公司、中国石化工程建设有限公司、中石化洛阳工程有限公司等多家单位或部门共同组织开展了针对中国石油石化装备（主要包括油气开采与管输、炼油化工、煤化工装备等）用金属材料的专题调研，以掌握中国石油石化装备的材料应用现状、存在问题，预测未来材料和装备发展需求，确定未来新材料技术攻关方向，以使金属材料的技术研发有利于促进石油石化装置向大型化、高参数、集成化方向发展和满足劣质原料加工、实施新工艺新技术的要求、实现装置长周期运行的目标。

调研组经过历时约1年的石油石化用户企业、钢铁生产企业、设备制造企业及相关研究机构的现场走访和数据调研,走访了10个省市自治区,20个城市,27个企业研究院所,50余个场、站及附属单位,收集了数百万字的资料和近千张现场照片,前后召开了20余次现场会议,最终于2015年5月完成了“石化用钢应用现状及发展需求调研报告”,并通过了中国石化集团公司的技术鉴定。

《石油石化金属材料应用及发展》是在上述调研课题和调研报告的基础上,组织有关专家经过反复讨论,重新编排结构、精心甄选内容编写而成。编写过程中,结合本书的宗旨,根据需要对内容作了必要的增补或筛选,并在调研报告基础上提出石油石化行业用金属材料的发展趋势和方向,为行业读者提供更加有价值的参考建议。

本书从材料特性、材料应用两个视角分别阐述了石油石化金属材料的品种特点以及应用需求。全书分为四部分:

第一部分为第1章和第2章,总体上介绍石油石化金属材料的应用现状,包括石油地质专用管、油气长输管线焊接钢管、大型储罐用钢、压力容器用钢的应用和研发情况,以及金属材料的分类和特点,包括国内外低合金钢、不锈钢、耐蚀合金钢、钛合金以及焊接材料等。

第二部分为第3章至第5章,具体论述油气田用金属材料、油气储运用金属材料 and 炼油、化工以及煤化工用金属材料,内容包括选材原则、国外应用现状、国内应用现状、存在的问题和需求与趋势。

第三部分为第6章,介绍石油石化用金属材料的检测以及石化设备常见的腐蚀及失效分析。

第四部分为第7章,结合石油石化行业发展趋势,针对产业发展对金属材料的需求,对石油石化用金属材料的未来发展进行了展望。

本书的数据和内容来自生产和科研一线,较好地反映了中国石油石化各生产领域内金属材料的应用现状,并针对性地提出了发展需求和展望,同时,本书还紧密结合了国内外在用相关材料标准的应用情况,对国外相应的金属材料应用也作了较深入的对比分析。这使得本书既可供广大工程技术人员、科研工作者使用,也可为企业营销人员和管理部门提供有益的参考。

由于编者水平以及时间的限制,本书难免存在疏漏或错误之处,欢迎读者批评指正!

目 录

第 1 章 石油石化用材料概述	(1)
1.1 石油石化工业发展现状	(1)
1.2 石油石化用材料分类	(2)
1.3 我国石油石化装备及工程用金属材料	(2)
1.4 石油石化用钢目前存在的问题	(6)
第 2 章 石油石化用主要金属材料	(8)
2.1 石油石化用低合金钢板	(8)
2.2 石油石化用低合金钢管	(31)
2.3 石油石化用不锈钢	(55)
2.4 石油石化用耐蚀合金	(73)
2.5 石油石化用钛合金	(85)
2.6 石油石化泵阀用不锈钢、耐蚀合金及有色金属材料	(113)
2.7 石油石化用焊接材料	(126)
第 3 章 油气田金属材料应用	(141)
3.1 井筒工程用金属材料	(141)
3.2 地面工程用材	(185)
3.3 海洋工程用金属材料	(205)
第 4 章 油气储运用材	(228)
4.1 大型原油储罐	(228)
4.2 低温储罐及球罐用镍系低温钢板	(234)
4.3 长输管线用材	(240)

第 5 章 炼油化工用材 (257)

5.1 炼油用材 (257)

5.2 化工用材 (283)

5.3 煤化工用材 (300)

第 6 章 石油石化用材检测、失效与腐蚀防护 (319)

6.1 石化用材的检测与评价 (320)

6.2 金属材料失效分析 (328)

6.3 石油化工装置常见腐蚀类型 (331)

第 7 章 石油石化用材的未来发展与展望 (358)

7.1 油气田用材未来发展展望 (358)

7.2 石化装备发展对材料的新要求 (361)

参考文献 (366)

第 1 章 石油石化用材料概述

1.1 石油石化工业发展现状

中国近代石油工业始于 19 世纪中叶,到新中国建立前夕,我国原油产量仅有 $12 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。新中国成立以后,石油工业进入了快速发展轨道,50 年代末 60 年代初,中国先后发现了克拉玛依、青海冷湖、玉门、大庆、胜利等油田,1956 年原油产量突破 $100 \times 10^4 \text{ t}$,1965 年原油产量突破 $1000 \times 10^4 \text{ t}$,1978 年原油产量突破了 $10000 \times 10^4 \text{ t}$,到 2015 年原油产量达到 $21500 \times 10^4 \text{ t}$ 。伴随着我国天然气成藏理论认识与油气勘探工程技术的进步,建成了以鄂尔多斯、塔里木、四川盆地等地为主的天然气主产区,天然气产量由建国初期的 $0.1671 \times 10^8 \text{ m}^3$ 发展到 2015 年的 $1271 \times 10^8 \text{ m}^3$,目前,我国油气勘探开发技术总体上已经接近或达到了世界先进水平,一些主要专业领域的技术水平,如复杂断块油藏勘探、三次采油技术已经居于世界领先水平。稠油、高凝油、低渗透等低品位油藏开发技术也居世界前列。以水平井和酸化压裂技术为代表的非常规油气勘探开发已经取得重大突破,2015 年我国页岩气产量 $44.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,页岩气勘查新增探明地质储量 $4373.79 \times 10^8 \text{ m}^3$,剩余技术可采储量 $1303.38 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

中国炼油工业从建国初期的炼油能力仅为 $17 \times 10^4 \text{ t/a}$ 起步,1964 年达到了 $1000 \times 10^4 \text{ t/a}$,1983 年达到了 $10000 \times 10^4 \text{ t/a}$,1996 年达到了 $20000 \times 10^4 \text{ t/a}$,2015 年达到了 $70000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。建立了镇海炼化、大连石化、茂名石化、上海石化、天津石化、青岛炼化等一批千万吨级的炼厂,成为仅次于美国的全球第二大炼油大国。我国广大石油化工工程技术人员通过近 70 年的不懈努力,先后研发出常减压蒸馏、催化裂化、加氢精制、加氢裂化、制氢、催化重整、延迟焦化、芳烃分离、歧化异构化等工艺和工程技术,并成功迈出国门,走向海外。

中国乙烯工业始于 1962 年兰州石化公司 5000 t/a 乙烯装置建成投产,2008 年乙烯产能达到 $1000 \times 10^4 \text{ t/a}$,2015 年达到 $2117 \times 10^4 \text{ t/a}$,我国成为仅次于美国的乙烯全球第二大生产国。经过 50 多年的发展,中国乙烯工业总体水平步入了世界先进国家行列,乙烯装置运行达到世界一流水平,2013 年采用中国自主知识产权建成的中国石化武汉分公司 $80 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯装置建成投产,为中国百万吨级乙烯裂解工艺技术和装备达到世界先进水平奠定了基础。

中国的煤化工始于 20 世纪 50 年代煤气化技术的研究与开发,近年来,我国煤化工产业得到了快速发展,已经开发出多种拥有自主知识产权的煤气化技术和煤化工技术,并成

功建成多套大型化煤化工装置，多项创新成果创造了世界第一，煤直接液化、煤间接液化、煤制烯烃、煤制油、煤制天然气和煤制乙二醇等技术已处于世界领先地位，截至 2015 年年底，我国已建成 19 套煤（甲醇）制烯烃、4 套煤制油、3 套煤制天然气和 9 套煤制乙二醇示范及产业化推广项目。

1.2 石油石化用材料分类

石油石化用材料按材质可分为碳素结构钢、低合金钢、高合金钢、镍基合金、钛合金、铜合金、铝合金、金属复合材料、非金属复合材料及其他材料等；按成材形状可分为板材、管材、复合板/管、型材、棒线材、铸锻件及连接材料（焊接材料、法兰、管件）等；按材料加工状态又可分为热轧、挤压、拉拔、热处理、铸造、锻造、机械复合、爆炸复合、轧制复合、堆焊复合等多种类型；按应用领域分可分为井筒工程用材料、地面工程用材料、炼油化工用材料、石油机械用材料以及海洋工程用材料等，如图 1.2-1 所示。

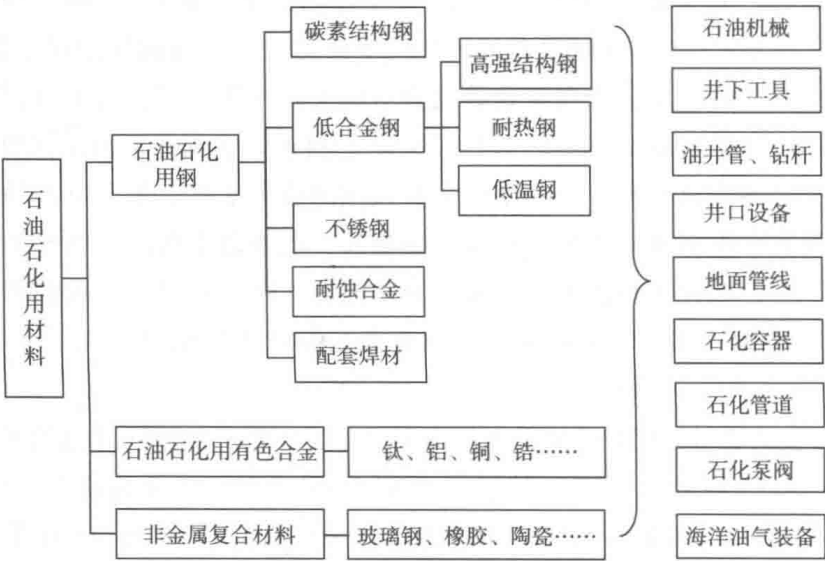


图 1.2-1 石油石化用材料分类

1.3 我国石油石化装备及工程用金属材料

1.3.1 石油石化行业用金属材料的主要品种和数量

我国石油石化行业规模以上企业按 2015 年投资 2.32 万亿元计算，消费钢材 $7000 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，主要品种包括石油地质专用管、管线钢、锅炉和压力容器用钢板、无缝钢管、焊接钢管、型钢以及螺纹钢和线材等。

目前，国产金属材料基本能够满足石油石化生产建设需要，但是一些运用于工况条件

苛刻的钢材品种仍需进口，如超高压钢管、特殊要求的合金以及部分双相钢。常用的主要钢材品种包括：

1.3.1.1 石油地质专用管

石油地质专用管需 $300 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右。其中 J55、N80、P110 等 API 标准系列占总量 70%，非 API 标准系列占总量 30%，需套管 $230 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右，需油管 $55 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右，需钻杆 $15 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右。

1.3.1.2 油气长输管线焊接钢管

油气长输管线主要包括天然气集输管线、原油集输管线和成品油集输管线。近年来，我国每年以 5500~6000km 建设速度建设油气长输管线，约需各品种管线钢 $150 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，其中 X80、X70 高钢级管线钢主要用于天然气输送管道干线，X65、X60 钢级管线钢主要用于天然气输送管道支线和原油输送管道干支线，X60、X52、X46 等钢级的管线钢主要用于成品油输送管道。

1.3.1.3 大型储罐用钢

储罐是石油石化行业中的重要设备之一，包括原油储罐、LNG 储罐、化工原料储罐等。中国石油石化行业各类储罐用板需 $30 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右，主要品种包括 12MnNiVR (SPV490Q)、Q345R、Q235B、06Ni9DR 以及用于乙烯、丙烯等化工低温球罐的高强度钢板，主要钢种为 07MnNiMoVDR (B610CF-L2)、07MnNiDR、08Ni3DR 和 15MnNiNbDR 等。

1.3.1.4 压力容器用钢

石油石化业用压力容器钢板涉及的标准、牌号和规格较多，常用的有碳素结构钢板，如 Q245R 等；低合金高强度钢板，如 Q345R、18MnMoNbR、13MnNiMoR 等；低温钢板，如 16MnDR、15MnNiDR、09MnNiDR 等；中温抗氢钢板，如 15CrMoR、14Cr1MoR、12Cr2Mo1R 等；不锈钢板，如 S11306、S30408、S32168、S30403、S21953 等以及不锈钢复合钢板，需用量在 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 左右。此外，在压力容器制造中还需要不同材质的锻件、钢管、焊材和棒材。

1.3.2 石油石化用金属材料研制情况

多年来，中国石化依靠国内研究机构和钢铁企业，依托重点工程项目，采取产学研相结合的方式，与中国钢研科技集团、宝钢、鞍钢、武钢、舞钢、南钢、天津钢管等钢铁企业共同开展了大线能量高强度储罐用钢、高镍基合金油管、高强度管线用钢、LNG 低温储罐用钢板、低温球罐用钢、特厚加氢合金钢板、抗硫管线用管等研制攻关工作，取得了丰硕成果，同时极大地促进了国内钢铁企业的技术进步。

1.3.2.1 大线能量高强度储罐用钢

随着石油石化工业的发展，原油储罐的大型化因具有节省钢材、减少占地面积、方便操作管理、减少油罐附件、节省投资等优点成为世界发展趋势。国外在 20 世纪 50 年代末期已经开始采用高强钢板建造 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 大型原油储罐，我国直到 80 年代中期才在秦皇岛由日本工程公司设计，日本钢铁企业供货并指导施工建成了首座 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 浮顶原油储

罐，由于进口钢板价格昂贵，交货周期长，严重制约着石化工程建设。

1996 年，中国石化北京燕山分公司为了满足 $1000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 原油加工能力的要求，决定联合中国石化工程建设公司、武汉钢铁公司等企业以我国低焊接裂纹敏感性钢材 20 多年研发成果为基础，开展国产化攻关，研制大线能量焊接高强度钢板，建造 4 台 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 原油储罐。

经过各参与研制攻关的企业近 3 年多时间的努力，完成大线能量高强度钢板 WH610D2 的研制以及焊接工艺等工作，各项数据均满足建造大型原油储罐用钢板的要求，钢板实物质量达到进口钢板水平。国产 WH610D2 大线能量高强度钢板首次成功应用于 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 大型原油储罐的建造，并随后大量运用于国家储备油库的建设工程，节省数十亿元投资，彻底打破国外厂商的技术垄断，使我国大型储罐用高强钢板的制造步入国际先进行列。

1.3.2.2 高镍基合金油管研发

根据我国能源战略的部署，中国石化制定了“准备南方，为中国石化油气勘探中长期发展寻找后备基地”战略方针，先后在四川盆地的普光、双庙、毛坝等地区加大勘探力度，经过 4 年多的艰苦努力，终于取得了历史性的突破，发现了迄今为止我国陆地最大的天然气气田。

普光气田的重大突破，推动了我国油气勘探理论发展，同时也给中国冶金行业，特别是钢管制造业带来严峻的挑战。自 20 世纪 70 年代以来，我国石油勘探队伍先后在塔河和川东北地区的作业过程中陆续发现油气伴生气体含有 CO_2 和 H_2S ，并随着钻井深度的增加，含量不断增加，川东北天然气中 H_2S 和 CO_2 含量之高，在国内外油气勘探开发史上也属罕见；同时地层水中含有较高浓度的 Cl^- ，管材的服役条件恶劣，给普光气田的开发带来了前所未有的难度。

2006 年，中国石化与宝钢、中国石油大学合作，针对高含 H_2S 和 CO_2 且地层水中富含氯离子的恶劣工况环境，由宝钢承担产品的技术研究和生产任务，中国石化中原油田分公司选择试验井并进行管柱设计，中国石油大学负责腐蚀试验性能评价。2009 年 6 月，通过开展冶炼技术、浇铸技术、热挤压技术、冷轧技术、热处理技术等关键技术的攻关、特殊气密封扣研制以及腐蚀性能的评价等相关工作，成功研制了在纯净度、力学性能、耐腐蚀性能和实体性能等方面均达到国际同类产品先进水平的高抗 H_2S 、 CO_2 腐蚀镍基合金油管，并顺利实现下井投用。国产高钢级、高抗硫、镍基合金油管的工业化应用，打破了国外厂商技术和市场的垄断，大幅降低了涉酸油气田的投入成本，为我国开采高含 H_2S 、 CO_2 的油气田提供了有力的装备保障。

1.3.2.3 特厚加氢合金钢板

加氢反应器是炼油加氢装置的关键设备之一，其操作条件苛刻，材料长期处于高温、高压及临氢工况环境。随着我国对油品质量要求越来越高以及加氢装置大型化步伐的加快，反应器的直径、壁厚也相应地需加大、加厚，大型锻件的制造能力已难以满足市场需求，板焊结构替代锻焊结构成为加氢反应器大型化发展趋势之一，厚度超过 120mm 的加

氢反应器用钢板需求量大幅增大, 而此钢板的生产集中在国外少数几家钢铁企业, 价格高且交货周期长, 制约着我国炼油工业的发展。

2010 年, 中国石化与舞阳钢铁公司合作, 先后研制开发了 137mm、150mm、198mm 厚 12Cr2Mo1R (H) 钢板, 经检测, 钢板的各项性能指标达到了国际先进水平, 满足了我国大型板焊加氢反应器用材的迫切需求, 打破了国外技术垄断, 降低了工程造价, 缩短了工程建设周期。

1.3.2.4 LNG 储罐用 06Ni9DR 钢板

随着全球环保压力增加和技术进步, 能源消费的低碳化趋势日益明显, 天然气作为清洁、优质能源, 对优化中国能源消费结构、改善大气环境具有重要作用。我国的 LNG 产量远远满足不了现代化发展的需求, 需要大量进口 LNG, 建设大型 LNG 储罐。储罐内罐是 LNG 储罐的核心部分, 不仅直接承受低温 LNG 的环境, 还要承受液氮的干燥和预冷温度, 温度将达到 $-196 \sim -163^{\circ}\text{C}$, 能够承受如此低温的材料仅有国外少数几家钢铁企业制造, 进口价格高, 制造周期长。中国石化 2013 年将大型 LNG 接收站设计、建造列入企业“十条龙”攻关项目, LNG 储罐用钢板国产化为其重要内容之一, 在中国钢研科技集团、南京钢铁联合有限公司、鞍山钢铁公司等企业的大力协助与密切配合下, 立足于制定具有国际先进水平的采购技术标准, 充分利用国内先进炼钢和轧制装备, 攻坚克难, 在取得大量实验数据的前提下, 成功制造出了高于进口钢板技术要求、实物质量达到国际先进水平的 LNG 储罐用钢板, 并在国内首次实现了采用国产 LNG 储罐用钢板建造大型 LNG 储罐, 大幅降低了工程投资, 促进了国内钢铁企业低温材料制造能力和水平的提高。

1.3.2.5 高强度管线钢的开发

管线是石油石化工业的血管, 原油、成品油、天然气的长距离输送均需通过管线钢制成的管线管实现。随着我国能源战略的实施, 油气的输送量迅猛增长, 为提高输送效益, 研制高强度管线钢, 提高输送压力就成为长输管线发展的关键。中国石油、中国石化依托西气东输、川气东送、西南成品油管线等重大工程, 在中国钢研科技集团、宝山钢铁集团、鞍山钢铁集团、华北石油钢管、中石化石油机械股份有限公司沙市钢管厂等企业共同参与下, 进行 X70、X80 抗大变形管线钢、高强度厚规格管线钢的合金化和组织控制技术以及制管技术的研究和工业生产运用, 产品性能达到国际先进水平, 并使我国高强度管线钢与制管技术迈入世界先进行列。

在国内钢铁研究与制造企业的大力支持和配合下, 目前石油石化行业所需石油地质专用管、油气集输用管线钢、压力容器用钢、大型结构型钢、特殊材质的管件及阀门用钢已基本实现国产化, 尤其是对大型储罐用钢、高镍基合金油管、大型 LNG 低温储罐用钢板、特殊环境用双牌号不锈钢、双相钢、抗大变形高强度管线用钢、低温球罐用钢、临氢 CrMo 钢板等高技术含量钢材的攻关研制, 使我国钢铁制造业掌握了一大批具有自主知识产权的材料制造核心技术, 部分石油石化用钢材的研究和制造水平在国际上名列前茅。

1.4 石油石化用钢目前存在的问题

目前,我国装备制造业进入了一个新的快速发展时期,中国石油石化工业所需装备和材料基本可以立足于国内生产,这使得中国石油石化工程建设成本大幅降低,建设周期大大缩短,装置运行成本费用不断下降,同时,装备与材料制造业的进步也促进了我国石油石化工程设计、建造和应用技术的进步。

但随着化石能源开采难度的日益加大,人类对安全环保要求的不断提高,石油石化企业竞争的日益加剧,生产所需装备与材料安全、稳定、长周期、经济运行的要求越来越高,装备和材料的性能和质量面临新的挑战,也相继产生了一些问题,给石油石化企业生产建设带来安全、环保隐患,其主要原因有以下方面:

1.4.1 标准

一是标准更新速度缓慢,性能指标总体要求相对较低,难以满足石油石化提质增效的要求;

二是标准交叉重复现象严重。目前,石油石化装备与材料用钢采用的标准种类繁多,标准的权威性和统一性亟待加强;

三是石油石化关键和重要装备用钢的制造标准体系还没有形成,制造商认证认可制度还没有建立,优胜劣汰的机制尚未建立。

1.4.2 材料性能与质量

一是少数制造企业为追求“低成本”,擅自变更成分控制范围,减少关键生产工序环节,导致产品加工及服役性能显著退化,影响了产品正常使用寿命;

二是少数制造企业对入厂原材料和关键部件把关不严,造成产品出现“木桶效应”,影响了整台装备的安全运行;

三是对特殊材料的关键工序、特殊工艺研究的不深、不透,造成性能指标达不到设计要求,迫使用户让步接收。

1.4.3 创新研发

一是研发前瞻性不够。当前,石油石化进入了一个高速发展的新时代,原料劣质化、来源多元化、产品多样化、装置大型化、工艺复杂化已经成为石油石化行业发展的显著特征,而石油石化用钢的研发往往滞后于石油石化工艺技术的发展;

二是研发创新性不强。石油石化用钢的研发还是以消化吸收国外产品和技术为主,基础研究和性能评价还亟待加强;

三是新产品推广力度不足。石油石化用钢涉及板、管、锻、焊、丝等金属材料的多种形态,在新产品研发方面往往缺乏系统配套性,严重制约了新材料的推广与应用。

1.4.4 材料的耐蚀性

一是材料服役的环境日益苛刻，材料面临的腐蚀由单一因素向多种腐蚀因素叠加转化；

二是材料的腐蚀环境日益复杂，材料腐蚀由单一类别向多种腐蚀形态共存转变；

三是针对多种腐蚀因素叠加和多种腐蚀形态共存的基础研究还非常薄弱。

1.4.5 石化装置大型化

一是大型化使工程设计面临新的挑战；

二是大型化给装备制造业提出了新的困难，钢板的轧制、铸锻以及机械加工能力都面临新的困难；

三是大型化给工程施工带来新的课题，超大型设备的运输、吊装以及现场的组对焊接都是新的课题。

第2章 石油石化用主要金属材料

2.1 石油石化用低合金钢板

2.1.1 概述

低合金钢是碳含量低于0.25%、合金元素总含量低于5%、综合性能明显优于普通碳素钢的一大类低合金结构钢的简称。它是在普通低碳钢的基础上，加入一种或多种少量合金元素，采用普通的冶炼和铸造工艺，通常在热轧状态下就能获得明显高于碳素钢的高性能，具有高强度和优良的塑性、韧性、焊接性、冷热加工性、耐蚀性、耐磨性和成型性。

2.1.1.1 分类

低合金钢是一类合金元素含量相对较低的低碳钢的总称，种类繁多，分类方法也颇多，每种分类方法都是根据某一方面的特性进行分类的，现有的分类方法大体上有以下几类。

按强度高低是最主要的分类方法之一：采用屈服强度的最低值分成295MPa、345MPa、390MPa、420MPa、460MPa、490MPa、590MPa、690MPa级；随着现代冶金装备和技术的不断发展，屈服强度级别也不断增长，目前已发展出785MPa、890MPa、960MPa甚至1100MPa以上级别。我国典型的低合金钢标准GB/T 1591《低合金高强度结构钢》即以屈服强度为主要依据进行牌号划分，例如，目前最常用的材料牌号Q345、Q390即为屈服强度最低值为345MPa和390MPa。按功能特性分类：有高强高韧钢、大热输入量焊接钢、耐大气腐蚀钢、耐海水腐蚀钢、耐磨钢、抗层状撕裂钢、抗疲劳钢、抗中子辐照钢等；按用途分类：有建筑用钢、桥梁用钢、船舶用钢、压力容器用钢、工程机械用钢、农业机械用钢、自行车用钢、车辆用钢和石油天然气用钢等。其中，涉及石油石化用低合金钢主要包括低合金钢容器板、钢管等。

目前，中国低合金钢产品标准主要有9个，包含牌号有70个，如表2.1.1-1所示。另外，还有许多专业用牌号及特殊用途牌号分别纳入不同的专业用钢标准。

表 2.1.1-1 纳入中国国家标准的高低合金高强度钢主要牌号

标准名称		标准号	主要牌号			
低合金高强度结构钢		GB/T 1591—2008	Q345	Q390	Q420	Q460
			Q500	Q550	Q620	Q690
船舶及海洋工程用结构钢		GB/T 712—2011	AH32	DH32	EH32	FH32
			AH36	DH36	EH36	FH36
			AH40	DH40	EH40	FH40
桥梁用结构钢		GB/T 714—2015	Q345q	Q370q	Q420q	Q460q
			Q500q	Q550q	Q620q	Q690q
锅炉和压力容器用钢板		GB/T 713—2014	Q245R	Q345R	Q370R	Q420R
			18MnMoNbR	13MnNiMoR	15CrMoR	14Cr1MoR
			12Cr2Mo1R	12Cr1MoVR	12Cr2Mo1VR	07CrAlMoR
焊接气瓶用钢板和钢带		GB/T 6653—2008	HP235	HP265	HP295	HP325
			HP345			
汽车大梁用热轧钢板和钢带		GB/T 3273—2015	370L	420L	440L	510L
			550L	600L	650L	700L
			750L	800L		
钢筋混凝土用钢	热轧光圆钢筋	GB/T 1499.1—2008	HPB235	HPB330		
	热轧带肋钢筋	GB/T 1499.2—2007	HRB335	HRB400	HRB500	
			HRBF335	HRBF400	HRBF500	
耐候结构钢		GB/T 4171—2008	Q235NH	Q295NH	Q355NH	Q415NH
			Q460NH	Q500NH	Q550NH	Q265GNH
			Q295GNH	Q310GNH	Q355GNH	

也可以按显微组织分类，通过对组织特征的区分，可与宏观力学性能、化学成分和生产工艺联系起来。这种按显微组织的分类方法往往为学术界所重视，据此主要可分为：

①铁素体-珠光体钢。一般低碳低合金钢在热轧或正火状态下可得到铁素体和珠光体组织。中国用量最大的低合金高强度钢 16Mn（现在按强度分类应为 Q345）在热轧状态下、15MnV 和 15MnTi 在正火状态下均为铁素体+珠光体组织。16Mn 钢的屈服强度 $R_{el} \geq 345\text{MPa}$ ，15MnV 和 15MnTi 钢的屈服强度均 $R_{el} \geq 390\text{MPa}$ 。在控轧控冷条件下，14MnNb 钢的铁素体晶粒可细化至 11~12 级，屈服强度可达 390MPa 以上。在控轧控冷条件下，铁素体+珠光体组织屈服强度的极限值可达 440MPa 以上，最大的生产厚度可达 30mm 以上。

②少珠光体钢。这类钢是从铁素体-珠光体钢发展而来的。通过降低碳含量（ $\leq 0.10\%$ ）、复合微合金化以及控轧控冷可得到超细微的铁素体组织，其中珠光体的体积分数很小，甚至珠光体基本消失。这类钢的屈服强度可达 440MPa 以上。由于碳含量的降低，这类钢的焊接性和低温韧性得到大幅度的改善。