文章编号: 1008-1542(2006)02-0097-06

中国石油钢管的发展前景展望

李鹤林[1], 吉玲康[1], 谢丽华[2]

(1. 中国石油天然气集团公司管材研究所, 石油管力学和环境行为重点实验室, 陕西西安 710065;
2. 浙江海洋学院石化学院, 浙江舟山 316004)

摘 要: 在阐述了中国石油钢管产品的发展历程和技术进步的基础上, 着重介绍了各主要钢管企业面对石油工业对石油钢管日益严格的技术要求, 积极研究开发新产品, 指出了中国石油钢管制造行业的广阔发展前景。

关键词: 石油钢管; 油井管; 油气输送管; 前景展望

中图分类号: TE9+. 104 文献标识码: A

Prospect of oil steel pipe in China

LI He-lin[1], JI Ling-kang[1], XIE Li-hua[2]

(1. Tubular Goods Research Center, Key Laboratory for Mechanical and Environmental Behavior of Tubular Goods, CNPC, Xi'an Shanxi 710065, China; 2. Petrochemical College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan Zhejiang 316004, China)

Abstract: Based on presenting development course and progress of the oil steel pipe products, the paper mainly describes the new product research and development in China steel pipe corporations, which are facing more and more strict technical requirements of the petroleum industry for oil pipes, and reveals the prosperity of China's steel pipe corporations.

Key words: oil steel pipe; tubing and casing; transportation pipe; prospect

石油钢管主要包括油井管(钻杆、钻铤、套管、油管等)和油气输送管 2大类, 其在石油工业中占有很重要的地位。石油工业是仅次于建筑行业的钢管消费大户。本文试图在对中国石油钢管的使用、生产历史进行回顾和发展现状分析的基础上[1], 对中国石油钢管的发展前景进行展望, 提出中国石油钢管的发展方向, 以期对中国的石油钢管发展有所帮助。

1 中国石油钢管发展的历史回顾

1.1 油井管发展历程回顾

中国生产油井管已有 50多年的历史, 但 20世纪 50- 70年代, 中国油井管的生产技术比较落后, 其数量、品种和质量都远远满足不了石油工业发展的需要。1978年以来, 虽然国家在油井管国产化方面做了很大努力, 使产量有所增加, 但是却远远赶不上工业对油井管的需求(从 1981年的每年 29万 t增加到 1990年的每年 90万 t左右)。例如, 1989年油井管的消耗量为 89万 t, 而从 1959年起到 1989年底, 中国全国才共生产油井管 81.2万 t, 即 30年的总产量还满足不了 1年的需求。1949- 1994年, 中国共进口油井管 1 150万 t, 中国国内总产量约 120万 t, 自给率仅 10%[2]。

1990年以来, 在冶金部和中国石油天然气总公司的统一领导下, 油井管的生产部门和使用部门协同攻

收稿日期: 2005-12-20; 修回日期: 2006-03-30; 责任编辑: 陈玉堂

作者简介: 李鹤林(1937-), 男, 陕西南郑人, 中国工程院院士, 高级工程师, 主要从事材料科学与工程方面的研究。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关,特别是“宝钢”、天津钢管公司投产后,国产量逐年大幅度提高(见图 1、图 2),国产化率已经由原来不足 10%上升到 1996年的 50%, 1997年的 60%,至 2002年国产化率已达 80%,使中国由一个油井管进口大国变成绝大部分自给,少量进口和有一定量出口的国家。

1980年前,钻杆和钻铤几乎 100%进口,经过近 20年的努力现已基本自给。

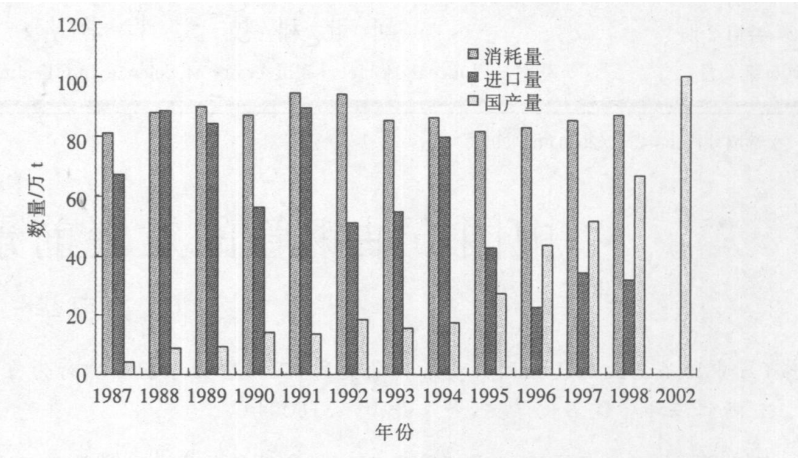

图 1 中国油井管消耗量、进口量和国产量

Fig. 1 Figures of consuming importing, self-suporting of Chinese oil well pipe

1.2 油气输送管发展历程回顾

管道输送是石油、天然气最经济和合理的运输方式。目前,全世界石油、天然气管线的总长度已超过 230万 km,并以每年 2万~3万 km的速度增加。中国从 1958年开始建设长距离原油输送管线(新疆), 1963年开始建设长距离天然气输送管线(四川)。

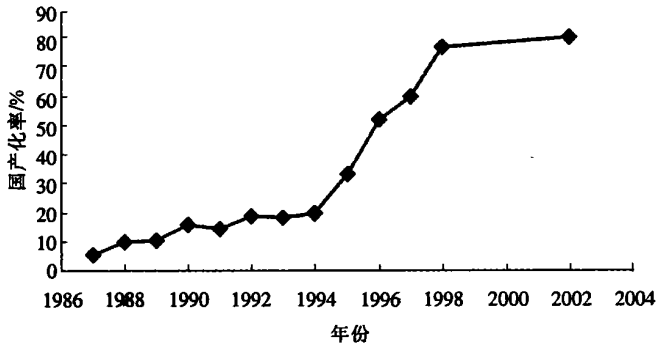

图 2 中国油井管国产化率

Fig. 2 Chinese oil well pipe self-supporting ratio

中国人的祖先在公元前 600年即开始用竹筒输送天然气,后来,英国人用木管和铅管输送天然气,其安全性极差。输送油、气的大口径钢管是 20世纪初首先在美国发展起来的。1926年,美国石油学会发布的 API 5L标准只包括 3个碳素钢级。1947年发布的 API 5LX增加了 X42, X46和 X52 3个钢级。1964年的 API 5LS将螺旋焊管标准化。1967–1970年期间 API 5LX和 5LS增加了 X56, X60和 X65 3个钢级, 1973年增加了 X70钢级。1987年 6月, API 5LX和 5LS合并于第 36版 SPEC 5L中。第 36版到现在的第 43版包括 A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70和 X80共 11个钢级。X100和 X120已开发成功,但尚未列入 API和 ISO标准。管道输送压力也从 1870年的 0.25 MPa发展到 1950–1960年的 6.2 MPa,当前新建管线的输送压力普遍达到 10 MPa以上(最高压力达 20 MPa左右)。

中国已建成的石油天然气长距离输送管线所使用的螺旋焊管,主要是由原中国石油天然气总公司的 6个焊管厂(宝鸡石油钢管厂、华北石油钢管厂、沙市石油钢管厂、辽阳石油钢管厂、资阳石油钢管厂、胜利石油钢管厂)生产的,螺旋缝焊管全面实现了国产化。X80螺旋缝埋弧焊管钢级也已经开发成功。2000年以来,为了迎战西气东输工程,“宝鸡”、“华北”等 6个石油焊管厂对螺旋缝埋弧焊管(SSAW)生产线进行了大规模技术改造,改进了成型、焊接工艺,加强了在线检验,增加了管端扩径工序, SSAW质量进一步提高。大量检验数据表明:国产 SSAW焊管与进口 UOE焊管的管体、焊缝、热影响区力学性能(包括 CVN和 DWTT)处于同一水平;而全尺寸爆破试验的爆破应力,国产 SSAW略高于进口 UOE焊管。

螺旋缝埋弧焊管使用的热轧板卷,在 20世纪 50年代到 70年代主要采用“鞍钢”等厂家生产的 A3, 16Mn; 70年代后期和 80年代则采用从日本进口的 TS 52K(相当于 X52); 90年代,塔里木 3条油气管线、鄯–乌输气管线、库–鄯输油管线和陕–京输气管线的 X52, X60和 X65热轧板卷主要由“上海宝钢”和“武钢”生产供应。现在,“鞍钢”、“本钢”、“太钢”、“梅钢”也都能生产高钢级 X系列热轧板卷。目前已经竣工和正在建设的“西气东输”工程、陕京二线工程等采用 X70钢级热轧卷板由“宝钢”、“武钢”等生产(少量从韩国 POSCO进口)。X80热轧板卷也已由“宝钢”、“武钢”、“鞍钢”试制成功。

中国在 1997年以前,还没有一套大口径直缝埋弧焊管生产机组。近几年巨龙钢管公司 JCOE焊管和番

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

禺珠江钢管公司 UOE钢管填补了中国直缝埋弧焊管的空白。

直缝埋弧焊管所使用的宽厚钢板以前主要依赖进口,但经过技术开发,目前中国的舞阳钢铁公司、鞍山钢铁公司相继开发成功 X80以下的宽厚钢板,目前已经用于西气东输和陕京二线等管线建设工程。X80钢级的宽厚板开发工作也已完成。“宝钢”的宽厚板生产线项目现在已经完成,同时其 UOE焊管生产线也即将启动。

直缝高频电阻焊管主要用于支线和城市管网,部分用于中、小口径干线,其生产厂家较多,代表厂家有宝鸡住金石油钢管有限公司等。

2　中国石油钢管发展展望

2.1　油井管发展展望

2.1.1　高性能钻柱构件

随着钻井工况趋于苛刻,API标准钻柱构件已不能满足某些服役条件,需要承载能力超过 S135的超高强度钻杆(在确保韧性的前提下提高钢的强度),能满足“先漏后破”准则并解决摩擦热裂纹问题的高韧性钻杆(提高钢的韧性)和能在含硫深井钻井中使用的高强度抗硫钻杆(提高钢的 SSCC抗力),高抗扭钻杆(改进接头的结构设计与改进接头和管体材料相结合)。

为确保钻井安全和钻井效率,钻柱构件的韧性必须满足“先漏后破”准则,即钻柱构件疲劳或腐蚀疲劳裂纹失稳扩展的临界尺寸应大于钻柱构件壁厚。根据断裂力学理论,临界裂纹尺寸与 $(K_{IC}/\sigma_y)^2$ 成正比。因此,材料屈服强度越高(或钻柱构件承受载荷越大),需要匹配的韧性越高[3]。

2.1.2　高性能油管、套管

在深井和其他苛刻工况条件下,钢级超过 Q125的超高强度套管,在强度提高的同时,必须大幅度提高韧性。其难点在于:1)Q125以上钢级套管需要匹配的韧性极高,号称世界级难题;2)钢的强度越高,提高 SSCC抗力越困难,硬度超过 HRC25是禁区。

钢的强度与塑性、韧性通常表现为互为消长的关系,强度高的常常塑性、韧性就低;反之亦然,即为求得高的塑性、韧性,必须牺牲强度。S135以上钢级钻杆和 Q125以上钢级套管,需要匹配的韧性极高,近年来一直是研究的热点。英国能源部指导性技术文件规定,压力钢管横向最低 CVN的计算公式为

$$CVN = \sigma_y/10 \qquad (1)$$

式中:CVN的单位为 J,σ_y 的单位为 MPa。

几年前,中国西部某深井完井测试时,V150套管产生螺旋状裂纹而导致这口井报废,直接损失上亿元。图 3所示为该套管井下成相图。失效分析认为,这种螺旋状裂纹是钢管潜在的螺旋状损伤(无损探伤难以发现)在承受很高的载荷(内压)后形成宏观裂纹的。而钢管的螺旋状损伤是穿孔工序形成的。

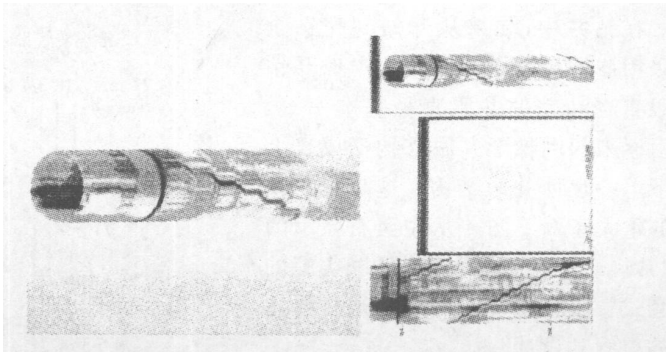

图 3　柯深-1井破裂套管井下成相照片

Fig 3　Downhole photograph of the fracture casing in Keshen-1 well

套管及油管内在的微小缺陷或损伤是难以避免的。其临界值与 $(K_{IC}/\sigma_y)^2$ 有关,即套管强度越高,需要匹配的韧性也越高。

中国石油天然气集团公司管材研究所正着手研究油井管的强韧性匹配问题,包括探索提高高强度油井管韧性的途径。

2.1.3　抗 CO_2 腐蚀油井管

近年来,世界范围一些严酷腐蚀环境油气田相继开发。国外加大了研究和开发抗 CO_2 及 CO_2, H_2S, Cl^- 共存(当然还有 H_2O)的耐腐蚀油井管的力度。中国已将抗 CO_2 腐蚀油井管列入“八六三”计划。

API Spec 5CT列有一个 13Cr钢级(L80-13Cr),而各生产厂均建立了自己的非 API钢级系列。以川崎制

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

铁为例, 其非 API 13Cr有 8个钢级, 即 KO-13Cr80, KO-13Cr85, KO-13Cr95, KO-13Cr110, KO-HP1-13Cr95, KO-HP1-13Cr110, KO-HP2-13Cr95和 KO-HP2-13Cr110。其中, 后 4个钢级称超级 13Cr。

在 CO_2和 H_2S共存, 或 H_2S分压未达临界但 Cl^-很高时, 13Cr钢 (包括超级 13Cr钢)是不能满足要求的, 需要采用 22Cr双相不锈钢 (ASF2205)或超级双相不锈钢 25Cr, 甚至要采用 w(Cr)为 20%以上、含 w(Ni)为 30%以上的高 Ni-Cr不锈钢和 Ni基合金。上述钢级的钢价格十分昂贵, 对于低产气田是无力承受的。因此, 抗 CO_2腐蚀油井管的正确选择和合理使用以及经济性的抗 CO_2腐蚀油井管也是研究的热点。近年来国内外都在研究开发 w(Cr)为 2% ~ 5%的经济型抗 CO_2腐蚀油井管。

2.1.4 连续管

连续管过去主要用于修井和完井作业。连续管钻井技术是近年来的一个研究热点。连续管是一种强度和韧性良好的钢管, 卷在滚筒上, 主要采用 ERW 焊管。现在已试制成功无缝钢管连续管, 其材料也由碳钢发展到低合金钢 (包括淬火回火钢)及钛合金。目前正在研制复合材料连续管。20世纪 80年代末能够制造外径 1, 1-1/4, 1-1/2和 1-3/4英寸 (1英寸 = 2.54 cm, 下同)的连续软管, 现已能生产 2, 2-3/8和 3-1/2英寸外径的连续管, 可满足小井眼钻井需要。连续管的屈服强度一般为 492 MPa或 562 MPa, 现已发展到 703 MPa。连续管用钢必须有良好的强韧性匹配, 以保证较高的低周疲劳寿命。

美国能源部正致力于以连续管技术为基础的小井眼钻井技术的开发和应用。每年计划用小井眼连续管技术钻 2万口浅开发井, 100口油藏数据监测井, 1 000口深勘探井, 3 000口重入井。目前美国共有 40万口井等待重新进行开发新油层。每年重入井钻井总费用至少 75亿美元。截至 2003年底, 全世界应用连续管技术共钻井 7 000余口, 其中加拿大连续管钻井占世界总量 90%。

美国应用小井眼连续管技术 (外径 ≤ 3-1/2英寸)钻井的成本目标比现有常规钻井技术节省 40% ~ 50%的开支, 最大深度 6 000英尺 (1英尺 = 30.48 cm, 下同)。西得克萨斯用常规技术钻一口 5 000英尺油井的总成本为 25~ 35万美元, 而小井眼连续管钻井成本为 15万美元。

中国生产连续管和用连续管钻井均是空白, 有关科研机构正起步研究开发工作。

2.1.5 膨胀管

膨胀管技术是近年发展起来的一项实用钻井技术。通过一种机械膨胀装置, 靠液体压力推进, 在膨胀锥体推进过程中使井下管件经过塑性变形达到扩大管径的目的。膨胀管分实体膨胀管和割缝膨胀管 2类。实体膨胀管主要用于: 封堵漏失层和高压水层; 封隔破裂带; 修补损坏套管和封堵已射孔套管; 取代常规尾管悬挂器和尾管悬挂器封隔器 (以达到保持井眼尺寸的目的); 常规套管的替代产品。割缝膨胀管主要用于: 封隔破碎带; 膨胀防砂网; 作为一种新的完井手段, 提高油井产量。

在钻井中, 如果从开钻到完钻全部采用膨胀管技术, 则可以实现开钻井眼直径和完钻井眼直径基本一致, 即由原来的倒梯形井眼结构变成自上而下单一尺寸井眼结构。这是钻井技术的重大革命。图 4从左至右显示的是"常规套管设计"、"目前可以实施的嵌套式膨胀套管设计"和"未来将要达到的单管井设计"。

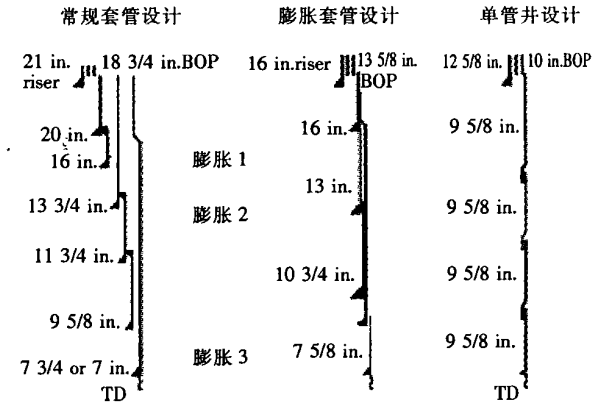

图 4 常规套管设计与膨胀套管设计及单管井设计比较

Fig 4 Comparison of conventional casing design with expandable casina design and single pipe well design

壳牌公司的研究人员估计, 实体膨胀管技术在降低钻井成本方面具有很大的潜力, 它可以将钻机场地缩小 75%, 钻井液减少 20%, 钻屑量减少 50%, 固井水泥减少 50%。

膨胀管钢材的选用是膨胀管钻井的关键技术之一: 膨胀管在井眼中被径向膨胀 (发生大塑性变形), 之后还要在严酷的井下环境中服役 (承受较大的外挤力、内压力, 有时还有腐蚀介质的侵蚀); 膨胀管应有足够的塑性变形能力, 膨胀后, 其力学性能、尺寸精度等应符合 API或有关标准的规定。

中国膨胀管研究工作已经进行了 3年, 总体上尚处于实验室阶段。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 2 油气输送管发展展望

当前, 油气管道业面临的挑战是: 在高寒、深海、沙漠、地震和地质灾害等恶劣环境下建设长距离、高压、大流量输气管道。因此, 急需开发如下高性能油气输送管[4]。

2 2 1　高强度 (X80及 X80钢级以上)管线钢及钢管

油气输送管道 (特别是天然气管道)总的发展趋势是持续提高钢管的强度水平, 以期最大限度降低管道建设成本和输送成本。X80是日本、欧洲和北美批量生产并正式投入使用的管线钢的最高纲级。X100和 X120管线钢也相继研制成功, 正在进行工业性试验。

世界著名的大石油公司积极开展 X80及 X80以上钢级管线钢的开发和应用研究: ExxonMobil公司 1996年分别与新日铁公司和住友金属公司签订了共同开发 X120管线钢的协议, 2001年已经全面完成, 2004年 2月在加拿大建成长 1. 6 km 的试验段。BP公司 5年前与几家钢铁企业和制管企业合作, 开发了 X100钢级 UOE焊管, 为了考核其止裂能力, 进行了多次全尺寸爆破试验。意大利 SNAM 公司用 Europipe公司生产的 X100, X80与 X70钢级进行对比试验, 认为 X80的现场焊接可以采用与 X70相近的工艺; 而 X100则有所不同, 但只要采取适当措施也可获满意结果。挪威 STATOIL公司对“新日铁”、“住友金属”、“NKK”、“川崎制铁”和 Europipe 5家公司提供的钢管进行了 X80钢级用于海底管道的可行性研究, 重点研究了可焊性、焊材匹配、焊接接头韧性与适应变形的能力, 获满意结果。

TransCanada管道公司 (TCPL)是积极推动高钢级管线钢的先驱。该公司近期动态: 1994 – 1995年开始将 X80钢级用于其管网, 建成了一条长 30 km 的试验管线, 迄今其管网中已有近 400 km的 X80钢级管线; X80钢管已成功地用于 Alberta省北部永久冻土地区。2002年, TCPL在加拿大 Salatoga建成了一条管径 1 219 mm、壁厚 14. 3 mm 的 X100试验段。为检验止裂性能, 用 36英寸管径的 X100钢管进行 2次全尺寸爆破试验, 试验结果与预测相符。

中国西气东输工程采用 X70钢级及 10 MPa的工作压力, 跟上了国外的发展水平。当前正在进行 X80钢级管线钢的研究, 应继续加大研究开发和应用力度, 并着手更高钢级的前期研究, 做好技术储备, 迎接国际上新一轮管线钢的升级。

2 2 2　低温状态高强度管线钢及钢管

埋地油气输送管道的最低运行温度一般为 0 ℃, 但对于裸露管线 (站场及悬跨管段等), 钢管的服役温度应按当地的最低温度考虑, 才能确保管道安全运行。在这种情况下, 管线钢的韧脆转变温度应低于当地的极限低温, 并且在该温度下有足够的韧性。这对高强度管线钢是相当困难的。

2 2 3　具有合适断裂控制性能的高强度管线钢和钢管

对输气管道而言, 由于气体减压波速度 (V_d)较低, 而钢管开裂速度 (V_m, 裂纹扩展速率)往往较高, 致使 $V_m \geqslant V_d$, 裂纹长程扩展, 造成灾难性后果。提高钢管的韧性, 可以降低裂纹扩展速率, 使 $V_m < V_d$ 而止裂。

如果输送的天然气是含有 C2– C5烃类的富气, 需要钢管有更高的止裂韧性值。因为天然气中 C2– C5烃类含量越高, 即热值越高, 其减压波速度越低。

X80钢级自 1978年问世迄今尚未大规模用于输气管道, 原因之一是断裂控制等问题未完全解决。输送钢管延性断裂的止裂与 CVN的关系, 主要采用 Battelle等机构的半经验公式进行计算, 并通过实物爆破试验修正。X70以下钢级已积累了大量数据, 其预测的准确性也得到公认。而 X80钢级的爆破试验数据太少, 预测的可靠性受到质疑。EPRG曾对外径 48英寸、壁厚 17 mm 的 X80输送管进行了全尺寸的天然气介质爆破试验。出乎预料的是一根冲击功高达 221 J的钢管发生了裂纹扩展, 而用 Battelle公式预测的止裂韧性为 125 J。

当前急需解决高强度管线钢高压输气 (特别是富气输送时)的止裂韧性预测可靠性问题, 并在此基础上开发具有合适断裂控制性能的高强度管线钢。而钢的强度与韧性互为相长的关系以及高压输送对管线钢止裂韧性较高的要求, 对钢铁材料高性能化和现代冶金技术提出了强烈的挑战。

2 2 4　抗 HIC管线钢及钢管

SSCC和 HIC是含 H_2S天然气输送管线主要失效模式。国外抗 SSCC和 HIC管线钢已自成体系。SSCC和 HIC的产生及严重程度决定于输送气体介质中的 H_2S分压。当 $p(H_2S) > 300$ Pa时必须对管材提出抗 SSCC和 HIC的要求。随着输气压力的提高, 要满足 $p(H_2S) \leqslant 300$ Pa则须将 H_2S的含量降得非常低, 例如 $p_0 = 10$ MPa时, 需要将 $\varphi(H_2S)$降至 0. 003% 以下。因此, 抗 HIC钢的需求量是相当大的。例如欧洲钢管公

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

司的抗 HIC油气输送管销售量已占 30% 以上。

国外批量供应的抗 HIC 管线钢主要是 X65钢级。抗 HIC 的 X70钢管已研制成功, 并在墨西哥一条管线上使用。中国抗 SSCC和 HIC管线钢的研发刚刚起步, 须加紧研制工作。

提高管材抗 HIC能力的措施: 1)提高钢的纯净度 采用精料及高效铁水预处理 (三脱)及复合炉外精炼; 2)提高成分和组织的均匀性 在降低硫含量的同时, 进行钙处理及钢水和连铸过程的电磁搅拌, 采用连铸过程的轻压下技术和多阶段控制轧制及加速冷却工艺, 限制带状组织等; 3)晶粒细化 主要在微合金化和控轧工艺上下功夫; 4)含量调节 尽量降低碳含量 (一般应 w (C) ≤0. 06%), 控制 Mn含量, 加 Cu。

2 2 5 抗 CO_2 腐蚀管线钢和钢管

油田腐蚀中, CO_2 腐蚀与防护的研究尚不够成熟, 而 CO_2 腐蚀的后果相当严重。其用于从油气井到处理厂间的内部集输管道 (未经脱水、H_2S和 CO_2)以及脱 CO_2 不理想的输气管线, CO_2 腐蚀问题应引起足够的重视。在 $p(CO_2) > 0.021$ MPa的前提下, 根据 p (CO_2), $p(H_2S)$和 Cl^- 含量的不同, 可分别选用 Cr13马氏体不锈钢、Cr22双相不锈钢、Cr25超级双相不锈钢、w (Ni) ≥35% 的高 Cr-Ni不锈钢, 直至 Ni基合金。与普通管线钢材料相比, 不锈钢材料的价格较为昂贵。为降低成本, 尽量采用上述不锈钢衬里的复合钢管。

中国含 CO_2 气田很多, 但抗 CO_2 腐蚀的管线钢的研究开发比较薄弱。应注意抗 CO_2 腐蚀的管线钢的正确选择和合理使用, 并注意研究价格较低的经济型抗 CO_2 腐蚀管线管。

2 2 6 抗大变形管线钢和钢管

通过地震多发区和地质灾害区的油气输送管线要求钢管有抗大变形的能力。国外已研制成功了具有抗大变形能力的管线钢。抗大变形管线钢有较高的形变强化指数 (n)、较大的均匀塑性变形延伸率 (δ_u)、较低的屈强比 (σ_y/σ_b)和无屈服平台。中国属多地震国家, 地质灾害 (如滑坡、泥石流等)也较严重, 很需要开发这类管线钢。中国石油天然气集团公司管材研究所正在开展这项研究。

2 2 7 钢 /玻璃纤维复合管

随着管线输送压力的不断提高, 对管线钢止裂韧性的要求越来越高, 已超越现代冶金技术的极限。为了解决这一问题, 国际上已研究开发了复合材料增强管 (CRLP), 即钢 /玻璃纤维复合管, 它既利用了钢的强度, 又发挥了玻璃纤维在止裂方面的优势。钢 /玻璃纤维复合管可降低管道工程的材料成本、安装费用及焊接成本等, 还可取代传统的涂层。进行该产品研究开发, 可在保证管道安全可靠性的同时, 提高管道工程的经济性, 目前中国在这一方面尚属空白。

3 结束语

中国的石油钢管制造业发展迅速, 油井管和油气输送管 (包括钢板和板卷)已经达到了很高的自给率, 而且, 随着中国无缝钢管技术装备的发展[5, 6]和扎辊虚拟制造技术研究的开展[7], 中国的钢铁企业、制管企业和研究机构正在不懈地努力开发更多的钢管品种, 为用户提供更好的服务。

参考文献:

[1] 李鹤林, 吉玲康, 谢丽华. 中国石油钢管的发展现状分析 [J]. 河北科技大学学报, 2006, 27(1): 1-5.

[2] 李鹤林. 油气输送管的发展动向与展望[J]. 焊管, 2004, 27(6): 1-11.

[3] 黄志潜, 李平全, 刘天民, 等. 石油工业发展对油井管和管线管的要求与对策 [J]. 石油专用管, 1998, 6(4): 1-10.

[4] 李鹤林. 油井管发展动向及若干热点问题 [J]. 石油机械, 2004, (特刊): 不详.

[5] 殷国茂, 杨 仙, 李国昌. 中国无缝钢管技术装备的现状分析 [J]. 河北科技大学学报, 2005, 26(4): 259-264.

[6] 殷国茂, 杨 仙, 李国昌. 中国无缝钢管技术装备的发展对策探讨 [J]. 河北科技大学学报, 2006, 27(1): 6-9.

[7] 杨 仙, 李国昌, 刘瑞涛. 轧辊虚拟制造技术研究[J]. 河北科技大学学报, 2006, 27(1): 86-88.

出精品, 创名牌, 不断提高学报办刊质量。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net