

● 行业综述

国内管线钢生产应用现状及发展前景

张伟卫, 熊庆人, 吉玲康, 宫少涛, 王冉
(中国石油集团石油管工程技术研究院, 西安 710065)

摘要: 分析了我国管线钢的发展趋势, 详细介绍了未来十几年我国管道建设发展的前景规划。对我国几种典型管线钢生产工艺、管线钢的开发生产情况、组织特性、发展方向进行了分析。分析认为: 大直径、高压力、大输量成为管道工业发展的一个主要趋势, 未来的管线用钢将向更高级别、更大输送压力的方向发展。但是, 也不能忽视对X70,X80管线钢的生产工艺、质量的稳定性及高效性的研究。此外, 抗大变形、耐酸性腐蚀及抗应力腐蚀等性能也是未来管线钢发展的关注重点, 应加强此方面的技术研究。

关键词: 管线钢; 组织特性; 轧制工艺

中图分类号: TG113.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3938(2011)01-0005-04

Application and Prospect of Pipeline Steel in China

ZHANG Wei-wei, XIONG Qing-ren, JI Ling-kang, GONG Shao-tao, WANG Ran

(CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: This article analyzed development trend of pipeline steel in China, detailedly introduced forward planning of pipeline construction development in the future 10-odd years in China, and analyzed situation of several kinds of pipeline steels from several aspects, such as production procedure, development situation, struction characteristics and development direction, the results indicated that large diameter, high pressure and great throughput is the main trend of pipeline industry development, the steel used in pipeline develop towards higher grade and transportation pressure, yet it can not oversight more effective study to production procedure, quality stability. In addition, large deformation resistance, anti-acidity corrosion and strain resistance corrosion and other properties are also attention points for pipeline steel development in the future, so it should strengthen technology research.

Key words: pipeline steel; structure characteristics; rolling technology

0 前言

近几年来, 我国石油天然气管道工程发展迅速, 带动了管线钢产量的大幅提高。20世纪90年代中期, 我国管线钢年产量仅为30万t, 到2009年已提高到700万t。与此同时, 从管线钢的品质特性来看, 我国已从20世纪80—90年代初期的铁素体-珠光体微合金管线钢发展到目前的针状铁素体管线钢, 完成了第一代产品到第二代产品的转变。随着X80强度级别管线钢的批量生产以及X100,X120管线钢的试制成功, 我国已具备了X52至X120管线钢的生产能力。目

前, 世界范围内已建成了多条X100试验段^[1], 随着研究开发的进一步深入, 有望在未来的天然气管道项目中得到应用。

1 国内管线钢的工程应用现状及前景

为了进一步提高输送效率, 大直径、高压力、大输送量成为管道工业发展的一个重要趋势。目前, X80高强度管线钢管已大规模生产并应用于多个管道建设项目中。国内仅西气东输二线(以下简称西二线)全线焊管用量432.6万t, 其中, 主干线4775km采用X80焊管271.5万t, 占63%; 支干线

4 260 km 采用 X70 焊管 161.1 万 t^[2]。

2009—2015 年,国家规划新建干线管道长度 2.4 万 km,管道总里程达到 4.8 万 km,比 2008 年翻一番。为满足工程需求,在未来的 10~15 年内,中国需要约 1 000 万 t 的高性能管线钢,其中 70% 用于天然气管线。规划中的天然气管线包括:西三线(霍尔果斯—韶关)、西四线(吐鲁番—中卫)、中缅、中卫—贵阳管线、陕京四线等多项天然气管线项目,到 2015 年这些管线将集中投产。与此同时,为确保天然气销售,天然气支线及联络线建设也在积极推进,2009—2015 年,国家规划在东南、长江三角州、环渤海、中南地区 4 个重点目标市场新建支线管道约 8 000 km。2009 年 12 月 31 日,西二线西段建成投产,西二线东段干线建设正在加紧向前推进,已完成管道焊接 2 080 km。中缅油气管线在缅甸米坦格河畔正式破土动工,按照规划,这条管线起点在缅甸西部港口城市皎漂市,终点在中国云南省省会昆明,全长约 2 380 km,其中中缅天然气管线缅甸境内段长 793 km。中缅原油管线缅甸境内段长 771 km,并在缅甸西海岸皎漂配套建设原油码头,年设计输送能力为 2 000 万 t,预计管线总投资约 20 亿美元。西三线路线图已经初步确定,西三线干线管道西起新疆霍尔果斯首站,东达广东省韶关末站,从霍尔果斯—西安段沿西气东输二线路由东行,途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、湖北、湖南、广东共 8 个省、自治区,设计输气能力 300 亿 m³/a。中卫—重庆—贵阳输气管道工程项目已获批复,该项目起自宁夏中卫,经甘肃、陕西、四川、重庆,止于贵州贵阳,线路全长 1 636 km。

2 管线钢的主要生产技术

国内管线钢生产主要采用 TMCP 技术。TMCP 技术是通过控制轧制温度和轧后冷却速度、冷却的开始温度和终止温度,来控制钢材高温的奥氏体组

织形态以及相变过程,最终控制钢材的组织类型、形态和分布,提高钢材的组织和力学性能。通过 TMCP 可以替代正火处理,利用钢材余热可进行在线淬火—回火处理,取代离线淬火—回火处理,改善钢材的力学性能,大幅度减少热处理能耗,提高生产效率。采用 TMCP 技术,可以降低钢中的 Mn, Nb, V, Ti 合金含量,降低冶炼成本,减少生产工艺环节,降低能源消耗,提高钢板的性能合格率。采用 TMCP 技术的控制冷却线可以使用高密度管层流、水幕层流和气雾冷却系统,这些技术目前国内均已掌握。

HTP 工艺是通过增加 Nb 含量,从而提高终轧温度,配合轧后快速冷却,得到细小的针状铁素体型组织,提高力学性能^[3]。由于 Nb 含量的提高,可以提高钢的静态再结晶终止温度,抑制奥氏体的再结晶,促进针状铁素体形成,因此,可以降低 Mo 的用量,降低经济成本。此外,HTP 工艺的精轧开始温度比 TMCP 工艺高,这样扩大了精轧区间温度窗口,精轧终止温度也高于 A_3 温度,因此,可以增加未再结晶区的累积压下量,并降低轧机负荷^[4],使钢板板形的控制更加容易。

随着管道工业的发展,管线钢不仅要求具有更高的强度和韧性,同时对塑性也提出了更高的要求。以前的控轧控冷技术已经无法满足同时具有高强度、高韧性及高塑性管线钢的生产,为此新开发了弛豫技术。这种技术的关键是将终轧后的钢板空冷一段时间,使钢板在入水前的温度降低到 A_3 以下 30~50 ℃,生成一定量的先共析铁素体,最后通过一定冷速的水冷,得到先共析铁素体和贝氏体/MA 的双相组织,从而极大提高管线钢的强度、韧性及塑性。表 1 给出了几种典型管线钢的力学性能。可以看出几种工艺生产的管线钢均具有较高的强度和韧性,而通过弛豫技术生产的 X80 管线钢具有更低的屈强比,有研究表明,低屈强比管线钢一般具有较高的形变强化能力^[5]。

表 1 几种典型管线钢的力学性能

钢级	横向性能				纵向性能				$C_v/J(-10\text{ }^\circ\text{C})$
	R_m/MPa	$R_{0.5}/\text{MPa}$	$R_{0.5}/R_m$	$A/\%$	R_m/MPa	$R_{0.5}/\text{MPa}$	$R_{0.5}/R_m$	$A/\%$	
X80(HTP)	698	647	0.93	24.0	660	564	0.85	23.0	281
X80(TMCP)	639	580	0.91	24.0	625	544	0.87	24.5	275
X80(弛豫)	781	681	0.87	25.0	727	557	0.77	25.0	230

3 国内管线钢开发生产情况

随着国内冶金技术装备水平的提高,我国管线钢生产企业逐渐增多,管线钢系列产品质量和级别逐渐提高。我国西气东输二线工程对高钢级管线钢的需求为管线钢的研发生产提供了强劲的动力。在此背景下,宝钢、太钢、本钢、鞍钢、舞钢、首钢、武钢、湘钢、南钢、马钢、济钢、沙钢等企业开展了高钢级管线钢的研发生产,这些钢厂均具备了X70管线钢的生产能力,其中宝钢、沙钢、舞钢、济钢、太钢、本钢、鞍钢、首钢、武钢等钢厂还形成了X80管线钢的生产供货能力;宝钢、鞍钢、本钢、南钢等还进行了X100管线钢的研究试制工作。

目前,国内各钢厂生产的X70和X80管线钢的金相组织主要为针状铁素体型组织。同时针状铁素体型管线钢也是西气东输工程选用的管线钢种。这种钢从合金设计、冶炼工艺、轧制工艺到管材显微组织状态都与第一代管线钢的铁素体-珠光体组织不同。其典型成分为C-Mn-Nb-Mo,该钢特征是进一步提高纯净度,使用钙处理硫化物,在连铸过程中采用电磁搅拌和动态轻压下措施。依靠成分调整,降

C增Mn,在钢的基体中加入微量Mo以促使针状铁素体的形成,并用适量Cu、Ni、Cr强化基体^[6];在高温动态再结晶临界温度上、下温度区间进行控制轧制,通过在线强制加速冷却,进一步细化晶粒度,使其铁素体基体的均匀化程度提高,位错密度增加。这种钢具有比铁素体-珠光体型管线钢更好的焊接性能,其对脆性断裂、硫化氢应力腐蚀、氢致开裂等方面的抗力要比其他钢种高得多^[7]。

与铁素体-珠光体和少珠光体管线钢相比,针状铁素体型管线钢具有不同的强韧化方式。控制针状铁素体型组织强韧性的“有效晶粒”是贝氏体铁素体板条束。贝氏体铁素体板条束的大小,不但可以通过降低再加热温度、增加形变量和控制终轧温度等控轧参数来获得,而且还可以通过改变冷却速度等控冷参数来进行控制,因而针状铁素体型管线钢的“有效晶粒”尺寸将大大细化。表2给出了几种典型管线钢的化学成分。图1给出了几种典型管线钢的金相组织。可以看出传统的TMCP工艺及HTP工艺生产的X80管线钢主要为粒状贝氏体,弛豫技术生产的X80管线钢为多边形铁素体和粒状贝氏体混合组织。

表2 几种典型管线钢化学成分对比

钢级	化学成分/%											
	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Cr)	w(Mo)	w(Ni)	w(Nb)	w(V)	w(Ti)	w(Cu)
X80(HTP)	0.051	0.19	1.82	0.0078	0.0026	0.27		0.26	0.098	0.026	0.014	0.25
X80(TMCP)	0.075	0.21	1.75	0.0086	0.0022	0.014	0.15	0.13	0.038	0.005	0.015	0.006
X80(驰豫)	0.066	0.23	1.88	0.0092	0.0023	0.18	0.014	0.25	0.029	0.0032	0.016	0.26

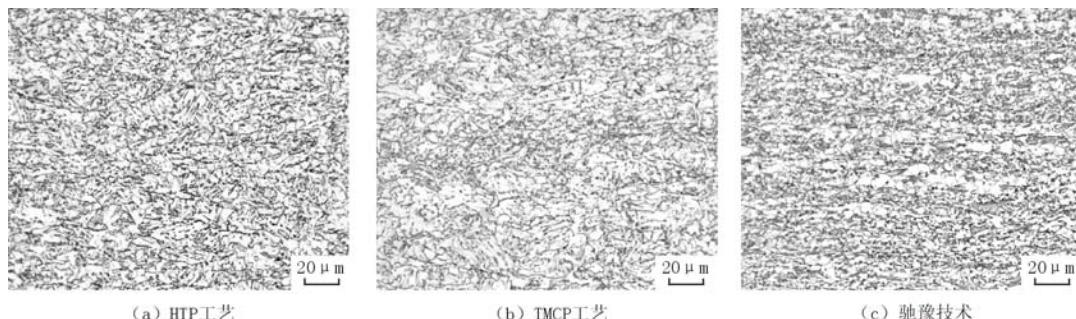


图1 几种典型工艺生产的X80管线钢的金相组织

4 管线钢的发展方向

未来的管线钢不仅需要更高的强度和韧性,还需要具备较好的塑性及耐酸性腐蚀、应力腐蚀

等性能。对于X80及以下钢级管线钢来说,采用针状铁素体型组织,通过适当的工艺调整就可以满足强度、韧性及塑性的要求。对于X100管线钢来说,基体为粒状贝氏体并分布着一定量的

MA 组元是最佳、最经济的组织方案,但是要求高强度下仍具有合适的 DWTT 韧性,还需要做大量工作。此外,X100 管线钢的可焊性及止裂性能也是 X100 管线钢开发的研究重点。X100 管线钢的止裂性能处于临界状态,当服役条件严酷时,比如:输送富气、采用高的设计系数和低的设计温度,应考虑使用止裂环。

X120 管线钢不能通过粒状贝氏体达到性能要求,因此,需要加入 B 元素来改变 CCT 转变曲线以增加淬透性,使其具有更低韧脆转变温度的低碳贝氏体。或通过优化开发新生产工艺及组织来满足各项力学性能指标的合理匹配。X120 管线钢已不能单靠材料韧性解决止裂问题,必须使用止裂环。

大变形管线钢是未来管线钢的发展方向之一。由于中国地理条件的限制和管线钢产品的发展,对基于应变设计管线的需求越来越迫切。如地震侧滑、湿陷性黄土塌陷、沉降、冻胀和冻土融化、自由悬跨的地理条件、海底管线等会使管线产生大量变形,这就使大变形管线钢的需求大大提高。抗大变形管线钢既要有足够的强度,又必须有足够的变形能力,其组织状态一般为包含硬相和软相的双相组织或多相组织。硬相为管线钢提供必要的强度,软相保证足够的塑性。现在正在研究开发的抗大变形管线钢系列组织状态为:铁素体 + 贝氏体、贝氏体 + MA。有研究表明,铁素体钢的形变强化能力最好,针状铁素体次之。随着硬相比例增加,管线钢强度提高,如铁素体 + 贝氏体管线钢,随着贝氏体体积分数增加到 30% 左右,屈服平台消失,屈服现象为 Round House 型。而对于贝氏体 + MA 管线钢,MA 体积分数在 5% 左右时管线钢的屈强比最低,韧性最好^[8]。此外,时效后的性能指标应为大变形管线钢研究的一个重点,通常时效现象使得管线钢管的变形能力降低,这与钢板及钢管的生产工艺密切相关^[2]。

酸性环境下使用的管线钢是管线钢系列中质量要求最为严格的品种,因其使用环境的特殊性,对钢的成分设计、冶炼技术、轧制工艺及冶金装备水平均提出十分严格的要求,一般要求这种管线钢具有超低的 S 含量,需通过钢水钙处理减少夹杂物,改善夹杂物的形态。通过减少 C, P, Mn 含量,防止偏析和降低偏析区硬度,并避免出现带状

组织,通过添加 Cu, Ni, Cr 等合金元素形成钝化膜,防止氢气的入侵。此外,在焊管的设计、生产及标准的选用上也与常规的油气管线用钢不同。因此,中国冶金企业与管线建设部门应加强合作,加快酸性环境下使用的输气管线用钢及相关标准的研制与应用。

5 结语

(1) 大直径、高压力、大输量成为了管道工业发展的一个主要趋势,高钢级管线钢在未来的管道建设中具有广阔的应用前景。

(2) 管线钢轧制工艺现在已经成熟应用的有 TMCP 工艺、HTP 工艺、弛豫技术。几种技术各有长处,应加强工艺优化研究,加大产品开发力度,以最经济的手段生产出高质量的产品。

(3) 目前,X70 和 X80 管线钢的金相组织主要为针状铁素体型组织。这种钢的焊接性能、断裂韧性、抗硫化氢应力腐蚀、抗氢致开裂等方面性能比铁素体 - 珠光体型管线钢好得多。

(4) 未来的管线用钢将向更高级别、更大输送压力的方向发展。各企业在开发更高级别管线钢的同时,还应将工作重心放在使 X70, X80 管线钢的生产工艺和质量更稳定、高效上。此外,抗大变形、耐酸性腐蚀及抗应力腐蚀等性能也是未来管线钢发展的关注重点,应加强此方面的技术研究。

参考文献:

- [1] 王茂堂,牛冬梅,王丽,等. 高强度管线钢的发展和挑战 [J]. 焊管, 2006, 29(5): 9-16.
- [2] 李鹤林,吉玲康. 西气东输二线高强韧性焊管及保障管道安全运行的关键技术 [J]. 世界钢铁, 2009(1): 56-64.
- [3] STALHEIM D G. The Use of High Temperature Processing Steel for High Strength Oil and Gas Transmission Pipeline Applications [J]. Iron & Steel, 2005, 40(S): 699-704.
- [4] 郑磊,傅俊岩. 高等级管线钢的发展现状 [J]. 钢铁, 2006, 41(10): 1-10.
- [5] JI Ling-kang, CHEN Hong-yuan, LI Xiao, et al. Study on the Relationship Between Yield Ratio, Uniform Elongation and Hardening Exponent of High Grade Pipeline Steel [C]//Proceedings of Seventeenth (2007) International Offshore and Polar Engineering Conference. Lisbon, Portugal: [s. n.]. 2007: 65-71. (下转第 24 页)