

宝钢钢管产品技术的发展

丁维军, 张忠铎

(宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900)

摘要: 全面总结了宝钢各主要钢管机组的配置和特点; 介绍了 $\Phi 140$ mm 全浮动芯棒连轧管生产线和 $\Phi 114$ mm Accu Roll 轧管机组的装备改造, 以及 $\Phi 460$ mm PQF 连轧管机组的整体情况; 回顾了宝钢油井管、锅炉管和焊接管线钢管等产品的品种开发历程, 并详细介绍了代表性产品的应用实例。

关键词: 宝钢; 钢管机组; 设备改造; 钢管产品; 品种开发; 研究进展

中图分类号: TG335.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2311(2014)03-0009-08

Development of Steel Pipe Technology of Baosteel

DING Weijun, ZHANG Zhonghua

(Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: Fully summarized here are the configurations and characteristics of the main steel pipe plants of Baosteel. Described are the equipment revamps of the $\Phi 140$ mm full floating mandrel mill line and the $\Phi 114$ mm Accu Roll plant, as well as the general conditions of the $\Phi 460$ mm PQF plant. Baosteel's product variety R & D history is reviewed, concerning OCTG, boiler pipe and welded pipeline pipe etc., and actual application cases of typical products are elaborated.

Key words: Baosteel; steel pipe mill; equipment revamp; steel pipe; variety R & D; research progress

1978年12月, 宝钢集团有限公司(简称宝钢)工程动工建设, 至今已有30多年, 目前宝钢已发展成为我国现代化程度最高、最具竞争力的钢铁联合企业。宝钢在其发展历程中, 始终将能源用管作为重要战略产品, 长期开发、生产、供应油气开采和输送用管及高压锅炉管等能源用管, 不断满足能源工业的需求; 依靠持续不断的技术改造和创新, 钢管品种也由单一的碳钢钢管向合金钢、不锈钢及特种合金钢钢管发展, 已成为无缝钢管和焊接钢管两大系列、规格品种配套齐全的多单元生产企业。现主要介绍宝钢钢管产品技术的发展情况。

1 主要钢管生产机组

目前, 宝钢已从当初唯一的 $\Phi 140$ mm 全浮动

芯棒连轧管机组(简称 $\Phi 140$ mm 连轧管机组)发展成既有热轧又有冷轧、既有无缝钢管又有焊接钢管, 钢管外径覆盖 1~24 in(1 in=25.4 mm)的多单元生产企业。宝钢各钢管生产机组的配置及产能情况见表 1。

作为宝钢一期工程中唯一的成品厂, 1985年11月建成投产的宝钢无缝钢管厂, 从德国曼内斯曼-德马克公司引进 $\Phi 140$ mm 连轧管机组, 该机组是德国以曼内斯曼钢管公司牟海姆钢管厂的 RK2 连轧管机组为样板而设计的, 配置为桶形辊穿孔机+8 机架全浮动芯棒连轧管机+28 机架张力减径机, 设计年产量 50 万 t。产品规格为 $\Phi 21.3\sim 139.7$ mm $\times 2.0\sim 25.0$ mm, 品种包括油井管、锅炉管、一般商品管和输送用管等。

在宝钢 $\Phi 140$ mm 连轧管机组不断发展的同时, 宝山钢铁股份有限公司(简称宝钢股份)本部 $\Phi 610$ mm HFW 直缝高频焊管机组和 $\Phi 1\ 422$ mm UOE 直缝埋弧焊管机组陆续建成投产, 烟台鲁宝

丁维军(1971-), 男, 硕士, 高级工程师, 钢管条钢事业部副总经理, 从事钢管技术管理工作, 曾获国家技术发明二等奖。

表 1 宝钢各钢管生产机组的配置及产能情况

单位名称	机组名称	产品规格/mm	年产能/万t	机组配置及特点
140 无缝钢管厂	Φ140 mm 连轧管机组	Φ31.8~194.0	80	锥形辊穿孔机 ^① +8 机架全浮动芯棒连轧管机+再加热炉+28 机架张力减径机; 生产效率高, 运营成本低, 产品范围广、质量好
	Φ610 mm HFW 直缝高频焊管机组	Φ219.1~610.0	30	大功率高频感应焊接+双重在线焊缝热处理+整体热处理+在线焊缝超声波探伤+计算机料流跟踪; 焊缝性能好
焊管厂	Φ1 422 mm UOE 直缝埋弧焊管机组	Φ508~1 422	50	大步幅的预弯边机、UO 成型大压缩率控制、高速预焊、多丝内外埋弧焊接、大功率水压机及多重多种无损检验方法全覆盖
烟台鲁宝钢管有限责任公司	Φ114 mm Accu Roll 轧管机组	Φ133~325	30	桶形辊穿孔机+二辊轧扩管机+平整机+6 机架定径机; 将普通的 Accu Roll 轧管机改造为具有轧管和扩管 2 种功能的轧管机, 使产品外径规格扩大, 产量增加
烟台宝钢钢管有限责任公司	Φ460 mm PQF 连轧管机组	Φ219~457	52	锥形辊穿孔机+三辊限动芯棒连轧管机+脱管机+12 机架微张力定(减)径机; 是目前世界上新型的生产机组, 产品质量好、产量高
精密钢管厂	Φ90 mm 自动轧管机组	Φ63~90	10	桶形辊穿孔机+自动轧管机+12 机架微张力定(减)径机
	Φ114 mm Accu Roll 轧管机组	Φ75.0~139.7	10	锥形辊穿孔机+Accu Roll 轧管机+再加热炉+12 机架微张力定(减)径机。该厂 2 条热轧线均为冷轧冷拔线供母管, Accu Roll 轧管机生产了少量 Φ139.7 mm 光套管, 主要产品是碳钢产品; 自动轧管机属淘汰装备
宝钢特钢有限公司钢管厂	Φ100 mm 二辊斜轧穿孔机组	Φ63~90	0.5	Φ90 mm 穿孔机, 穿孔毛管供冷轧冷拔工序, 主要生产特殊钢及不锈钢产品
	60 MN(6 000 t)卧式挤压管机组	Φ51~325	2.3	立式穿孔机+感应加热+卧式挤压机; 穿孔和挤压热变形均采用挤压方式, 是最有利的热变形方式, 适合生产特殊钢、不锈钢等合金含量很高, 难变形, 斜轧穿孔机难以生产的品种

注: ①原配置的是桶形辊穿孔机, 生产线改造时改为锥形辊穿孔机。

钢管有限责任公司(简称鲁宝钢管)、上海钢管厂(现宝钢股份精密钢管厂)、上钢五厂(现宝钢特钢有限公司)钢管厂先后加入了宝钢大家庭, 使宝钢的钢管品种不断增加、规格不断完善、产能不断扩大。

宝钢 Φ610 mm HFW 直缝高频焊管机组, 2005 年 10 月投产, 引进德国 SMS Meer 公司等世界上先进的直缝焊管生产设备和技术。该生产线是当今世界上第一条集先进成型技术、大功率焊接技术、功能齐全的无损探伤技术、焊缝双重热处理和整管热处理技术、全过程的计算机料流跟踪系统于一体的中直径直缝焊管生产设备^[1], 也是目前世界上装备最先进的焊管生产线之一, 可以生产 Φ219.1~610.0 mm 的管线钢管、套管、结构管(圆管、方

矩形)等产品, 年设计产能 30 万 t。

宝钢 Φ1 422 mm UOE 直缝埋弧焊管机组, 是我国第 1 套现代化大直径直缝埋弧焊管机组, 也是目前世界上装备最先进的大直径直缝埋弧焊管机组之一。该机组投产于 2008 年 1 月, 主线生产设备主要包括德国 SMS Meer 公司生产的先进成型设备和瑞典 ESAB 公司生产的焊接设备。宝钢 UOE 机组成型能力大, 焊接效率高, 产品规格覆盖广(Φ508.0~1 422.4 mm×6~40 mm×6 000~18 300 mm, 钢级最高至 X100); 设计年产石油天然气输送用管线钢管、结构用钢管和低压流体输送用管 50 万 t^[2]。

鲁宝钢管于 20 世纪 80 年代末期建厂, 从美国

引进了一套 ARE(Accu Roll & Expander)高精度轧扩管机组。该机组原设计的年产能为 7.1 万 t, 规格 $\Phi 63\sim 114$ mm。自从 2003 年鲁宝钢管加入宝钢后, 经过持续改进与创新, Accu Roll 轧管机已经改进成一种全新轧管机, 形成了 ARE 集成钢管生产技术。作为单倍尺生产机组, 该机组的年产能提升到 30 万 t, 规格扩大到 $\Phi 133\sim 325$ mm。

精密钢管厂的前身为 1958 年建设的上海钢管厂, 1998 年随着上海市冶金工业重组, 上海钢管厂加入宝钢集团, 2007 年 9 月加入宝钢股份, 更名为宝钢精密钢管厂。精密钢管厂的主要设备包括 $\Phi 114$ mm Accu Roll 轧管机组 1 套、 $\Phi 90$ mm 自动轧管机组 1 套、冷轧管机 5 台和冷拔管机 18 台。精密钢管厂利用宝钢的原料材优势, 现已经形成了以生产小直径冷拔、冷轧电站锅炉用管为主导产品, 辅之以一定量的汽车用精密钢管和油气采集输送用管的生产特色, 目前该厂的年生产量约为 10 万 t。

宝钢特钢有限公司的前身为 1963 年建设的上钢五厂钢管厂, 是我国最早生产高合金精密无缝钢管的企业, 诞生了我国第一支不锈钢航空用无缝钢管, 是我国航天、航空、石油化工、仪表、机械等工业用不锈钢无缝钢管的重要生产基地, 也是我国核电用管专业生产企业; 产品规格 $\Phi 6\sim 133$ mm, 其中各类锅炉用不锈钢钢管约占 50%, 耐热钢钢管占 10%, 双相钢钢管占 18%。宝钢特钢有限公司钢管厂的主要轧管设备有 $\Phi 100$ mm 二辊斜轧穿孔机组 1 套, 60 MN 卧式挤压管机组 1 套, 二辊冷轧管机 24 台, 从德国引进的 SKW75VMM 高速

冷轧管机 1 台, 从德国引进的 KPW50VMM 高速冷轧管机 1 台及各种吨位冷拔管机 8 台。

2 轧管设备改造及技术进步

尽管宝钢 $\Phi 140$ mm 连轧管机组自 1985 年投产以来取得了令人瞩目的成绩, 但是单一生产机组的格局令宝钢无缝钢管在国内外钢管市场的竞争方面处于劣势。近十年来, 为了进一步提高宝钢无缝钢管在国内外市场上的竞争力和市场地位, 宝钢加大了无缝钢管机组的深度改造和技术创新力度, 为提高钢管产品质量和开发高端产品奠定了基础。

2.1 $\Phi 140$ mm 生产线改造和技术进步

全浮动芯棒连轧管机组是钢管轧管机组中生产节奏最快、生产效率最高的机组之一。1993 年 $\Phi 140$ mm 连轧管机组年产量达到 50 万 t, 之后通过连轧芯棒冷却水槽移位改造, 延长了芯棒喷涂水溶性润滑剂的干燥时间, 显著提高了芯棒润滑性能, 解决了原来认为全浮动芯棒连轧管机固有的连轧管“竹节”缺陷, 壁厚精度进一步提高; 随后通过对环形加热炉、再加热炉、芯棒热处理炉的控制仪表系统的集中控制以及环形加热炉的数学模型优化加热控制, 使管坯的加热温度控制更为准确和均匀。1999 年以后, 又进一步通过对热轧生产线三大机组(穿孔、轧管、减径)等的一系列重大技术创新和技术改造, 实现了 $\Phi 140$ mm 连轧管机组无缝钢管热轧量从 50 万 t 到目前的 80 万 t 的飞跃, 达到了世界上 $\Phi 140$ mm 连轧管机组的最大产能。宝钢 $\Phi 140$ mm 连轧管机组历年产量统计情况见表 2。

表 2 宝钢 $\Phi 140$ mm 连轧管机组历年产量统计情况

														万 t
年份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
产量	0.3	9.1	16.3	20.9	27.2	35.2	43.6	50.2	54.5	54.6	56.7	57.2	57.1	55.8
年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
产量	59.7	72.5	80.1	78.0	84.6	82.0	81.6	82.0	76.7	76.0	81.0	73.0	71.0	70.0

近十年来 $\Phi 140$ mm 生产线的装备改造和技术进步主要体现在以下方面:

(1) 投产初期仅有 119 mm、152.5 mm、162.5 mm 3 个连轧孔型, 后来自主开发出 169 mm、189 mm 和 200 mm 连轧孔型; 突破了原设计限制, 将产品最大外径从 139.7 mm 扩大到 194.0 mm, 壁厚

从 3~25 mm 扩大到 3~32 mm; 张力减径机孔型自最初的 AO、AR、BO、BR、CR 系列, 发展到 BM、B100D、A100D、C100D、ARDBH、BRDBH、CRDBH 系列, 尤其是优化开发的张力减径机孔型及孔型系列 RDBH 是一种世界首创的非传统孔型, 改变了由两种孔型分别轧制厚壁管与薄壁管的历

史,开创了由一种孔型从厚壁轧制到薄壁轧制的新局面,大大提高了 $\Phi 140$ mm 连轧管机组的产能^[3]。

(2) 通过张力减径机三电改造及壁厚控制研究,实现了数据库管理,在线料流及热区全程单根物料跟踪功能,并为此后实现的张力减径机切头控制(CEC 控制)和平均壁厚控制创造了条件^[4]。

(3) 2008 年 11 月对生产线进行深度改造,其核心是将桶形辊穿孔机改成锥形辊穿孔机,另外整体更新连轧管机芯棒润滑系统。改造后,穿轧高合金钢管的能力加强,同时穿孔扩径增大,穿孔变形能力提高,可适当分担连轧管机的变形任务;同时在穿孔机架设置了机内定心辊,提高了钢管的壁厚精度,使 $\Phi 140$ mm 连轧管机组的优势得到更好的发挥。改造后,2009 年 5 月该机组的月产量达到了 7 万 t,产品的壁厚精度水平有较大提高,同时具备了生产高难度轧制品种的功能,产品合金含量从最初的 5% 以下提高到目前的 20%。

(4) 通过开展油井管水淬热处理综合技术研究,在国内首次开发了具有自主知识产权的全新钢管水淬热处理工艺、设备和油井管水淬钢种,为油井管产量的扩大和新产品开发创造了有利条件。

2.2 $\Phi 114$ mm Accu Roll 机组改造及技术进步

世界首台 Accu Roll 轧管机由美国艾特纳标准工程公司与原华美钢管工程公司(中美合资)联合设计制造,于 1990 年在鲁宝钢管建成投产^[5]。Accu Roll 轧管机是一种高精度无缝钢管轧机,相比小型自动轧管机,可以“一机代三机”,即 1 台 Accu Roll 轧管机代替 1 台自动轧管机和 2 台均整机;因此,Accu Roll 机组在中小企业应用广泛。但是该机组也存在产品内表面质量不理想和斜轧产量低的问题。近十年来鲁宝钢管对该机组进行了许多设备改造和技术创新工作,具体如下。

(1) 先后开发了 159 mm、219 mm 孔型,钢管年产量从设计的 7.1 万 t 提高到 22.0 万 t。

(2) 在 Accu Roll 轧管机后增加 1 台平整精轧机,将其粗轧功能与精轧功能分离开来。Accu Roll 轧管机作为粗轧机,仅承担减壁延伸的作用,将提高钢管内外表面质量的任务交给了精轧机。平整机的原理是对钢管进行减壁 0.5~1.0 mm,磨光钢管的内外表面,这样可以对钢管内外表面进一步辗平,消除钢管的内螺纹缺陷。同时,由于平整机承担了一定的减壁量,可以减少 Accu Roll 轧管机对钢管的壁厚变形量,即减小轧制后钢管的直径和

壁厚比值,从而消除 Accu Roll 轧管机在轧制极限薄壁管时产生的一系列头尾缺陷;既提高了钢管质量和成材率,又提高生产效率,降低轧辊、芯棒和导盘的消耗。

(3) 在 Accu Roll 轧管机上增加扩管功能。将 Accu Roll 轧管机改造成轧扩管机,首先在变形工具上进行了改变:将轧辊的孔型按照扩管的原理进行修改,将导盘改为导板,将芯棒改为顶头。在改进过程中,没有改变轧辊的转鼓外形、导盘架等。这样,Accu Roll 轧管机变成了一台既能轧管又能扩管的新型轧扩管机^[6]。

改进后 Accu Roll 轧管机组的工艺流程是:穿孔→轧扩管→平整→定径→冷却。改进后的 Accu Roll 轧管机组是一种全新的轧管机组——ARE 高精度轧扩管机组,产品规格由原来的 $\Phi 114\sim 219$ mm 拓宽至 $\Phi 133\sim 325$ mm,钢管内螺纹高度最大值由原来的 0.44~0.88 mm 降至 0.08 mm,基本达到了消除内螺纹的目的^[6];产量提升至 32 万 t,综合竞争力提高。

2.3 $\Phi 460$ mm PQF 连轧管机组

宝钢于 2008 年在山东省烟台市投建大直径无缝钢管生产线,热轧产品规格为 $\Phi 219\sim 457$ mm,从德国 SMS Meer 公司引进主体设备。该生产线采用最新的三辊限动芯棒连轧管机组,包括目前世界先进的生产工艺装备、控制系统及质量保证系统;产品品种有油井管、高压锅炉管及专用管等;产品质量好、尺寸精度高、品种范围广,设计年产量 52 万 t。管坯主要采用连铸坯,高合金钢产品可用轧制坯,可对管坯进行离线尾部冷定心,以改善薄壁管尾部壁厚精度及穿孔稳定性;带导板立式锥形辊穿孔机,穿孔孔型封闭性好,穿孔后台配置包括机内定心在内的 6 机架定心机;采用了顶头自动循环更换装置,有利于提高顶头寿命,改善毛管内表面质量;穿孔前台设置有管坯预旋转装置,有利于管坯的穿孔咬入^[7]。

轧管机配备为三辊限动芯棒连轧管机(德国 SMS Meer 公司将其命名为 PQF 连轧管机)和回退式限动芯棒,芯棒具有在线和离线穿棒 2 种方式,轴向整体换辊。三辊在孔型横截面上,辊径差小,进而轧辊圆周速度差小,轧制变形更均匀稳定,有利于马氏体不锈钢等难轧制品种的生产。2014 年 3 月,烟台宝钢钢管有限责任公司 $\Phi 460$ mm PQF 轧管机组成功批量轧制出 13Cr 套管产品,并应用于

海洋石油开采。

3 品种开发

企业所有工艺设备技术的创新和改造，其目的都是为了生产出具有市场竞争力的产品，新产品的研发是企业立足于市场的根本保证。在陆续开展大规模的设备改造和工艺技术创新的同时，宝钢依托装备和工艺技术的进步，加大了国家能源用高端产品的开发力度，并相继开发出抗腐蚀系列油井管、耐热油套管、抗挤毁管、高等级 UOE 焊管工艺技术和集成管线钢管、超超临界高压锅炉管等市场急需的石油天然气开采开发、输送以及电站锅炉用高压锅炉管等高端能源用管，不仅替代了进口，同时

提升了我国能源用管技术水平和竞争力。

3.1 油井管

随着油气需求的增加、油气资源的减少以及油田开发技术的不断进步，在开采的油田中，含 CO₂、H₂S 介质的油田越来越多，对抗 H₂S 应力腐蚀、抗 CO₂ 均匀腐蚀、抗 Cl⁻点腐蚀的各种抗腐蚀油套管需求不断增加，API 系列耐腐蚀油井管已经不能满足油田现场开发生产的实际需要。鉴于上述情况，宝钢依托轧管、热处理等生产线的改造和技术创新，加快了非 API 系列油套管新产品的开发，重点研制开发抗腐蚀、高抗挤毁、稠油热采、深井用等一系列油套管产品。宝钢油套管品种的开发情况见表 3。

表 3 宝钢油套管品种的开发情况

时间	API 系列	非 API 系列						
		深井用管	热采管	射孔枪管	高抗挤毁用管	酸性环境用管	湿 CO ₂ 环境用管	湿 CO ₂ +酸性环境用管
2000 年前	J55/K55、N80、C90、P110、Q125							
2000 年后	L80-13Cr T95		B80H		BG80T			BG80S-3Cr
		BG140	B90H	B155G	BG90T	BG80SS	BG80-3Cr	BG90S-3Cr
		BG150	B95H	B110G	BG95TT	BG90SS	BG90-3Cr	BG95S-3Cr
			B110H		BG110TT	BG95SS	BG95-3Cr	BG110S-2Cr
					BG130TT	BG125S	BG13Cr110	BG13Cr110S
					BG140TT	BG110SS	BG110-3Cr	BG2250-110
					BG160TT			BG2830-110
							BG2242-110	

由表 3 可知：宝钢在 2000 年以前只能生产 API 系列中部分油套管；2000 年以后宝钢油套管的发展是一个从碳钢不断向合金钢、不锈钢发展，由普通油套管向抗腐蚀油套管发展的过程，满足了国内外深井、超深井、腐蚀环境井、稠油等油气井的开采开发的需要。

特殊螺纹接头作为油井管的重要产品系列，可以满足高压气井、深井、超深井、热采井、定向井、水平井和腐蚀性井等苛刻井况对油套管产品性能的要求。宝钢特殊螺纹接头的研究和开发，与中国石油天然工业勘探开发技术的进步密切相关，从 1995 年开始研发特殊螺纹接头，到目前为止已有 14 个油套管产品系列问世。宝钢特殊螺纹接头的开发历程见表 4。

宝钢根据油田实际工况条件研究开发的特殊螺纹接头油套管产品，在中国石油天然气集团公司

(简称中石油)、中国石油化工集团公司(简称中石化)、中国海洋石油总公司(简称中海油)的油田，以及延长油田和海外油田都得到了广泛的应用，并得到用户的高度认可。在与用户的共同进步中，宝钢主要取得了以下成绩：

(1) BGT1 螺纹连接类型，2000 年首批产品在四川油田使用。宝钢成为国内第一家具备特殊螺纹接头批量生产供货能力的厂家。

(2) BG-DWC 螺纹连接类型，2005 年在吉林油田顺利完成套管钻井，是中石油国内陆地第一口全井用套管钻进并钻穿油层的产品^[8]。

(3) BGT1 螺纹连接类型，2006 年 L80-13Cr 油管在平湖八角亭油气田使用，是国产特殊螺纹接头产品在海上油田的第一次使用。

(4) BGT1/BGC 螺纹连接类型，2009 年镍基合金油套管在普光油田使用^[9]。宝钢成为国内第一

表 4 宝钢特殊螺纹接头的开发历程

接头类型	开发完成年份	规格/mm	主要特点
BGT	1997	Φ60.32~114.30	带接箍, 高气密封性能接头
BGT1	1998	Φ60.32~114.30	带接箍, 高气密封性能接头
BGXC	1999	Φ101.60~139.70	直连型, 用于开窗侧钻、旧井修复
BGC	2000	Φ127.00~339.72	带接箍, 高气密封性能接头
BG-DWC	2003	Φ139.70~244.48	带接箍, 用于套管钻井
BG-HY	2005	Φ73.02~114.30	直连型, 适用于作业管柱
BHC	2007	Φ244.48~508.00	带接箍, 用于快速连接螺纹
BG-HT	2008	Φ127.00~177.80	带接箍, 高抗扭矩接头
BG-PT	2009	Φ60.32~114.30	带接箍, 中、低压气密封性能接头
BG-PC	2009	Φ127.00~339.72	带接箍, 中、低压气密封性能接头
BG-YC	2010	Φ60.32~114.30	带接箍, 高气密封性能接头
BG-FJ	2010	Φ60.32~298.45	直连型, 高气密封性能接头
BG-BUTT	2011	Φ60.32~339.72	带接箍, 高抗螺纹黏结性能接头
BGT2	2013	Φ60.32~355.60	带接箍, 压缩效率 100%, 高气密封性能接头

家具备镍基合金油套管生产供货能力的厂家。

(5) BGT1 螺纹连接类型, 2010 年 BT-S13Cr 110 超级 13Cr 油管在塔里木油田使用^[10]。宝钢成为国内第一家具备超级 13Cr 油管生产供货能力的厂家。

2013 年, 宝钢针对“三超”气井, 即超高压、超高温和超深井苛刻工况, 开发了新一代 BGT2 特殊螺纹接头油套管系列产品。按照油套管螺纹接头性能评价最权威的 ISO 13679:2002《石油和天然气工业 管道连接试验程序》国际标准, BGT2 特殊螺纹接头油套管系列产品通过了国际第三方权威认证机构——加拿大 C-FER 公司最高级别 ISO 13679:2000 标准的 IV 级试验评估^[11]。

3.2 锅炉管

由于节能减排及提高锅炉效率的需要, 国内新建电站锅炉均向超临界、超超临界方向发展; 因此对锅炉管的高温持久性能、高温蠕变性能、高温氧化性能提出了更高的要求。为适应该变化, 宝钢结合设备改造和技术进步, 开发出合金含量更高、用于超临界、超超临界锅炉的锅炉管新品种。

T91 高压锅炉管是宝钢投入开发力度最大的新产品。该产品的研发项目从 1999 年开始, 研究了 T91 化学成分对常温和高温性能的影响, 并通过微观组织研究, 揭示了弥散碳化物分布对强化机体的作用^[12-13]; 开发了大型转炉批量生产高铬钢技术, 使宝钢 300 t 转炉冶炼合金含量的水平提高到了

14%, 为宝钢大批量生产高附加值的高合金钢产品奠定了基础; 研究开发了 T91 钢温锭热装及均热工艺、圆坯轧制孔型及工艺、圆坯退火工艺; 突破了 Φ140 mm 连轧管机组原产品大纲只生产合金含量小于 5% 的材质设计, 将合金含量扩大到 14%, 并形成 T91 钢管轧制系列专有技术。

同时, 宝钢在 T91 钢管研制成功的基础上, 于 2004 年又率先在国内成功研制出 T23 产品, 2007 年研制出 T92 产品, 并在 2007 年 10 月实现了 S30432 (Super 304)、TP310HNBn 奥氏体不锈钢钢管的批量生产。目前, 宝钢已形成高压锅炉管系列供货能力, 实现了向主蒸汽 600 °C 超超临界电站锅炉受热面部件高温过热器、再热器、水冷壁等关键部位整台机组供货, 钢种覆盖整个超超临界燃煤机组。

3.3 管线管

管道输送是石油天然气最高效、安全、经济、可靠的运输方式。宝钢利用板管一体化的优势, 在高等级 UOE 焊管工艺技术自主开发和集成管线钢管开发和应用方面成效显著。图 1 所示为宝钢焊管厂自投产以来的生产量情况。

宝钢 HFW 生产线累计生产 110 万 t 钢管, 总长度约 15 819 km; 其中 X70 钢级 72 312 t, 海底管线管 23 882 t, 抗 HIC (氢致开裂) 的管线钢管约 8 000 t。宝钢 UOE 生产线自 2008 年投产到 2013 年底, 共生产销售了约 140 万 t 钢管, 总长度约

2 400 km; 其中X80 钢级 46 万t, X70 钢级 91 万t; 另在海底管线工程应用 4.72 万t, 酸性环境用抗 HIC/抗 SSC(应力腐蚀开裂)的双抗管线管 3.41 万t; 并在国内首次实现 X100 钢级管线管的商业供货。

宝钢管线钢管典型工程开发与应用有:

(1) 西气东输二线工程。西气东输二线工程全长 8 704 km, 其主干线 4 978 km 全部采用 X80 钢级管线钢管, 是当时世界上距离最长、钢管直径和壁厚最大的 X80 钢级天然气管线工程。宝钢开发试制并批量生产了 34 万t X80 钢级 UOE 直缝焊管, 其性能见表 5。该批 X80 钢级 UOE 直缝焊管满足了西气东输二线工程主干线对 18.4~27.5 mm

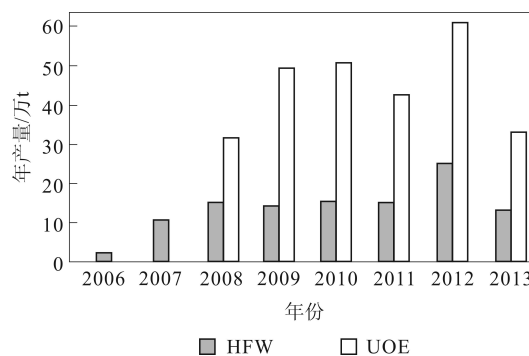


图 1 宝钢焊管厂自投产以来的生产量情况

不同壁厚规格 $\Phi 1\ 219\ \text{mm}$ UOE 焊管的需求。

表 5 宝钢开发并应用于西气东输二线工程的 X80 钢级 UOE 焊管的性能

规格/mm	管体横向拉伸($\Phi 10\ \text{mm}$)				焊缝拉伸		-10 °C 全尺寸夏比冲击			0 °C DWTT			
	屈服强度 $R_{0.5}/\text{MPa}$	抗拉强度 R_m/MPa	$A_{50.8}^{①}/\%$	屈强比	抗拉强度 R_m/MPa	断裂位置	冲击功/J			剪切断面率/%			SA/%
							管体	热影响区	焊缝	管体	热影响区	焊缝	
$\Phi 1\ 219 \times 18.4$	622	713	22	0.87	712	母材	290	237	186	100	50	75	92
$\Phi 1\ 219 \times 22.0$	602	690	23	0.87	693	母材	260	223	184	100	80	70	93
$\Phi 1\ 219 \times 26.4$	621	707	21	0.88	716	母材	271	207	182	100	85	75	90
$\Phi 1\ 219 \times 27.5$	604	694	24	0.87	700	母材	259	200	183	100	90	70	92
用户技术要求	555~690	625~825	-	②	≥ 625		≥ 220 ≥ 108	≥ 80	≥ 80	≥ 90	≥ 40	≥ 40	③

注: ① $A_{50.8}$ 为断后伸长率。②用户技术要求, 壁厚为 18.4 mm 时, 屈强比 ≤ 0.94 ; 壁厚为 22~33 mm 时, 屈强比 ≤ 0.95 。③用户技术要求, 壁厚 $\leq 25.4\ \text{mm}$ 时, DWTT(落锤撕裂试验)剪切面积百分比SA $\geq 85\%$; 壁厚 $> 25.4\ \text{mm}$ 时, SA $\geq 75\%$ 。

同时, 宝钢还为西气东输二线工程提供了 30 万t 直径为 1 016 mm、壁厚为 17.5~26.2 mm 的 X70 钢级 UOE 焊管; 并开发配套了最大壁厚为 33 mm 的 X70 钢级热煨弯管母管和壁厚为 32 mm 的 X80 钢级热煨弯管母管; 全方位地满足西气东输二线工程需求。

(2) 基于应变设计的高强度大应变管线钢管。长输管道有时不可避免地要经过地震带、水土流失地区和冻土层等地质恶劣地区, 需要采用基于应变设计的高强度大应变管线钢管。宝钢根据国际管线发展需求, 以“铁素体+贝氏体”的双相组织设计并开发试制大应变管线钢和管线钢管^[14]。表 6 是宝钢 X70 钢级 HD 大应变管线钢管的性能。该 X70 钢级 HD 大应变管线钢管是针对中缅油气管道开发的, 具有很好的抗时效性, 能够很好地满足工程需求。中缅油气管道项目应用基于应变设计的 X70 钢级 HD 大应变管线钢管 1.03 万t, 是我国首次实现大

应变管线钢管这种全新产品从试验研究、试制和真正意义的工程应用。

(3) 南海荔湾项目。中国南海荔湾项目是我国目前水深最深的海底天然气管道工程项目。为实现海底厚壁管线钢管国产化, 宝钢从成分设计、轧制到焊管制造全流程, 进行最大壁厚 31.8 mm、直径 762 mm 的 DNV485/X70 钢级和壁厚 30.2/28.6 mm、直径 762 mm 的 DNV450/X65 钢级海底管线钢管开发试制。宝钢试制的海底管线钢管能很好地满足 DNV-OS F101:2007《海底管线系统规范》和中国南海荔湾项目的技术要求。到目前为止, 宝钢共生产了 4.71 万t 直径 762 mm、厚壁 28.6~31.8 mm 的 DNV485/X70 和 DNV450/X65 钢级海底管线钢管, 并成功地应用于南海荔湾项目。

(4) 澳大利亚昆士兰管线项目。2010 年宝钢 UOE 焊管厂才投产不足 2 年, 充分利用“冶炼—轧制—制管”全流程一站式的优势, 获得了澳大利亚

表 6 宝钢 X70 钢级 HD 大应变管线钢管的性能

壁厚/mm	$R_{0.05}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$R_{0.05}/R_m$	$A/\%$	$U-EL^{①}/\%$	$R_{11.5}/R_{0.05}$	$R_{2.0}/R_{1.0}$	$R_{1.50}/R_{1.10}$
17.5	513	668	0.77	33	8.4	1.207	1.065	1.116
21.0	516	671	0.77	35	7.9	1.216	1.065	1.111
用户技术要求	450~570	570~730	≤ 0.85	≥ 22	≥ 7.0	≥ 1.100	≥ 1.040	≥ 1.088

注：① $U-EL$ 指均匀伸长率。

昆士兰管线项目(QCLNG 项目)22 万 t $\Phi 1\ 067\ \text{mm}$ 大直径 X70 钢级管线钢管的全部供货合同,是目前我国出口总量最大的一单大直径直缝埋弧焊管合同,同时也是我国首次管线管生产过程从冶炼—轧制—焊管制造全流程进行第三方监造。宝钢通过严格的质量设计和全流程一贯制质量控制,保质、保量、按时地完成了该合同,为宝钢管线钢管进一步走向海外奠定了基础。

4 结 语

宝钢经过多年来的设备改造、新建生产线以及持续不断的技术进步,目前已经成为具有全球竞争力的钢管供应商之一。宝钢钢管产能在扩大,钢管产品规格组距配套更加完善,品种更加健全,可以不断满足能源工业发展的需求。随着“十二五”规划的实施,宝钢也将迎来新一轮发展的契机。宝钢将进一步完善并开发市场急需的高强度耐酸性环境腐蚀钻杆、油套管、管线钢管等碳钢产品以及马氏体、双相不锈、奥氏体合金等高合金产品,从而为国家乃至世界能源工业的发展做出更大的贡献。

5 参考文献

- [1] 刘玉文,余大典,李建新,等. 宝钢 ERW 610 焊管机组的技术先进性分析[J]. 钢管, 2006, 35(1): 32-36.
- [2] 黄卫锋,李建新,姚士杰,等. 宝钢 UOE 大口径直缝埋弧焊管机组的技术特点与优势[J]. 宝钢技术, 2008(5): 11-14.

- [3] 孙澄澜. 用幂函数建立张力减径机工作机组减径率分配通式[J]. 宝钢技术, 1999(4): 53-59.
- [4] 单恩芝. 自动化技术在宝钢钢管轧机改造中的应用[J]. 宝钢技术, 2006(3): 27-30.
- [5] 殷国茂. 中国钢管 50 年[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2004: 42, 221.
- [6] 王旭午,杨为国,李学进. ARE 高精度轧扩管机组的改进研究[J]. 宝钢技术, 2008(5): 30-34.
- [7] 付博,杨为国,张少莹. 浅谈烟宝 PQF $\Phi 460$ 机组热轧线投产调试与试生产[J]. 宝钢技术, 2013(3): 75-79.
- [8] 王琰,黄子阳,宋生印. 宝钢钻井用套管实物性能试验研究[J]. 宝钢技术, 2010(2): 49-53.
- [9] 沈琛,张忠铎,张春霞. 高酸性腐蚀气田用 BG2250-125 镍基金属油管开发[J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 35-36.
- [10] 邹炯强. 宝山钢铁股份有限公司顺利完成首批 BT-S13Cr110 超级 13Cr 油管生产[J]. 钢管, 2010, 39(1): 52.
- [11] 王琰. 宝钢集团有限公司新一代高气密封特殊螺纹油套管产品 BGT2 通过国外第三方评估[J]. 钢管, 2014, 43(2): 10.
- [12] 王起江,邹凤鸣,张瑞,等. 宝钢 T91 高压锅炉管性能试验与研究[J]. 宝钢技术, 2003(4): 46-50.
- [13] 王起江,邹凤鸣. 宝钢 T91 高压锅炉管的研究与开发[J]. 宝钢技术, 2003(增): 28-32.
- [14] 郑磊,傅俊岩. 高等级管线钢的发展现状[J]. 钢铁, 2006, 41(10): 1-10.

(收稿日期: 2014-04-29)