

宝钢钢管三十年发展回顾

殷光虹

(执笔)

(宝钢金属学会钢管专业委员会, 上海 201900)

摘要:回顾了 30 年来宝钢钢管从开工建设,到不断发展的历史,重点介绍了钢管技术创新和品种发展的情况。依靠技术创新, $\phi 140$ 连轧机组已经成为全球产能和生产效率最高的钢管轧机。随着兼并重组和当代最先进焊管机组相继投产以及 $\phi 460$ PQF 机组的建设,宝钢钢管已经发展成既有热轧又有冷轧、既有无缝又有焊管,规格外径覆盖 6 ~ 610 mm 的多单元生产企业。为适应能源、运输、机械、军工等行业的需要,钢管品种也由单一的碳钢向合金钢、不锈钢和特种合金不断发展。随着机组的增加、产能的扩大、新品种的开发,宝钢钢管已经逐渐成为具有全球竞争力的钢管供应商。

关键词:钢管;油井管;锅炉管;焊管

中图分类号: TG335.12 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0716(2008)05-0001-10

Review of the Development of the Pipe and Tube Products by Baosteel in the Past 30 Years

Yin Guanghong

(Steel Tube Commission, Baosteel Society of Metals, Shanghai 201900, China)

Abstract: The history of the development of the pipe and tube products by Baosteel was reviewed from its initial construction 30 years ago, with a focus on technical innovation in pipe and tube, and the product category enrichment. Thanks to the technical innovation, $\phi 140$ product line has become the most effective unit in the world. With the further merging and reorganization in the pipe and tube industry, more advanced welded pipe mills were put into operation in Baosteel, and the construction of Baosteel's $\phi 460$ PQF line started. With all these, Baosteel Steel Tubing Plant has become a pipe and tube maker with a large product category, its products covering cold rolled, hot rolled, seamless and welded, its product dimension ranging from 6 mm to 610 mm. To meet the requirements from the energy, transportation, machinery, military and other relevant industries, Baosteel's product variety has also developed from the single carbon steel to alloy steel, stainless steel and special alloys. As Baosteel Steel Tubing Plant increased its number production units, expanded its production capacity and developed its new product variety, it has grown into a pipe and tube supplier with the global competitiveness.

Key words: pipe and tube; Oil Country Tubular Goods(OCTG); boiler tube; welded pipe and tube

0 前言

作为宝钢一期工程中唯一的成品厂,宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管机组,自 1978 年开始引进谈判,1979 年 12 月 8 日与德国德马克公司签约,1980 年 7 月 7 日在长江口打下第一桩开始,至今已将近 30 年了。

30 年来宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管大致经历了引进

建设、消化改造、技术创新、品种发展 4 个发展阶段。

第一阶段——引进建设。从开工建设到 1985 年 11 月 25 日投产,建成了我国首条全面引进的,具有当时世界先进工艺装备水平的全浮动芯棒连轧机组。

第二阶段——消化改造。从 1985 年投产到 1993 年达到设计能力,历经 8 年磨难奋力爬坡,不断对引进设备进行完善改造,实现了年产 50 万钢管的原设计目标。

第三阶段——技术创新。从 1993 年到 2000 年,达产后的钢管厂加快了前进的脚步,通过持续

殷光虹 首席研究员 1947 年生 1982 年毕业于哈尔滨工业大学 现从事材料研究工作 电话 26648715
E-mail ghyin@baosteel.com

技术创新,在保持产量稳步提高的同时,质量、品种、销售、利润额等各项指标逐年跃上新台阶。

第四阶段——品种发展。从 2000 年以来,钢管厂大力调整产品结构,开发高附加值新产品,钢管产量跨上了 80 万 t 新台阶,同时销售收入和利润大幅提升。

在宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管机组不断发展的同时,烟台鲁宝钢管厂、上海精密钢管厂、特殊钢分公司钢管厂也先后加入了宝钢钢管的大家庭,宝钢分公司 $\phi 610$ HFW 焊管机组和 $\phi 1422$ UOE 机组也先后投产,使宝钢钢管的品种不断增加、规格不断完善、产能不断扩大,2007 年产量已经突破了 150 万 t。

1 宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管建设与改造

1985 年 11 月投产的宝钢无缝钢管厂 $\phi 140$ 全浮动芯棒连轧管机组是从德国曼内斯曼—德马克公司引进,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。设计年产量 50 万 t;产品规格为外径 21.3 ~ 139.7 mm,壁厚 2.0 ~ 25 mm;产品品种有油井管(油管、套管、钻杆)、锅炉管(中低压、高压锅炉管)、一般商品管和输送管等。

全厂生产主要由热轧、精整和油井管加工 3 部分组成,产品的工艺流程见图 1。

1.1 热轧区

热轧区是由管坯火焰切割线、环形加热炉、导

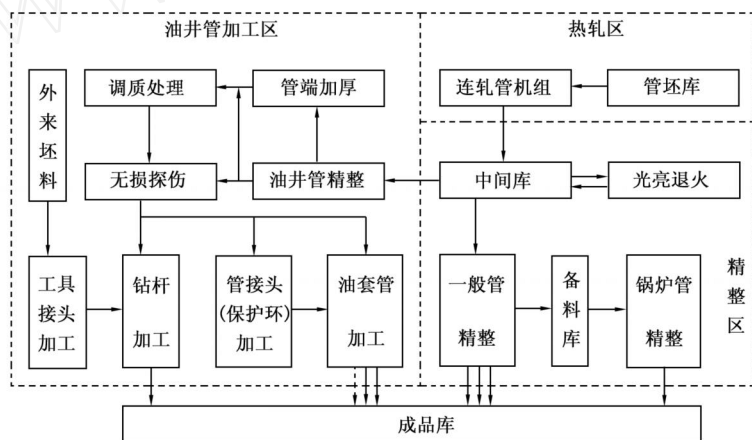


图 1 $\phi 140$ 机组生产工艺流程

Fig 1 The production technology process of the $\phi 140$ unit

盘斜轧穿孔机、空心坯减径机、带竹节控制的 8 机架全浮动芯棒连轧管机、再加热炉、带头尾控制(CEC)的 28 机架张力减径机、165 m 步进式冷床和 $\phi 1800$ 冷锯等主要设备组成的连续生产线。

1.2 精整区

精整区分为一般管流水精整线和锅炉管精整线。一般管流水精整线上配有矫直、锯切、几何尺寸和表面质量检查以及涡流探伤等设备;锅炉管精整线上有保护气体热处理炉、再切锯、超声波探伤和修磨线以及水压试验机等设备。此外生产线上还配有成品的打印、测长、称重、涂油、打捆等相应设施。

1.3 油井管加工区

油井管加工区分为油井管管料准备、配件加工和油井管成品加工 3 个部分,9 个分区、13 条生产线共 79 台机床设备。管料准备包括管料精整、管端加厚和修磨、热处理以及无损检验等生产线;

配件加工包括油套管接箍加工、工具接头加工和保护环加工等生产线;油井管成品加工包括油套管成品加工线和钻杆成品加工线。

1.4 计算机控制系统

全厂采用的计算机控制系统分为 3 级,共有 12 台。第一级主要功能为合同管理、生产计划、数据库存档等;第二级为材料运行级,主要功能为设备监控、物流跟踪、库存管理、数据搜集等;第三级为过程控制级,主要用于穿孔机与连轧管机的过程控制和张力减径机与冷锯的过程控制。

综合上述工艺装备,形成了较完整的高产、优质、机械化、自动化的现代钢管厂。该机组的先进性主要体现在以下几个方面:

(1) 仅用 $\phi 175$ 的一种直径管坯,可以轧制出外径 21.3 ~ 139.7 mm,壁厚 2 ~ 25 mm 的 468 种不同标准、品种和规格的成品钢管。

(2) 轧制节奏快,可达 3.6 支 / min;管坯单重

大,可达 850 kg;产量高,年产量在 50 万 t 以上;张力减径后钢管最大长度达 160 m,定尺率好。

(3)轧制工艺采用高新技术。空减后毛管内壁吹尽铁皮,连轧采用竹节控制技术,张力减径采用头尾控制技术,轧制的钢管内外表面质量好,尺寸精度较高。

(4)钢管轧后采用长达 165 m 的分段同步步进式冷床,冷却中使钢管不断转动,保证均匀冷却,获得较好平直度。

尽管该机组设计理念非常先进,但是在细节设计上仍然存在许多致命问题,大大限制了钢管产能

的提高,1985年投产后多年未能达产。甚至也有人认为这套机组最高产能只能达到 30 万 t/a。但是钢管人没有放弃,经过 8 年的漫长努力、不断地消缺改造,于 1993 年达到了年产 50 万 成品管的设计产量。

图 2 是 $\phi 140$ 无缝钢管机组历年产量统计。1993 年达产后,钢管厂没有停止前进的步伐,又通过一系列重大技术创新和技术改造,使 $\phi 140$ 无缝钢管年产量稳定在目前的 80 万 t 水平以上,创造了又一个奇迹。

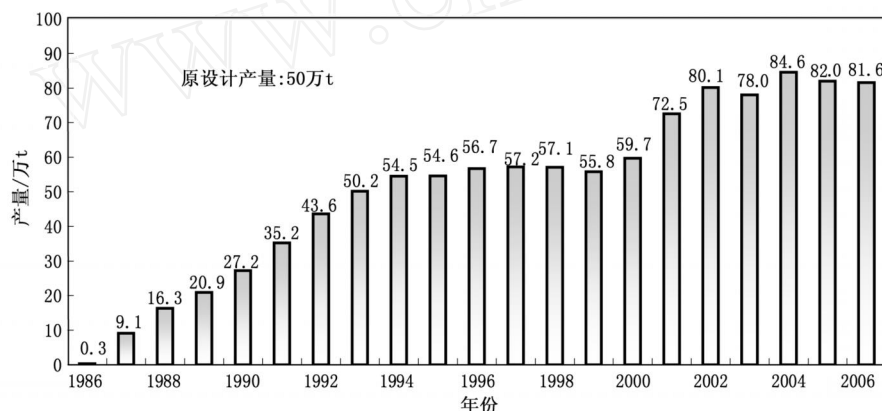


图 2 宝钢 $\phi 140$ 机组历年产量

Fig 2 Annual capacity of Baosteel $\phi 140$ unit since 1986

2 技术创新是宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管发展的动力

1993 年达到年产 50 万 t 的产量后,从 1993 年到 2000 年的 7 年内,通过技术创新、对钢管生产全流程的主要工艺设备技术进行了重大创新和改造,使钢管产能突破了 80 万 t。

2.1 轧管生产线创新和改造

(1)环形加热炉、再加热炉、芯棒热处理炉改用美国 MAX-100 型集散控制仪表系统集中控制,特别是对环形加热炉采用数学模型优化加热控制,使加热温度准确、均匀,烧损减少,能耗降低。

(2)实施穿孔机自动化改造,实现了原控制系统无法实现的轧制控制功能,并扩大了行程范围。

(3)钢管厂投产初期仅有 119, 152.5, 162.5 mm 3 个连轧孔型,后相继开发出 169, 189 和 200 mm 连轧孔型。形成了 119, 152.5, 169, 189 和 200 mm 共 5 个连轧孔型。突破了原设计限制,将产品最大外径从 139.7 mm 扩大到 177.8 mm,壁厚从 3~25 mm 扩大到 3~32 mm,达到了世界上

$\phi 140$ 机组的最大产能。该项技术获得宝钢 2002 年度重大科技进步一等奖。

(4)连轧电气传动系统改造完善了设备功能和精度,具备了生产高难轧制品种的功能,产品合金含量从最初的 5% 以下提高到目前的 15%。

(5)连轧芯棒冷却水槽移位改造,增加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,减轻了“竹节”现象。

(6)张减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,并为此后实现的张减机 CEC 控制和平均壁厚控制提供了条件。该项技术获得宝钢 2001 年度重大科技进步一等奖。

(7)张减孔型最初为的 AO, AR, BO, BR, CR, 后来发展了 BM, B100D, A100D, C100D, ARDBH, BRDBH, CRDBH, 尤其是张减机孔型及孔型系优化开发的 RDBH 孔型是一种世界首创的全新的非传统孔型。改变了由两种孔型分别轧制厚壁管与薄壁管的历史,实现了一种孔型从厚轧到薄,大大提高了 $\phi 140$ 机组的产能。该项技术获得宝钢

2002年度重大科技进步一等奖。

(8)张减机增设 γ 射线在线检测装置,提高了成品管尺寸均匀性。

(9)将 165 m冷床倾角由原设计 8.5° 减小到 4.5° ,提高了钢管冷却均匀性。

通过对热轧线三大机组的系列综合改造和技术创新,实现了 $\phi 140$ 无缝钢管热轧量从 50万 t到目前 88万 t的飞跃,轧制成材率也从 72%上升到了 87.99%。

综合热轧生产线技术创新成果的“ $\phi 140$ 连轧管机组系列工艺和设备的研究”项目获得宝钢集团首次唯一的技术创新特等奖。

2.2 油井管生产线技术创新和改造

(1)油井管水淬热处理综合研究,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。该项技术获得宝钢 2000年度重大科技进步一等奖。

(2)调质热处理机组的回火炉后增设了带温矫直机,为生产抗硫化物应力腐蚀油套管创造了必要的条件。

(3)新建油套管 3[#]线是一条最先进的油套管及管接头加工线,实现了宝钢石油管产量增产 15万 t/a,还为出口高质量的石油管创造了条件。

(4)把油井管锯切料机组改造成完整的管料预精整线,并采用硬质合金锯机取代原来的高速钢锯机,使年处理量从 22万 t提高到 30万 t以上,为油井管产量的大幅提高创造了条件。

(5)新增 1条集涡流、超声波探伤和管端荧光磁粉探伤以及全长超声波测厚于一体的多功能无损探伤线。

(6)新建了 1条年产 6万支的非开挖钻杆线,该线还具备生产钻杆的能力,从而为钻杆产能提升打下了基础。

通过对油井管线相应机组的一系列改造,实现了油井管年产量从 21.3万 t上升到 50万 t,特殊扣产品从零到 4 000 t的突破。

2.3 锅炉管生产线技术创新和改造

(1)新增 3[#]高压锅炉管线工程建设了 1条多功能的钢管精整自动流水线。其主要特点是多功能性:可以生产高压锅炉管、高质量管线管和部分钢级油套管的光管精整;连续性:由 30多台套设备组成 1条连续生产线,将原来分区、段、间加工的高压锅炉管生产工序组合在一起,如在线压扁、

在线探伤、在线修磨、在线切管锯切缺陷,均可以在一条生产线上进行;生产工序灵活性:生产线可以按不同产品要求采用不同的工艺流程。

(2)新增 3[#]辊底式热处理炉工程实现增产合金高压锅炉管 16 000 t/a,有效开拓了海外市场。

通过对锅炉管线改造,实现了年产 10万 t锅炉管的定位目标(原设计年产 3.23万 t);且高压锅炉管中合金管比例从 36%上升到 74%,2005年实现锅炉管效益超 7亿元,产能效益上升明显。

2.4 提升产品质量的技术改造

(1)精整区工艺改造形成两种生产工艺锯切分段,既发挥了矫直机应有的功能,又使低钢级管的直度可控,减少用户质量异议。

(2)管加工区调质炉三电改造改善了炉内温度场的分布,为抗腐蚀系列产品的生产提供了条件。

(3)油井管线涂层设备改造,将过去易着火、漏电、涂层质量不好的静电涂醇酸清漆的工艺改为喷涂水溶性漆工艺,提高了油井管外表防腐能力。

通过这些相关改造,提高了钢管整体产品质量和外观形象。

3 品种发展是钢管效益的保证

企业所有工艺设备技术的创新和改造,目的都是为了生产出有市场竞争力的产品。因此新产品的研发是企业立足于市场的根本保证。从 2000年以来,在基本完成了大规模的工艺设备技术创新和改造后, $\phi 140$ 无缝钢管发展的重点转移到新产品研发方面。

宝钢 $\phi 140$ 无缝钢管建厂初期确定的产品品种为油井管、锅炉管、一般商品管和输送管等。其中主要产品油井管和锅炉管属于国家经济发展急需的能源用管。能源是我国经济发展的命脉,随着我国经济的高速发展,对能源的需求不断增加,宝钢钢管也相应加大了能源用管的开发力度。

3.1 油井管开发

3.1.1 油管 and 套管开发

油管和套管是油气钻采中用量最大的管材,也是宝钢能源用管中产量最大的品种。图 3是 20年来宝钢油套管的年产量,可以看到宝钢油套管年产量呈明显快速上升的趋势。从 1987年到 1995年,用了 8年时间,年产量达到了 20万 t设计能力,从 1996年到 2000年这 5年,年产量基本稳定在 25~

30万 t之间,为产品质量大幅度提高阶段。从2000年开始至今,宝钢加快了新产品研发步伐,在钢管年产量基本稳定在 80万 t的情况下,油套

管年产量大幅提高,2006年产量突破了 55万 t,油套管占钢管总产量的比值已接近 70%。20年间油套管累计产量已经超过 500万 t。

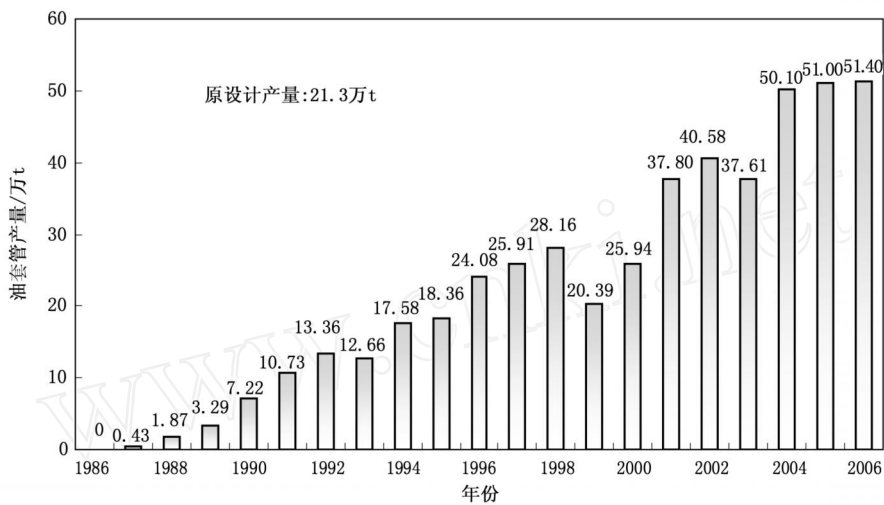


图 3 宝钢历年油套管产量

Fig 3 Annual output of Baosteel's tubing and casing products since 1986

油套管产量的快速增加,是与新产品开发密切相关的。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,含二氧化碳、硫化氢介质的油田越来越多。这些腐蚀介质对钻杆、套管、油管等会产生严重的腐蚀作用,极大地影响着使用安全。为了抵抗地下含有的 H₂S、CO₂、Cl⁻等各种腐蚀介质对油套管的破坏,能够抵抗 H₂S应力腐蚀、抵抗 CO₂均匀腐蚀、抵抗 Cl⁻点腐蚀的各种抗腐蚀油套管需求不断增加。仅仅靠 API的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,正是这些迫切需求促进

了宝钢油套管生产技术的进步和发展。

宝钢钢管在 20 世纪 80、90 年代只能按 API (美国石油协会)标准生产少数几个钢级的油套管,随着生产设备的稳定和产量的提高,以及油田用户对油井管性能差异化需求的提高,宝钢加快了非 API标准的油套管新产品开发,重点研制开发了系列的抗二氧化碳腐蚀油套管、抗硫化氢腐蚀油套管以及既抗二氧化碳腐蚀又抗硫化氢腐蚀的油套管,见表 1。

由表 1 可见,宝钢在 2000 年以前只能生产 AP 标准系列中部分油套管。2000 年以后宝钢油

表 1 宝钢油套管品种发展

Table 1 The development of tubing and casing products by Baosteel

时间	API系列	宝钢非 API系列					
		深井	热采	射孔枪	高抗挤毁	酸性环境	湿 CO ₂ 环境
2000年前	J55 /K55						
	N80						
	C90						
	P110						
	Q125						
2000年后	L80 - 13Cr		BG80H		BG80T	BG80SS	BG80 - 3Cr
						BG90SS	BG90 - 3Cr
						BG95SS	BG95 - 3Cr
	T95				BG95TT	BG110SS	BG110 - 3Cr
			BG110H	BG110G	BG110TT		BG110S - 2Cr
							BG13Cr110
							BG2250 - 110
		BG140					BG2830 - 110
		BG150		BG155G			

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。

宝钢近年来重点进行抗腐蚀油套管的开发。由于油气井所含腐蚀介质的种类、浓度、温度、压力各不相同,井深也不相同,因此应该根据油气井的实际情况进行选材。当 CO_2 含量较低, H_2S 腐蚀占主导时,可以根据 H_2S 分压的大小,选择碳钢、低合金钢和耐蚀合金;当 CO_2 分压较高, H_2S 分压较低时,采用 9Cr, 13Cr 马氏体不锈钢;当 CO_2 分压进一步升高,或温度超过 150 ,或 H_2S 含量增加,采用超级 13Cr 或双相不锈钢;当 CO_2 浓度和 H_2S 浓度都很高时,采用 Ni 基耐蚀合金。

宝钢目前开发成熟的抗腐蚀油套管主要是碳钢、低合金钢系列, Cr - Mo 系列钢种,并通过 V - Nb - Ti 微合金化提高其强度和抗腐蚀性能。

宝钢目前产量最大、使用最为广泛的抗腐蚀油套管是抗 H_2S 酸性腐蚀油套管。普通油套管用于含 H_2S 的油气井时,在使用应力和 H_2S 气体的作用下,往往会在受力远低于其本身屈服强度时就突然发生脆断,即硫化氢应力腐蚀开裂,简称 SSC。为保证其不发生 SSC 断裂,目前,用于含 H_2S 油气田油套管的抗硫性能检验均要求按 NACE TM 0177 国际标准进行。API 标准规定,当标准试样在规定的酸性溶液中采用恒载荷法,即材料在承受轴向 80% 名义屈服强度的载荷作用下,经 720 h 不断裂,则可作为一般抗硫油套管使用。宝钢目前已经批量生产超过 API 标准要求,可以用于高井压、高 H_2S 含量,轴向名义屈服强度达到 90% 的非 API 标准抗硫油套管。

宝钢 3Cr 系列抗 CO_2 腐蚀油套管是近年来成功开发的又一个具有很高技术含量的新产品。鉴于 13Cr 系列不锈钢油套管价格昂贵、抗硫化氢应力腐蚀开裂能力较差,为降低开发成本并提高同时含 CO_2 、 H_2S 油气井油套管的使用寿命,油田迫切需要抗腐蚀性能良好、成本低廉的经济型抗腐蚀油套管,以满足石油天然气合理开采的需要。宝钢 1999 年开始通过调查国内油田油套管的 CO_2 腐蚀失效和腐蚀行为,在国内首次自主开发出油套管的 CO_2 腐蚀评价方法和装备,并在国际上率先开发出完全具有自主知识产权的 BG80 - 3Cr, BG90 - 3Cr, BG95 - 3Cr, BG110 - 3Cr 抗 CO_2 腐蚀油套管和 BG80S - 3Cr, BG90S - 3Cr, BG95S - 3Cr 抗 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 腐蚀油套管等 7 个不

同钢级和功能的 3Cr 系列新品种,系列产品共获得 5 项专利授权,其中 3 项为国家发明专利。腐蚀检验结果表明,系列产品的抗 CO_2 腐蚀性能和常规产品相比提高 3 倍以上,而且其抗 H_2S 应力腐蚀性能在饱和硫化氢 A 溶液下加载 80% 和 90% 名义屈服强度下经过 720 h 未出现开裂,显示出完全抗硫化氢应力腐蚀开裂的能力。

宝钢 3Cr 系列油套管在国际上首次成功研发,标志着宝钢中低合金抗腐蚀油套管的开发达到了国际先进水平。它不仅解决了油气田油套管腐蚀的问题,而且整体上提升了中国抗腐蚀管的研究和生产水平,同时对我国含 CO_2 、 H_2S 腐蚀油气井的材料选材有重大的现实意义。此外,本项目的成功研发,改变了国内外原有抗 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 腐蚀管的成分设计思路,促进了抗腐蚀管材料研发、生产的技术进步,同时极大地带动了国内抗腐蚀管生产厂家的技术进步。该项目获得宝钢 2007 年度重大科技进步一等奖。

3.1.2 油气钻探用钻杆的发展

油气钻探用管一般包括方钻杆、钻杆、加重钻杆、钻铤等。其中用量最大的是钻杆,其主要作用是传递扭矩和输送钻井液。钻杆在井下主要承受弯、扭、磨损、腐蚀等条件的作用。由于钻杆之间采用螺纹连接,因此对螺纹的连接强度和密封性能也有较高的要求。钻杆在使用中的主要失效形式是螺纹连接处疲劳断裂和管体与接头加厚过渡带处受钻井液冲刷而刺穿开裂。研究表明,除了改善管体与接头加厚过渡带形状,降低钻井液的冲刷腐蚀外,防止钻杆早期断裂失效的最有效手段是提高材料的冲击韧性,以防止疲劳裂纹的产生和扩展。

宝钢钻杆的开发大体经历了 3 个阶段:1995 年以前的第一代产品由于冲击功较低、加厚过渡带形状不好,发生过多起在井下刺穿断裂事故;1995 年以后的第二代产品,改善了过渡带形状并大幅度提高了材料的冲击韧性,质量有了很大提高,已经广泛用于全球许多油田;2005 年以后通过成分体系的重新设计和热处理工艺的改变,生产的第三代产品质量有了进一步提高。表 2 是宝钢 AP5D S135 钢级钻杆三代产品的性能对比。

由表 2 可见,通过洁净钢冶炼技术,宝钢第二代钻杆的 P 含量已经由当初的 $200 \times 10^{-4} \%$ 降至 $100 \times 10^{-4} \%$ 以下, S 含量更是由 $200 \times 10^{-4} \%$ 以上降至 $20 \times 10^{-4} \%$ 以下。随着 P、S 含量的降低,

表 2 S135 钻杆性能对比

Table 2 Comparison of properties of API S135 drill pipes by Baosteel

S135 钻杆	钢种体系	P 含量 /10 ⁻⁴ %	S 含量 /10 ⁻⁴ %	R _{0.2} /MPa	R _m /MPa	C _v /J
第一代	Cr - Ni - Mo	140 ~ 200	100 ~ 300	970 ~ 1 100	1 100 ~ 1 200	60 ~ 80
第二代	Cr - Ni - Mo	40 ~ 100	5 ~ 20	970 ~ 1 100	1 100 ~ 1 200	100 ~ 120
第三代	Cr - Mo - V	40 ~ 100	5 ~ 20	970 ~ 1 100	1 100 ~ 1 200	120 ~ 150

以及对夹杂物形态的控制,材料的冲击韧性大幅提高,一般都在 100 ~ 120 J 左右。

宝钢第三代 S135 钻杆与第二代产品相比,钢种由 Cr - Ni - Mo 系改为 Cr - Mo - V 系,并将热处理工艺由油淬调质改为水淬调质。水淬调质热处理是钢管热处理的发展方向,宝钢经几年努力,于 1998 年研制成功的水淬热处理装备和工艺,采用钢管外表面层流冷却,内表面轴流冷却,钢管旋转淬火的方式,可以使钻杆加厚端与管体采用不同的冷却水量,使得钻杆加厚端与管体具有相同的性能,在冶炼控制水平不变的条件下,钻杆的管体和加厚端冲击韧性有了进一步提高。

20 世纪 90 年代,宝钢钻杆年产量不足 1 000 t,随着产品质量的提高,产量也有了大幅提高,目前的年产量已经接近 3 万 t。

3.1.3 特殊螺纹加工技术的发展

API 圆螺纹及偏梯形螺纹是全球油井管生产商普遍采用的统一标准,可以满足大部分油井对油套管螺纹连接强度的要求。但是其密封性能却不能满足高压气井的要求,因此很多油井管生产

商开始研究具有高气密封性能的特殊螺纹加工技术,并形成本企业的专利技术进行市场保护。为打入气井用管市场,必须拥有自己的特殊螺纹专利技术。

宝钢自 1995 年以来,在 API 标准螺纹的基础上开发了以下特殊螺纹产品:

- (1) API 标准带 SR13 接箍油套管;
- (2) 宝钢系列油套管: BGXC, BGT, BGT1, BGC, BGHY, BGT6, BGT8;
- (3) 宝钢系列钻杆 BGDS;
- (4) 引进系列油套管 SMAX, SMAX - TS, HSC。

3.2 锅炉管开发

电力是安全、高效、清洁的二次能源,在国民经济中起着举足轻重的作用。宝钢锅炉管主要用于火力发电机组。宝钢原设计锅炉管年产量为 3.6 万 t,随着我国近年来电站锅炉的大力发展,宝钢锅炉管年产量也明显增加。图 4 是宝钢锅炉管年产量统计。

受当时引进和国内电站锅炉行业需求的影响

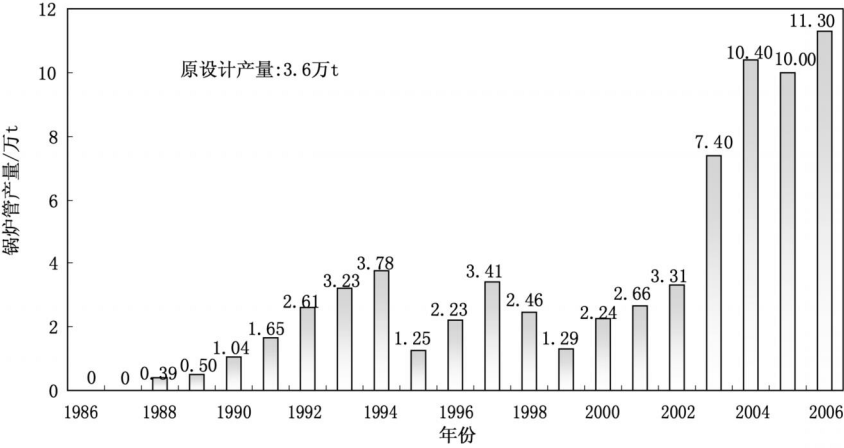


图 4 宝钢锅炉管产量

Fig 4 Annual output of Baosteel 's boiler tube since 1986

响,原锅炉管生产线仅能按照德国 DN 标准组织生产,生产品种仅有 7 个,分别为 S35.8, S45.8, 15Mo3, 13CrMo44, 10CrMo910, 14MoV63 和 12Cr1MoV,生产的品种 Cr 含量在 2.25% 以下。

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、高温蠕变、高温氧化性能提出了更高的要求。宝钢适应这一变化,近十年

来开发了许多合金含量更高、用于超临界、超超临界锅炉的锅炉管新品种。由于研发起步较早,许多高合金锅炉管在国内市场上有较高的市场占有率。表 3是宝钢锅炉管新品种开发情况。

表 3 宝钢锅炉管新品种

Table 3 New varieties of boiler tubes by Baosteel

牌号	钢种	持久强度 (600 ,10万 h) MPa	市场占 有率 /%
T22	2 25Cr - 1Mo	60	
T23	2 25Cr - 1.6WVNb	100	100
T91	9Cr - 1MoVNb	100	80
T92	9Cr - 0.5Mo108WVNb	140	100
T122	12Cr - 0.5Mo - 2WCuVNb	140	
Super304	18Cr - 8CuNbN	168	试制中
TP310HNBn	25Cr - 20NbNbN	181	试制中

在表 3所列新产品中,T91高压锅炉管是宝钢投入开发力度最大的新产品。该项目从 1999年开始,研究了 T91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;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 14%,为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 $\phi 140$ 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;创建了 1条多功能高压锅炉管自动生产线,为超(超)临界电站锅炉用新型耐热管材的批量生产创造了条件。

宝钢 T91备受国内各大锅炉厂的广泛青睐,2003年实现了批量生产 4 135 t,随后 2004年、2005年、2006年分别达到了 6 500 t、10 131 t和 13 555 t的生产能力,并于 2005年被上海市认定为上海市高新技术成果转化项目,2006年 11月被国家认定为国家重点新产品,2007年获得冶金行业科技进步三等奖。

同时,宝钢在 T91研制成功的基础上,又率先在国内于 2004年成功地研制出 T23产品,2007年研制出 T92产品,并在 2007年 10月实现了 S30432(Super304)、TP310HNBn奥氏体不锈钢小批量试制。

目前,宝钢高压锅炉管已形成系列供货能力,可按用户要求按照德国 DN标准组织生产,也能够按照美国 ASME标准和我国 GB5310标准组织

生产,产品在国内市场占有率已达到约 30%,高端产品国内优势明显,其中 T91产品覆盖国内生产能力的 80%,T23、T92达到 100%,内螺纹管的市场占有率高达 60%。产品研发能力在国内处于领先地位,其主要表现在国内 600 超超临界电站锅炉所需新材料 T23、T91、T92、S30432(正在开发)、TP310HNBn(正在开发)可向锅炉行业成系列供货。

4 宝钢钢管的发展

尽管 $\phi 140$ 无缝钢管机组 30年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钢管在国内外钢管市场的竞争方面处于劣势。随着鲁宝钢管、精密钢管、特殊钢管先后加入宝钢钢管,以及新机组建成,宝钢钢管又迎来了新一轮发展。

4.1 宝钢股份公司烟台鲁宝钢管厂

烟台鲁宝钢管于 20世纪 80年代末期建厂,从美国引进了 1套 ARE(Accu - Roll & Expander)高精度轧扩管机组。原设计产能为 7.1万 t/a,规格 $\phi 63 \sim 114$ 。

1992年,烟台鲁宝钢管加入宝钢集团,2003年 10月,烟台鲁宝钢管加入宝钢股份。

烟台鲁宝加入宝钢后,经过持续改进与创新,Accu - Roll轧管机已经变成一种全新轧机,形成了 ARE集成钢管生产技术:

(1)产品规格范围宽,既能轧管生产,又能扩管生产;

(2)产品实物质量较高,壁厚精度达到 $\pm(6 \sim 8)\%$,外径精度达 $\pm(0.3 \sim 0.5)\%$;

(3)生产效率较高,在单倍尺生产的 1条机组,产能达到 30万 t/a以上,规格也扩大到 $\phi 114 \sim 325$ 。

图 5是烟台鲁宝钢管加入宝钢后历年钢管产量统计。钢管产量 1992年仅为 4.15万 t,2007年已经达到 31.55万 t,大大超过了设计能力。

烟台鲁宝钢管产品现有无缝钢管 20个品种、26个外径系列、400多个规格。其中主要的工艺及新产品开发成果见表 4。

4.2 宝钢股份公司精密钢管厂

精密钢管厂的前身为 1958年建厂的上海钢管厂,1998年随着上海市冶金业重组,上海钢管厂加入宝钢集团,2007年 9月加入宝钢股份,更名为宝钢股份精密钢管厂。

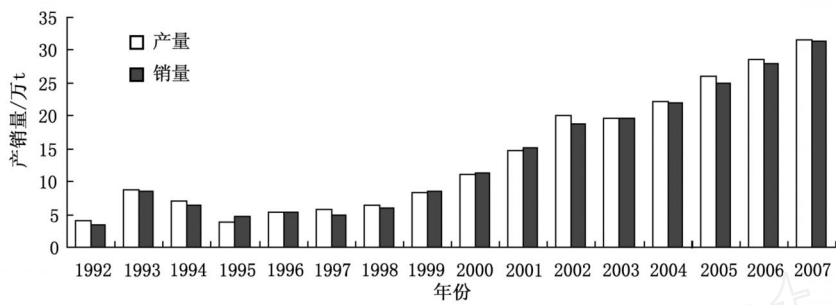


图 5 烟台鲁宝钢管历年产销量

Fig 5 Annual output and sales of pipe and tube products by Lubao since 1992

表 4 烟台鲁宝钢管主要开发成果

Table 4 The development achievement of pipe and tube products by Lubao

序号	成果名称	获奖等级	获奖时间
1	φ168 ~ 219结构用无缝钢管	山东省优秀新产品一等奖	2000年
2	φ121 ~ 159低中压锅炉管	山东省优秀新产品三等奖	1997年
3	φ121 ~ 159输送流体管	山东省优秀新产品三等奖	1997年
4	φ121 ~ 159大口径输送流体用无缝钢管的研制与开发	山东省科学技术进步奖三等奖	1996年
5	φ121 ~ 159大口径低中压锅炉用无缝钢管的研制与开发	山东省科学技术进步奖三等奖	1996年
6	创新曼氏穿孔机技术、成功开发 φ219钢管	上海宝钢集团技术创新奖二等奖	2002年
7	环形炉扩容技术的研究与应用	宝钢股份重大科技成果二等奖	2006年
8	Accu - Roll轧管机组离线插棒技术的研究与应用	宝钢股份重大科技成果三等奖	2006年
9	轧扩管技术的研究与应用	宝钢股份重大科技成果二等奖	2007年

精密钢管厂主要设备有 1 套 φ114 Accu - Roll 轧机, 1 套 φ76 自动轧管机组, 5 套冷轧管机和 18 套冷拔管机。加入宝钢 10 年来, 利用宝钢原料优势, 已经形成了以生产小口径冷拔、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, 目前年产量约 10 万 t 左右。

(1) 电站锅炉用管主要是给国内各大锅炉厂配套供应 600 MW、1 000 MW 超临界、超超临界火电机组水冷壁、省煤器、过热器、再热器用 φ16 ~ 89 各种牌号的优质碳素结构钢、合金结构钢钢管, 包括内螺纹高压锅炉管和 ASME 规范钢管。

(2) 汽车用管已形成 10[#] ~ 45[#], 16Mn, 20Cr, 15CrMo, 35CrMo, SAE8617H 等超过 10 个牌号, 共 70 多个规格用于汽车操纵器、减震器、传动轴、转向器、前、后轿、消音器、汽车附件等 10 多个系列品种。

(3) 油气采集输送用管主要是 φ73 × 5.51 mm ~ φ177.8 × 13.72 mm API 规范标准规格热轧油套管。

精密钢管厂加入宝钢 10 年来, 为提升产品竞争力, 完成多项重大技改和科研, 取得许多成果:

(1) 2003 年 11 月, 完成了 Π - 11 热处理炉改造。

(2) 2002 年 9 月, 用于奥迪 A6、帕萨特等国内中、高档轿车 CK35 等速空心传动轴 4 只样管得到用户认可, 并确认可替代进口。

(3) 2005 年 T23 钢管开发成功并投产, 标志着电站锅炉用钢管新材料的开发工作取得阶段性成果。

(4) 2005 年钢管冷轧工程项目投产, 不仅扩大了冷轧钢管的产量, 并且当年即收回成本。

(5) 2006 年 11 月 1 日, 成品钢管自动喷标生产线建成并投入试生产。

(6) 2006 年 12 月, 小口径内螺纹钢管 (SA - 213, T2, 15CrMoG) 获得上海市高新技术成果转化认定。

(7) 2007 年 3 月底, 首批 T92 钢管发往上海锅炉厂。

(8) 2007 年 8 月, 首批生产的长度为 20.8 m T22 φ50.8 × 2.9 mm 超长合金钢管发往菲律宾巴布科克日立公司 (BHK)。

4.3 宝钢股份特殊钢分公司钢管厂

特殊钢分公司钢管厂前身为 1963 年建厂的

上钢五厂钢管厂,是中国最早生产高合金精密无缝钢管的企业,诞生了中国第一支无缝不锈钢航空用钢管,是中国航天、航空、石油化工、仪表、机械等工业用不锈钢类无缝钢管的重要生产基地,是中国核电用管的专业生产企业,产品规格: $\phi 6 \sim 133$,其中各类锅炉用不锈钢管占 50%左右,耐热钢占 10%,双相钢占 18%。

特殊钢分公司钢管厂主要轧管设备有 1 套 $\phi 100$ 两辊斜轧穿孔机, 24 台 2 辊冷轧管机, 1 台德国引进的 SKW 75VMR 高速冷轧管机, 1 台德国引进的 KPW 50VMR 高速冷轧管机及 8 台各种吨位冷拔管机。

目前主要品种有:

(1)奥氏体不锈钢管: 304, 304L, 321, 316L, 310S, 316L。

(2)奥氏体电站高压锅炉管: TP304H, TP347H, TP321H。

(3)双相不锈钢管: 00Cr24Ni4, 00Cr18Ni5MoSi2 (3RE60), 00Cr22Ni5Mo3N (2205), 00Cr25Ni7Mo4N (2507)。

(4)高温、特种耐蚀合金管: GH3030, GH1140, GH984, 2RE69。

(5)钛及钛合金钢管: TA2, GR2。

(6)航空(航天)军工专用管: 1Cr18Ni9Ti, GH3600, 新 13 号, 3J1, GH4169。

(7)其中需要近期重点开发和产业化的品种有:

双相不锈钢管: 00Cr25Ni9Mo4N 和大口径 00Cr22Ni5Mo3N;

奥氏体电站高压锅炉管: 超级 304H 和 310NbN;

钛合金钢管: GR9;

油井用管: BG2830、BG2250。

近年来特殊钢分公司钢管厂加大了技术创新和新产品开发的速度,取得了多项成果。生产的核反应堆蒸发器用合金钢管新 13 号和 3RE60 双相耐腐蚀不锈钢管荣获国家科技进步一等奖; 1Cr18Ni9Ti 化工用不锈钢管荣获国家银质奖。生产出的供航空发动机用小口径管、航天火箭及卫星用管等、航海舰船用高温合金管以及潜艇蒸发器用管,为我国国防建设作出了自己的贡献。

4.4 $\phi 610$ HFW 焊管机组

宝钢分公司钢管厂新建的年产 30 万 t 的 $\phi 610$ HFW 焊管机组已经于 2006 年投产,这是一

条目前世界最先进的 HFW 焊管生产机组,以石油工业急需的管线管和石油套管为主。经过近 2 年生产,目前,采用宝钢优质热轧板卷,已经批量生产出性能优异的 X70 管线管和 P110 套管,填补了国内空白。

4.5 $\phi 1422$ UOE 焊管机组

宝钢分公司钢管厂新建的年产 50 万 t $\phi 1422$ UOE 焊管机组已经于 2008 年初投产,是一条当今世界最先进的 UOE 焊管机组。产品主要为大口径管线管。我们相信,采用宝钢优质宽厚板原料生产的大口径管线管一定会为我国今后几年将要建设的多条长输管线工程用管做出杰出贡献。

4.6 $\phi 460$ PQF 无缝钢管机组

将建于山东烟台的年产 50 万 t $\phi 460$ PQF 无缝钢管机组项目已经实质启动,将于 2009 年投产。产品以高合金、高品质石油管、锅炉管、机械管为主,机组投产后将填补宝钢没有大口径无缝管的不足。

4.7 $\phi 250$ 无缝钢管机组

将建于宝钢八一钢厂的 1 条年产 50 万 t $\phi 250$ 无缝钢管机组项目已经进入预可行性研究阶段,将于 2010 年投产。产品以石油套管为主,机组投产后,将会有效支撑西北地区石油天然气勘探开发用管的需求,并为宝钢向中亚地区提供石油管创造条件。

4.8 $\phi 140$ 无缝机组深度改造

为保持 $\phi 140$ 无缝钢管机组的活力,将于 2008 年 11 月完成对 $\phi 140$ 机组的深度改造。重点是将现有的导盘斜轧穿孔机组改造成锥形穿孔机。改造后的 $\phi 140$ 机组将更易于轧制 $\phi 177.8$ 外径钢管以及超级 13Cr 等高合金管,钢管的尺寸精度也将进一步提高。

除上述机组外,宝钢还将适机兼并或新建一些无缝和焊接钢管机组,力争到 2012 年,在宝钢钢铁总产能达到 8 000 万 t 的同时,钢管产能达到 600 万 t,进入世界前三强钢管生产企业。

随着钢管产能的扩大,钢管产品组距规格的健全,宝钢还将进一步开发市场急需的高附加值钢管产品。

宝钢将继续加大油井管产品开发力度。在碳钢领域重点开发高强度耐酸性环境腐蚀钻杆和油套管;在合金钢领域重点开发奥氏体钢、双相钢、

(下转第 19 页)

受到人们的重视,目前我国的发展趋势与亟待解决的问题主要有以下几个方面:

(1)热挤压机生产线设备的国产化。由于我国经济技术的高速发展,对特种合金管材的需求与日剧增。而目前国内的钢挤压生产线设备多是从国外引进的,这就要求加速对钢挤压工艺和设备的研究,尽快实现钢挤压生产线设备的国产化。

(2)高温润滑剂的研究。润滑剂对于热挤压成形产品质量和工模具寿命有着重要影响,因此,研究适合于不同钢种的润滑剂,以提高产品的综合质量,减轻模具磨损是目前迫切需要解决的问题。

(3)模具寿命和精度的研究。热挤压时,模具承受高温高压和强磨擦复合作用,严重影响了模具的使用寿命和产品的质量。因此,对模具材料和模具结构设计研究,也是目前需要解决的问题之一。

(4)连铸管坯的研究。对强度高而难变形的高合金而言,目前基本采用锻坯和轧制工艺生产管坯。而对不锈钢之类易变形钢种,开展连铸管坯工艺研究,简化工序,提高成材率,降低成本,提高市场竞争力,势在必行。

4 结语

21 世纪的金属加工业在世界经济中仍占支柱地位,钢管热挤压技术与装备已经成为先进金属加工技术的一个重要分支,发展钢管热挤压技术与装备,解决我国钢管热挤压技术与装备中亟待解决的问题,对于提升我国高端钢管产品的市场竞争力有着重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 谢建新,刘静安. 金属挤压理论与技术 [M]. 北京:冶金工业出版社,2002: 8.
- [2] 薛菲菲,隋健,李培力. 金属挤压加工技术综述 [J]. 工程技术,2004, (4): 79 - 80.
- [3] 邹子和. 我国不锈钢管的市场供需情况及其特点 [J]. 钢管,2000, (4): 3 - 10.
- [4] 邹子和. 我国不锈钢管生产技术的进展及其与国外的差距 1 [J]. 钢管,2000, (1): 3 - 7.
- [5] 邹子和. 我国不锈钢管生产技术的进展及其与国外的差距 2 [J]. 钢管,2000, (2): 3 - 10.
- [6] 殷国茂,邹子和. 我国不锈钢无缝钢管的生产现状及发展 [J]. 钢管,1998, (6): 17 - 30.
- [7] 邹子和. 西欧三国大口径钢管生产 [J]. 上海冶金情报,1995, (6): 11 - 26.

(收稿日期:2008 - 05 - 27)

(改稿日期:2008 - 07 - 16)

(上接第 10 页)

镍基合金等高抗腐蚀油井管。

宝钢也将继续加大锅炉管产品开发力度,重点进行 650 直至 700 使用条件下具有优良高温性能的超超临界锅炉用管产品的开发。

宝钢还将加大汽车、机械、石油裂化、核能等领域的产品开发力度,为我国经济建设作出新贡献。

5 结语

宝钢钢管的 30 年是引进、消化、创新、发展的 30 年。经过 30 年发展,宝钢钢管已经成为具有全球竞争力的钢管供应商。随着宝钢“精品 + 规模 战略的确立,宝钢钢管一定能够实现进入世界钢管前三强的目标,为我国钢管发展做出新贡献。

(收稿日期:2008 - 05 - 30)

(改稿日期:2008 - 08 - 12)