

● 行业综述

从国产连续油管成功研制看 我国焊管产品结构调整

彭在美

(武钢集团江北公司, 武汉 430035)

摘要:简述了连续油管的发展历史和国产化试制的成功,分析了中国钢管产业的主要特点及全球钢管业的发展趋势,阐述了焊接钢管与无缝钢管油井管在我国的调整趋势,并通过焊接钢管与无缝钢管油井管的性能对比分析,认为HFW油井管各项指标优于无缝管,在油井管领域焊管将逐步取代部分无缝管,并提出焊接钢管与无缝钢管的发展应当统筹规划,制定统一的钢管标准,进而在油井管等领域发挥各自的特长,互补共赢。

关键词:HFW焊管; 无缝钢管; 结构调整; 标准统一

中图分类号: TE973 文献标志码: A 文章编号: 1001-3938(2010)04-0005-05

Analyzing Structure Adjustment of China Welded Pipe Product from Successful Trial-production of Domestic Coiled Tubing

PENG Zai-mei

(WISCO Wuhan Jiangbei Iron & Steel Ltd., Wuhan 430035, China)

Abstract:This article briefly introduced development history and localization successful trial-production of coiled tubing, analyzed main characters of China steel pipe industry and development trend of world steel pipe industry, and expatiated adjustment trend of welded steel pipe and seamless steel pipe, as well as OCTG in China. Through contrastive analysis on properties of welded steel pipe, seamless steel pipe and OCTG, the results showed that each index of OCTG is better than that of seamless steel pipe, and welded pipe will take place of part seamless steel pipe gradually in OCTG field. Finally, it put forward that the development of welded pipe and seamless steel pipe should be overall planned, establish unified standard, and then play its advantages in OCTG pipe field and realize mutual complementary.

Key words:HFW pipe; seamless steel pipe; structure adjustment; united standard

0 前 言

在金融危机仍然影响全球经济的情况下,钢铁企业只有通过科技进步才能更快地度过难关,因此要开发出自主创新的技术和产品,带动产业结构调整,促进发展方式转变。钢管行业也应当如此,宝鸡石油钢管有限责任公司(以下简称宝鸡钢管)近年来开发的CT80级7 600 m ϕ 31.8 mm 连续油管试产成功,为加速石油油气勘探工程建设,带动钢管行业的结构调整创造出了一个良好的开局。

1 宝鸡钢管 HFW 7 600 m ϕ 31.8 mm 连续油管试产成功的技术意义

连续油管(coiled tubing, 简称 CT)也称之为挠性油管,是一种可以缠绕在大直径卷筒上、长达数千米的可以连续下入或从油井起出的无螺纹连接油管。由于连续油管是连续的无螺纹连接,因而实现了井下油管操作的自动化。连续油管钻井技术是国外 20 世纪 80 年代开发的,这项技术的开发对世界石油工业有着重要意义^[1]。我国各大油田自 1977~1999 年引进连续油管作业机共

18 套。当时世界上连续油管主要制造企业均集中在美休斯顿,引进美国连续油管费用昂贵,从而制约了我国连续油管作业技术的发展,因此连续油管国产化成为紧迫的科研课题。

由于连续油管要求强度高,韧性好,而且在经受反复弯曲时耐疲劳性也要好,所以用 HFW 焊管制成连续油管需要技术上的重大突破。如果用无缝钢管对接焊后缠绕成连续油管,由于无缝钢管单根长度一般为 8~10 m,对于一盘长度大于 5 000 m 的连续油管来说会有数百条环焊缝,而环焊缝的抗弯、抗拉、抗挤的能力相对较低,对连续油管整体强度影响较大。当采用 HFW 焊管制作连续油管时,按照目前国内板卷供应能力,生产一盘长 5 000 m 左右的连续油管一般只需约 7 条环焊缝,从板带对接焊的焊接方法来讲,容易实现其焊接接头无缝化,形成性能一致的长钢带^[2],从而可靠性相对要大。从钢管制作工艺来看,HFW 工艺比无缝管工艺也具有一定优势。

宝鸡钢管在核心技术上取得突破性进展之后,2009 年 6 月成功试生产出 CT80 级 7 600 m ϕ 31.8 mm 连续油管,是亚洲成功生产的第一根连续油管。宝鸡钢管 HFW 焊管试制连续油管的成功,预示着在油井管这一领域焊接钢管将逐步取代部分无缝钢管,这不仅仅是 HFW 焊管技术上的产品创新,也意味着中国钢管产品结构将面临重大调整。

2 中国钢管产业结构分析

2.1 中国钢管产业的主要特点

中国钢管产品由无缝钢管和焊接钢管组成,其中无缝钢管产量约占全球的 1/2,焊管产量约占全球的 1/3,是名副其实的钢管大国。中国钢管业的内部结构具有下列 6 个方面的特点:

(1) 学术研究 钢管学术委员会和焊管学会同属中国金属学会轧钢学术委员会领导,每年各自召开学术年会,重点讨论本专业的学术问题。

(2) 学术期刊 钢管业的学术期刊有《钢管》和《焊管》2 个刊物,《钢管》以无缝钢管为主要报道内容,《焊管》以焊接钢管为主要报道内容。

(3) 钢管标准 从钢管标准来看,无缝钢管有自己一套标准,焊管也有自己的一套标准,没有

合并统一的钢管标准。

(4) 编年史 钢管学术委员会委托《钢管》杂志编辑出版的《中国钢管 50 年》和焊管学术委员会委托《焊管》杂志编辑出版的《中国焊管 50 年》是目前比较完备的中国钢管业编年史。

(5) 发展战略 无缝钢管和焊接钢管各有本专业的发展战略和结构调整思路,例如如何成为无缝钢管强国,如何成为焊管强国,无缝钢管业如何调整结构,焊管业如何调整结构等。而无缝钢管与焊管两大管型之间如何互动、调整结构,如何形成中国钢管发展战略,如何成为世界钢管强国,尚无深入的共同探讨。

(6) 市场营销 从市场营销来看,无缝钢管和焊接钢管长期分割为两个市场,没有形成统一的共同市场。

从以上几个方面的特点来看,中国钢管业尚缺乏整体性、全局性的深层次认识,不利于形成统一的发展战略,也不适应世界钢管业的发展潮流。

2.2 中国钢管业结构性特点的历史原因

中国钢管业结构性特点形成不是偶然的。建国之初,受前苏联的影响,重点发展无缝钢管,国家投资建设了大型国有无缝钢管企业,如鞍山钢铁集团公司无缝钢管厂、包头钢铁集团有限责任公司无缝管厂、成都、衡阳、天津、上海等无缝管厂,并带动大批地方无缝钢管中小企业的发展。而当时中国热轧板带产业发展滞后,焊管业长时间只能生产普通产品,质量和技术水平不高,冶金系统内焊管小企业多,装备水平也较低。所以,两大管型发展不平衡,就出现了钢管行业的这些特点。而大型无缝钢管企业的总体装备、技术、产品在当时就代表中国钢管的水平,所以,无缝钢管业的学术委员会命名为钢管学术委员会,学术期刊也命名为《钢管》杂志,这是符合当时实际情况的,而且还给无缝钢管业同仁留下了焊管是“低档产品”的印象。随着时代的进步,技术的发展,中国焊管业在 20 世纪 80 年代以来由于石油工业的发展而迅速崛起,但是仍存在两种管型长期各自发展的状况,没有形成统一的发展战略。

3 世界钢管业发展的趋势

冶金界的权威人士指出:2007 年,全球无缝

钢管约占全球钢管产量的32%，我国无缝钢管占我国钢管产量的44.1%^[3]。这是因为，自20世纪70年代以来，世界上尤其是发达国家逐渐减少新增无缝钢管机组，转而发展焊管。例如美国无缝钢管占其钢管产量的比例为18%，焊管的比例为82%；日本无缝钢管占其钢管产量的比例为25%，焊管的比例为75%；韩国无缝钢管占其钢管比例小于1%，而焊管的比例大于99%。这是因为：

(1) 无缝钢管生产工序一般有2次加热过程：穿孔前将毛坯加热一次，定径前又将荒管加热一次，有约30%热能没有利用上。相对其他热轧钢材，例如长材类棒线材，扁平类板带材，都能实现连铸连轧，一火成材，而无缝钢管尚未能在生产工艺上实现连铸连轧。不仅如此，有关专家指出：“甚至还没有一家无缝钢管生产企业真正成规模地实现连铸坯热装工艺”^[4]。而焊接钢管的生产工艺是用热轧钢带采取冷弯成型后焊接而成，是属于板带产品延伸冷加工，也符合节能环保的发展趋势。

(2) 无缝钢管生产工艺及设备组成很复杂，基建投资大，建设周期长，而焊管相对生产工艺及设备组成较简单，投资少，建设周期也短。

(3) 无缝钢管在穿孔及荒管轧制过程中其压缩比小于热轧板带的压缩比，热轧板带采用微合金化及控轧控冷的先进工艺，开发出了N80、X80和X100等高钢级。随着原料水平的提高，制造技术的进步（例如采用固态高频焊机、在线中频热处理），检测设备、仪表、仪器的日臻完善（例如水压试验机、UT探伤机），焊管的质量和可靠性（强度、韧性等）达到甚至超过了无缝钢管，因而，逐渐在取代无缝钢管的部分产品。

(4) 焊管工程基建投资低，生产过程系冷成型节能工艺，因而价格比无缝钢管便宜，经济性较强。

(5) 焊管制造工艺适应市场变化的机制要优于无缝管，焊管可以按订单来生产，随时可以停产；而无缝钢管生产工艺有加热炉环节，甚至有高炉-转炉等冶炼系统，当市场有变，缺少订单时，停产很难，生产灵活性差。

基于上述原因，发达国家逐渐减少无缝钢管产量的比例，而增大焊管产量的比例。目前我国无缝钢管产量占钢管总量的40%左右，焊接钢管

占钢管总量60%左右。这一比例与国外发达国家在20世纪60~70年代的比例相当。之后国外的这个比例发生了变化，无缝管所占的比例越来越小（大约占钢管总量的30%），焊接钢管的比例越来越大（大约占钢管总量的70%）。根据这一变化趋势，我国无缝钢管和焊接钢管的比例也很可能发生变化，焊接钢管产量比例会继续增加，无缝钢管产量比例会逐步减少^[4]。

4 两大管型油井管结构调整趋势

油井管是我国钢管中技术含量较高的品种之一，产能达到850万t。预计2010年我国油井管内需将达到270万t，即使外贸出口达到280万t，产能过剩仍有300万t。由于新建无缝钢管的10套连轧管机组（MPM、PQF）产品定位大都为油井管，因此产能过剩的矛盾不可避免。

有关无缝钢管专家分析，我国油井管总体上处于低水平竞争阶段^[5]。2008年无缝管套管N级以上产量约200万t，特殊钢级约50万t，特殊丝扣约15万t，占比例较低。目前，我国高档油井管主要依赖进口。

我国生产的油井管中有一部分是HFW焊管，由宝鸡住金钢管公司、宝钢钢管HFW分公司、中海油金州钢管公司、中冶辽宁德龙钢管有限公司、渤海石油扬州分公司、大港钢管公司、胜利油田华锐钢管公司以及一些民企（如天津神州通钢管公司、无锡法斯特钢管公司、张家口海特钢管公司等）生产，产能约138万t，占油井管总产能的16%。

2008年我国HFW油井管产量约100万t，占油井管总产量15%；出口HFW油井管66万t，占油井管出口总量16.6%。国外HFW油井管的使用量约占油井管总量的40%^[6]。因此，尚有一定发展空间。

HFW油井管在国际上发展迅速。权威专家指出：“HFW油井管所用板卷系低C微合金化钢，经TMCP轧制而成，母材韧性高，可以用来制造具有高韧性、高强度的套管，HFW焊管用板卷韧脆转变温度低，可用于开发低温状态使用的油套管”。HFW油井管抗挤强度比无缝管高30%~40%，比API产品高60%左右。膨胀管要求具

有高延展率、无屈服平台、屈强比低等特点,用 HFW 焊管容易实现,而用无缝钢管难以实现。HFW 油井管另一方面的优势是价格便宜,美国市场上 HFW 焊管比无缝钢管便宜 12% ~ 26%,国际市场总体上便宜 15%^[6]。

国内 HFW 焊管向油井管领域发展也很快。2007 年出口 J55 钢级 HFW 套管 19 万 t,到 2008 年发展到出口约 66 万 t。在钢级上也跃上了一个台阶,已从 J55 和 H40 发展到 N80。例如宝钢钢管分公司 610HFW 机组开发出 N80-Q 级 $\phi 339.7$ mm 和 $\phi 244.5$ mm 套管,应用于长庆、新疆油田;中海油金州钢管公司 610HFW 机组开发出 N80 级 $\phi 339.7$ mm 和 $\phi 244.5$ mm 套管,应用于海上油田;张家口海特钢管公司 120HFW 机组开发出 N80 级 $\phi 139.7$ mm 套管,应用于大庆、辽河油田,并出口到美国、俄罗斯等国;无锡法斯特钢管公司 406HFW 机组开发出 N80 级 $\phi 139.7$ mm 套管出口美国,开发出 N80 级 $\phi 339.7$ mm 套管应用于新疆塔里木油田;宝鸡住金钢管公司、渤海石油装备公司大港钢

管分公司等分别开发出 N80 级 $\phi 244.5$ mm 和 $\phi 139.7$ mm HFW 套管等。我国 HFW 焊管的发展不仅仅是产量上的增长,而且正在向高钢级、高附加值产品发展。

5 我国应当制定统一的钢管标准

我国目前尚无统一的(即包括焊管和无缝钢管)钢管标准,使国内外用户选用钢管时非常不方便,阻碍我国钢管企业的发展。有专家指出:“焊管已成为钢管及有色金属管的主要制造方法,美国和欧洲都早已建立了焊管与无缝管统一的钢管或金属管尺度标准”^[7]。在国内制定统一的钢管标准问题上,经过几次会议研究,都未能达成共识。主要原因是无缝管业许多人士对焊管是否能达到无缝管的性能有所质疑,为此,笔者将国内有关企业制成的 J55 级 $\phi 139.7$ mm HFW 套管同无缝管套管技术性能进行了对比,虽是个案,但也可见一斑。对比结果见表 1。

表 1 HFW 焊管制套管与无缝钢管制套管的性能对比

项目	外径公差/mm	壁厚公差/mm	椭圆度/mm	拉伸试验结果	硬度 HB
API 标准	(+1% ~ -0.5%)D	-12.5%t		$R_{el}:379$ MPa $R_{eH}:552$ MPa $R_m:517$ MPa $A_{50} \geq 24\%$	
无缝钢管实测数值	(0.61% ~ 1.04%)D	(1.8% ~ 25.3%)t	$\leq 1.04\% D$	$R_{el}:550$ MPa $R_m:820$ MPa $A_{50}:26\%$	219 ~ 255
HFW 焊管实测数值	(0.12% ~ 0.29%)D	(-0.1% ~ 2.0%)t	$\leq 0.29\% D$	$R_{el}:480$ MPa $R_m:600$ MPa $A_{50}:32\%$	187 ~ 195
对比结果	HFW 焊管外径接近公称尺寸,且波动范围为 0.24 mm;无缝钢管外径较大,且波动范围达到 0.6 mm	均为上偏差, HFW 焊管壁厚公差远远优于无缝钢管	无缝钢管无法满足国外高标准椭圆度的要求	均符合标准要求	无缝钢管硬度较高, HFW 焊管硬度均匀
项目	晶粒度	抗挤毁强度/MPa	冲击功/J	爆破试验结果/MPa	直线度/mm
API 标准	五级或更细	13.9	3/4 尺寸 ≥ 16	24.4	总长 ≤ 23
无缝钢管实测数值	4 ~ 6	15.4	25.5		11.6
HFW 焊管实测数值	11	17.5	焊缝:45 母材:78	42.9	6
对比结果	HFW 焊管晶粒度更细	均符合标准要求, HFW 焊管比标准高 25.9%;比无缝钢管高 13.6%	均符合标准要求, HFW 焊管焊缝处的冲击功比标准高 181%,比无缝钢管高 76.5%	HFW 焊管爆破压力比标准高 77%	均符合标准要求, HFW 焊管略好

注:①表中 D 为钢管外径,t 为钢管壁厚;

②国外 HFW 套管订货技术条件规定套管椭圆度 $\leq 0.5\% D$ 。

从表1可以看出HFW套管各项指标优于无缝管套管。各项性能指标的分析如下:

(1)外径公差和椭圆度。HFW焊管采用冷弯成型,通过1%减径完成定径,其工艺过程温度基本恒定在室温,因而外径控制准确,波动范围小;无缝钢管采用热轧成型工艺,其定径是在800℃左右完成的,钢管原材料成分、冷却条件以及轧辊的冷却状态等对其外径都有较大影响,因而难以准确控制外径,且波动范围较大。

(2)壁厚公差。HFW焊管采用热轧带卷为原材料,现代热连轧工艺可使厚度公差控制在0.05mm之内;无缝钢管采用圆钢穿孔方式生产,壁厚偏差较大,随后的热轧可以部分消除壁厚不均匀性,但目前最先进的机组只能控制在 $\pm 10\% t$ 以内,对应7.72mm厚度的无缝钢管,壁厚控制精度的极限是0.9mm。

(3)拉伸性能。无缝钢管与HFW焊管的拉伸性能均符合API标准,但无缝钢管强度一般处于上限,塑性处于下限。相比较而言,HFW焊管强度指标处于最佳状态,塑性指标高于标准,原因是HFW焊管原材料热轧带钢的性能是依靠微合金化冶炼、炉外精炼以及控冷控轧等手段保证,无缝钢管主要依靠增加含碳量的手段,难以保证强度、塑性的合理匹配。

(4)硬度。HFW焊管的原材料热轧带钢在轧制过程中控冷控轧精度极高,能够保证带钢各部分性能均匀。

(5)晶粒度。HFW焊管的原材料热轧带钢采用的是宽厚连铸坯,有较厚的细晶表面凝固层,无柱状晶区、缩孔和疏松,成分偏差小,组织致密。在随后的轧制过程中,控冷控轧技术的应用进一步保证了原材料的晶粒度。

(6)抗挤毁性能。HFW焊管因其原材料、制管工艺的特点,壁厚均匀度、椭圆度要远远优于无缝钢管,这是抗挤毁性能高于无缝钢管的主要原因。

(7)冲击韧性。由于HFW焊管母材的冲击韧性是无缝钢管的数倍,焊缝处的冲击韧性是HFW焊管的关键,通过控制原材料杂质含量、纵剪毛刺高度与方向、成型边部形态、焊角、焊接速度、加热功率与频率、焊接挤压量、中频退火温度与深度、空冷段长度等工艺参数保证了焊缝的冲

击功达到母材的60%以上,如进一步优化,可实现焊缝冲击功接近母材。

(8)爆破试验压力。HFW焊管的爆破试验性能远远高于标准要求,主要源于HFW焊管的壁厚均匀度高,外径尺寸均匀。

(9)直线度。HFW焊管属于冷加工,且在减径的状态下带有在线矫直,加上是无限倍尺,故直线度较好;无缝钢管在塑性状态下成型,加上单倍尺(连轧为3~4倍尺),管端直线度相对难以控制。

6 结语

从国内外钢管发展的趋势,尤其是国内HFW连续油管试制成功来看,中国钢管的两大管型——焊管与无缝管之间呈现出结构调整的动向。由于无缝钢管生产工艺有两次加热过程,不利于节能,因此缩小无缝钢管产量的比例,扩大焊管产量的比例是发展的趋势。原国家冶金工业局在1998年8月《钢铁工业2015年远景展望》中提出了关于“替代无缝钢管的焊管应当发展”的意见。HFW焊管应向高档油井管等领域进军,并与无缝钢管产品优势互补,为我国迈向钢管强国而携手并进。

参考文献:

- [1]彭在美,窦树柏,董帅,等.连续油管在国内外应用概况及其在国内研制方向[J].焊管,2008,31(4):7-13.
- [2]周建宏,石凯,卢雪峰,等,国产CT80级连续油管用钢管对接焊方法探讨[J].焊管,2009,32(5):25-26.
- [3]严泽生.现代热连轧无缝钢管生产[M].北京:冶金工业出版社,2009.
- [4]成海涛,杨秀琴.我国钢管行业未来十大发展趋势分析[C]//中国金属学会轧钢学会钢管学术委员会五届四次年会论文集.成都:《钢管》杂志社,2008:7-8.
- [5]井溢农.我国无缝钢管市场形势及发展趋势[C]//第二届中国钢管市场分析会论文集.无锡:[出版者不详],2009:48.
- [6]李鹤林.刍议我国油井管产品的发展方向[J].焊管,2009,32(5):11-14.
- [7]何德孚.我国应尽快制定焊管和无缝管统一的钢管标准[J].焊管,2009,32(3):9-14.

作者简介:彭在美,男,教授级高工,中国钢管协会顾问。

收稿日期:2009-08-13

编辑:刘志军