

螺旋埋弧焊管技术发展和技术改造设想

丁晓军

(宝鸡石油钢管厂 721008)

摘要 介绍了国内螺旋埋弧焊管用管线钢的发展状况及高韧性螺旋埋弧焊管的开发情况,指出了影响包申格效应的因素,通过对螺旋埋弧焊钢管制造技术、钢管检测技术、钢管标准以及埋弧焊钢管抗腐蚀性能的阐述与分析,提出了宝鸡石油钢管厂技术改造的设想。

主题词 焊接管 输气管道 螺旋缝钢管 腐蚀 性能 包申格效应 技术改造 综述

我国从1959年开始制造螺旋埋弧焊钢管,经过四十多年的研究和发展,如今国内生产的螺旋埋弧焊钢管无论母材和管材都有了极大的进步,在国家“九五”期间,重点建设的库—鄯、陕—京、鄯—乌输油输气管线中,满足了工程需要,钢管实物性能达到了国际先进水平。

螺旋焊接钢管最早可追溯到1888年,当时钢管用带钢螺旋卷制而成,沿两搭边加热,用锤锻法锻焊。由于螺旋焊缝用同一宽度的钢板可制造成不同直径的钢管,使用窄带钢可以制造大口径管子,直径厚度比可达100,同时换规格比较容易,生产灵活性大,制造设备重量轻,投资少,所以螺旋焊管机组在世界上发展很快。我国现有螺旋埋弧焊管机组据统计超过70余套。70年代在东北“八三”工程会战的推动下,原石油工业部除宝鸡石油钢管厂外又兴建了五个制管厂,形成了油气输送管制造在中国东西南北的格局。在石油天然气总公司的指导下,公司内的六个螺旋焊管厂坚持技术进步,推动了我国螺旋埋弧焊钢管制造业的发展。

1 螺旋埋弧焊钢管制造概要

按工艺流程,钢厂运来的卷板经入厂复验合格后送入制管车间。经过开卷机开卷、矫

平机矫平在对焊工序将前卷带尾和刚开卷的带头用切头机切齐后,用埋弧焊将前后两卷带钢接起来。中部的活套是作原料储存,以保证生产连续进行,经圆盘剪剪边或铣边机铣边将带钢毛边除去得到需要的工作宽度。成型器将带钢卷成圆筒型,经内面埋弧焊和外面埋弧焊制成钢管。钢管在精整工段进行清理、平端面打坡口、静水压试验,超声波、X—光透视和成品检验,最后打标记交库,若用户有要求还进行防腐。

钢管制造技术是综合性科学,它包含金属压力加工技术、焊接技术、无损检验、质量控制以及焊缝跟踪、焊缝间隙控制等自动化技术,本报告重点说明螺旋埋弧焊管制造技术和钢管实物质量水平的发展。

2 国内螺旋埋弧焊管用管线钢的发展

我国管线钢研制开始于国民经济“六五”期间,当时我国管线钢处于起步阶段,国内管道用管材主要使用普通热轧卷板,国外进口的热轧卷板仅限于T/S 52K。而80年代国外管线钢已基本发展成熟,X70钢级以下的管线钢管已经得到广泛应用。针对当时国内外热轧卷板的发展状况,由武汉钢铁公司总负责,确定攻关目标是X60、X65级热轧卷板 and 对应级别的螺旋缝埋弧焊钢管。在“六五”期

间,专门从法国购买了 X65 级热轧卷板样品,用于产品研制和性能对比。经过多次试制,“六五”期间研制出了 X60、X65 级热轧卷板 and 对应级别的螺旋缝埋弧焊钢管。在性能方面满足了国内市场的需要。基本形成了符合 API 标准的 A、B、X42~X65 级国产管线系列钢,填补了国内空白。

在“稳定东部,开发西部”的战略方针指导下,我国管道设计规范向国际通用方向靠拢,将“韧性指标”纳入设计规范。随着西部管道建设的需要和宝山钢铁公司新一代冶金装备的投入运行,“八五”期间,经国家经贸委立项,由上海宝山钢铁公司和宝鸡石油钢管厂联合攻关,开始了我国高强度、高韧性管线钢

管的研制工作。伴随着宝山钢铁公司 X70 级管线钢热轧卷板的研制成功,和宝鸡石油钢管厂焊接工艺匹配的研制成功,我国 X70 以下的管线钢管满足了 API 标准规定的强度要求,韧性技术指标达到了世界先进水平。

我国开发的管线钢性能在本文后续的螺旋埋弧焊钢管实物性能中说明。

1998 年,在中国石油物资装备总公司的领导下,组织宝鸡石油钢管厂、集团公司管道局、西安管材所、宝山钢铁公司、武汉钢铁公司开展 X80 级管线钢管的试制。目前武钢已发到宝鸡两卷 X80 卷板,宝鸡厂正在安排试制。武钢 X80 卷板性能满足 API 5L 对 X80 级管线钢要求。其性能如下:

表 1 武钢 X80 卷板性能

化学成分 wt(%)										
Wc 924459	卷号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Nb
	—1	0.05	0.23	1.37	0.014	0.006	0.14	0.03	0.045	0.040
	—2	0.06	0.23	1.36	0.013	0.005	0.137	0.03	0.045	0.040
	卷号	V	Ti	Mo	B	Ceq		Pcm		
	—1	0.014	0.018	0.017	0.0006	0.34%		0.15%		
	—2	0.014	0.018	0.018	0.0006	0.35%		0.16%		
力学性能										
炉号	卷号	屈服强度 $\sigma_{10.5}$ (Mpa)			抗拉强度(MPa)		延伸率(%)		屈强比 $\sigma_{10.5}/\sigma_b$	
Wc 924459	—1	639			738		27.6		0.86	
	—2	640			741		29.6		0.86	
夏比冲击试验 试样 55×10×7.5 mm										
炉号	卷号	试验温度(℃)			冲击功(J)		剪切面积(%)			
Wc 924459	—1	—40			$\frac{110/110/80}{100}$		100			
	—2	—40			$\frac{106/120/86}{104}$					

3 高韧性螺旋埋弧焊钢管的开发

随着管道工业的发展,运营管线的增多,管线故障的几率增大,50 年代曾发生过多起管道断裂事故。最引人注目的是 1960 年发

生在美国 Trans—Western 公司一条直径 $\varnothing 30\text{in}(\varnothing 762\text{mm})$ 的输气管线上的破裂事故。该管线全长 58mile(107.4km),强度级别为 X56 级。试压时发生断裂,断裂长度达

13km。1974 年,我国大庆至铁岭输油管线复线在冬季进行试压时,为防止水结冰,采用气体介质进行试压试验,结果在穿越嫩江段管线上发生爆破断裂,试压长度 2km,破裂长度 2km。

石油天然气输送管道发生的裂断事故,引起了人们对事故原因的警觉,开始了用断裂力学的观点分析事件,以脆性断裂机理,延性断裂的试验研究,加深了对石油天然气输送钢管内在技术性能的认识。随着冶金工业的发展,管材的韧性指标逐渐提高,脆性温度转变点逐步降低。在 70 年代末期以后,脆性

断裂事故在世界范围内已很少发生。

据资料报道,国外油气输送管道设计除了按照工作压力选取对应强度等级的钢管外,对于不同的使用环境规定了不同量值的韧性指标,如表 2 所示。

80 年代末,我国生产的石油天然气输送管用钢,强度指标已能满足国内市场需要,能达到的管材技术指标为 API—5L X65 级。1989 年石油管材中心对石油天然气总公司系统内几家制管企业的产品进行了抽检,管材强度级别满足对应钢级,管材的夏比冲击韧性数据如表 3 所示。

表 2 国外输送管线对管材韧性的技术要求

年代	管线名称	强度级别	夏比冲击韧性		作同样要求的区域	DWTT 韧性 剪切面积	
			温度 (℃)	C _{VN} (J) 均值		温度(℃)	SA(%)
1967	伊朗输油管线	X60	—10	27.2	焊缝,HAZ	/	/
1970	阿拉斯加输油管线	X65	—10	46.3	焊缝,HAZ	/	/
1972	北海油田输油管线	X65	—10	83	焊缝,HAZ	/	/
1973	北海油田输油管线	X65	—10	83	焊缝,HAZ	0	75
1973	澳大利亚输气管线	X65	0	83	焊缝,HAZ	0	50
1975	阿拉斯加输气管线	X65	—24	92.6	焊缝,HAZ	—24	75
1977	前苏联输气管线	X70	—20	85.8	焊缝,HAZ	—20	85
1978	加拿大输气管线	X70	—20	92.6	焊缝,HAZ	—20	60
1980	北海油田输气管线	X65	—10	148.4	焊缝,HAZ	—10	65

表 3 国内油气输送钢管韧性水平抽检结果

制管厂家	钢级及规格	试样类别	管体母材及焊缝的夏比冲击功(J)		
			温度(℃)	数据范围	平均值
宝鸡钢管厂	T/S 52K Ø630×8	管母横向	—20	110~140	122
		焊缝横向	—20	34~55	45
沙市钢管厂	X60 Ø426×7	管母横向	—20	84~91	87
		焊缝横向	—20	16~47	32
胜利钢管厂	X65 Ø529×8	管母横向	—20	81~109	88
		焊缝横向	—20	20~24	22
辽阳钢管厂	X60 Ø529×8	管母横向	—20	72~85	77
		焊缝横向	—10	18~31	23

围绕钢管焊缝韧性低的技术问题,宝鸡石油钢管厂在试验分析的基础上实施了焊接材料开发、焊接工艺匹配、焊缝热处理三项技术开发,经过三年的技术攻关,研制出了我国石油天然气输送钢管生产用焊接材料及工艺匹配。钢管焊缝达到了与钢管母材的“等韧”水平。实现了石油天然气输送钢管产品的技术进步。

经焊管研究所、冶金部钢研总院、沈阳金

属研究所、西安管材中心、西安交通大学、西安石油学院、管道局管道学院等单位的检测,夏比冲击韧性数据如表 4,DWTT 韧性数据如表 5,CTOD 特征值如表 6,动态断裂韧性如表 7,SSCC 抗力检测结果如表 8。结果表明,我国生产的高强度输送管,其技术性能已跻身国际发达国家的先进行列,随着国际市场的发展需要,中国生产的高强度输送管走入了国际市场。

表 4 高强度输送管的夏比冲击韧性

板卷生产 厂家	钢级	试样类别	不同试验温度的韧性							
			—0℃		—20℃		—40℃		—60℃	
			冲击功 (J)	SA (%)	冲击功 (J)	SA (%)	冲击功 (J)	SA (%)	冲击功 (J)	SA (%)
宝山钢铁总厂	X60	管体横向	176	100	142	100	139	100	130	100
		焊缝横向	168	100	181	100	109	78	70	55
武汉钢铁总厂	X60	管体横向	238	100	200	100	198	100	175	100
		焊缝横向	200	100	196	100	187	92	138	82
日本住友	X60	管体横向	236	100	247	100	244	100	229	100
		焊缝横向	182	100	185	100	176	100	170	100
日本钢管	X65	管体横向	/	/	170	100	146	86	94	62
		焊缝横向	/	/	176	100	171	95	151	91
日本新日铁	X65	管体横向	176	100	179	100	125	78	/	/
		焊缝横向	154	100	158	100	116	82	/	/
日本住友	X65	管体横向	203	100	184	100	201	100	180	100
		焊缝横向	169	100	161	100	134	86	123	75
德国蒂森	X65	管体横向	/	/	188	100	166	100	147	100
		焊缝横向	/	/	187	100	171	100	138	100

表 5 高强度输送管的 DWTT 韧性

板卷生产 厂家	钢级	试样类别	DWTT 韧性剪切面积							
			焊管研究所 检测结果		管材中心 检测结果		管道学院检测结果			
			温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)
宝山钢铁总厂	X60	管体横向	—20	100	0	100	22.5	100	—30	100
		焊缝横向	—20	92			22.5	100	—30	100
武汉钢铁公司	X60	管体横向	—20	100						
		焊缝横向	—20	88						

续表 5

板卷生产厂家	钢级	试样类别	DWTT 韧性剪切面积							
			焊管研究所检测结果		管材中心检测结果		管道学院检测结果			
			温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)
日本住友	X60	管体横向	-20	100						
		焊缝横向	-20	91						
日本钢管	X65	管体横向	-20	100	-20	100				
		焊缝横向	-20	83						
日本新日铁	X65	管体横向	-20	100	-20	100				
		焊缝横向	-20	85						
日本住友	X65	管体横向	-20	100	-20	100				
		焊缝横向	-20	83						
德国蒂森	X65	管体横向	-20	100	0	100	22.5	100	-30	100
		焊缝横向	-20	74			22.5	100	-30	100

表 6 高强度输送管的 CTOD 特征值

板卷生产厂家	钢级	试样类别	不同温度下的 CTOD 特征值 δ_m (mm)		
			0℃	-20℃	-40℃
宝山钢铁总厂	X60	管体横向	0.480~0.690	0.431~0.696	0.602~0.668
		焊缝横向	0.272~0.372	0.109~0.189	0.183~0.347
		热影响区	0.493~0.560	0.456~0.697	0.373~0.657
日本住友	X60	管体横向	0.926~0.980	0.670~0.762	0.594~0.822
		焊缝横向	0.371~0.385	0.434~0.445	0.510~0.627
		热影响区	0.450~0.675	0.492~0.688	0.524~0.631
日本钢管	X65	管体横向	/	/	0.585~0.637
		焊缝横向	/	/	0.274~0.347
		热影响区	/	/	0.444~0.612
德国蒂森	X65	管体横向	/	/	0.552~0.661
		焊缝横向	/	/	0.314~0.390
		热影响区	/	/	0.334~0.390

表 7 高强度输送管动态断裂韧性

板卷生产厂家及钢级	试验温度 (℃)	试样类别	萌生功 E_i (J)	扩展功 E_p (J)	J_{1d} (N/mm)	K_{1d} (MPa/m)
宝山钢铁总厂 X60	-20	管体横向	9.9~115	18.4~20.7	820~904	430~452
		焊缝横向	1.0~1.5	12.5~17.4	86~123	139~167
		热影响区	0.6~2.6	13.0~22.4	45~209	101~217
日本住友 X60	-20	管体横向	3.19~8.6	16.1~23.1	235~685	231~394
		焊缝横向	1.5~9.9	17.7~21.8	126~858	169~441
		热影响区	0.7~9.6	15.2~20.4	55~755	112~413
日本钢管 X65	-20	管体横向	0.7~1.1	17.9~22.5	51~92	107~144
		焊缝横向	0.9~1.5	11.0~17.5	80~123	135~167
		热影响区	1.4~10.7	15.4~21.8	116~914	162~455
德国蒂森 X65	-20	管体横向	10~11.7	17.9~21.4	829~911	433~454
		焊缝横向	0.8~1.1	9.3~14.7	77~88	132~141
		热影响区	0.9~8.0	12.50~16.5	77~688	132~394

表 8 高强度输送管的 SSCC 抗力 (恒载荷拉伸)

板卷生产厂家	钢级	SSCC 抗力 (Mpa)			
		50h	100h	500h	720h
宝山钢铁总厂	X60	350	330	293	289
武汉钢铁总厂	X60	350	320	240	207
日本住友	X60	303	265	185	165

目前,石油天然气集团公司 X60、X65 级螺旋埋弧焊钢管已有了丰富的业绩,下一步应推广 X70 级螺旋焊钢管。我们采用宝钢开发的 X70,试制了 $\varnothing 529\times 7$ 螺旋埋弧焊钢管。为了便于比较,同时进口了日本川崎 X70 级卷板。共生产钢管 1500t,试生产的钢管完全符合 API 5L 和 GB/T 9711.1 标准,其性能见表 9 至表 17。

表 9 X70 级钢管的化学成分 wt(%)

板卷厂家	钢级	试样类别	C	Si	Mn	P	S	Mo	Nb	V	Ti	Cu
日本川崎	X70	管材	0.09	0.33	1.20	0.016	0.005	0.01	0.05	0.04	0.01	0.05
		母材	0.07	0.44	1.53	0.015	0.002	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03
宝钢	X70	管材	0.10	0.33	1.56	0.017	0.003	0.04	0.07	0.05	0.02	0.06
		母材	0.08	0.51	1.60	0.026	0.010	0.01	0.04	0.03	0.01	0.03

表 10 X70 级钢管的机械性能

板卷 厂家	钢级及钢管 规格(mm)	试样类别	σ_s (Mpa)	σ_b (Mpa)	δ (%)	Y · R (σ_s/σ_b)	检验单位
宝山 钢铁 总厂	X70 Ø529×7	管体横向	496	603	38.5	0.82	焊管研究所*
			492	594	39	0.83	管材中心
		焊缝横向	/	659	/	/	焊管研究所*
			/	666	/	/	管材中心
日本 川崎	X70 Ø529×7	管体横向	559	633	33	0.88	焊管研究所*
			485	611	36	0.79	管材中心
		焊缝横向	/	672	/	/	焊管研究所*
			/	670	/	/	管材中心

* 中国石油天然气集团公司焊接钢管研究所。

表 11 X70 级钢管弯曲性能检测结果

板卷生产 厂家级别	管号	试样类别	弯曲方向	弯轴直径	180°弯曲合格与否
日本川崎 X70 13130	1551#	板卷横向	正向	7	合格
		管体横向	正、反向	75	合格
		焊缝横向	正、反向	75	合格
	691#	管体横向	正向	75	合格
		焊缝横向	正向	75	不合格,沿熔 合线出现裂纹
宝山 X70 121393	1578#	板卷横向	正向	7	合格
		管体横向	正、反向	75	合格
		焊缝横向	正、反向	75	合格
	710	管体横向	正、反向	75	合格
		焊缝横向	正、反向	75	合格

表 12 X70 级钢管的夏比冲击韧性

板卷 生产 厂家	钢级	试样类别	夏比冲击韧性								检测单位
			0℃		-20℃		-40℃		-60℃		
			CVN (J)	SA (%)	CVN (J)	SA (%)	CVN (J)	SA (%)	CVN (J)	SA (%)	
宝山 钢铁 总厂	X70	管体横向	/	/	161	100	128	100	124	100	焊管研究所
			193	100	173	100	154	100	142	100	管材中心
		焊缝横向	/	/	154	100	150	92	98	65	焊管研究所
			/	/	177	100	136	93	97	70	管材中心
			176	/	143	/	139	/	/	/	西安交大
日本 川崎	X70	管体横向	/	/	149	100	138	100	117	100	焊管研究所
			/	/	151	100	160	100	115	100	管材中心
		焊缝横向	/	/	192	100	191	100	133	72	焊管研究所
			/	/	179	100	185	100	140	77	管材中心
			181	/	186	/	177	/	/	/	西安交大
			/	/	200	/	202	/	/	/	沈阳金属所

表 13 X70 级钢管的 DWTT 断裂韧性

板卷生产 厂家	钢级	试样类别	DWTT 韧性剪切面积							
			焊管研究所检测		管材中心检测		管道局检测			
			温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)	温度 (℃)	SA (%)
宝山钢铁 总厂	X70	管体横向	-20	100	0	100	22.5	100	-30	100
		焊缝横向	-20	96			22.5	100	-30	98
日本川崎	X70	管体横向	-20	100	0	100				
		焊缝横向	-20	81						

表 14 X70 级钢管的 CTOD 特征值

板卷生 产厂家	钢级	试样类别	不同温度下的 CTOD 特征值 δ_m (mm)		
			0℃	-20℃	-40℃
宝山钢 铁总厂	X70	管体横向	0.5780~0.792	0.516~0.689	0.384~0.500
		焊缝横向	0.386~0.469	0.290~0.636	0.251~0.453
		热影响区	0.469~0.548	0.305~0.526	0.324~0.566
日本 川崎	X70	管体横向	0.297~0.351	0.250~0.396	0.233~0.379
		焊缝横向	0.460~0.608	0.494~0.675	0.276~0.574
		热影响区	0.473~0.610	0.499~0.772	0.472~0.597

表 15 X70 级钢管的动态断裂韧性

板卷生产厂家 及钢级	试验温度 (℃)	试样类别	萌生功 E_i (J)	扩展功 E_p (J)	J_{1d} (N/mm)	K_{1d} (Mpm)
宝山钢铁总厂 X70	-40	管体横向	1.2~1.6	11.0~14.4	93~133	147~773
		焊缝横向	1.0~1.3	11.4~15.0	79~108	134~156
日本川崎 X70		管体横向	1.1~2.0	15.1~16.2	89~173	142~198
		焊缝横向	0.8~9.1	14.1~16.2	69~679	125~392

表 16 X70 级钢管的腐蚀疲劳强度

板卷生产厂家	钢级	最大脉动应力下的应力循环次数 (N)					备 注
		380MPa	340MPa	300MPa	250MPa	200MPa	
宝山钢铁总厂	X70	1.23×10^4	1.86×10^4	2.75×10^4	6.76×10^4	3.54×10^5	正常产品
日本川崎	X70	5.6×10^3	6.46×10^3	1.02×10^4	4.07×10^4	2.57×10^5	正常产品
日本川崎	X70	1.0×10^4	1.36×10^4	2.24×10^4	1.06×10^5	5.88×10^5	正常产品

表 17 X70 级钢管发生失效时的力学性能

管号	钢级	API 5L 标准规定最低值 (MPa)		实测失效压力 (MPa)		名义失效应力 (MPa)		名义失效应力与 API 5L 标准规定值之比	
		σ_s	σ_b	P_s	P_b	σ'_s	σ'_b	σ'_s/σ_s	σ'_b/σ_b
1300	X70	482	565	16.20	18.00	612	738	1.27	1.31
704	X70	482	565	13.30	15.60	527	737	1.09	1.30
255	X70	482	565	13.60	15.80	514	681	1.07	1.21
1309	X70	482	565	13.10	16.69	495	771	1.03	1.36

通过国内几家科研机构试验的分析,宝鸡石油钢管厂生产的 X70 级螺旋埋弧焊管达到 API 5L 和 GB9711 标准的要求,特别是焊缝冲击韧性,其实物水平已超过了国外 UOE 钢管和螺旋埋弧焊钢管的实物水平。生产制造 X70 级高强度高韧性钢管的技术已经成熟。

4 螺旋埋弧焊钢管制造技术的发展

4.1 螺旋管成型器

近三十年来螺旋焊管成型器有很大发展,70 年代末在与国外技术交流的基础上我

国自行设计和制造了外包全辊式成型机,如图 1。

该机具有吨位重强度高、刚性好、可调性强的特点。这种成型器广泛被采用。

除了外包辊式成型器外,还有内涨式成型器,宝钢十九冶制管厂引进了这种成型器,其特点是换规格工装少、节约时间,同时,由于可过变形,制成的管子无向外涨的结构应力,如图 2。

美国 PRD 公司开发了一种在生产中可连续调管径的成型器。这种成型器对带钢的自由边进行控制。在使用外包式成型器时,往

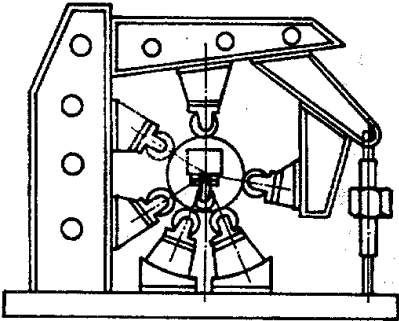


图 1 外包辊式成型器

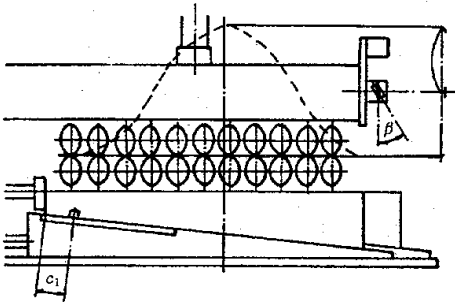


图 2 内涨式成型器

往使用大桥微调来调整管径,但大桥微调的作用主要是保持内焊有间隙焊接状态,一个调整动作负责两个功能有时不可兼得。PRD 成型器控制自由边升降独立调整管径变化颇具特色,如图 3。

4.2 螺旋成型时的包申格效应

所谓“包申格效应”是指金属材料逆向加载后,金属材料的屈服强度要发生变化的一种现象。下面用一组实测数据来认识与“包申格效应”相关的因素。

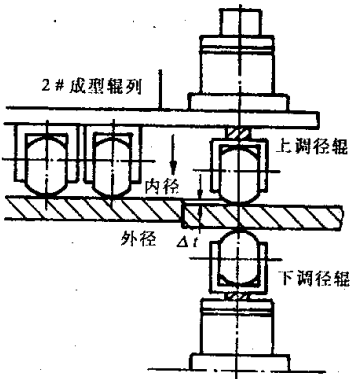


图 3 PRD 成型器管径调整结构图

包申格效应的实测数据全部来源于钢卷矫平后的平板试样和与其紧密相连的管体展平试样。试样来自不同钢厂的卷板,其炉号钢级及生产的规格如表 18 所示,试样的化学成分如表 19 所示。按 API—5L 标准规定试验方法,拉伸屈服强度对比结果如表 20 所示。

表 18 包申格效应实测数据的基本参数

编号	炉号	钢级	钢管规格
1	130388	SM400C	∅426×7.0
2	113675	X65	∅457×6.4
3	116429	X65	∅711.2×10.72
4	KC6260	X65	∅711.2×10.72
5	38442	X65	∅711.2×10.2
6	7B13006	X65	∅711.2×10.2
7	854024	X65	∅610×7.1
8	754194	X65	∅610×8.7

表 19 包申格效应实测数据试样的化学成分

编号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Nb	V	Ti	Mo	Ceq
1	0.18	0.08	0.61	0.023	0.005	0.014	0.030	0.025	0.004	0.007	0.003	0.009	0.29
2	0.08	0.25	1.37	0.017	0.006	0.029	0.028	0.028	0.040	0.041	0.015	0.011	0.32
3	0.08	0.26	1.43	0.019	0.006	0.140	0.028	0.200	0.052	0.050	0.025	0.009	0.37

续表 19

编号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Nb	V	Ti	Mo	Ceq
4	0.11	0.35	1.15	0.015	0.004	0.020	0.004	0.028	0.063	0.060	0.027	0.004	0.37
5	0.10	0.27	1.69	0.017	0.004	0.035	0.037	0.035	0.042	0.060	0.044	0.013	0.43
6	0.12	0.25	1.59	0.017	0.004	0.027	0.030	0.034	0.058	0.046	0.022	0.009	0.46
7	0.04	0.20	1.34	0.012	0.008	0.053	0.028	0.067	0.030	0.045	0.005	0.026	0.29
8	0.07	0.28	1.28	0.015	0.007	0.056	0.031	0.088	0.041	0.044	0.008	0.009	0.31

表 20 板卷及管材对应的屈服强度值

编号	对比项目	对应于板宽 1/2 处沿长度方向不同位置的实测屈服强度 (MPa)										头中尾平均值最大差值
		头部		1/4 长度		1/2 长度		3/4 长度		尾部		
		数据范围	平均值	数据范围	平均值	数据范围	平均值	数据范围	平均值	数据范围	平均值	
1	板材	345~360	352			320~335	328			370~395	385	57
	管材	350~355	352			325~325	325			360~365	363	38
	差值	-15~10	0			-5~10	3			5~35	22	19
2	板材	550~555	552	500~520	510	515~525	518	500~510	505	560~570	565	60
	管材	480~490	485	450~480	467	470~480	474	450~480	463	485~505	495	32
	差值	60~75	67	20~70	43	35~55	44	20~60	42	55~85	70	28
3	板材	560~580	568	545~555	550	545~555	550	560~565	562	595~600	598	48
	管材	500~520	510	470~485	475	480~490	483	485~500	492	510~535	523	48
	差值	55~80	68	60~85	75	55~75	67	60~80	72	60~90	75	8
4	板材	580~590	585			565~585	577			545~555	548	37
	管材	505~535	518			475~535	508			485~510	493	25
	差值	45~85	67			30~110	69			35~70	55	14
5	板材	590~600	597			585~600	595			610~620	615	20
	管材	520~525	523			505~525	515			515~550	528	13
	差值	65~80	74			60~95	70			60~105	87	17
6	板材	555~570	563			550~565	558			560~570	563	5
	管材	485~495	490			490~495	492			470~505	487	5
	差值	60~85	73			55~75	66			55~100	74	8
7	板材	442~451	446			454~462	458			451~465	458	12
	管材	416~439	425			450~446	456			436~458	451	31
	差值	3~35	21			-12~12	2			-7~29	7	19
8	板材	466~470	468							446~464	456	12
	管材	411~470	436							429~470	452	16
	差值	-4~49	32							-24~35	4	28

4.2.1 化学成分的影响

由表 18 看出, No. 1 钢材含有较高的碳元素, 卷板强度以固溶强化为主。与 No. 2 $\varnothing 457 \times 6$ 控轧钢相比, No. 1 钢材在制管时包申格效应要小, 如图 4 所示。

4.2.2 拆卷工艺的影响

在螺旋焊管的生产中, 成型器实施上卷成型。但拆卷有上拆和下拆两种办法, 如图 5 所示。对同一钢厂的卷板和同一种规格的生产, 做出下拆上卷和上拆上卷生产的钢管屈

服强度的直方图,如图 6 所示可看出两者差异不大。

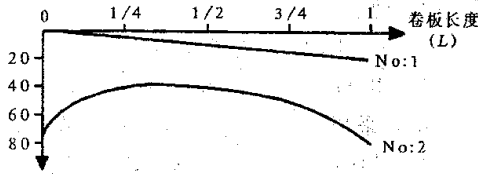


图 4 SM400C 与 X65 包申格效应值

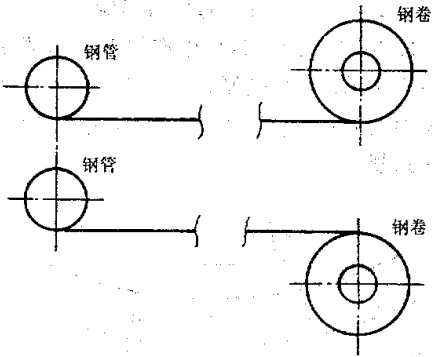
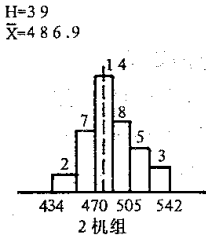
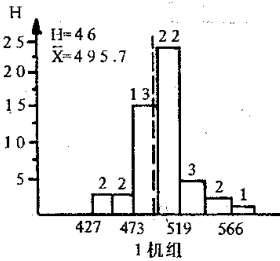
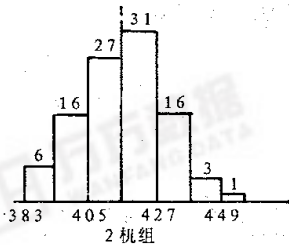
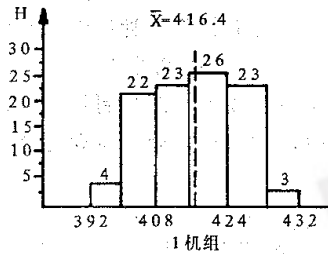


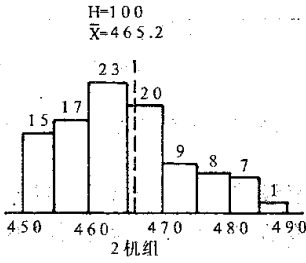
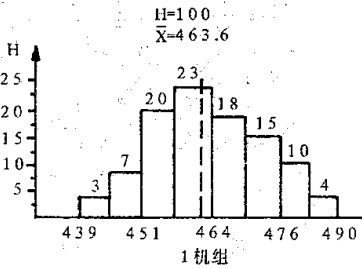
图 5 两种拆卷工艺



X35 直方图 (苏丹管线)



X52 直方图 (沙漠管线)



X65 直方图 (库部管线)

4.2.3 生产钢管的规格影响

No. 2、No. 3 是同一钢厂生产的 X65 级卷板, 如图 7 所示。钢管壁厚 t 与直径 D 之比 t/D , 即变形量 $\delta = \pm t / (D - t)$ 大者, 包申格效应反应强烈。

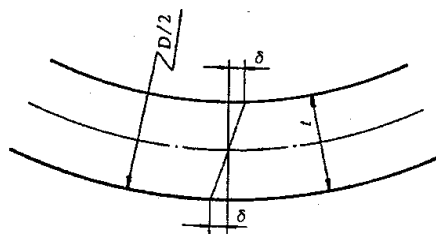


图 7 钢管成型变形量

4.2.4 同一钢卷强度变化的影响

同一卷板的化学成分是基本均匀的。板头部和尾部屈服强度高与控制轧制相关。由图 8 可以得出, 由于控制轧制得到的屈服强度愈高其包申格效应愈强烈。

在 No. 2 钢材例证中, 包申格值呈现了两端高中间比较平坦的形态, 如图 8。

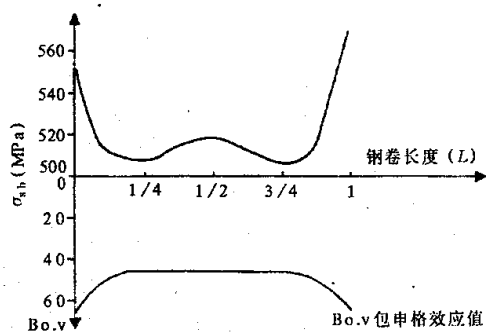


图 8 沿卷板纵向屈服强度和包申格效应的对应值

所以对于钢级较高的 X60 以上, 壁厚较薄的 6~8mm 卷板, 在作入厂检验时要避开在头部取样。

No. 7 和 No. 8 这两卷料不符合 X65 技术条件, 作为有条件降级使用。如果认为同一批产品化学成分是比较相近的话。这两卷料

屈服强度低, 有可能轧制中失控, 如终轧温度过高。但这两卷料在试验制管后显示出了包申格效应小。有的样品经过逆向加载后还有硬化的趋势。

4.2.5 不同钢厂生产的卷板

表 3 中 No. 3、4、5、6 钢材来自 4 个不同厂家, 都是采用连铸连轧工艺, 都是按同一订货技术条件组织交货。管厂采用相同的生产工艺制造 $\varnothing 711 \times 10.72$ X65 级钢管。从实验测试数据来看, 包申格反应程度基本相当, 如图 9 所示。

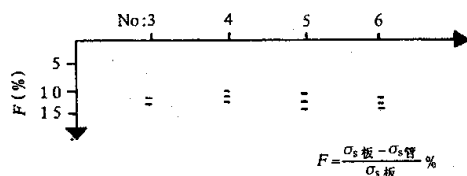


图 9 四家钢厂卷板包申格效应

4.3 焊管采用预精焊工艺

螺旋埋弧焊管机组生产率受焊接速度的限制, 为了提高生产能力, 1969 年阿尔及利亚安装投产了四台制管机组共用一套精整工序的大口径螺旋埋弧焊钢管厂见图 10 所示。

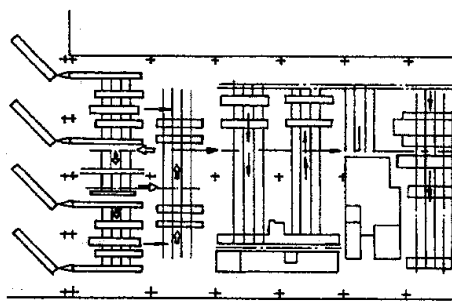


图 10 阿尔及利亚机组平面布置图

由于这种工艺并未摆脱成型机焊接相互干扰问题, 仍有生产中内焊发生热裂纹的条件, 另外成型后即焊接, 成型产生的工艺缺陷

如错边(几乎占到降级管量的一半左右),不能矫正即被“固定”下来,降低了钢管生产的合格率。

70 年代加拿大建设 Arktik 到中美州天然气管线,由德国霍西公司为其提供的制管厂采用了预焊和精焊的生产工艺,预焊采用熔化电极气体保护焊,预焊速度也即带钢成型速度可达 3~5m/min。钢管的内外焊接在精焊台架上进行,管子在专门的辊道上即能向前移动,同时又能做圆周滚动,管子螺旋运动与焊缝的螺旋角同步,使内外焊接可连续进行。这种制管工艺被称为 Stelform 法见图 11 所示,是螺旋焊管既能生产高性能钢管又有高生产能力的一个独特发展。

R—SSP 1800—M1 型螺旋焊管机组性能:

外径 $\varnothing 711\sim 2032\text{mm}$
壁厚 7.92~20mm

管长 8m~18m
材质 API 5L X65
生产能力(中间规格)23.67t/h
设备总重 1633t

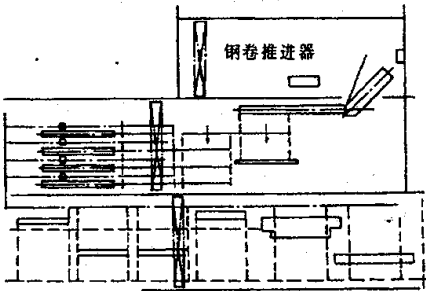


图 11 R—SSP 1800—M1 平面布置图

生产中钢板对头焊、内焊、外焊及对头焊缝外补焊均采用双丝焊接。
双丝焊接工艺规范如表 21。

表 21 双丝焊接工艺参数

焊接形式	焊接速度 (m/min)	钢板厚度 (mm)	焊接电压 ₁ (V)	焊接电压 ₂ (V)	焊接电流 ₁ (A)	焊接电流 ₂ (A)
内焊	1.5~1.6	7.9	28	31	600	450
外焊			30	34	650	520
内焊	1.4	9.5	28	31	650	520
外焊			30	34	720	550
内焊	1.2	12.7	28	31	700	580
外焊			30	34	760	600
内焊	0.8	19	29	32	830	640
外焊			31	34(35)	870	670

4.4 T 字头焊缝满足质量标准

管体上带有 T 字头焊缝(如图 12)是螺旋焊管必然存在的现实,国内目前在重点管线生产中,由于 T 字头焊缝质量不能保证,多数制管厂将两个 T 字头之间的管段切除。对于大口径螺旋焊管,以 $\varnothing 1120, t=14.3$ 为例,若原料宽度为 1800mm

成型角为
 $\cos\alpha = (1800-40)/[\pi(1120-14.3)]$

$=0.507$
其中 $\alpha=59.56^\circ$ 。

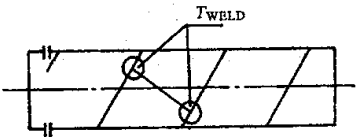


图 12 螺旋管上的 T 字头焊缝

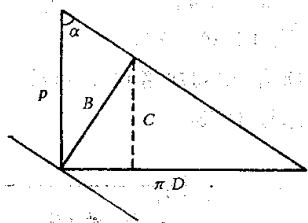


图 13 两个 T 字头在轴线上的距离

如图 13 所示,两个 T 字头在管子轴上的投影为 C 。

$$C = B \cdot \sin \alpha = (1800 - 40) \sin 59.56^\circ \\ = 1517 \text{ mm}$$

一个对头焊缝切除长度为:

$$1517 + 2 \times 30 = 1577 \text{ mm}$$

$$\varnothing 1120 \times 14.3 \text{ 单重为: } 0.39 \text{ t/m}$$

$$\text{一个对头占重量 } 0.39 \times 1.577 = 0.615 \text{ t}$$

若一个钢卷为 28t, 则损失为:

$$0.615 / 28 = 2.2\%$$

成材率下降 2.2 个百分点,对效益有重大影响。去年物资装备总公司赴加拿大和德国考察组,在 Stelco 焊管厂看到焊管原料是单张 24m 长钢板,经对焊后进行制管,其成品应是每根都带有 T 字头焊缝(螺旋焊缝长度的是管长 2.5 倍)这说明加拿大 Stelco 厂焊接技术更为成熟。

4.5 螺旋埋弧焊钢管的机械扩径

由于热轧带钢不可避免地存在月形弯,在长度方向上机械性能不可能一致,螺旋管成型器刚度不可能无限大,这些因素造成螺旋管管体圆度和管径上的公差,API 5L 规定管端公差为 $-0.79 \sim +2.38 \text{ mm}$,对于大口径焊管如 $\varnothing 1220 \text{ mm}$,公差带为 2.6‰,若用户再提出附加条件缩小公差带,会对制管带来困难。为了提高管体尺寸精度,采用机械扩径是一种有效手段,同时经过扩径的钢管可消除螺旋成型残余应力,消除“包辛格”效应影响。另外扩径量一般在 1%~1.5%,按理重量交货可增加约 1 个百分点效益,真可

谓是“一石多鸟”。

美国 GROTNES 公司开发的机械式扩径机已应用在螺旋焊管制造业中。

扩径机的工作过程如图 14。

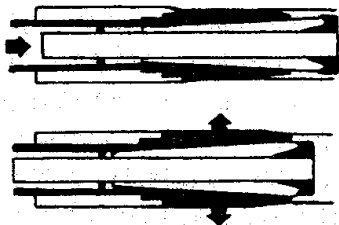


图 14 扩径机工作程序

扩径机主要工艺参数:

管径 $\varnothing 305 \text{ mm} \sim 1626 \text{ mm}$

壁厚 max 50.8 mm

钢级 API 5L X80

管长 18 m

生产率 35 根/h

5 螺旋埋弧焊钢管检验技术的发展

5.1 钢板分层检验

由于国内钢厂热轧卷板一般不进行分卷交货,用户往往要求制管厂进行钢板的分层检验,目前 CNPC 的制管厂采用超声波直探头(UST)检查带钢的分层,参照 ASTM A—578 标准,即可在成型前钢带上检验,也可在管体上进行检验。

5.2 焊缝的 UST 检验

UST 对焊缝中的裂纹、未熔合等缺陷有较高的灵敏度。钢管水压后各制管厂对焊缝进行 100% 的超声波探伤。目前都是用斜探头以水耦合在钢板滑动进行探伤。这种耦合方式用水多,水中紊流及水中气泡产生干扰,耦合不可靠,往往产生伪信号。宝鸡石油钢管厂在套管加工线建设时,从 Dapco 公司引进一种轮式探头 UST 探伤机。这种 RST—300 型 UST 连续探伤机将八只晶片组装在塑胶

轮中,如图 15,分别负责纵向、横向、分层探伤及耦合监测。检验速度可达 3m/s,主机用计算机控制,人机界面设定简便,可随时打印检测结果和统计分析报表。投入使用以后整机运行可靠,Dapco 公司表示 RST—300 型 UST 可移植到螺旋焊缝无损检验。

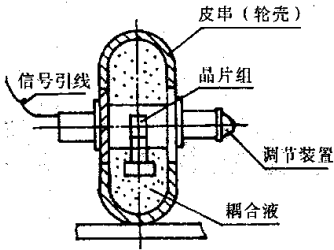


图 15 轮式 UST 探头

5.3 X—光射线探伤

X—光射线探伤已由早期的 X—光拍片发展到萤光观察和 X—光工业电视探伤,见图 16。

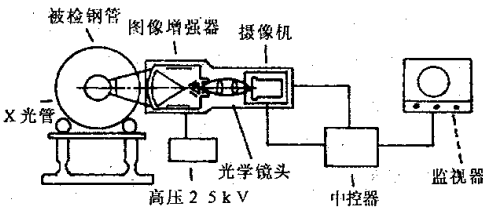


图 16 X—光工业电视探伤

X—光工业电视探伤灵敏度可达到 4%,满足 API 标准要求。97 年我们和甘肃工业大学合作用数字图像处理技术使显示灵敏度优于 2%,达到了拍片水平。并且可将图象信号用刻录机记录在光盘上。从取焊缝图象、数字信号处理到存储图象完成共用时间约 20s,比拍片(约 5min,不含洗片),大大节省了检验时间和胶片费用。

X—光工业电视系统中图象增强器两大致命弱点:(1)外界杂散磁场会导致图象畸

变,灵敏度大大降低,每换一种钢管规格,图象增强器的磁屏蔽都要重新精细调整。(2)图象增强器的光敏阴极很“娇气”,若 X—光直接打在上面会导致阴极中毒,增强器性能衰减,很快失效,所以为消除管端检验盲区在图象增强器上加装了遥控铅光栅,并精心操作。

今年 1 月美国最新推出一种成象面板。它没有电子束发射过程,不存在磁场干扰问题。动态范围为 2000:1(图象增强器为 30:1,X 光胶片为 300:1),可包容 X 光直接照射,不需要采用屏蔽措施。面板成象灰度可达 4096 级,超过 X—光胶片。面板尺寸 250×200mm²,检测面积是现在图象增强器 9 倍,寿命要长 5 倍以上。成象面板不要光学系统,直接输出数字信号,是未来钢管 X—光无损检测更新换代产品。

6 螺旋埋弧焊钢管抗腐蚀性能研究

天然气输送管线用钢管应有抗腐蚀性,越来越引起了人们的重视,天然气的腐蚀性主要是含量中的 H₂S 引起氢致裂纹腐蚀(HIC)和硫化氢应力腐蚀(SSCC)。早期的螺旋埋弧焊管不具备抗 HIC 性能,60 年代末,一批 Ø529×6mm 16Mn 钢管在四川气管线上敷设,试压 16 小时发生了破裂,试压介质是四川威 2 井天然气,其中含 H₂S 为 1.22%,CO₂ 为 4.33%,气田水 pH 值 5.4。经分析:①16Mn 不是抗 H₂S 腐蚀的材料。②母材带状组织严重,在母材的 HIC 试验中发现氢气泡造成的裂缝沿带状组织的晶界延伸扩大。③制管中的工艺缺陷有利于氢原子侵入管体。90 年代初武钢试轧了抗 HIC 的卷板,其化学成分见表 22。

当时以不同品牌的焊丝和焊剂按六种匹配进行焊接,然后对板材和焊接接头进行

表 22 武钢早期抗 HIC 管线钢化学成分 wt%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb
0.14	0.23	1.03	0.005	0.003	0.03	0.03

HIC 试验和 SSCC 试验。

6.1 HIC 试验

试验的腐蚀介质选用 NACE TMO177—90 标准推荐的溶液, 通入饱和 H_2S 气体, 试验周期为 96h, 三种裂纹敏感率如图 17 至图 18。

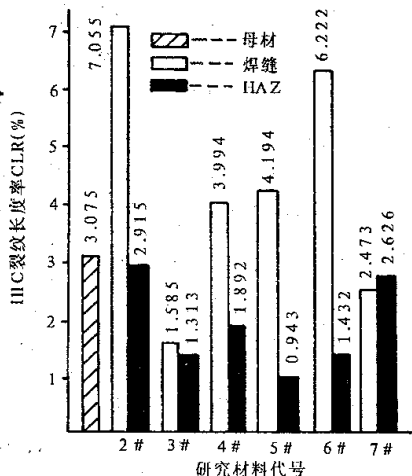


图 17 管线钢母材和焊接接头在 H_2S 溶液中的裂纹长度率 (CLR) %

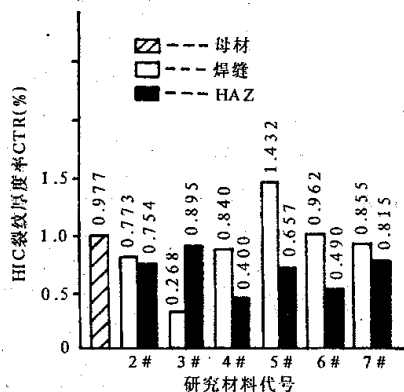


图 18 管线钢母材和焊接接头在 H_2S 溶液中的裂纹厚度率 (CTR) %

图 17 至图 18 给出的裂纹长度、裂纹厚度、裂纹敏感率表明, 母材及几种匹配的焊缝

均有了良好的抗 HIC 能力。

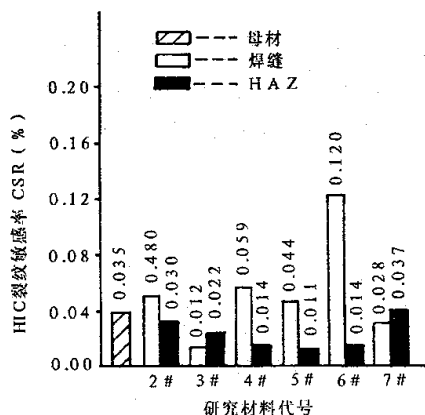


图 19 管线钢母材和焊接接头在 H_2S 溶液中的裂纹敏感率 (CSR) %

6.2 H_2S 应力腐蚀试验

硫化氢应力腐蚀开裂试验按照 GB4157—84 金属抗硫化氢应力腐蚀破裂恒负荷拉伸试验方法进行, 测量不同初始应力 σ_i 与屈服强度 σ_s 百分比情况下的断裂时间 T_i , 试验温度为室温, 试验周期为 720h。试验结果如图 20。

实验数据和图 20 表明, 母材和几种不同工艺匹配的焊缝在 $0.6\sigma_s$ 以上, 满足 NACE 的 720h 要求。图 21 是当时 NKK 几种不同工艺生产的抗 HIC 钢管试验结果, 相比较当时武钢试制的抗 HIC 卷板与之相当。

最近宝鸡石油钢管厂用宝钢的 X60 卷板试制出川管线用钢管, 为评价这批钢管抗 H_2S 腐蚀性能, 在四川石油管理局酸性油气田材料腐蚀检测评价中心进行了试验。

6.3 抗 SSC 性能测试

6.3.1 NACE TM0177—96B 法及弯梁法

试验周期为 72h。

试验结果列于表 23 中。

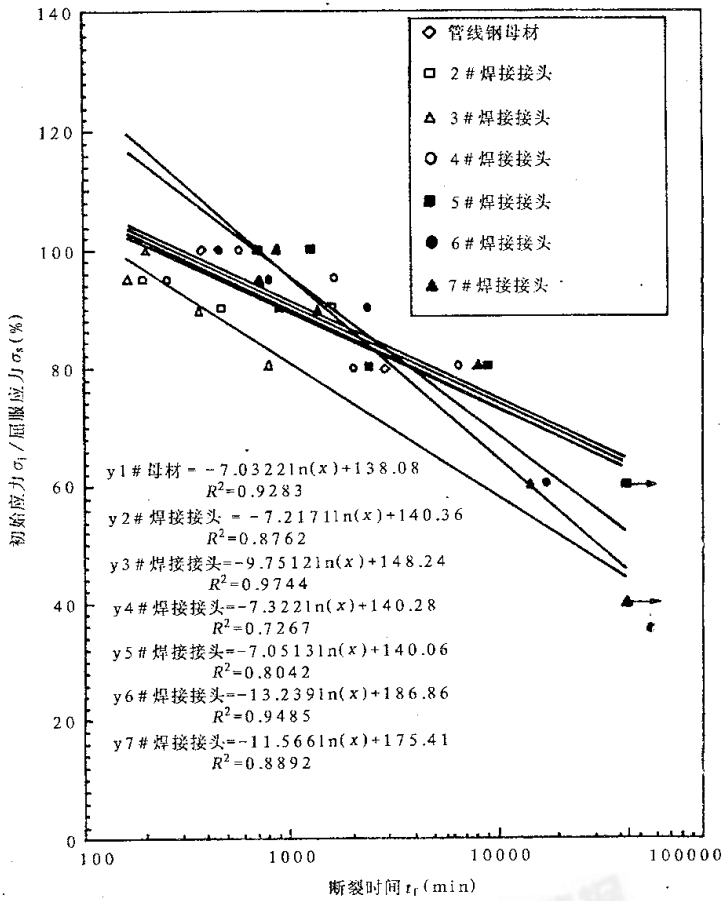


图 20 管线钢母材不匹配的六种焊接接头在硫化氢介质中的 σ_i/σ_s-t_r 曲线

表 23

受检材料		试验载荷(虚拟应力) $S(104\text{psi})$			Sc 值
管体(母材)		14 (v)	16 (v)	18 (v)	不低 于 18
螺旋缝 接 头	焊缝	14 (v)	16 (v)	18 (v)	不低 于 18
	热影 响区	14 (v)	16 (v)	18 (v)	不低 于 18

注: (v)表示未开裂, (X)表示开裂。

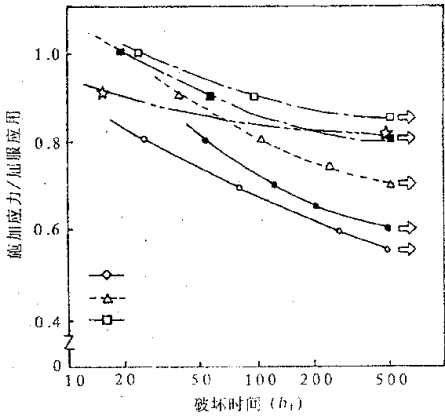


图 21 在应力拉伸型 SSC 试验中破坏时间与加载的关系

6.3.2 ASTM G39(1994)四点弯曲法
试验周期为 96h。
试验结果列于表 24 中。

表 24

受检材料	试验载荷 $\sigma_s\%$ (σ_s 取 413Mpa)	评价
管体及螺旋缝接头	72	未裂
	90	未裂

6.4 抗 HIC 性能测试

试验周期为 96 小时

试验结果列于表 25 中

表 25

受检材料		螺旋缝接头			
试片号	断面号	CLR (%)	CTR (%)	CSR (%)	氢鼓泡较严重的宽面照片
11	111	0	0	0	未见氢鼓泡
	112	0	0	0	
	113	0	0	0	
	平均	0	0	0	
12	121	0	0	0	
	122	0	0	0	
	123	0	0	0	
	平均	0	0	0	
13	131	0	0	0	
	132	0	0	0	
	133	0	0	0	
	平均	0	0	0	
三个试片平均值		0	0	0	

6.5 结论

综合以上测试结果可见：

(1)表 23 中的数据表明,此螺旋缝埋弧焊钢铁管的管体(母材)和螺旋缝接头(焊肉和热影响区),按 NACE TM0177—96 弯梁法测得的 Sc 值均不低于 18,达到用于含 H₂S 酸性天然气环境同类产品的抗 SSC 水平;按 ASTM G39 四点弯曲法测得的结果表明,试验应力为 72% σ_s 和 90% σ_s 时,均未开裂,也达到了目前国际上对用于输送湿含 H₂S 油气

表 26

受检材料		管体(母材)			氢鼓泡较严重的宽面照片
试片号	断面号	CLR (%)	CTR (%)	CSR (%)	
21	211	0	0	0	未见氢鼓泡
	212	0	0	0	
	213	0	0	0	
	平均	0	0	0	
22	221	0	0	0	
	222	0	0	0	
	223	0	0	0	
	平均	0	0	0	
23	231	0	0	0	
	12	0	0	0	
	233	0	0	0	
	平均	0	0	0	
三个试片平均值		0	0	0	

管道,广泛采用的抗 SSC 要求即四点弯曲法应力为 72% σ_s 时不开裂的规定。

(2)表 25 和表 26 的数据表明,所提供的螺旋缝埋弧焊钢管的 CLR(裂纹长度率)、CTR(裂纹厚度率)、CSR(裂纹敏感率)为 0,远低于目前国际上用于输送湿含 H₂S 油气管道,广泛采用的抗 SSC 要求,即 CLR≤15%、CTR≤3%、CSR≤1.5%。

7 输送钢管标准的发展

产品标准来源于产品质量,但又不局限于当时的产品质量,用户接受的产品标准,总是推动着工厂产品质量的提高。

7.1 我国输送钢管标准的发展

宝鸡石油钢管厂是石油天然气输送钢管标准制定修定归口单位。1960 年参照原苏联标准 TOCT8696—58 首次制订了陕冶 1—60《螺旋焊缝电焊钢管暂行技术条件》,该标准

适用于单面埋弧焊钢管,1963 年上升为石油行业标准 SYB10004—63《螺旋焊缝电焊钢管》。60 年代末试制成功双面埋弧焊钢管以后,于 1975 年将该标准修订为 SY10006—75《双面螺旋焊缝钢管》。70 年代后期通过对美国石油学会输送钢管标准的研究,1980 年采纳 API 5LS(1983 年与 API 5L 合并)部分内容制订了 SY5001—80《螺旋焊缝电焊钢管》石油部标准。1983 年根据钢管用途分别制订了 SY5036/7—83《承压流体输送用螺旋缝埋弧钢管》。1988 年参照采用 API 5L 标准制订了我国第一个输送钢管国家标准 GB9711—88《石油天然气输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管》。该标准的实施对我国输送钢管质量的提高起到了重要作用。1997 年根据国家优先采用国际标准的规定,等效采用 ISO3183—1:1996 国际标准制订了 GB/T9711.1—1997《石油天然气工业输送钢管交货技术条件.第一部分:A 级钢管》,1999 年等效采用 ISO3183—2:1996 国际标准制订了 GB/T9711.2—1999《石油天然气工业输送钢管交货技术条件.第二部分:B 级钢管》。这两个国家标准的批准发布使我国输送钢管水平与国际标准接轨,随着该标准的实施,必将推动我国输送钢管质量再上新台阶。

7.2 标准的发展促进了钢管质量的提高

输送钢管标准是通过化学成分、力学性能、水压试验、无损检测、工艺质量和缺陷、尺寸和形状、缺陷修补等技术要求对输送钢管质量进行控制。

下面以大庆原油外输管线采用的 SYB10004/6 部颁标准与目前输送钢管标准技术要求的对比,说明输送钢管质量的提高。

7.2.1 输送钢管的化学成分和力学性能

我国 70 年代以前,输送钢管用卷板几乎全部为普通碳素钢,80 年代少量采用低合金钢,到 90 年代管线钢得到广泛应用。管线钢

相对于普通碳素钢和低合金钢有许多优点:首先化学成分对有害元素硫、磷含量严格控制;在力学性能上,SYB10004 仅规定进行焊接接头拉伸试验,SY10006 增加焊缝弯曲试验,水平较低,只进行正弯且弯心角为 120° 。而目前的输送钢管标准除这些规定外,还规定钢管母材的拉伸试验、夏比冲击试验和落锤撕裂试验、焊接接头正反弯试验以及金相、硬度等试验。另外随着技术的不断发展,以及钢管服役条件越来越恶劣,力学性能要求也越来越高。

7.2.2 静水压试验

SYB10004 规定静水压试验压力允许按钢材抗拉强度的 40% 确定,相当于屈服强度的 60% 左右,SY10006 增加到抗拉强度的 45%。而目前的输送钢管标准规定试验压力随钢级及管径大小而不同,试验应力为屈服强度的 60%~90%,有些重要管线用户要求试验压力达到屈服强度的 95%。

7.2.3 无损检测

SYB10004 标准未规定无损检测,SY10006 规定每批抽两根钢管各拍 3 张 X 光片对焊缝进行抽查。而目前的输送钢管标准要求对全焊缝进行无损检测,重要管线要求进行 X 射线和超声波探伤两个 100% 全焊缝检验,同时要求钢带分层探伤。

7.2.4 工艺质量、尺寸及偏差

SYB10004 标准规定外径偏差,在外径不大于 426mm 时为 $1\%D$,大管径规定更换。而目前的输送钢管标准管端外径偏差为 $+1.6\text{mm}/-0.4\text{mm}$ ($D \leq 273\text{mm}$) 和 $+2.4\text{mm}/-0.8\text{mm}$ ($D > 273\text{mm}$)。另外 SYB10004 标准允许有 25% 的未焊透,SY10006 部颁标准规定的错边量为 $35\%t$,最大允许到 2.5mm。而目前输送钢管标准规定不允许未焊透,错边量仅为 1.59mm,重要管线用户要求焊缝错边量仅为 0.8~1mm,另外对钢管的尺寸和形状也都提出了很严格的要求。

7.2.5 缺陷及缺陷修补

SYB10004 和 SY10006 部颁标准对硬块、焊偏、电弧烧伤等缺陷均未规定,对缺陷的修补要求也没有。而目前的输送钢管标准不但对可能出现缺陷都有明确规定,而且对缺陷修补做了严格的限制,从补焊工艺及试验验证、焊工资格、缺陷清除、补焊温度、补焊焊缝的无损检测等均有要求。重要管线用户对允许缺欠给予了更严格的要求,并且规定母材不允许补焊。为了满足钢管交货标准,CNPC 所属制管厂在技术装备、工艺工装、人员培训等方面多年来做了大量的工作,不仅取得 API 会标使用权,而且均通过了 ISO9000 质量体系认证,所以输送钢管标准的进步同时体现了螺旋埋弧焊管实物质量的提高和制管技术的发展。

8 宝鸡石油钢管厂技术改造设想

西部大开发的实施和西气东输工程的启动,给宝鸡石油钢管厂的生存和发展带来机遇,拟建中的塔里木到上海的管线是 CNPC “两纵、两横、四枢纽、五气库”输气格局的干线工程,需要使用大口径、大壁厚、高钢级、高质量的管材。宝鸡石油钢管厂是个老厂,1958 年从前苏联进口螺旋埋弧焊管机组,生产能力为 3 万吨/年,最大规格 $\varnothing 630 \times 10\text{mm}$ 钢级 A3。工厂四十多年坚持技术改造,目前机组年产达到 7 万 t/a,焊管线通过能力:带钢 $1500\text{mm} \times 12\text{mm}$,钢级 X65,最大管径 $\varnothing 1020\text{mm}$,精整辊道通过能力为 $\varnothing 820 \times 10\text{mm}$,若西气东输干线采用钢管 $\varnothing 1120 \times 14.3\text{mm}$,钢级 X60~X70,对目前机组要进行大规模的技术改造。我们论证应以现有的厂房、材料性能试验室、现有的铁路、风、水、汽、电等公用设施为基础,改建扩建大口径螺旋埋弧焊管生产线。

8.1 主要工艺参数

生产能力: 5 万 t/a
 万方数据

钢管直径: $\varnothing 508 \sim \varnothing 1422\text{mm}$ (20in ~

56in)

壁厚: $6.4\text{mm} \sim 19.1\text{mm}$

钢级: API-5L X80

钢管长度: $8 \sim 15\text{m}$

原料: 热轧卷板 单卷重 $\text{max } 28.5\text{t}$

带钢宽度 $\text{max } 1800\text{mm}$

8.2 生产线工艺特点

8.2.1 前摆式成型/ CO_2 预焊机组

8.2.2 带钢成型前铣边,成材率增加 $1.5\% \sim 2\%$

8.2.3 精焊台架实施内外双面螺旋埋弧焊

8.2.4 成品钢管机械式扩径或管端机械式整圆

8.2.5 可靠的 UST 和 X-ray 无损检验

8.2.6 产品无损伤水平传输

8.2.7 钢管按要求可进行环氧基内涂层

8.2.8 特殊工序自动控制和计算机物流管理

8.3 工艺流程

钢卷头部预折,火焰切割板头(包括火焰切坡口)→拆卷台架→三辊矫头机→火焰切割尾部(包括火焰切坡口)→双弧对头焊→七辊矫直机→铣边机→清刷钢板表面→递送机→预弯边→输入导板→成型机(由一组三辊弯板机和一个外辊套组成)→内焊缝预焊→移动式等离子钢管切割机→“T”形焊道外缝焊接→管子内缝焊接→管子外缝焊接→管内清理装置→目视外观检查,手动超声波检查→管子补修→切管机→管端磨削,(将管端内焊缝磨平 100mm)→管端机械整圆→管端坡口机→水压试管机→X 光显象检查→超声波连续探伤→管端超声波检查→成品综合检查→用户检查台架→称重→测长→喷标记→内涂层→交库。

8.4 建设周期 15 个月

参 考 文 献

- 1 西安重型机械研究所. 大直径螺旋焊管生产资料汇编
- 2 宝鸡石油钢管厂. 科技论文集
- 3 CPMEC 赴加拿大和德国考察组. 加拿大和德国的高级油气管道技术考察报告
- 4 林雪梅等. 四川石油管理局腐蚀检测评价中心. X60 $\varnothing 711 \times 8$ 螺旋埋弧焊钢管抗 SSC 和 HIC 性能检测报告
- 5 何兴利等. 抗 H_2S 用双面埋弧焊焊接性能研究
- 6 雷胜利. 螺旋双面埋弧焊钢管的质量水平

(收稿日期:2000—03—22)

SSAW Pipe Technical Development and Reform Proposal

This article introduces the development of pipeline steel used for domestic spiral submerged arc welded (SSAW) pipe and the development status high toughness SSAW pipe , analysis the elements of Bausinger effect , describes the SSAW pipe making technology , steel pipe inspecting technology , steel pipe specification and SSAW anti—corrosion properties , and proposes the technical reform of Baoji Petroleum Steel Pipe and Tube Works.

Subject terms : welded pipe gas transmitting pipeline SSAW pipe corrosion property
bausinger technical reform summarize