

川东北高含 H_2S 气田线路焊接技术及现场应用

罗光文¹ 万书华¹ 熊 杰¹ 周家宇² 杨志伟¹

1. 川东北高含硫气田开发建设项目部工程部, 四川 成都 610051;

2. 北京沃利帕森工程技术有限公司, 北京 100015

摘 要:结合国内目前正在开发的高含 H_2S 酸性气田的开发、建设经验,以及国际知名石油公司对于酸性环境管线的焊接经验,对罗家寨气田开发建设项目的集气干线管道(L 360 QS Φ 508 mm $\times$ 14.2 mm 无缝钢管的管对接焊缝)的焊接工艺评定以及现场实施情况进行分析,并针对实施情况对高含 H_2S 气田管道焊接技术提出建议。

关键词:高含 H_2S 气田; L360 QS; 焊接工艺; 焊后热处理; GTAM; GMAW

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2015.05.002

0 前言

目前川东北地区的罗家寨、滚子坪、铁山坡、渡口河等气田是我国规模开发高酸性气田的代表项目,其气田中 φ_{H_2S} 高达 17.06%; φ_{CO_2} 高达 8.88%,属于高 H_2S 含量和中等 CO_2 含量的气藏,其井口高压段设计压力 38 MPa,井口温度达 60 $^{\circ}C$,部分管段高于 60 $^{\circ}C$,气田水中 Cl^- 含量较高(罗家寨气田达 20 000 mg/L,铁山坡气田达 50 000 mg/L),同时总矿化度、 HCO_3^- 含量都较高,具有高含 Cl^- 、高矿化度、高含 H_2S 及 CO_2 等特点。在此条件下进行湿气输送,如果存在元素硫将会大大增加介质对碳钢材料及焊缝的腐蚀性^[1]。罗家寨气田的线路管线材料主要有 L 360 QS 和 L 245 NS,对于 Φ 406 mm 及以上的管线焊接采用钨极氩弧焊(GTAW,手工)+手工电弧焊(SMAW)的焊接工艺,考虑到施工速度的要求,对于 Φ 508 mm 管线的焊接,采用钨极氩弧焊(GTAW,手工)+熔化极气体保护焊(GMAW,半自动)的焊接工艺。

在罗家寨气田的开发建设过程中,建设单位清理出了用于高酸性气田建设的材料焊接清单,开展了碳钢钢

管及锻件(如 20#Ⅲ级、16 MnⅢ级、L 360 QS、L 360 MS、L 245 NS、A 105 N 等)的焊接技术及腐蚀评价技术的研究,取得了富有成效的成果和诸多认识。验证了材料选用技术标准,确定了大部分焊接工艺,提升了抗硫化氢开裂评定领域的技术认识和水平,对深化高酸性环境下腐蚀机理认识、完善相关标准、完成技术储备打下了很好的基础^[2]。这些成果陆续在龙岗气田以及类似气田建设中广泛运用,大大加快了这些气田的建设步伐。

1 工程概况

罗家寨气田开发建设项目的集气干线管道采用引进的 L 360 QS Φ 508 mm $\times$ 14.2 mm 无缝钢管,制造厂家按照川东北项目的《L 360 QS 技术规格书》、ISO 3183:2012《Petroleum and natural gas industries-Steel pipe for pipeline transportation systems》及 NACE MR 0175:2009《Petroleum and natural gas industries-Materials for use in H_2S -containing environments in oil and gas production-Parts 1,2, and 3》^[3]进行生产,该管线的化学成分和机械性能见表 1~2。

收稿日期:2015-04-12

基金项目:国家重大科技专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX-05059)

作者简介:罗光文(1972-),男,四川成都人,工程师,工程硕士,主要从事化工设备/机器、材料、腐蚀控制及外防腐(含阴极保护)技术及项目管理工作。

表1 L 360 QS Φ 508 mm $\times$ 14.2 mm 无缝钢管化学成分(炉号:912 243)

化学成分	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	P	Nb	V	S	B	Ca	Ce	Pcm
标准值	14	140	45	30	30	15	35	25	18	20	50	30	5	60	38	20
实测值	10	104	23	10	12	9	11	3	12	12	30	20	2	18	34	18

表2 L360QS Φ 508 $\times$ 14.2 无缝管机械性能

机械性能	拉伸强度 R_m / MPa	屈服强度 R_e / MPa	伸长率 / (%)
标准值	460 ~ 760	360 ~ 530	—
实测值	540	441	44.7

2 焊接技术要求

2.1 执行标准

罗家寨气田开发建设项目的集气干线管道输送高含 H_2S 酸性原料天然气,因此焊接工艺评定需按照 Q/SY XN 2010-2005《高酸性气田集输管道焊接技术规范》^[4]和川东北项目的技术文件《焊接技术规格书》的要求执行,无损检测按照 JB 4730-2005《承压设备无损检测》和川东北项目的《焊接技术规格书》的要求执行。

2.2 基本要求

输送高含 H_2S 的酸性原料天然气的管道焊接除满足相关标准外,还应满足以下要求:

- 1) 碳钢焊条宜选用低氢型和超低氢型焊条;
- 2) 所有碳钢和低合金钢焊接件均应采用焊后热处理^[5-6], 现场生产焊接时的热处理工艺均应与焊接工艺评定保持一致;
- 3) 焊接工艺评定中的焊缝冲击试验温度为 -15°C , 其夏比 V 型缺口冲击值的平均值不小于 34 J , 单个最小值不小于 27 J ;
- 4) 对焊接工艺评定试件应选取 3 个宏观截面试样进行宏观检验和硬度检验, 母材、热影响区和焊缝的显微硬度值应不大于 $250\text{ HV}10$; 焊缝金属表面硬度应不大于 200 HBW 。焊缝的宏观硬度检验按图 1 执行。

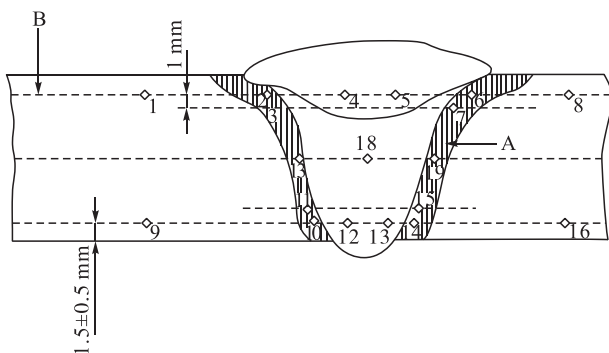


图 1 对接焊缝维氏硬度检查方法

5)对焊接工艺评定试件应按照标准和项目的技术文件《焊接技术规格书》的要求取样进行抗 HIC /SSC 试验;

6) 应对焊缝进行 100 % 的射线检测和 100 % 的超声波检测, X 射线检验应按 JB 4730. 2《承压设备无损检测 第 2 部分 射线检测》执行, 达到 II 级为合格; 超声波检查应按 JB /T 4730. 3 - 2005《承压设备无损检测 第 3 部分 超声检测》, 达到 I 级为合格。

3 焊接工艺评定

3.1 焊接工艺及焊接材料

罗家寨气田项目的集气干线管线敷设在复杂的山区地段,不适合采用全自动焊接,因此根据国内外的经验,选择根焊。采用钨极氩弧焊接工艺(手工),填充和盖面焊采用熔化极气体保护焊接工艺(半自动)的焊接组合方式。

1) GTAM 钨极氩弧焊接工艺(手工)。根焊采用 GB/T 8110-2008《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》标准中的 ER 50-G Φ 2.4 mm 焊丝。

2) GMAW 熔化极气体保护焊接工艺(半自动)。填充和盖面焊采用 AWS A5.18《气体保护焊用碳钢焊丝和填充丝》标准中的 E 70 C-G Φ 1.2 mm 气体保护焊丝

考虑到管道输送的是高含 H_2S 的酸性原料天然气,根据相关标准和规范要求,选用低硫磷的焊接材料,焊接材料本身的镍含量不高于 1.0 %,以确保焊缝冲击性能满足要求。

3.2 焊接工艺评定及结果

根据 Q /SY XN 2010 -2005《高酸性气田集输管道焊接技术规范》和川东北项目的技术文件《焊接技术规格书》等的要求,焊接工艺评定需要对焊接试件进行拉伸试验、弯曲试验、硬度试验、刻槽锤断试验、冲击试验、金相分析、抗 HIC /SSC 试验、外观检查以及射线检测等,所有测试项目结果均需满足项目规格书及标准要求。

焊接试件检测根据《高酸性气田集输管道焊接技术规范》和《焊接技术规格书》要求对焊接工艺评定试件取样,进行焊接工艺评定需要对焊缝试件进行拉伸试验、弯曲试验、硬度、刻槽锤断试验、冲击试验、金相分析、抗HIC /SSC 试验、外观检查以及射线检测等^[7-9],所有测试结果均符合项目的要求。主要的冲击试验测试结果见表3,硬度试验结果见表4,HIC /SSC 试验结果见表5~

6. 其他试验结果均符合项目要求,如拉伸、弯曲、刻槽锤断、金相分析、外观检查以及射线检测等。

表 3 焊接试件冲击试验(-15 ℃)

缺口位置	焊缝中央			熔合线			熔合线+2 mm		
冲击吸收功 / (AKV · J ⁻¹)	133	82	169	246	240	224	248	237	252
冲击吸收功平均 值 / (AKV · J ⁻¹)	128			237			246		

表 4 焊接试件硬度试验

焊接 试件	位置 编号	硬度值 Hv10	位置 编号	硬度值 Hv10	平均值 Hv10
热影响区	2	181	11	206	196
	3	213	14	209	
	6	186	15	198	
	7	192	17	201	
	10	212	19	198	
焊缝	4	162	13	163	160
	5	160	18	150	
	12	165	-	-	
母材	1	192	9	192	192
	8	178	16	207	

表 5 焊接试件 SSC 试验

试样编号	试验应力 σ / MPa	$R_{t0.5}$ /(%)	试验结果
CQYJ-HIC-11	306	85	无裂纹
CQYJ-HIC-12	306	85	无裂纹
CQYJ-HIC-13	306	85	无裂纹

表 6 焊接试件 HIC 试验

试样编号	断面号	实验结果		
		CLR /(%)	CTR /(%)	CSR /(%)
CQYJ-HIC-11	111	0	0	0
	112	0	0	0
	113	0	0	0
CQYJ-HIC-12	121	0	0	0
	122	0	0	0
	123	0	0	0
CQYJ-HIC-13	131	0	0	0
	132	0	0	0
	133	0	0	0

注:断面号 131 ~ 133 试样表面有氢鼓泡,112、122、132 是焊缝。

4 现场实施情况

为确保焊接质量符合标准和设计要求及焊接过程中的质量控制,施工单位根据标准、项目技术文件《焊接技术规格书》以及项目施工管理的要求,编制了焊工入场技能考试细则和焊接控制、热处理控制、无损检测控制、焊缝返修质量控制等程序文件,以指导现场焊接工作。但现场的实施情况仍存在以下问题:

1) 根据相关标准和《焊接技术规格书》的要求,焊工入场考试合格率较低;

2) 现场焊接和无损检测的施工速度较慢,特别是焊缝的现场无损检验比焊接滞后得多,不能够对已完成的焊缝进行及时检验;

3) 根据无损检测结果,焊接合格率不高,主要因为无损检测不仅按照标准执行,而且还根据用户的经验同时对缺陷尺寸做了限制。

通过施工单位对施工组织及时调整,加强过程质量控制以及安排焊接技术能力好的焊工参与现场焊接施工,同时组织焊接工程师、无损检测专家以及现场各参建单位共同对焊接无损检测技术要求进行讨论调整,现场焊接实施情况得到好转。此线路的焊接和无损检测工作已完成 97 %,焊接质量合格率达 92 % 以上。

5 结论

对川东北高含 H₂S 环境下管线钢的焊接,选择根焊采用钨极氩弧焊接工艺(手工),填充和盖面焊采用熔化极气体保护焊接工艺(半自动)的焊接组合方式,并经焊前预热、控制层间温度、焊后进行消除应力热处理,该焊接工艺满足本项目集输管道的现场焊接要求。

参考文献:

[1] 殷名学,姜 放,张维臣,等. K 气田集输管道焊缝腐蚀失效研究[J]. 天然气与石油,2011,29(4):73-76.
Yin Mingxue, Jiang Fang, Zhang Weichen, et al. Study on Weld Corrosion Failure of Gathering Pipelines in Gas Filed K [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (4): 73-76.
[2] 边云燕,向 波,彭 磊,等. 高含硫气田开发现状及面临的挑战[J]. 天然气与石油,2007,25(5):3-7.
Bian Yunyan, Xiang Bo, Peng Lei, et al. Present Situation and Challenge of High Sour Gas Field Development [J]. Natural Gas and Oil, 2007, 25 (5): 3-7.
[3] NACE MR0175 /ISO 15156, Petroleum and Natural Gas Industries—Materials for Use in H₂S-Containing Environments in Oil and Gas Production [S].

- [4] Q/SY XN 2010-2005, 高酸性气田集输管道焊接技术规范[S].
- Q/SY XN 2010-2005, Welding Technology Specification for Gas Gathering and Transmission Pipelines in High Sour Gas Field[S].
- [5] 徐庆海. 天然气净化厂酸性原料气管道的焊接及焊后热处理工艺[J]. 上海化工, 2013, 38(8): 35-38.
- Xu Qinghai. Welding and Post Weld Heat Treatment Technology for Sour Feed Gas Pipeline in Gas Purification Plant [J]. Shanghai Chemical Industry, 2013, 38 (8): 35-38.
- [6] 杨祥海. L 360 QCS 高酸性气田管线钢焊接工艺研究[J]. 金属加工, 2009, (16): 40-42.
- Yang Xianghai. Research on the Welding Technology of Pipeline Steel L 360 QCS in High-acid Gas Steel Pipeline [J]. MW Metal Forming, 2009, (16): 40-42.
- [7] 陈刚. 高含硫长输管线焊接质量控制措施[J]. 质量管理, 2013, (16): 183-185.
- Chen Gang. Welding Quality Control Measures for Long-distance High Sour Gas Pipeline [J]. Quality Management, 2013, (16): 183-185.
- [8] 张西雷. 输油管道焊接工艺评定重要因素对比[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, (11): 244-245.
- Zhang Xilei. Comparison of Important Factors in Oil Pipeline Welding Procedure Qualification [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, (11): 244-245.
- [9] 杨燕. 高含 H_2S 天然气集输管道焊接工艺技术的研究[J]. 焊接技术, 2005, 34(7): 14-16.
- Yang Yan. Study on Welding Technology for High H_2S Gas Gathering and Transportation Pipelines [J]. Welding Technology, 2005, 34 (7): 14-16.

2015 油气田勘探与开发国际会议召开

面对世界经济低迷、国际油价下跌、常规油气资源获取难度增大等挑战,如何高效开发复杂油气藏? 2015年9月20~21日,以“石油和天然气行业的机遇与挑战及解决方案”为主题的2015油气田勘探与开发国际会议在西安召开。中外专家学者建议:建立更高效的技术交流合作平台,以科技创新为先导破解全球油气勘探开发面临的难题。

油气勘探开发技术包括的内容多、范围广,并具有高度的技术交叉性和复杂性。尽管目前油气监测已全面涵盖油气勘探和开发的全过程,但随着低渗透、特低渗透、非常规资源等复杂油气藏开发技术的快速发展,油气藏监测与管理技术不仅面临越来越多的新技术难题,而且出现了页岩气生产流动区模型、双示踪同位素吸水剖面测井、用于水平井的动态指向式旋转导向钻井稳定控制等新技术领域。

为此,与会国际知名专家、学者,以及来自中国石油、中国石化、中国海油、延长石油集团等油公司和行业协会、石油院校、科研院所等单位的380多名代表,围绕油气藏监测、数字与智能油田、非常规油气资源、管线监测、环境监测等前沿技术的发展与需求,进行广泛深入的交流与研讨。

在备受关注的“油气藏监测与管理国际会议”“数字与智能油气田会议”“塔里木异常高压气藏监测技术专题”“非常规资源会议”4个学术专题研讨会上,70多位专家学者展示的最新科研成果表明,实时监测、智能化、网络化和数字化已成为解决复杂油气藏监测及其资料分析应用的发展方向 and 有效手段。

这次会议由西安石油大学和陕西省石油学会联合主办。其间,还举办了知识共享电子报告演示会、优秀论文评选、高新产品及技术推介等一系列丰富多彩的活动。

(兰洁 摘自中国石油网)