

机械式复合管焊接试验及应用

四川石油天然气工程建设有限责任公司 (成都 610213) 王学军

【摘要】 在油气管道中采用的机械式复合管, 设计了复合式接头形式, 并采用封焊方式, 制定出适合的焊接工艺。通过模拟现场的腐蚀环境, 采用高压釜对复合管焊接接头进行了腐蚀试验, 试验证明焊接工艺满足输送腐蚀介质要求, 并成功应用于工程。

1. 概述

石油天然气的腐蚀问题是困扰许多油气田开发的一道难题。常见的油气田腐蚀介质主要以 H_2S 、 CO_2 、 Cl^- 等为主, 对油气田开采和输送装置危害很大。解决这一难题的方法通常有两种: 一是为了降低建设成本, 采用碳钢或低合金钢管加注缓蚀剂、脱水等方式减缓腐蚀速率, 但这种方法容易造成意外腐蚀, 存在维护工作量大、生产运行成本高等问题; 二是采用耐蚀合金管, 这种方法抗腐蚀效果好, 建设成本高。

新疆某油气处理站主要对来自各采气井的油气进行分离和分馏。从井口采集的凝析油(气田水)中含有的腐蚀介质中含盐量高达115 900mg/L。

为了保证管道在安全运行的前提下节约工程投资, 采用机械式不锈钢复合钢管。复合管基层材质为20g, 覆层为超低碳不锈钢316L(00Cr17Ni14Mo2)。经过大量的试验, 解决了机械式复合管的焊接问题, 并成功应用。

2. 复合管材料性能及成分

(1) 基层管20g的力学性能和化学成分如表1、表2所示。

表1 20g力学性能

屈服强度 R_e/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A(\%)$	线膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^\circ C$)
≥ 245	410~550	24	11.4

表2 20g化学成分(质量分数) (%)

C	Mn	Si	S	P
0.17~0.24	0.35~0.65	0.17~0.37	≤ 0.030	≤ 0.030

(2) 覆层管316L的力学性能和化学成分如表3、表4所示。

表3 316L力学性能

屈服强度 R_e/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A(\%)$	线膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^\circ C$)
≥ 170	≥ 480	≥ 30	16.0

表4 316L化学成分(质量分数) (%)

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
≤ 0.03	≤ 2.00	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.045	16.0~18.0	10.0~14.0	2.00~3.00

3. 焊接工艺试验

对316L、20g和复合管的焊接性能进行分析后, 针对其焊接性能的特点, 制定焊接工艺。

(1) 接头设计 由于该工程使用的复合管属于机械式复合管, 基层和覆层未达到原子或分子间的结合, 它们之间有一定的间隙, 如果采用常规的坡口形式焊接, 在覆层和基层的间隙交界处容易出现裂纹, 因此设计了特殊的坡口形式(见图1)。

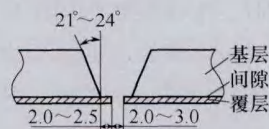


图1 316L+20g复合管接头坡口形式

(2) 焊接方法选择 钨极惰性气体保护焊特别

适用于管状焊缝的焊接,与其他焊接方法相比,尽管焊接速度较慢,但它是打底焊的理想方法,适用于各种坡口的打底焊。钨极氩弧焊能清晰地观察到焊接熔池和熔透情况,易于实现单面焊双面成形。且钨极氩弧焊背面无熔渣,对保护管内清洁极有利(见表5)。另外,这种焊接方法熔合比较小,对异种钢的焊接来说控制焊缝的组织成分十分有益。焊条电弧焊焊接碳钢和不锈钢时,坡口对熔合比的影响不大,熔合比主要受焊接电流的影响。

表5 焊接方法选择

焊缝层	封焊	根焊	过渡层	填盖焊
焊接方法	GTAW	GTAW	GTAW	SMAW

(3) 焊接材料选择 结合本次工程用到的钢材,根据焊接冶金特性以及考虑合金的烧损,保证工程的正常使用,所以必须选择合适的焊接材料。经过试验比对,我们选择了以下焊接材料。其牌号和力学性能如表6所示,化学成分如表7所示。

表6 焊接材料的牌号和力学性能

	牌 号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率 (%)	冲击试验	
					温度 /℃	冲击吸收能量 /J
焊丝	ER316L	—	≥520	≥30	—	—
焊条1	E309-15	—	≥550	≥25	—	—
焊条2	E4315	≥330	≥420	≥22	-30	≥27

表7 焊接材料的化学成分(质量分数)

(%)

牌号	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
ER316L	≤0.03	18.0~20.0	11.0~14.0	2.0~3.0	1.00~2.50	0.30~0.65	≤0.03	≤0.030	≤0.75
E309-15	≤0.15	22.0~25.0	12.0~14.0	≤0.75	0.50~2.50	≤0.90	≤0.04	≤0.03	≤0.75
E4315	—	≤0.20	≤0.30	≤0.30	≤1.25	≤0.90	≤0.04	≤0.035	—

(4) 保护气体选择 选用钨极氩弧焊作为根焊和封焊的焊接方法,采用氩气作为保护气体。同时对于316L合金含量高的金属,为避免Cr、Ni等元素烧损和氧化,须采用氩气等惰性气体进行焊缝背面保护。保护气体采用含量≥99.99%的氩气。

(5) 焊接热输入 复合管等异种钢的焊接一定要控制好焊接热输入。焊接热输入过低,致使冷却速度过快,易产生淬硬性组织,如马氏体组织;焊接热输入过大,冷却速度过慢,容易造成不锈钢渗碳,同时Cr、Ni等主要元素烧损得更严重。

(6) 焊接接头封焊 由于工程使用的是机械式复合管,两种管材间有间隙,在焊接组对时容易造成组对困难和组对错边量加大,减小覆层金属的有效厚度;同时在焊接加热和冷却过程中,由于热导率和线膨胀系数的差异,两管极易发生相对位移,导致预留的组对间隙完全封闭。封焊后的焊接接头,减小了组对的错边量,解决了覆层和基层钢管的相对位移问题,同时也解决了因覆层金属热导率小、焊接热量传输速度慢和途径的单一,而导致焊缝过热,造成焊接困难、焊后成形差和主要合金元素过量烧损的问题;也避免了直接在接头坡口处产

生未熔合和焊接裂纹等缺陷,为焊接的顺利进行提供了便利。在进行封焊时,由于覆层和基层间背面无法进行充氩保护,所以在进行接头层间封焊时电弧柱中心尽量靠向基层金属,以熔化基层金属为主,也可防止覆层金属合金元素被氧化,如图2所示。



图2 封焊焊缝示意

(7) 焊接控制措施 采用钨极氩弧焊的方法和国产ER316L焊丝进行封焊,操作时焊接电弧中心偏向基层金属,且采用细焊丝($\phi 1.2\text{mm}$)进行焊接,钨极氩弧焊的热输入相对较小,避免了覆层无法充保护气体带来的氧化问题。同时由于钨极氩弧焊焊接时,熔合比较小,有害物质对覆层的影响也小,这就保证了封焊的质量。

在进行根焊时,由于采用氩气进行焊缝背面保护,避免了主要元素的烧损和氧化,所以使用ER316L焊丝焊接316L不锈钢是合适的。

4. 焊接工艺试验结果

焊接工艺试验结果如表8~表12所示,高度腐蚀评价试验如图3所示。

