

双金属复合喷涂技术在高腐蚀气井中的应用

奚运涛^{1,2} 杨全安^{1,2} 李琼玮^{1,2} 李明星^{1,2}

1. 中国石油长庆油田公司油气工艺研究院, 陕西 西安 710021

2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710021

摘要:

长庆靖边气田部分高产水、高矿化度气井腐蚀严重, 油管寿命短, 导致气井停产, 修井频繁、费用高, 给气田生产带来安全隐患。针对以上问题, 国外常选用耐蚀合金管材进行治理, 但防腐成本高, 难以在靖边气田应用。为此提出了底层 13Cr 不锈钢, 面层 Al 合金的双金属复合喷涂技术, 对微观组织和耐腐蚀性能进行分析, 结合现场挂片试验及腐蚀检测手段评价应用情况。结果表明, 双金属复合喷涂涂层孔隙率低、耐蚀性能优、成本低, 为低产、高腐蚀气井提供了一种经济有效的防腐手段。

关键词:

双金属; 复合涂层; 超音速电弧喷涂; 腐蚀; 气井

文献标识码: A

文章编号: 1006-5539(2011)05-0057-03

0 前言

长庆靖边气田经过十几年的不断开发, 部分气井出现了高产水、高矿化度现象, 地层水平平均矿化度 $>20 \times 10^4 \text{ mg/L}$; 同时, 又由于该气田的主力产层为下古奥陶系马家沟组马五 1 层, H_2S 和 CO_2 腐蚀性气体含量较高, 腐蚀参数见表 1, 从而导致气井管柱腐蚀穿孔严重、管柱寿命短等问题。通过起出管柱检测以及腐蚀测井可知, 油管腐蚀以孔蚀为主, 见图 1。腐蚀集中在 1 000~2 500 m 井段, 尤其以 2 000 m 附近最为严重。腐蚀产物主要为 FeCO_3 , 并含有少量 FeS 。据统计,

这类气井占靖边气田总井数的 8% 左右, 并有逐年上升趋势。

针对以上腐蚀条件, 国外多采用耐蚀合金管材, 如按照日本 NKK 选材原则, 此类气井需选用超级 13Cr 或 22Cr 双相不锈钢管材, 但是, 这样会造成建井成本显著增加, 难以在此类低产气井中应用。若采用连续加注高效缓蚀剂防腐方法, 则药品费用巨大, 且现场可操作性差, 维护成本高。因此, 本文提出了底层 13Cr 不锈钢、面层 Al 合金的双金属复合喷涂技术, 为低产、高腐蚀气井提供了一种经济有效的防腐手段。

表1 长庆靖边气田腐蚀参数

主力产层	气藏埋深/m	平均地层温度/℃	平均原始地层压力/MPa	$\text{H}_2\text{S}/\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{CO}_2/(\%)$	主要腐蚀类型
马五 1	3 150~3 765	105.1	31.4	1 100	4.6	SSCC、 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S-Cl}^-$ 环境中的电化学腐蚀

收稿日期:

2011-07-26

基金项目:

中国石油天然气集团公司重大科技专项资助(2008E-1306)

作者简介:

奚运涛(1978-), 男, 山东巨野人, 工程师, 博士, 主要从事腐蚀防护与表面工程技术研究工作。



图 1 陕×井第 357 根油管

1 双金属复合喷涂技术

1.1 涂层选择

由于油管拉运及下入时,油管之间及吊卡会对管体外壁造成一定的损伤。倘若采用单层金属喷涂工艺,则会在涂层损伤处,产生“大阴极小阳极”现象,不但起不到防腐蚀作用,反而会加速管柱的腐蚀。因此本文提出了双金属复合喷涂防腐技术,即底层采用不锈钢,面层采用 Al 合金的双涂层防腐结构。当涂层表面产生局部破损或缺陷时,面层的 Al 合金会起到牺牲阳极的作用,保护底层的不锈钢层不受损伤,进而保护基体油管不被腐蚀。

对于油管内壁,由于喷涂时喷枪很难到达、不易受到损伤等因素,考虑采用 DPC 环氧酚醛高温烧结性涂层对油管内壁进行防腐。该有机涂层比较成熟,在国外气田应用广泛,此处不再赘述。

1.2 外壁喷涂方法

外壁喷涂采用超音速电弧喷涂技术,该方法是利用两根连续送进的金属丝作为自耗电极,在其端部产生电弧作为热源,用压缩空气将熔化了了的丝材雾化,并以超音速喷向工件形成一种结合强度高、孔隙率低、表面粗糙度低的涂层热喷涂方法^[1],见图 2。

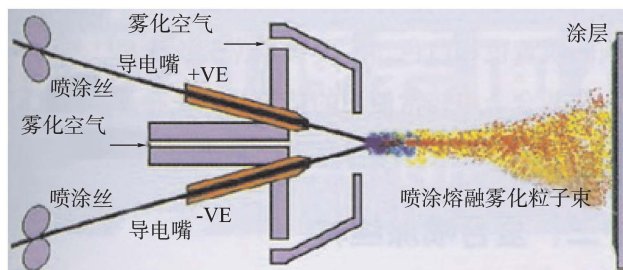


图 2 超音速电弧喷涂示意图

超音速电弧喷涂的主要优点有^[1-3]:a)结合强度高,超音速电弧喷涂层与基体结合强度可达 60 MPa,一般油漆结合强度为 2.5 MPa,环氧粉末涂层为 6 MPa;b)喷涂层孔隙率低,平均孔隙率仅为 1%左右;c)生产成本低、操作简单、效率高。

1.3 喷涂工艺

喷涂工艺主要包括两部分:表面预处理和喷涂。先采用石英砂进行预处理,以除去管件表面的氧化物,使待喷涂的表面变得光洁,提高涂层的结合强度。

针对不同金属丝电极,应选取不同喷涂参数^[4-6]。双金属复合喷涂的喷涂参数见表 2。

表 2 复合喷涂最佳喷涂参数表

涂层材料	电注/ A	电压/ V	压缩空气 压力/MPa	喷涂距离/ mm	喷涂角 度/(°)
13Cr	180	32	0.6	150	85
铝合金	150	34	0.6	200	90

尽管超音速电弧喷涂的涂层孔隙率较低,但仍然存有微小孔洞,腐蚀介质很容易通过这些孔洞渗入,与基体连通,造成腐蚀,因此,必须对表面进行封孔处理。目前常用的封孔剂为环氧富锌封孔剂,它是以环氧树脂、锌粉、硅酸乙酯为主要原料,配以增稠剂、填料、助剂、溶剂等组成^[7]。具有附着力强、耐水性能优、防腐效果好等优点,且对铝喷涂层具有良好的封闭钝化性能。

2 试验及讨论

2.1 孔隙率及显微组织

采用金相检查法对两种金属涂层分别进行测试;采用 JSM6360LV 扫描电子显微镜,对涂层的组织结构、气孔等情况进行分析。

金相检查表明:13Cr 不锈钢孔隙平均大小为 0.9 μm ,平均孔隙率为 0.7%;稀土铝合金孔隙平均大小为 0.45 μm ,平均孔隙率为 1.1%。说明底层和面层的孔隙率低,能有效阻止腐蚀介质的渗入,但是,仍然有微小空隙存在,需要对表面进行封孔处理。

显微组织分析表明:13Cr 不锈钢底层和稀土铝合金面层都均匀致密,无大的空洞和缺陷,见图 3~4。说明超音速电弧喷涂粒子的速度高,粒子沉积时撞击力大,变形充分,大大减少了粒子间的不完全重叠,降低了涂层的孔隙率。

2.2 腐蚀挂片试验

为了评价双金属复合喷涂的耐蚀性,开展了 3 口气井的现场挂片试验,试验数据见表 3。

结果表明,经过近 5 个月的井下挂片试验,3 口气井的双金属复合喷涂试样的腐蚀速率相差不大,均在 0.1mm/a 左右;试样表面有轻微腐蚀,基体未发生腐蚀。而空白试样的腐蚀速率差异较大,腐蚀最严重的为 2# 气井中 N80 挂片试样,其腐蚀速率达 1.486 mm/a,

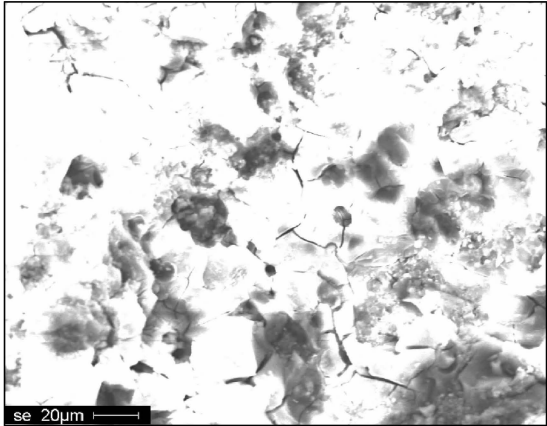


图 3 13Cr 不锈钢涂层显微结构

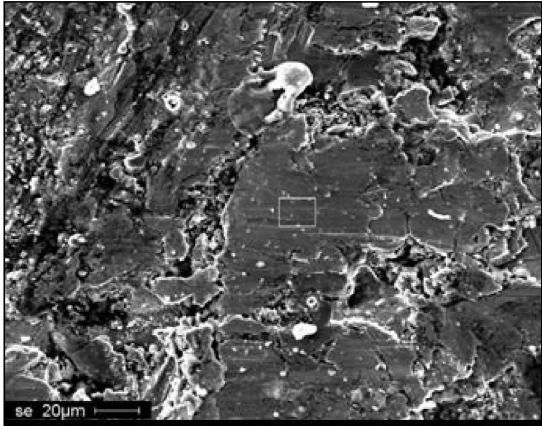


图 4 稀土铝合金涂层显微结构

表3 双金属复合喷涂现场挂片数据

试 验 井	挂片 深度 / m	试 验 周 期 / d	空白挂片腐蚀 速率 /mm·a ⁻¹		双金属复合喷涂试样
			80S	N80	
1#	1 300	152	0.013 9	0.011 6	面层铝合金:0.086mm/a, 基体:0 mm/a
2#	1 300	139	0.68 2	1.486	面层铝合金:0.11mm/a, 基体:0 mm/a
3#	1 400	111	0.060 2	0.021 6	面层铝合金:0.109mm/a, 基体:0 mm/a

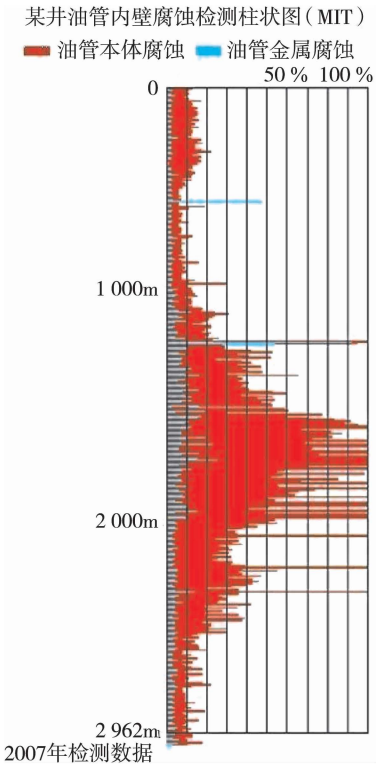
由此说明双金属复合喷涂涂层性能稳定,耐蚀性能优异,显著提高了基体的耐腐蚀性能。

2.3 腐蚀测井分析

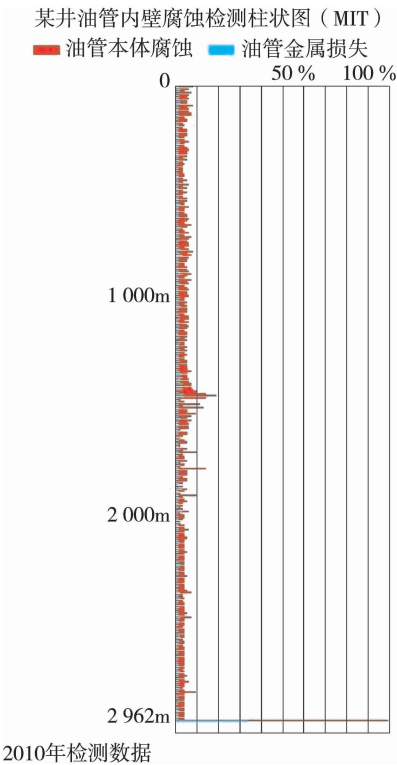
靖边气田某井于 2003 年 4 月 17 日投产,日产水 15.98 m³,CO₂ 含量 5.07 %,H₂S 含量 89.69 mg/m³,Cl⁻含量 162.97 g/L,总矿化度 256.62 g/L。

2004 年 12 月 19 日油管腐蚀穿孔,造成油管与环空连通。油管正常生产时间仅为 1.5 a,折算最大腐蚀速率为 3.67 mm/a。

为了避免该井更换管柱后的二次腐蚀,2007 年在全井段采用了双金属复合喷涂油管。2010 年为了评价双金属复合喷涂的防腐效果,对该井进行了不压井腐蚀检测,结果见图 5。可以看出,双金属复合喷涂油管



a) 未防腐前腐蚀测井图



b) 更换双金属复合管 3 a 后的腐蚀测井图

图 5 某井油管腐蚀检测结果