

应力作用下 X65 管线钢直流杂散电流腐蚀研究

尚冬梅¹ 李德豹¹ 何鑫¹ 黄明远¹ 丁战武²

1 沈阳科技学院 辽宁 沈阳 110167

2 沈阳特种设备检测研究院 辽宁 沈阳 110035

【摘要】：管道运输在我国运输业的地位日益重要，但油气管道输送的介质多为易燃易爆、有毒的，一旦发生事故，往往并发火灾、爆炸以及环境污染等。随着管道运输业的发展，管道腐蚀问题引起人们的高度重视。其中，杂散电流腐蚀是导致管道腐蚀的重要因素之一。本文研究：(1)在三种土壤溶液中研究应力水平对直流杂散电流腐蚀的影响。得出：随着应力水平的增加，腐蚀速率加快，且这种现象随着直流杂散电流的增加而愈加明显。(2)在大庆土壤模拟溶液中研究应力作用下直流杂散电流对腐蚀速率的影响。得出：随着直流杂散电流的增加，腐蚀速率加快。

【关键词】：X65 管线钢；直流杂散电流；应力；腐蚀

一、引言

管道运输作为输送石油、天然气等能源的安全又经济的运输方式，在世界各国得到越来越广泛的应用。随着中国经济的发展，能源行业得到了快速发展，到2018年，油气长输管道里程达到1.331×10⁵km。[1]有关报道显示，腐蚀引起的管道事故占管道事故的50%。油田由于腐蚀造成的损失更是惊人的，管道腐蚀作为影响油田成本增效的关键因素，成为制约可持续发展必须战胜的困难。我国的管道事故统计表明，腐蚀是影响管道长周期安全运行的主要危险之一[2]。因此，研究管线钢油气管道腐蚀与应力水平、直流杂散电流密度以及土壤pH的影响规律，为服役高强钢油气管线的安全运行提供可靠的保障，无疑具有非常重要的价值。

二、实验部分

2.1 实验平台

实验平台主要由PC机、电化学工作站、pH计、激励电源、电压放大器、数字万用表、应力加载系统组成。

表 2.1 实验仪器及设备

名称	型号	用途
电化学工作站	Solectron 1287+1260	加载直流杂散电流，测量开路电位、腐蚀电位及计划曲线
直流信号隔离器	CF-07	具有抗干扰和高压保护及电流尖峰抑制作用
数字万用表	FLUKE 289	测量输出的电压值
稳压电源	WD-5	提供恒定的、没有波动的，能达到和满足负载工作条件的直流电源
分析天平	TG328A	测量配制溶液所需的实际的重量

pH计	PHS-2C	测试土壤模拟溶液的酸碱度
拉力传感器	YZC-528	测量拉力

2.3 直流杂散电流的加载

X65 管线钢试样与溶液接触的面S为4.8cm²，所受直流杂散电流密度分别为0.5mA/cm²、1.0mA/cm²、1.5mA/cm²、2.0mA/cm²、2.5mA/cm²、3mA/cm²、3.5mA/cm²由公式(2.1)可算出实验所需直流杂散电流强度I。

$$I = D_I \cdot S \quad (2.1)$$

式中，D_I是直流杂散电流密度，mA/cm²。算得实验所需直流杂散电流强度I分别为2.4mA、4.8mA、7.2mA、9.6mA、12mA、14.4mA和16.8mA。

2.4 应力的加载

X65 管线钢的屈服强度为448MPa,0%、30%、50%、80%、100%的屈服强度对应得值为0MPa、134.4MPa、224MPa、358.4MPa、448MPa。

2.5 土壤模拟溶液

本实验选择了我国典型的大庆站土壤，大庆作为我国重要的石油产区，土壤程碱性较强，土壤的pH值为8.16。受实验条件限制，在配置时只考虑土壤模拟溶液的酸碱度这一参数，其他土壤性质合格参数忽略不计。

2.6 腐蚀速率的计算

根据法拉第定律，电解时，阴极的还原物质析出量正比与流经的电流强度和通电时间，用公式可以表示为：

$$m = k \cdot Q = k \cdot I \cdot t \quad (2.2)$$

$$K = \frac{M}{F \cdot n} \quad (2.3)$$

式中, m 是析出金属的质量, kg ; k 是比例常数 (电化学当量); Q 是通过的电量, C ; I 是电流强度, A ; t 是通电时间, s ; M 是反应物的摩尔质量, kg/mol ; F 是法拉第常数, $96485C/mol$, 又知 $1C=1A/s$, 所以 $F=26.80A/(h \cdot mol)$ 。失重法测腐蚀速度表示如下:

$$v = \frac{m}{A \cdot t} \quad (2.4)$$

式中, v 是试样腐蚀速率, g/cm^2 ; A 是试样暴露表面积, cm^2 ; t 是试样腐蚀时间, h 。

由 (2.2)、(2.3)、(2.4) 可以得出腐蚀速率与直流杂散电流密度间的关系式为:

$$v = \frac{M \cdot I}{F \cdot n} \quad (2.5)$$

式中, I 是直流杂散电流密度; M 的值为 $56g/mol$; n 的值为 2。

三、实验结果与分析

3.1 实验数据

对 X65 在不同应力条件下的极化曲线进行处理得到图 3.1 所示的曲线图。

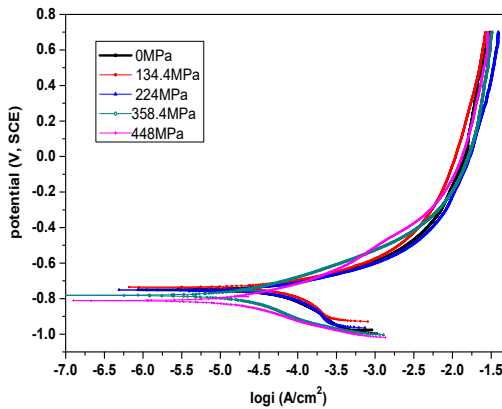


图 3.1 X65 钢在不同应力条件下的极化曲线图

X65 钢在大庆模拟溶液, 在 0%、30%、50%、80%、100% 屈服强度条件及直流杂散电流密度分别为 $0.5mA/cm^2$ 、 $1.0mA/cm^2$ 、 $1.5mA/cm^2$ 、 $2.0mA/cm^2$ 、 $2.5mA/cm^2$ 、 $3.0mA/cm^2$ 、 $3.5mA/cm^2$ 下腐蚀电位分别如图 3.2、图 3.3、图 3.4、图 3.5、图 3.6 所示。

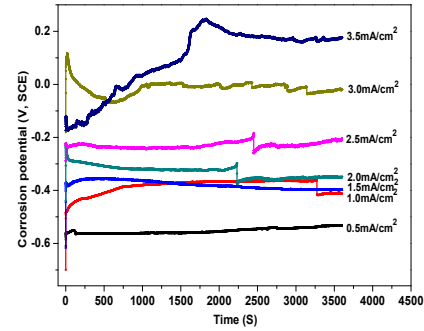


图 3.2 Ts=0MPa 时腐蚀电位图

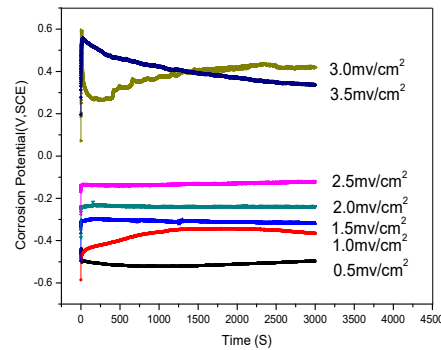


图 3.3 Ts=134.4MPa 时腐蚀电位图

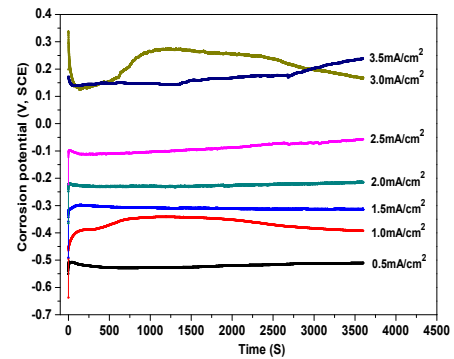


图 3.4 Ts=224MPa 时腐蚀电位图

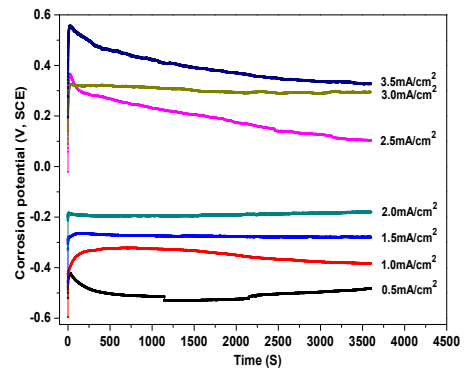


图 3.5 Ts=358.4MPa 时腐蚀电位图

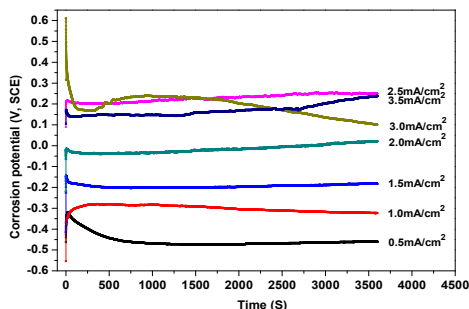


图 3.6 Ts=448MPa 时腐蚀电位图

3.2 实验结果分析

根据实验结果,提取 X65 钢在 0%、30%、50%、80%、100%屈服强度条件下直流杂散电流腐蚀电位如表 3.1 所示。

表 3.1 X65 钢在不同应力状态下直流杂散电流腐蚀电位 (V)

拉伸 应力 /MPa	0.5 mA/cm ²	1.0 mA/cm ²	1.5 mA/cm ²	2.0 mA/cm ²	2.5 mA/cm ²	3.0 mA/cm ²	3.5 mA/cm ²
0M	-0.481	-0.372	-0.206	-0.124	0.134	0.289	-0.481
134.4	-0.504	-0.416	-0.387	-0.304	-0.087	0.121	-0.504
224	-0.541	-0.426	-0.407	-0.316	-0.202	-0.149	-0.541
358.4	-0.526	-0.453	-0.416	-0.326	-0.312	-0.271	-0.526
448	-0.574	-0.468	-0.438	-0.347	-0.330	-0.322	-0.574

根据电位值,通过不同应力水平下的极化曲线可以找出对应点的电流密度值,再根据公式(2.5)得到 X65 钢在大庆站溶液中不同应力状态下直流杂散电流腐蚀速率表(表 3.2 所示),对表 3.2 中数据处理得到 X65 钢在大庆站溶液中不同应力条件下直流杂散电流密度值与腐蚀速率关系曲线(图 3.7 所示)。

表 3.2 X65 钢在大庆站溶液中不同应力状态下直流杂散电流腐蚀速率表 (g/cm²h)

参考文献:

- [1] 赵书华, 李晓等.埋地管道直流杂散电流腐蚀及防护的研究进展.材料防护, 2020, 53 (5) 123-128.
- [2] 狄彦,帅健等.油气管道事故原因分析及分类方法研究,中国安全科学学报,2013,23(7):109-115.
- [3] 中国石油管道分公司沈阳调度中心.SY/T 0017-2006,埋地钢质管道直流排流保护技术标准[S],2006.
- [4] 胡士信,孟宪级,徐快等.阴极保护工程手册.北京:化学工业出版社,1999.

课题信息: 学校科研项目“应力作用下 X80 管线钢直流杂散电流腐蚀评价研究”(立项编号: QG-2019-01)

作者信息: 尚冬梅, 女(1988.1-), 汉族, 辽宁普兰店人, 硕士, 讲师, 研究方向: 油气管道事故预防与控制、化工安全管理。

拉伸 应力 /MPa	0.5 mA/cm ²	1.0 mA/cm ²	1.5 mA/cm ²	2.0 mA/cm ²	2.5 mA/cm ²	3.0 mA/cm ²	3.5 mA/cm ²
0M	1.58×10 ⁻³	3.49×10 ⁻³	5.01×10 ⁻³	6.16×10 ⁻³	7.40×10 ⁻³	8.50×10 ⁻³	1.08×10 ⁻²
134.4	1.98×10 ⁻³	4.07×10 ⁻³	5.33×10 ⁻³	6.97×10 ⁻³	9.10×10 ⁻³	1.37×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²
224	2.80×10 ⁻³	4.99×10 ⁻³	7.15×10 ⁻³	9.12×10 ⁻³	1.21×10 ⁻²	1.84×10 ⁻²	2.12×10 ⁻²
358.4	1.77×10 ⁻³	5.33×10 ⁻³	7.52×10 ⁻³	1.08×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	2.04×10 ⁻²	2.55×10 ⁻²
448	1.88×10 ⁻³	4.91×10 ⁻³	8.46×10 ⁻³	1.44×10 ⁻²	2.00×10 ⁻²	2.48×10 ⁻²	2.98×10 ⁻²

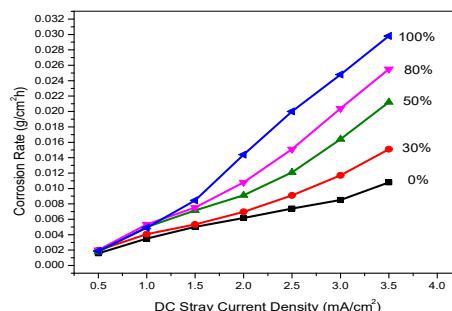


图 3.7 X65 钢在大庆中心站溶液中不同应力条件下直流杂散电流密度与腐蚀速率关系曲线

四、实验结论

随着应力的增大 X65 钢的腐蚀电位逐渐升高,随着应力的增大 X65 钢的极化曲线负移。也就是说应力水平对高强钢直流杂散电流腐蚀有影响。在此基础上,研究在大庆模拟溶液中应力水平及直流杂散电流对高强钢 X65 的腐蚀影响,得出随着直流杂散电流密度和所受应力不断增大, X65 钢在大庆中心站溶液中腐蚀速率不断增大,在碱性环境下拉伸应力对腐蚀速率的影响随着直流杂散电流密度的增大而愈加明显。