

# 高含硫气体开发用套管性能评价与质量控制技术研究

李 黎<sup>1,2</sup> 郭 浩<sup>1,2</sup> 舒昶晖<sup>3</sup> 李 塔<sup>3</sup> 安 珂<sup>1,2</sup>

- 1. 中国石油集团工程材料研究院有限公司 陕西 西安 710077
- 2. 北京隆盛泰科石油管科技有限公司 北京 100101
- 3. 中石油煤层气有限责任公司北京物资分公司 北京 102200

**摘 要：**我国油田大概约1/3含有H<sub>2</sub>S气体，目前国内的110SS钢级套管在各大油气田都已经广泛使用，因此其性能和质量的控制极为重要。本文重点从目前成熟的工艺流程进行分析，对110SS钢级套管的化学成分、热处理、力学性能、SSC试验等各方面进行有效的质量控制，并对其性能进行评价，经过有效的质量控制高含硫气体开发用套管在油田应用良好。

**关键词：**高含硫；性能评价；质量控制

我国油田大概约1/3含有H<sub>2</sub>S气体，我国各大油田如四川、华北、塔里木、长庆等油田均含有H<sub>2</sub>S气体，随着含硫油气田中深井和超深井的开发，各油田对高钢级抗硫化物应力腐蚀开裂套管有迫切的需求。而且目前我国西部地区油气开采深度部分已达到10000m，伴随着井深的增加，井底压力会达到上百兆帕。石油管材在井下不但面临着高温高压以及H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>等腐蚀介质的联合作用，还承受着拉伸、压缩、扭转、弯曲乃至各类交变载荷，服役环境极为恶劣<sup>[1-3]</sup>。

## 1 110SS 钢级套管的生产工艺流程

### 1.1 110SS钢级套管国内成熟的生产工艺流程

目前国内宝钢、天钢等钢厂已经有成熟的生产工艺，工艺路线如下：冶炼及管坯制造→钢管轧制→精整→调质热处理（重复两次）→理化性能试验和SSC试验→无损探伤→静水压试验→全长通径→螺纹车丝→拧接→管端通径→涂油→喷标→打捆包装。

## 2 110SS 钢级套管的质量控制

### 2.1 110SS钢级套管化学成分设计及质量控制

对于高含硫气体开发用套管来说，韧性和耐蚀性是该套管的重要技术指标，P、S作为金属有害元素首先含量应尽可能低，此外Mn、S夹杂是产生氢致裂纹的最重要原因，也需要重点控制，综上所述，S含量必须严格控制。

对于高强度、高含硫套管开发来说，一般是以Cr-Mo调质钢为基础，通过调制热处理后获得高比例的马氏体组织提高抗SSC性能的合金元素来达到抗腐蚀性能，如添加有利于晶粒细化和加强强度的V、Nb、Ti元素以及有利于增加淬透性的B元素等。

表1是某钢厂Φ193.68×20.66mm 110SS钢级套管化学成分试验数据，进行了统计分析，我们可以看出其化学元素含量均符合行业标准要求，尤其是S、P有害元素含量远低于标准要求，得到了很好的控制。

表1 化学成分结果（质量%）

| 元素   | C      | Si     | Mn     | P       | S       | Cr      | Mo      | B      | V     | Nb    | Ti    |
|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 试样1  | 0.24   | 0.21   | 0.51   | 0.007   | 0.001   | 0.55    | 0.73    | 0.0022 | 0.097 | 0.021 | 0.013 |
| 试样2  | 0.25   | 0.21   | 0.51   | 0.008   | 0       | 0.55    | 0.73    | 0.0022 | 0.097 | 0.02  | 0.012 |
| 试样3  | 0.24   | 0.21   | 0.51   | 0.007   | 0       | 0.55    | 0.72    | 0.0022 | 0.096 | 0.021 | 0.013 |
| 试样4  | 0.24   | 0.21   | 0.51   | 0.007   | 0       | 0.55    | 0.72    | 0.0022 | 0.097 | 0.021 | 0.012 |
| 试样5  | 0.29   | 0.22   | 0.54   | 0.008   | 0.001   | 0.55    | 0.76    | 0.0026 | 0.099 | 0.022 | 0.011 |
| 技术要求 | ≤ 0.35 | ≤ 0.50 | ≤ 1.20 | ≤ 0.015 | ≤ 0.005 | 0.1-1.6 | 0.2-1.2 | /      | /     | /     | /     |

### 2.2 110SS钢级套管的调质热处理工序及质量控制

调质热处理的质量直接决定了高强度抗硫油管管的质量，一般而言，开始冷却温度过低、冷却速度过慢和最终冷却温度过高等均会导致钢的马氏体相变不完全，

从而在组织内产生先共析铁素体、贝氏体等第二相，这些第二相易成为组织内的薄弱点，引发SSC<sup>[4]</sup>。

相对于API钢级套管，110SS钢级套管的力学性能试验要求更高，并要满足高抗硫要求，因此对热处理工艺

有着更高的要求,为了达到更优的力学性能,一般采用二次热处理的方式。热处方式:淬火+回火,淬火温度:  $930\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,回火温度:  $713\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。进行两次重复的调质热处理可以有效细化组织,增强钢的抗SSC能力,一般钢管经两次调质热处理后的晶粒度可较一次调质热处理提高1~2级。

在热处理工序,为了有效控制质量,应:

(1) 生产前现场确认设备应运行正常,确认现场工艺文件符合生产要求;

(2) 钢管加热温度、冷却方式及控制等应符合工艺要求;

(3) 由于进行两次热处理,因热处理温度高,时间长,导致套管表面会产生过多氧化皮,因此建议在螺纹车丝前进行高压吹扫工序,去除套管内表面残余氧化皮。

### 2.3 110SS钢级套管的力学性能试验及质量控制

采用上述热处理工艺的套管,其力学性能试验数据统计如表2、表3,结果能满足技术协议要求。

表2 拉伸试验结果

| 项目   | 屈服强度MPa | 抗拉强度MPa    | 延伸率%      |
|------|---------|------------|-----------|
| 试样1  | 780     | 850        | 24        |
| 试样2  | 780     | 840        | 26        |
| 试样3  | 770     | 850        | 26        |
| 试样4  | 790     | 860        | 22        |
| 试样5  | 810     | 870        | 23        |
| 技术要求 | 758-828 | $\geq 800$ | $\geq 15$ |

表3 冲击试验结果

| 项目   | 冲击功值J (0℃, 10*10*55mm, 横向) |     |     |           |
|------|----------------------------|-----|-----|-----------|
|      | 1                          | 2   | 3   | 平均值       |
| 试样1  | 116                        | 126 | 122 | 121       |
| 试样2  | 123                        | 128 | 120 | 124       |
| 试样3  | 116                        | 125 | 121 | 121       |
| 试样4  | 146                        | 138 | 161 | 148       |
| 试样5  | 145                        | 136 | 139 | 140       |
| 技术要求 | $\geq 60$                  |     |     | $\geq 90$ |

在进行试验工序见证时,为了保证试验的有效性和准确性,应做到以下质量控制:

(1) 钢管应按API SPEC 5CT 的取样频次进行理化性能试验。

(2) 现场确认检测设备应运行正常,实际操作人员应具备相应的试验资格证书。

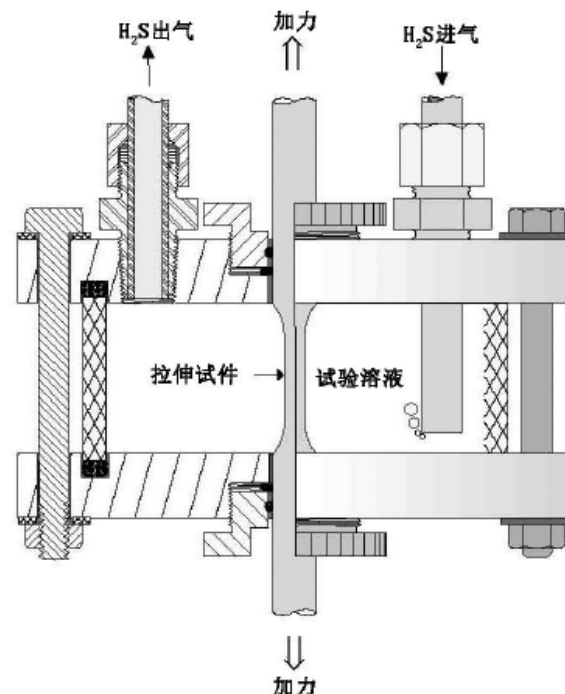
(3) 试验设备完好无损,且均在检定有效期内。

### 2.4 110SS钢级套管的SSC试验及质量控制

SSC试验(关键试验):含硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )的水环境中,在腐蚀和拉伸应力共同作用下,室温下发生的金属

抗开裂破坏的试验,称为硫化物应力开裂试验(SSC)。

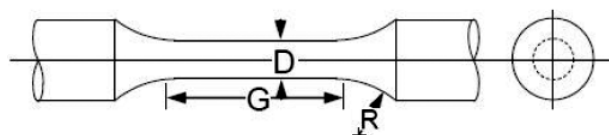
一般采用A法-拉伸试验法,用于评价金属在单轴向拉伸载荷作用下的抗EC性能。拉伸试样见图1。



(b) 环境试验箱内的拉伸试样

图1 拉伸试样图示

试样尺寸见图2。



| 尺寸       | 标准拉伸试样                                                    | 小尺寸拉伸试样                                                   |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| D        | $6.35\pm 0.13\text{mm}$<br>( $0.250\pm 0.005\text{in.}$ ) | $3.81\pm 0.05\text{mm}$<br>( $0.150\pm 0.002\text{in.}$ ) |
| G        | $25.4\text{mm}(1.00\text{in.})$                           | $25.4\text{mm}(1.00\text{in.})$                           |
| R (min.) | $15\text{mm}(0.60\text{in.})$                             | $15\text{mm}(0.60\text{in.})$                             |

(a) 拉伸试样的尺寸

图2 拉伸试样尺寸要求

试验步骤见图3。

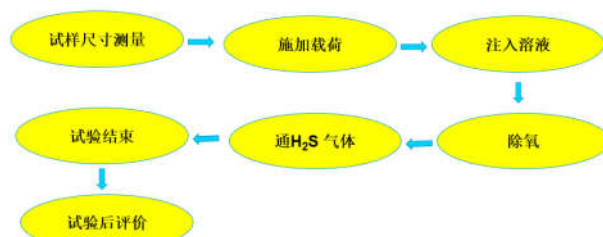


图3 试验步骤

试验重点控制：

（1）应力环加载过程：应力环应先进行校准。试样载荷应在应力环载荷范围内，应力环在施加的载荷下，产生环的挠度应超过环直径的0.6%并不小于0.51mm(0.020in)。载荷偏差：不超过校准载荷的1.0%。应力环和试样必须一一对应。

（2）除氧过程：按照一定的速率的（至少100mL/min）惰性气体对试验溶液进行净化，试验溶液需先净化至少1小时，含有试样后溶液应再净化至少1小时；当H<sub>2</sub>S气体进入试验容器时，试验溶液清澈透明，表明溶液不

存在氧污染。

（3）通气过程：在小于等于1L的试验容器内，接触试样后1小时内应达到饱和溶液；当试验溶液达到饱和时，代表SSC试验开始；采用最小流速下H<sub>2</sub>S气体来持续饱和和试验溶液。

（4）评价过程：经720 小时试验结束后，用10×放大倍数下目测试样标距截面的裂纹。使用显微镜来确定裂纹是否EC开裂。

采用上述热处理工艺的套管，其SSC试验数据统计如表4，结果能满足技术协议要求。

表4 SSC试验结果

| 项目  | 试验温度  | 初始PH值 | 结束PH值 | 试验时间   | 试验结果 |
|-----|-------|-------|-------|--------|------|
| 试样1 | 24±3℃ | 2.62  | 3.74  | ≥ 720h | 无开裂  |
| 试样2 | 24±3℃ | 2.62  | 3.74  | ≥ 720h | 无开裂  |
| 试样3 | 24±3℃ | 2.62  | 3.74  | ≥ 720h | 无开裂  |
| 试样4 | 24±3℃ | 2.62  | 3.74  | ≥ 720h | 无开裂  |
| 试样5 | 24±3℃ | 2.62  | 3.74  | ≥ 720h | 无开裂  |

3 结论

（1）在当前的生产工艺以及加强化学成分、调质热处理、力学性能试验、SSC试验质量控制前提下，能够保证套管性能。

（2）采取有效的质量控制措施后，高含硫气体开发用套管目前在各大油田使用情况良好，能够保证良好的抗腐蚀效果。

参考文献

[1]王明辉，张智，曾德智等. 高含硫气田套管腐蚀情

况实验研究及建议[J]. 钻井工程，2011，31（09）：85-87.

[2]张智，施太和，付建红等.含硫气井的井筒完整性设计方法[J]. 天然气工业，2010，30(3)：67-69.

[3]邵理云,李国平,王和琴等. 高含硫气田超深井油层高强度套管模拟工况下的抗腐蚀性能[J]. 中国科技论文，2012，7（06）：473-476.

[4]范世平，刘晖，邓信文等.高钢级油井管的调质工艺[J].金属热处理，2015，40(2)：180-182.