

# 热采井用套管材料高温拉伸性能试验研究

李光辉<sup>1</sup>, 王海博<sup>1</sup>, 赵洪山<sup>2</sup>, 孙连坡<sup>3</sup>, 姬丙寅<sup>1</sup>

(1. 西安三维应力工程技术有限公司, 陕西 西安 710065; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017; 3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

**摘要:** 研究某热采井用 110H 钢级套管材料在不同温度下的拉伸性能。试验温度选用相关标准推荐的 180, 240, 290, 325, 350 °C, 另增加室温拉伸试验。试验结果表明: 随着温度升高, 该 110H 钢级热采井用套管材料的屈服强度、抗拉强度均呈下降趋势, 且屈服强度对温度更加敏感, 下降程度满足相关标准要求; 弹性模量随着温度升高也呈下降趋势。对试验结果进行拟合, 拟合可信度较高, 可用于套管柱设计和选材时参考使用。

**关键词:** 套管; 热采井; 高温拉伸; 强度; 弹性模量

**中图分类号:** TG115.5\*2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2020)01-0065-03

## Experimental Study on High-temperature Tensile Properties of Steel for Casing as used in Thermal Recovery Well

LI Guanghui<sup>1</sup>, WANG Haibo<sup>1</sup>, ZHAO Hongshan<sup>2</sup>, SUN Lianpo<sup>3</sup>, JI Bingyin<sup>1</sup>

(1. Xi'an Serv Stress Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an 710065, China;

2. Drilling Technology Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying 257017, China;

3. CNOOC (China) Tianjin Company (China) Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** The tensile properties of 110H steel for the casing as used in a certain thermal recovery well are tested at different temperatures. The test temperatures are selected from those as recommended under applicable specification i.e., 180, 240, 290, 325, 350 °C, and the room-temperature tensile test is added. The test results show that along with the increase of the temperature, both the yield strength and the tensile strength of the said steel decrease, and the yield strength becomes more sensitive to the temperature. The decrease degree meets the requirement as specified under the applicable specification. Likely the elastic modulus also decreases with increasing of the temperature. The results of the above mentioned tests are fitted, and the fitting reliability is rather high, which is worth referring for design and selection of the casing string.

**Key words:** casing; thermal recovery well; high temperature tensile test; strength; elastic modulus

稠油开采是目前国内油田主要的项目之一。稠油由于黏度大、流动性差等原因, 在开采时多采用特殊工艺, 如蒸汽吞吐(Cyclic Steam Stimulation)、蒸汽驱(Steam Drive)、SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage)等<sup>[1-2]</sup>, 苛刻的服役条件对油井用套管提出了更高要求。传统 API 系列中没有稠油热采井专用管, 近些年各大生产厂家根据热采实际工

况, 开发出了一些专用套管<sup>[3-10]</sup>, 要求其具有较好的热稳定性, 即高温下强度的衰减也能够满足实际开采需求。笔者对某生产厂研发的 110H 钢级套管材料在不同温度下的拉伸性能进行了试验研究, 对不同温度下材料的屈服强度、抗拉强度及弹性模量的变化进行分析, 并通过曲线拟合得出强度变化规律, 以用于指导热采井套管的设计及选用。

李光辉(1988-), 女, 硕士, 工程师, 从事金属材料组织性能及油井管柱力学等方面的研究。

### 1 试验条件

选用  $\Phi 244.48 \text{ mm} \times 11.99 \text{ mm}$  规格 110H 钢级套

管,在套管上分别截取化学成分检测试样和材料拉伸试样。化学成分检测采用 ARL 3460 Advantage 直读光谱仪,110H 钢级套管材料的化学成分(质量分数)检验结果见表 1。鉴于目前国内稠油开采时最高温度可达 350 ℃,因此高温系列拉伸试验温度选用相关标准中推荐的温度点(分别为 180, 240, 290, 325, 350 ℃)<sup>[11]</sup>,另外增加室温拉伸试验,

用于不同高温条件下材料强度的定量对比。高温和室温拉伸试验分别按照 GB/T 228—2010《金属材料拉伸试验》中的方法进行,拉伸试样尺寸如图 1 所示。试样两端采用螺纹连接,安装到试验机上后加热炉开始升温,至试验温度后保温 30 min,然后开始加载,直至试样被拉断,试验机记录拉伸应力-应变曲线及屈服强度、抗拉强度等。

表 1 110H 钢级套管材料的化学成分(质量分数)检验结果

C	Mn	Mo	Cr	Ni	Cu	P	S	Si
0.249	0.779	0.257	1.001	0.038	0.066	0.007 7	0.002 6	0.257

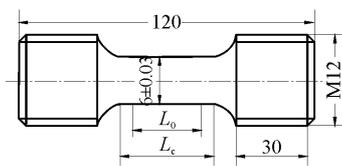


图 1 拉伸试样尺寸

## 2 试验结果及分析

### 2.1 试验结果

按照上述试验条件进行试验,每个温度下各有两个平行试样,110H 钢级套管材料的试验结果见

表 2(结果为平行试样平均值),在不同温度下的应力-应变曲线如图 2 所示(各温度下只选一个试样的曲线)。从试验结果可以看出:随着温度的升高,材料屈服强度和抗拉强度都减小,与抗拉强度相比,屈服强度随温度下降的更快,即对温度更加敏感;350 ℃时屈服强度折减系数为 0.82,抗拉强度折减系数为 0.87,满足 GB/T 34907—2017《稠油蒸汽热采井套管技术条件与适用性评价方法》中“350~400 ℃温度范围,屈服强度、抗拉强度较室温降低幅度不大于 20%”的要求。

表 2 110H 钢级套管材料的系列温度拉伸试验结果

序号	温度/℃	标距 $L_0$ /mm	平行段长度 $L_c$ /mm	屈服强度 $R_{0.05}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 折减系数 <sup>①</sup>	抗拉强度 折减系数 <sup>①</sup>
1	23	30	45	921.0	1 023.0	1.00	1.00
2	180	30	45	865.0	953.0	0.91	0.94
3	240	30	45	839.0	959.0	0.90	0.94
4	290	30	45	827.5	964.5	0.89	0.94
5	325	30	45	819.0	961.5	0.85	0.92
6	350	30	45	785.0	944.5	0.82	0.87

注:①强度折减系数=对应温度强度/室温强度<sup>[12]</sup>。

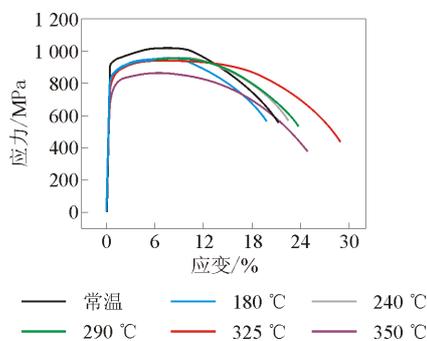


图 2 110H 钢级套管材料在不同温度下的应力-应变曲线

### 2.2 强度变化曲线拟合

将不同温度下 110H 钢级套管材料的屈服强度和抗拉强度值绘制在一起,可直观地看出强度变化趋势,具体如图 3 所示。对屈服强度和抗拉强度变化曲线进行拟合,得出屈服强度拟合公式(1)和抗拉强度拟合公式(2):

$$y = -5 \times 10^{-8} x^4 + 3 \times 10^{-5} x^3 - 0.003 1 x^2 - 0.594 5 x + 935.97 \quad (1)$$

$$y = -2 \times 10^{-7} x^4 + 0.000 1 x^3 - 0.033 4 x^2 + 2.293 x + 986.19 \quad (2)$$

其中,屈服强度的拟合优度  $R^2=0.997 6$ ;抗拉

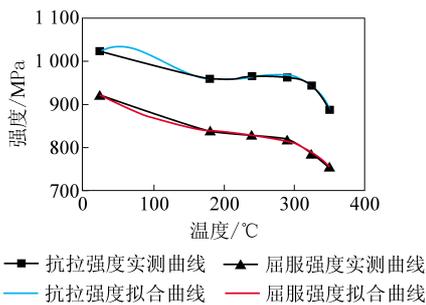


图3 110H 钢级套管材料的强度变化趋势及其拟合曲线

强度的拟合优度  $R^2=0.9946$ 。

### 2.3 弹性模量

根据 GB/T 22315—2008《金属材料 弹性模量和泊松比试验方法》及不同温度下应力-应变曲线，获得该材料在不同温度下的弹性模量，具体见表3（数值为平行试样平均值）。对应力-应变曲线的弹性段进行直线拟合，获得的斜率即为对应曲线的弹性模量。将各个温度下弹性模量绘制在一起，并对曲线进行拟合，获得该套管材料弹性模量随温度变化的表达式(3)：

$$y = -3 \times 10^{-6} x^3 + 0.0011 x^2 - 0.2017 x + 3.43 \quad (3)$$

表3 110H 钢级套管材料不同温度下的弹性模量

温度/°C	弹性模量/GPa	弹性模量折减系数
23	199.20	1.00
180	189.30	0.95
240	177.60	0.89
290	177.75	0.88
325	170.20	0.84
350	152.80	0.77

由公式(3)可计算出该套管材料弹性模量的拟合优度  $R^2=0.9693$ 。计算各个温度下弹性模量折减系数，其中 350 °C 下弹性模量折减系数为 0.77。110H 钢级套管材料的弹性模量变化趋势及其拟合曲线如图4所示。

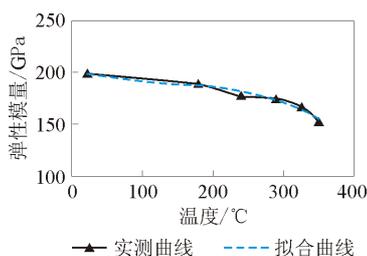


图4 110H 钢级套管材料的弹性模量变化趋势及其拟合曲线

### 3 结论

(1) 随着温度升高，110H 钢级套管材料的屈服强度和抗拉强度降低，屈服强度对温度更敏感，折减系数较抗拉强度高；350 °C 屈服强度折减系数为 0.82，抗拉强度的为 0.87，满足相关标准要求；

(2) 随着温度升高，材料弹性模量降低，350 °C 弹性模量折减系数为 0.77；

(3) 屈服强度、抗拉强度和弹性模量试验结果的拟合曲线拟合优度  $R^2$  分别为 0.9976、0.9946、0.9693，可信度较高，可在套管设计及选材时参考使用。

### 4 参考文献

- [1] XIE J. Investigation of connection failure mechanisms in thermal wells[C]. World Heavy Oil Conference, 2009: 353.
- [2] 韩礼红, 谢斌, 王航, 等. 稠油蒸汽吞吐热采井套管柱应变设计方法[J]. 钢管, 2016, 45(3): 11-18.
- [3] 卢小庆. 稠油热采井专用套管 TP90H、TP100H 的设计与开发[C]//中国金属学会 2007 中国钢铁年会论文集, 2007.
- [4] 卢小庆, 李勤, 李春香. 高强度稠油热采井专用套管 TP110H 的开发[J]. 钢管, 2007, 36(5): 14-17.
- [5] 卢小庆, 扈立, 李恒政, 等. 火烧油层稠油热采井专用套管的设计开发[J]. 钢管, 2013, 42(3): 39-43.
- [6] 韩礼红, 谢斌, 王航, 等. 稠油蒸汽吞吐热采井套管柱应变设计方法[J]. 钢管, 2016, 45(3): 11-18.
- [7] 扈立, 赵强, 李恒政, 等. 火驱稠油热采井 TP90H-9Cr 套管热处理工艺优化试验研究[J]. 钢管, 2016, 45(5): 9-14.
- [8] 王兆会, 马兆忠. 热采井温度对套管性能的影响及预应力值计算方法[J]. 钢管, 2007, 36(4): 24-27.
- [9] 李群. 天津钢管集团股份有限公司开发出火烧油层驱油法稠油热采井用套管[J]. 钢管, 2009, 38(5): 74.
- [10] 乔爱云. 内蒙古包钢钢联股份有限公司  $\Phi 180$  mm MPM 连轧管机组成功生产出 BT100H 钢级稠油热采井专用套管[J]. 钢管, 2012, 41(3): 50.
- [11] IRP. Industry recommended practices for heavy oil and oil sand operations[S]. 2002.
- [12] 王建军, 杨尚谕, 薛承文, 等. 稠油热采井套管柱应变设计方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 150-155.

(收稿日期: 2019-11-05)