



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110469302 A

(43)申请公布日 2019.11.19

(21)申请号 201910711957.X

E21B 43/16(2006.01)

(22)申请日 2019.08.02

E21B 47/00(2012.01)

G06Q 50/02(2012.01)

(71)申请人 中国石油天然气集团有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

申请人 中国石油天然气集团公司管材研究所

(72)发明人 王航 杨尚谕 罗恩勇 冯春 吴非 韩礼红 朱丽娟 路彩虹 蒋龙

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 高博

(51)Int.Cl.

E21B 43/243(2006.01)

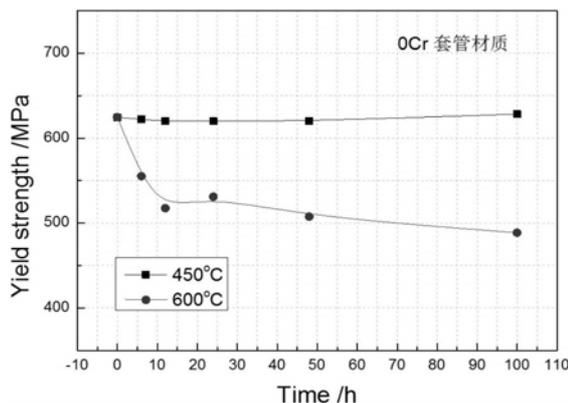
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法

(57)摘要

本发明公开了一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,基于套管氧腐蚀失重、高温软化、蠕变松弛服役工况特征,首先确定井下套管材料的氧腐蚀失重效应,建立基于氧腐蚀损伤的强度预测模型;然后确定高温环境对套管材料的软化效应,建立基于强度折减的预测模型;再确定高温长时服役过程套管材料的蠕变松弛效应,建立基于蠕变损伤的强度预测模型;最后,通过线性叠加方式,综合考虑氧腐蚀失重、高温环境软化及蠕变松弛效应三因素的影响,对火烧油层驱油注气井套管材料强度进行预测。本发明从材料服役行为角度为工程火驱井套损问题的解决提供了思路,是室内模拟研究与现场工程需求的有机结合。



1. 一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,其特征在于,火烧油层驱油注气井中富氧、400~800℃高温、复杂载荷工况下,服役套管材料表现出氧腐蚀失重、高温强度软化、蠕变松弛行为特征,首先确定井下套管材料的氧腐蚀失重效应,建立基于氧腐蚀损伤的强度预测模型;然后确定高温环境对套管材料的软化效应,建立基于强度损伤的预测模型;再确定高温长时服役过程套管材料的蠕变松弛效应,建立基于蠕变损伤的强度预测模型;最后,通过线性叠加方式,综合考虑氧腐蚀失重、高温环境软化及蠕变松弛效应三因素的影响,建立火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测模型,预测套管材料的强度损失。

2. 根据权利要求1所述的火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,其特征在于,富氧介质环境下套管材料的强度 $\sigma_{s1}$ 为:

$$\sigma_{s1} = 588.39 - 3.029t + 0.02065t^2$$

氧腐蚀失重因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_1$ 为:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_0 - \sigma_{s1}$$

其中, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度; $t$ 为服役时间。

3. 根据权利要求1所述的火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,其特征在于,高温环境下套管材料的强度 $\sigma_{s2}$ 为:

$$\sigma_{s2} = 559.52 + 0.5478T - 9.615 \times 10^{-4}T^2$$

高温软化因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_2$ 为:

$$\Delta\sigma_2 = \sigma_0 - \sigma_{s2}$$

其中, $T$ 为服役温度, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度。

4. 根据权利要求1所述的火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,其特征在于,长时服役过程套管材料的强度 $\sigma_{s3}$ 为:

$$\sigma_{s3} = 872.06 - 2.6794t - 0.01335t^2$$

蠕变松弛因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_3$ 为:

$$\Delta\sigma_3 = \sigma_0 - \sigma_{s3}$$

其中, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度, $t$ 为服役时间。

5. 根据权利要求1所述的火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,其特征在于,火烧油层驱油注气井套管材料的强度损失预测模型如下:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3$$

其中, $\Delta\sigma$ 为火驱注气井工况下套管材料的强度损失, $\Delta\sigma_1$ 为氧腐蚀失重效应引起的强度损失, $\Delta\sigma_2$ 为高温环境软化效应引起的强度损失, $\Delta\sigma_3$ 为长时服役过程蠕变松弛效应引起的强度损失。

## 一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于油气开采工程应用技术领域,具体涉及一种火烧油层驱油注气井工况下套管材料强度损失预测方法。

### 背景技术

[0002] 稠油、超稠油是我国油气资源开发的主要对象之一,2007年以来,中石油新疆、吐哈油田及中海油环渤海湾地区累计发现数个整装区块,可开采稠油储量逾20亿吨,是我国未来油气增产的主要方向之一。火驱采油技术经过几十年的研究和发展,已成为行之有效的强化采油方法,国外在现场形成一定的生产规模,而国内正处于现场大规模先导试验阶段,主要集中在辽河、新疆及胜利油田。稠油火驱井套管服役情况调研表明:注气井套管损坏(简称套损)问题严重,以辽河油田杜66区块为例,截止2015年,火驱92井组中共有43口注气井在转驱后发现28口井出现了新增套损,占比65%。

[0003] 大量套损问题严重影响了火驱采油区块的深入开发,现有的套管柱强度设计方法已不能满足火驱工况对套管安全服役的技术性能需求。火驱工况涉及富氧介质、持续的高温环境及复杂载荷作用,储层点火及火线扩展的时间在135~140天,氧腐蚀失重、高温环境软化、蠕变松弛效应三种因素综合作用,引起套管承载能力持续弱化,井下管柱的抗压、抗挤、抗弯曲及抗剪切等管柱服役性能急剧下降,导致井筒完整性下降甚至丧失,缩短了井组的服役寿命。

[0004] 热采井套管柱设计与选材,我国从开始初期即采纳美国API Spec 5CT标准。该方法属于强度设计方法,以材料室温屈服强度为主要设计参数,近期引入高温强度折减系数的影响,但仍未考虑服役套管的氧腐蚀失重效应、高温环境软化作用、长时高温蠕变效应,导致火烧油层驱油注气井大量套管损坏问题发生。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法。针对稠油火驱注气井套管损坏失效问题,考虑服役过程中套管材料表现出的氧腐蚀失重、高温环境软化、蠕变松弛效应特征,建立基于氧腐蚀、高温软化及蠕变松弛三因素数学预测模型,形成材料强度损失预测方法,为火烧油层驱油注气井套管柱设计及选材评价提供技术支撑,为我国稠油资源安全、高效、经济开发提供技术支撑。

[0006] 本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,火烧油层驱油注气井中富氧、400~800℃高温、复杂载荷工况下,服役套管材料表现出氧腐蚀失重、高温强度软化、蠕变松弛行为特征,首先确定井下套管材料的氧腐蚀失重效应,建立基于氧腐蚀损伤的强度预测模型;然后确定高温环境对套管材料的软化效应,建立基于强度损伤的预测模型;再确定高温长时服役过程套管材料的蠕变松弛效应,建立基于蠕变损伤的强度预测模型;最

后,通过线性叠加方式,综合考虑氧腐蚀失重、高温环境软化及蠕变松弛效应三因素的影响,建立火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测模型,预测套管材料的强度损失。

[0008] 具体的,富氧介质环境下套管材料的强度 $\sigma_{s1}$ 为:

$$[0009] \quad \sigma_{s1} = 588.39 - 3.029t + 0.02065t^2$$

[0010] 氧腐蚀失重因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_1$ 为:

$$[0011] \quad \Delta\sigma_1 = \sigma_0 - \sigma_{s1}$$

[0012] 其中, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度; $t$ 为服役时间。

[0013] 具体的,高温环境下套管材料的强度 $\sigma_{s2}$ 为:

$$[0014] \quad \sigma_{s2} = 559.52 + 0.5478T - 9.615 \times 10^{-4}T^2$$

[0015] 高温软化因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_2$ 为:

$$[0016] \quad \Delta\sigma_2 = \sigma_0 - \sigma_{s2}$$

[0017] 其中, $T$ 为服役温度, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度。

[0018] 具体的,长时服役过程套管材料的强度 $\sigma_{s3}$ 为:

$$[0019] \quad \sigma_{s3} = 872.06 - 2.6794t - 0.01335t^2$$

[0020] 蠕变松弛因素引起的套管材料强度损失 $\Delta\sigma_3$ 为:

$$[0021] \quad \Delta\sigma_3 = \sigma_0 - \sigma_{s3}$$

[0022] 其中, $\sigma_0$ 为原始状态套管材料的强度, $t$ 为服役时间。

[0023] 具体的,火烧油层驱油注气井套管材料的强度损失预测模型如下:

$$[0024] \quad \Delta\sigma = \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3$$

[0025] 其中, $\Delta\sigma$ 为火驱注气井工况下套管材料的强度损失, $\Delta\sigma_1$ 为氧腐蚀失重效应引起的强度损失, $\Delta\sigma_2$ 为高温环境软化效应引起的强度损失, $\Delta\sigma_3$ 为长时服役过程蠕变松弛效应引起的强度损失。

[0026] 与现有技术相比,本发明至少具有以下有益效果:

[0027] 本发明一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,基于传统强度设计方法,结合火驱注气井工况特征,考虑服役过程中套管材料表现出的氧腐蚀失重、高温软化、蠕变松弛效应三种因素,提出基于损伤的强度预测方法,为火烧油层注气井套管柱设计方法的建立奠定坚实基础。考虑火烧油层注气井服役过程中多因素共同作用失效机制,为工程设计从单一失效机理角度向多因素耦合作用机制转变奠定基础。

[0028] 进一步的,针对火驱注气井套管服役工况特征:富氧介质、400~800℃持久高温、复杂载荷,首先考虑富氧介质引起的氧腐蚀失重效应,建立材料强度与服役时间的关系曲线,形成基于氧腐蚀损伤的强度损失预测模型,为火驱注气井套管强度损失预测奠定基础。

[0029] 进一步的,考虑高温环境引起的软化作用,建立材料强度与服役温度的关系曲线,形成基于高温损伤的强度损失预测模型,为火驱注气井套管强度损失预测奠定基础。

[0030] 进一步的,考虑长时服役过程蠕变松弛效应,建立材料强度与服役时间的关系曲线,形成基于蠕变损伤的强度损失预测模型,为火驱注气井套管强度损失预测奠定基础。

[0031] 综上所述,本发明从火烧油层注气井套管服役工况入手,结合服役行为特征,包括氧腐蚀失重、高温环境软化及蠕变松弛效应,通过试验模拟套管材料服役历程、数值拟合强度与时间/温度关系曲线、线性叠加三因素强度损失,建立了套管材料强度损失预测方法。从材料服役行为角度为工程上火烧油层注气井套损问题的解决提供了思路,是室内模拟研

究与现场工程需求的有机结合。

[0032] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

### 附图说明

[0033] 图1为富氧介质环境下0Cr材质N80套管材料屈服强度与时间关系曲线;

[0034] 图2为氧腐蚀失重因素下套管材料屈服强度与时间关系曲线拟合;

[0035] 图3为高温软化因素下0Cr材质N80套管材料屈服强度-温度关系拟合曲线;

[0036] 图4为高温600°C+400MPa工况下0Cr (P110) 套管材料蠕变松弛效应特征;

[0037] 图5为0Cr材质P110套管 (a) 室温拉伸与 (b) 96h蠕变后拉伸曲线比较;

[0038] 图6为高温/拉伸/长时服役工况下0Cr材质P110套管材料屈服强度与服役时间关系拟合曲线。

### 具体实施方式

[0039] 本发明一种火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测方法,首先确定井下套管材料的氧腐蚀失重效应,建立基于氧损伤的强度预测模型;其次确定套管材料的高温软化作用,建立基于高温损伤的强度预测模型;再者确定蠕变松弛效应,建立基于蠕变损伤的强度预测模型;最后,通过线性叠加,形成基于氧腐蚀失重、高温软化、蠕变松弛耦合作用的套管材料强度损失预测模型。

[0040] S1、建立基于氧腐蚀失重的套管材料强度预测模型;

[0041] 火烧油层驱油过程中,井下套管材料氧腐蚀失重,造成强度降低,如下图1所示。

[0042] (1) 高温450°C下,0Cr材料 (N80套管) 屈服强度( $\sigma_s$ )与火烧时间(t)之间曲线拟合如图2所示,符合数学模型:

$$[0043] \quad \sigma_{s1} = 620.94 + 0.05256t$$

[0044] (2) 高温600°C下,0Cr材料 (N80套管) 屈服强度( $\sigma_s$ )与火烧时间(t)之间曲线拟合如图3所示,符合数学模型:

$$[0045] \quad \sigma_{s1} = 588.39 - 3.029t + 0.02065t^2$$

[0046] S2、建立基于高温软化的套管材料强度预测模型;

[0047] 火烧油层驱油过程中,井下高温环境引起套管材料强度降低,如下图4所示。

[0048] (1) 高温环境下0Cr材料 (N80套管) 屈服强度( $\sigma_s$ )与温度(T)之间关系曲线拟合,如图4所示,符合数学关系式:

$$[0049] \quad \sigma_{s2} = 559.52 + 0.5478T - 9.615 \times 10^{-4}T^2$$

[0050] S3、建立基于蠕变松弛的套管材料强度预测模型;

[0051] 火烧油层驱油过程,持续高温下承受复杂载荷的套管材料表现出蠕变松弛效应,造成材料强度损失。因此,通过考虑不同时间阶段蠕变松弛效应引起的强度损失,建立长时服役过程材料强度预测模型。

[0052] 1) 不同时间阶段0Cr材料P110套管材料的蠕变松弛效应特征如下图5所示。

[0053] 2) 96h蠕变松弛服役经历后0Cr材质P110套管材料强度损失比较如下图6所示。

[0054] 3) 不同时间阶段,0Cr材质P110套管材料屈服强度( $\sigma_s$ )与蠕变松弛时间(t)关系曲线拟合,符合数学关系式:

[0055]  $\sigma_{s3} = 872.06 - 2.6794t - 0.01335t^2$

[0056] S4、建立火烧油层驱油注气井套管材料强度损失预测模型

[0057] 火烧油层工艺中套管材料强度的损失主要来自：氧腐蚀失重、高温环境强度折减、长时蠕变松弛三方面因素，基于氧腐蚀/高温环境/蠕变松弛损伤的套管材料强度预测可表示为：

[0058]  $\sigma_s = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_{s1}) - (\sigma_0 - \sigma_{s2}) - (\sigma_0 - \sigma_{s3})$

[0059] 其中： $\sigma_s$ 为火烧注气井套管材料屈服强度，MPa； $\sigma_0$ 为套管材料原始状态屈服强度，MPa； $\sigma_0 - \sigma_{s1}$ 为氧腐蚀失重引起的强度损失，MPa； $\sigma_0 - \sigma_{s2}$ 为高温软化引起的强度损失，MPa， $\sigma_0 - \sigma_{s3}$ 为蠕变松弛效应引起的强度损失。

[0060] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中的描述和所示的本发明实施例的组件可以通过各种不同的配置来布置和设计。因此，以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0061] 本发明专利针对火烧油层驱油注气井严重的套损失效问题，从服役套管材料性能劣化规律入手，考虑富氧介质氧腐蚀失重效应、持续高温软化作用、长时服役过程蠕变松弛效应三类主要因素，描述套管材料强度损失过程，建立基于氧腐蚀/高温环境/蠕变松弛的套管材料强度数学模型，提出强度损失预测方法。其中氧腐蚀从富氧介质中氧化膜形成/脱落过程的增重/失重分析强度损失，高温环境从不同温度微观组织变化分析强度损失，蠕变松弛从基体粒子粗化、固溶元素贫化及空洞形核长大分析强度损失。

[0062] 以上内容仅为说明本发明的技术思想，不能以此限定本发明的保护范围，凡是按照本发明提出的技术思想，在技术方案基础上所做的任何改动，均落入本发明权利要求书的保护范围之内。

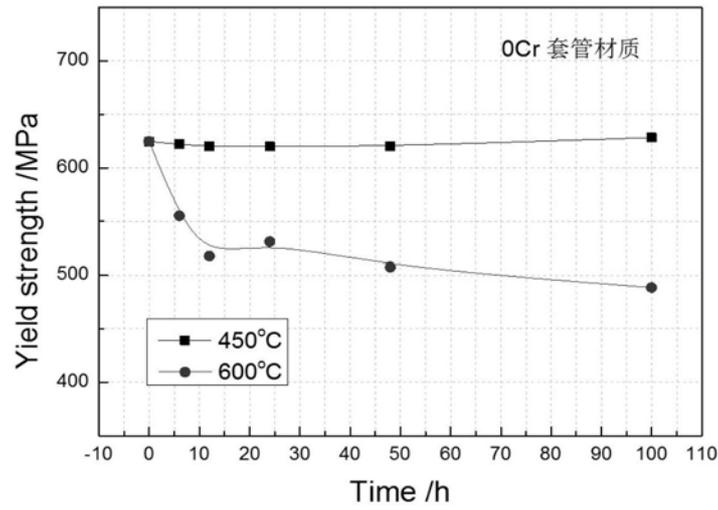


图1

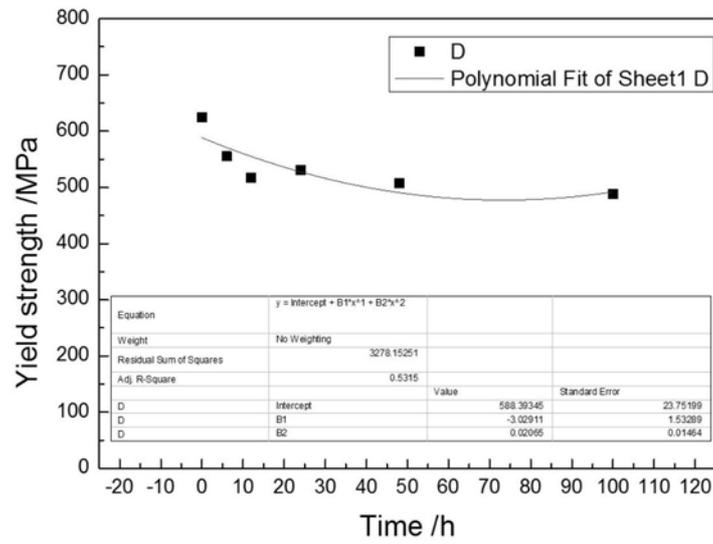


图2

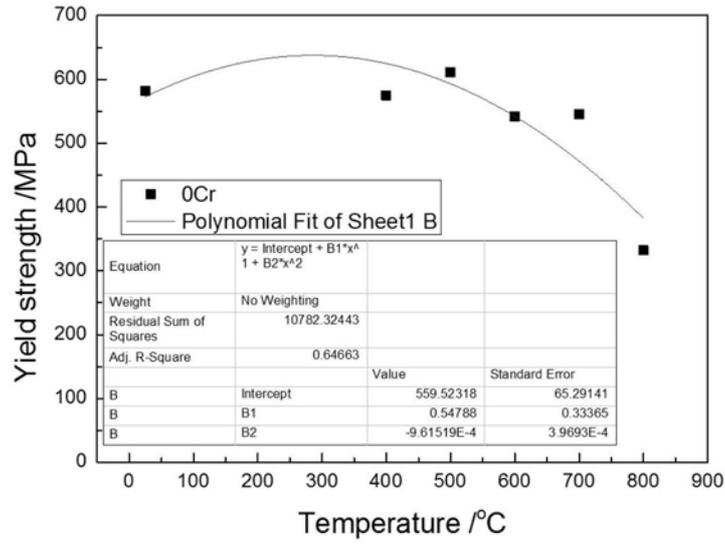


图3

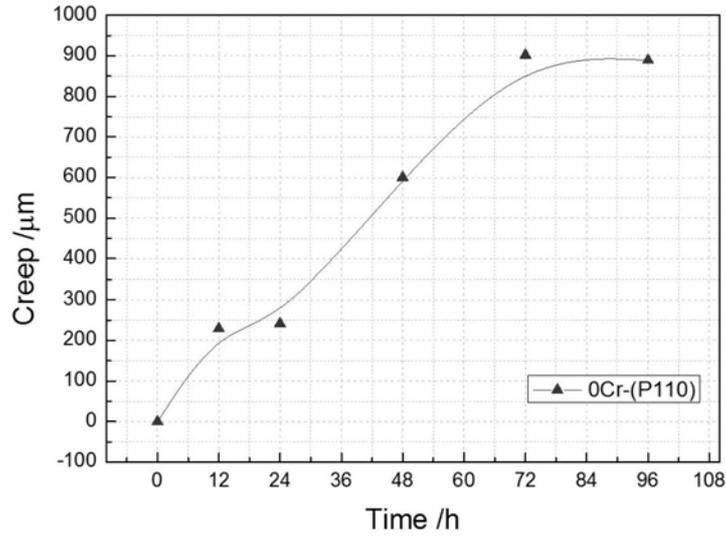


图4

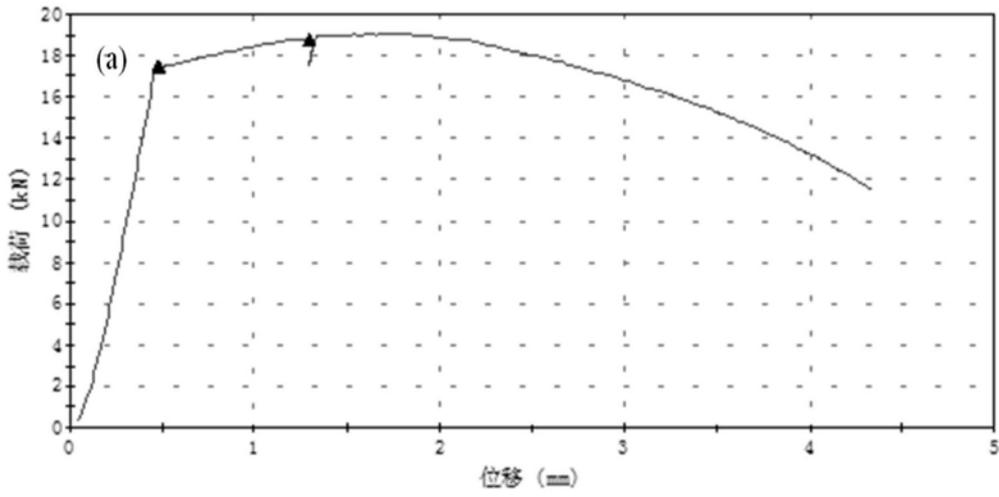


图5 (a)

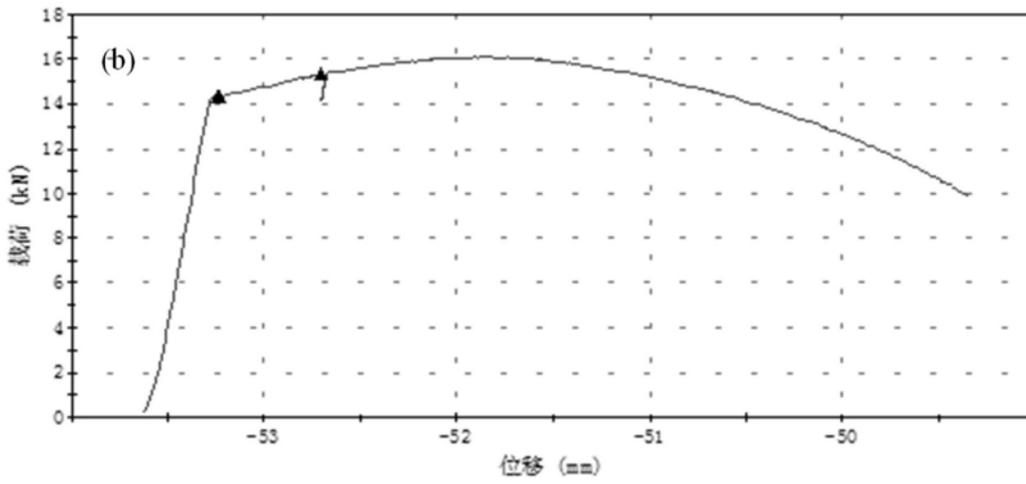


图5 (b)

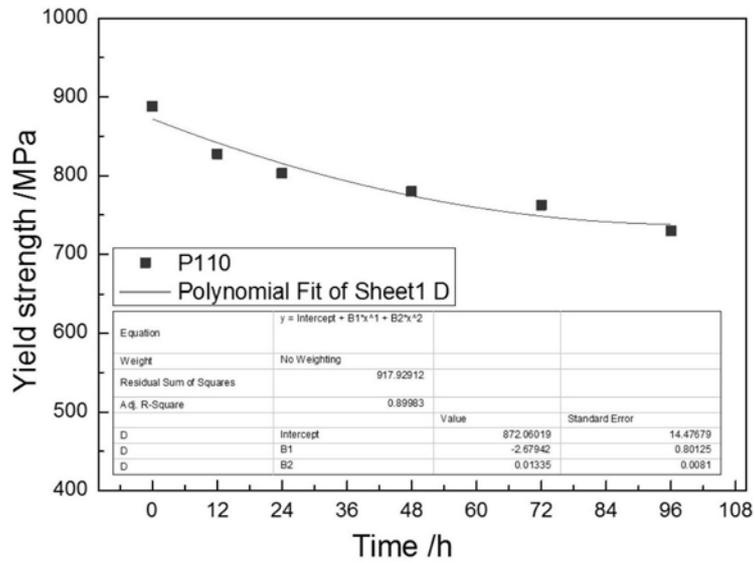


图6