

团 体 标 准

T/CITS 0111—2024

## 油气管道测试方法 全尺寸四点弯曲试验法

Test method for oil and gas pipe — Full scale four-point bending test method

2024 - 05 - 24 发布

2024- 05 - 24 实施

中国检验检测学会发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和缩略语 .....	2
4.1 符号和代号 .....	2
4.2 缩略语 .....	3
5 概述 .....	3
5.1 试验方法 .....	3
5.2 试验后评价 .....	4
6 试验钢管 .....	4
6.1 一般要求 .....	4
6.2 完好钢管 .....	4
6.3 缺陷钢管 .....	4
6.4 修复钢管 .....	5
6.5 缺陷 .....	5
7 试验装置 .....	5
7.1 一般要求 .....	5
7.2 载荷加载系统 .....	6
7.3 水压加载系统 .....	6
7.4 测量系统 .....	6
8 试验程序 .....	7
8.1 测点布置 .....	7
8.2 水压加载 .....	7
8.3 载荷加载 .....	7
8.4 试验后处理 .....	7
9 试验数据处理 .....	8
9.1 曲线绘制 .....	8
9.2 数据计算 .....	8
10 记录和报告 .....	9
10.1 记录 .....	9
10.2 报告 .....	9
附录 A（资料性） 裂纹张开位移计算方法 .....	10
附录 B（资料性） 数据记录表 .....	11
参考文献 .....	13

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国检验检测学会提出并归口。

本文件起草单位：青岛海检集团有限公司、四川德源管道科技股份有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司、国家管网集团北方管道有限责任公司、中国石油天然气管道科学研究院有限公司、西南科技大学、国家管网集团西部管道有限责任公司、国家管网集团储运技术发展有限公司、哈尔滨工程大学、中国海洋大学、中国石油大学（华东）、山东中浩工程质量检测有限公司、青岛海洋工程水下设备检测有限公司。

本文件主要起草人：张宁、张豫、杨辉、陈健、王琳、夏鹏、张玉潇、陆剑锋、张红岩、刘晓、李森、王富祥、贾彬、张诗琪、苏鑫、李政龙、朱立、燕冰川、孙晁、贾海东、张银辉、雷健、刘宇、李荣光、张春涛、孙伶、杨光勇、宋小龙、杨志勋、崔中雨、王俊荣、孙宝江、杨瑞亭。

# 油气管道测试方法 全尺寸四点弯曲试验法

## 1 范围

本文件规定了油气管道全尺寸四点弯曲试验的试验方法、试验后评价、试验钢管、试验装置、试验程序、试验数据处理、记录和报告等内容。

本文件适用于油气管道全尺寸完好钢管、缺陷钢管和修复钢管的抗弯曲能力、抗断裂能力和抗应变能力评价。其他输送介质钢管也可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 10623-2008 金属材料 力学性能试验术语
- GB/T 12160-2019 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定
- GB/T 13992 金属粘贴式电阻应变计
- GB 32167-2015 油气输送管道完整性管理规范
- GB/T 39826-2021 精细陶瓷 界面弯曲强度测定 四点弯曲法
- JJG 556 轴向加力疲劳试验机
- JJG 882 压力变送器检定规程
- SY/T 6649-2018 油气管道管体缺陷修复技术规范
- SY/T 7318.3-2017 油气输送管特殊性能试验方法 第3部分：全尺寸弯曲试验
- SY/T 7318.5-2021 油气输送管特殊性能试验方法 第5部分：全尺寸断裂阻力试验
- YB/T 5349-2014 金属材料 弯曲力学性能试验方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**四点弯曲** four-point bending

弯曲强度试验的一种加载形式，将样品平放在两个支撑端上，并通过对支撑端之间对称分布的两个加载位置进行同步加载。

[来源：GB/T 39826-2021, 3.2, 有修改]

### 3.2

**试验钢管** pipe sample

用于四点弯曲试验的全尺寸钢管。

[来源：SY/T 7318.3-2017, 3.1, 有修改]

### 3.3

**完好钢管 intact pipe**

本体不含缺陷的钢管。

## 3.4

**缺陷钢管 defective pipe**

含有缺陷的钢管。

[来源: SY/T 6649-2018, 3.1, 有修改]

## 3.5

**修复钢管 repaired pipe**

采用修复技术恢复管体承载能力的缺陷钢管。

## 3.6

**裂纹尖端张开位移 crack-tip opening displacement**

在裂纹尖端, 裂纹两表面相对于原始未变形的裂纹平面的垂直位移。

[来源: SY/T 7318.5-2021, 3.6]

## 3.7

**双引伸计法 double clip-gauge method**

通过安装两个不同高度的夹式引伸计进行裂纹张开位移测试。

[来源: SY/T 7318.5-2021, 3.2]

## 3.8

**跨中挠度 mid-span deflection**

四点弯曲试验中, 两个支撑端中间的试验钢管中性轴位置变化产生的最大竖向位移。

[来源: YB/T 5349-2014, 3.11, 有修改]

## 3.9

**失效载荷 failure load**

四点弯曲试验中, 试验钢管达到不可接受的破坏或变形状态时所能承受的最大力值。

注: 不可接受的破坏或变形状态应该根据钢管或试验的具体要求确定。

[来源: GB 32167-2015, 3.15, 有修改]

## 3.10

**变形 deformation**

管体形状的改变, 如弯曲、屈曲、凹陷、椭圆度、波纹、褶皱或影响管体截面圆度或平直度的其他变化。

[来源: GB 32167-2015, 3.18]

**4 符号和缩略语****4.1 符号和代号**

下列符号和代号适用于本文件。

$a_0$ ——初始裂纹深度，单位为毫米（mm）；  
 $D$ ——钢管外径，单位为毫米（mm）；  
 $D_{max}$ ——发生椭圆化后的长轴，单位为毫米（mm）；  
 $D_{min}$ ——发生椭圆化后的短轴，单位为毫米（mm）；  
 $d$ ——钢管内径，单位为毫米（mm）；  
 $E$ ——管材弹性模量，单位为兆帕（MPa）；  
 $h_1$ ——低引伸计高度，单位为毫米（mm）；  
 $h_2$ ——高引伸计高度，单位为毫米（mm）；  
 $L$ ——钢管长度，单位为毫米（mm）；  
 $l$ ——压头之间的距离，单位为毫米（mm）；  
 $l_1$ ——压头与支座之间的距离，单位为毫米（mm）；  
 $M$ ——钢管所受弯矩，单位为牛·毫米（N·mm）；  
 $P$ ——试验载荷，单位为千牛（kN）；  
 $P_{max}$ ——失效载荷，单位为千牛（kN）；  
 $R$ ——钢管外半径，单位为毫米（mm）；  
 $t$ ——钢管壁厚，单位为毫米（mm）；  
 $V_1$ ——低引伸计张开位移，单位为毫米（mm）；  
 $V_2$ ——高引伸计张开位移，单位为毫米（mm）；  
 $w$ ——钢管跨中挠度，单位为毫米（mm）；  
 $\delta$ ——裂纹尖端张开位移，单位为毫米（mm）；  
 $\delta_m$ ——裂纹口张开位移，单位为毫米（mm）；  
 $\delta_0$ ——初始裂纹尖端张开位移，单位为毫米（mm）；  
 $\varepsilon$ ——钢管应变；  
 $\varepsilon_c$ ——钢管受弯时最大压缩应变；  
 $\varepsilon_t$ ——钢管受弯时最大拉伸应变；  
 $\Delta$ ——钢管椭圆度；  
 $[\sigma]$ ——钢管材料许用应力，单位为兆帕（MPa）。

## 4.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CMOD: 裂纹口张开位移 (Crack mouth opening displacement)

CTOD: 裂纹尖端张开位移 (Crack-tip opening displacement)

LVDT: 直线位移传感器 (Linear variable displacement transducer)

## 5 概述

### 5.1 试验方法

5.1.1 本文件规定的测试方法是指通过试验钢管全尺寸四点弯曲试验，获得试验钢管承受弯曲载荷时的抗弯强度、变形情况和曲线，并利用试验结果对试验钢管进行抗弯曲能力、抗断裂能力和抗应变能力评价。

5.1.2 试验钢管包括完好钢管、缺陷钢管和修复钢管。如果试验钢管为缺陷钢管，宜增加1根完好钢管进行对比试验；如果试验钢管为修复钢管，宜增加1根缺陷钢管和1根完好钢管进行对比试验；对比时，应对不同试验钢管的同一位置测点的参数进行对比。

5.1.3 对于不同材料、规格、类型的试验钢管，需要采用不同的试验参数和评价内容。试验后评价应符合5.2的规定。

## 5.2 试验后评价

5.2.1 对于完好钢管，应对比试验结果与理论值的差异，评价试验钢管的抗弯曲性能。

5.2.2 对于缺陷钢管，应对比缺陷钢管试验结果与完好钢管参数的差异，评价缺陷钢管抗弯曲性能的下降程度是否可接受，需要时可给出适当的缺陷修复建议。其中完好钢管参数可由对比试验测得或试验委托方指定。

5.2.3 对于修复钢管，应对比修复钢管试验结果与缺陷钢管和完好钢管参数的差异，评价修复钢管抗弯曲性能的恢复程度是否达到预期目标，需要时可给出适当的提升修复效果的建议。其中缺陷钢管和完好钢管参数可由对比试验测得或试验委托方指定。

5.2.4 评价参数至少包括：

- a) 失效载荷：评价完好钢管失效载荷、缺陷钢管失效载荷下降比例和修复钢管失效载荷恢复比例是否满足预期要求；
- b) 变形：至少包括跨中挠度、椭圆度，评价试验钢管是否出现不可接受的变形；
- c) 应力应变：至少包括最大拉伸应变、最大压缩应变，评价完好钢管、缺陷钢管的缺陷位置和修复钢管的修复位置是否出现不可接受的应力集中现象；
- d) 缺陷扩展：评价缺陷钢管缺陷是否出现不可接受的扩展；
- e) 失效形式：评价试验钢管的失效形式，包括管体塑性破坏、脆性断裂、破坏位置、断口形态等，对于修复钢管还应检查是否出现密封失效和修复结构破坏。

## 6 试验钢管

### 6.1 一般要求

试验钢管应符合以下要求：

- a) 长度不小于8倍钢管外径，弯曲段长度不小于4倍钢管外径；
- b) 如果试验钢管是含环焊缝钢管，环焊缝位于中间位置，环焊缝两侧管节长度不小于0.5倍钢管外径且不小于0.5m，并对环焊缝进行无损检测；
- c) 试验前，对钢管进行清洁和外观检查，表面无非设计性的缺陷，内部无残留物；
- d) 试验前，对管体进行化学和力学性能检测；
- e) 试验前后，进行管径、壁厚、管长等参数测量并记录；
- f) 水平放置、卡紧并保持稳定，避免试验过程中发生滑落和旋转。

### 6.2 完好钢管

如果试验钢管为完好钢管：

- a) 应无裂纹、凹陷等明显缺陷；
- b) 规格、材质、防腐等应符合有关规范；
- c) 表面涂漆、颜色、标志等应符合有关规范。

### 6.3 缺陷钢管

如果试验钢管为缺陷钢管：

- a) 完好钢管与缺陷钢管宜为同一出厂批次，如果无法满足，完好钢管与缺陷钢管的规格、材质、交货状态等应一致；

b) 如无特殊要求，试验使用的缺陷钢管不宜有多种缺陷。

#### 6.4 修复钢管

如果试验钢管为修复钢管：

- a) 缺陷钢管、完好钢管与修复钢管宜为同一出厂批次；如果无法满足，规格、材质、交货状态等应一致；
- b) 修复钢管宜与缺陷钢管具有相同缺陷，并应按照相关规范的要求进行修复。如无特殊要求，试验使用的修复钢管不宜有多种修复方式。

#### 6.5 缺陷

6.5.1 应详细记录缺陷的类型、位置、尺寸等特征，包括试验钢管本身缺陷和预制缺陷。

6.5.2 对于预制裂纹缺陷：

- a) 裂纹尖端宽度应尽量窄，不应超过 0.2mm；
- b) 管体裂纹缺陷宜位于试验钢管表面中心位置；
- c) 焊缝裂纹缺陷宜位于焊缝中心且裂纹尖端距离焊缝中心偏差不应超过 1.0mm，裂纹部位的焊缝余高应磨平；
- d) 热影响区裂纹缺陷的裂纹尖端距离热影响区熔合线不应超过 0.5mm。

6.5.3 预制加工其他类型缺陷时应符合约定的试验要求。

### 7 试验装置

#### 7.1 一般要求

7.1.1 如无特殊要求，试验装置包括载荷加载系统、水压加载系统、测量系统，试验钢管整体布置示意图见图1。试验装置应满足在试验过程中持续施加、测量、采集以下参数：

- a) 弯曲载荷；
- b) 水压压力；
- c) 加载端位移；
- d) 跨中挠度；
- e) 应变值；
- f) 裂纹张开位移。

7.1.2 试验开始前，测量系统应清零。

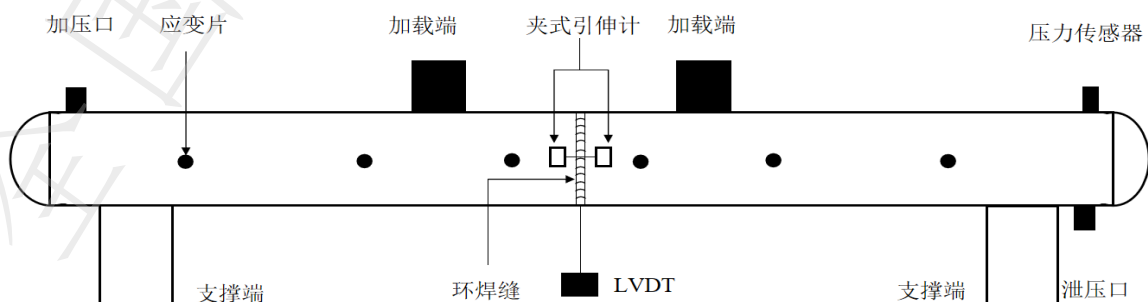


图 1 试验钢管整体布置示意图

## 7.2 载荷加载系统

7.2.1 载荷加载系统的作用是施加弯曲载荷，与试验钢管紧固处应为铰接或简支形式。

7.2.2 载荷加载系统的额定载荷应不低于试验钢管理论最大抗弯载荷的1.2倍，采用位移控制模式，加载端最大行程满足试验钢管四点弯曲产生最大应变的要求。

## 7.3 水压加载系统

水压加载系统的作用是通过试验钢管一端的加压口对钢管内部施加水压，系统可施加的最大水压压力宜不超过试验压力的3倍。

## 7.4 测量系统

### 7.4.1 载荷测量装置

应在载荷加载系统加载端安装2个载荷传感器，对弯曲载荷进行测量，载荷传感器应按照JJG 556的有关规定检定。

### 7.4.2 水压测量装置

应在水压加载系统中至少安装1个压力传感器，对试验钢管内部压力进行测量，压力传感器宜安装于试验钢管远离加压口的一端，压力传感器应按照JJG 882的有关规定检定。

### 7.4.3 位移测量装置

应在载荷加载系统中安装2个位移传感器，对加载端行程进行测量：

- a) 宜至少安装2个LVDT，对试验钢管跨中挠度进行测量，LVDT应垂直于试验钢管轴向安装，标距长度不少于1倍钢管外径；
- b) 位移传感器应按照JJG 556的有关规定检定。

### 7.4.4 应变测量装置

应在试验钢管表面安装应变片，对管体表面微变形进行测量：

- a) 应变片布置应符合8.1规定的要求；
- b) 应变片应符合GB/T 13992 A级应变片的要求，应变片分辨率应小于 $0.1\mu\epsilon$ ；
- c) 采集频率不宜低于1Hz，测量范围大于 $50000\mu\epsilon$ 。

### 7.4.5 裂纹扩展测量装置

若试验钢管含有裂纹缺陷，缺陷两侧可安装2个夹式引伸计，CTOD、CMOD计算方法参见附录A：

- a) 双夹式引伸计通过刃口夹持装置进行安装，且应采用螺钉固定刃口夹持装置，并满足以下要求：
  - 1) 螺孔中心到裂纹表面距离应大于2倍螺钉直径；
  - 2) 螺孔深度应大于2.0mm，若裂纹深度大于4.0mm，螺孔深度应小于缺陷深度的一半；
  - 3) 螺孔需垂直于试验钢管表面；
  - 4) 螺钉安装需拧紧；
  - 5) 两个夹式引伸计的刃口垂直高度差宜在0.25~2倍钢管壁厚之间。
- b) 夹式引伸计精度要求不应大于最大量程的 $\pm 1\%$ ，线性度要求不应大于 $\pm 0.5\%$ ；
- c) 夹式引伸计应符合GB/T 12160-2019规定的1级准确度的要求。

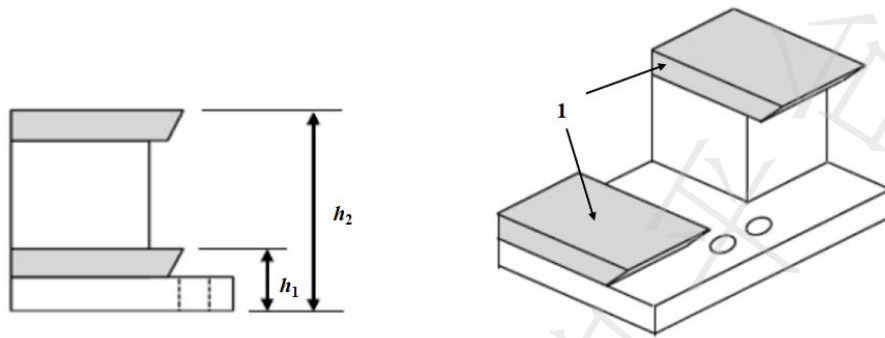


图2 推荐双夹式引伸计夹具装置示意图

1-刀口块。

## 8 试验程序

### 8.1 测点布置

试验钢管上可按需要布置有代表性的、便于分析计算的应变测点和管体位移测点：

- a) 测点布置不应影响试验操作和数据读取；
- b) 利用完好钢管进行缺陷钢管和修复钢管的对比试验时，测点应布置在相同位置；
- c) 为保证测点数据的可靠性，可布置一定数量的校核性测点；
- d) 应变测点布置还需要满足下述要求：
  - 1) 如果试验钢管含有焊缝，应变测点宜沿焊缝布置，且布置位置应靠近焊缝，布置方向沿钢管轴向和环向；
  - 2) 如果试验钢管含有裂纹缺陷，应变测点宜沿裂纹布置，且宜在裂纹位置对称加密布置；
  - 3) 在弯矩最大区域、受拉与受压区跨中位置、缺陷位置、中性轴等位置布置测点；
  - 4) 在试验钢管管体其他位置宜按需要布置一定数量应变测点。

### 8.2 水压加载

水压加载程序如下：

- a) 先加压至试验压力的10%~20%，保持压力10min，检查试验钢管是否泄漏和全部测量装置是否正常工作。若正常，继续加载；
- b) 按照不超过试验压力的20%为间隔进行分步加载直至试验压力并保持压力稳定。

### 8.3 载荷加载

- 8.3.1 试验载荷宜连续或分步施加，加载速率不应超过2mm/s。
- 8.3.2 试验载荷达到最大值后，如无特殊要求，下降至最大试验载荷的90%时，可结束试验。
- 8.3.3 试验钢管发生泄漏或明显损坏时，应终止试验。

### 8.4 试验后处理

试验结束后，对试验钢管的处理应符合下述要求：

- a) 测量试验钢管外形尺寸；

- b) 保护试验钢管断口表面;
- c) 在不伤害断口表面的前提下, 将断口表面从试验钢管上切割分离, 并对横截面进行研磨、抛光和腐蚀, 以显示出微观组织, 在光学显微镜下进行宏观和微观观察, 观察裂纹扩展路径, 分析试验钢管断裂模式;
- d) 对断口表面可直接进行电子扫描电镜观察。

## 9 试验数据处理

### 9.1 曲线绘制

曲线绘制宜包含以下内容:

- a) 载荷 ( $P$ ) -加载端位移曲线;
- b) 载荷 ( $P$ ) -LVDT位移曲线;
- c) 应变 ( $\varepsilon$ ) -加载端位移曲线;
- d) 应变 ( $\varepsilon$ ) -载荷 ( $P$ ) 曲线;
- e) CMOD-载荷 ( $P$ ) 曲线;
- f) CTOD-载荷 ( $P$ ) 曲线。

### 9.2 数据计算

- a) 最大拉伸/压缩应变

试验钢管弯曲过程中, 弹性阶段的最大拉伸应变发生在试验钢管受拉侧中间位置, 最大压缩应变发生在试验钢管受压侧中间位置, 其数值与最大拉伸应变相等, 但受力效果相反。理论值计算公式如下:

$$\varepsilon_t = -\varepsilon_c = \frac{64MR}{E\pi D^4(1-\alpha^4)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha = \frac{d}{D} \dots\dots\dots (2)$$

- b) 跨中挠度

理论值计算公式如下:

$$W = \frac{8Ml^2}{E\pi D^4(1-\alpha^4)} \dots\dots\dots (3)$$

- c) 失效载荷

理论值计算公式如下:

$$P_{\max} = \frac{[\sigma]\pi D^4(1-\alpha^4)}{64Rl_1} \dots\dots\dots (4)$$

d) 椭圆度  
计算公式如下:

$$\Delta = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

## 10 记录和报告

### 10.1 记录

记录应包含试验前后和试验过程中的所有测量、测试和评价数据，数据记录可参照附录B的格式填写。

### 10.2 报告

报告内容包括:

- a) 试验日期;
- b) 加载方式;
- c) 试验钢管参数(含缺陷、修复情况)和试验参数;
- d) 试验结果和试验曲线;
- e) 评价结果;
- f) 若发生断裂,断口及断口截面的宏观和微观照片;
- g) 试验过程中试验钢管的异常状态(如果有)。

附录 A  
(资料性)  
裂纹张开位移计算方法

A.1 CMOD 值计算

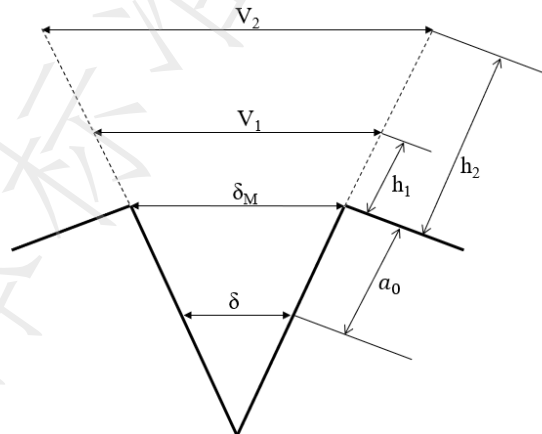
采用双夹式引伸计时，可通过图 A.1 描述的截面上，使用三角形法则外推。CMOD 值由公式 (A.1) 计算：

$$\delta_M = V_1 - \frac{h_1}{h_2 - h_1} (V_2 - V_1) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

A.2 CTOD 值计算

使用双引伸计法时，应在图 A.1 所示截面上，使用相似三角形法则外推双夹式引伸计位移至试验钢管裂纹前端，CTOD 值计算应使用公式 (A.2) 计算：

$$\delta = V_1 - \frac{h_1 + a_0}{h_2 - h_1} (V_2 - V_1) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$



图A.1 双引伸计法计算CTOD值裂纹截面示意图

附 录 B  
(资料性)  
数据记录表

数据记录应按照表B.1~表B.5记录。

表B.1 试验参数记录表

项目	内容	单位	数值
试验钢管信息	编号	/	
	钢级	/	
试验钢管尺寸	长度 ( $L$ )	mm	
	外径 ( $D$ )	mm	
	壁厚 ( $t$ )	mm	
缺陷参数	缺陷类型	/	
	加工方法	/	
	缺陷位置	/	
	缺陷特征	/	
	缺陷尺寸	mm	
修复参数	修复方式	/	
试验参数	试验压力	MPa	
	试验载荷	kN	
	低引伸计高度 ( $h_1$ )	mm	
	高引伸计高度 ( $h_2$ )	mm	
	环境温度	°C	

表 B.2 试验结果记录表

内容	单位	结果
最大载荷	kN	
抗弯强度	MPa	
最大载荷下加载端位移	mm	
最大载荷下LVDT位移	mm	
最大载荷下应变	$\mu \epsilon$	
最大载荷下CMOD值	mm	
最大载荷下CTOD值	mm	
失效形式	/	

变形	/	
----	---	--

表 B.3 完好钢管评价结果记录表

内容	试验值	理论值	差异 (%)
最大拉伸应变 ( $\epsilon_t$ )			
最大压缩应变 ( $\epsilon_c$ )			
跨中挠度 ( $w/\text{mm}$ )			
失效载荷 ( $P_{max}/\text{kN}$ )			
注: 差异 (%) = $\frac{\text{理论值}-\text{试验值}}{\text{理论值}} \times 100\%$			

表 B.4 缺陷钢管评价结果记录表

内容	缺陷钢管参数	完好钢管参数	差异 (%)
最大拉伸应变 ( $\epsilon_t$ )			
最大压缩应变 ( $\epsilon_c$ )			
椭圆度 ( $\Delta$ )			
跨中挠度 ( $w/\text{mm}$ )			
失效载荷 ( $P_{max}/\text{kN}$ )			
注: 差异 (%) = $\frac{\text{完好钢管参数}-\text{缺陷钢管参数}}{\text{完好钢管参数}} \times 100\%$			

表 B.5 修复钢管评价结果记录表

内容	修复钢管参数	缺陷钢管参数	完好钢管参数	差异 (%)	
				与完好钢管差异	与缺陷钢管差异
最大拉伸应变 ( $\epsilon_t$ )					
最大压缩应变 ( $\epsilon_c$ )					
椭圆度 ( $\Delta$ )					
跨中挠度 ( $w/\text{mm}$ )					
失效载荷 ( $P_{max}/\text{kN}$ )					
注: 差异 (%) = $\frac{\text{完好(或缺陷)钢管参数}-\text{修复钢管参数}}{\text{完好(或缺陷)钢管参数}} \times 100\%$					

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 232-2010 金属材料弯曲试验方法
  - [2] JB/T 7716-1995 焊接接头 四点弯曲疲劳试验方法
  - [3] SJ/T 31001-2016 设备完好要求和检查评定方法编写导则
  - [4] SJ/T 31449-2016 供油管道完好要求和检查评定方法
  - [5] SY/T 6996-2014 钢质油气管道凹陷评价方法
  - [6] SY/T 7318.6-2023 油气输送管特殊性能试验方法 第6部分：全尺寸拉伸试验
  - [7] YB/T 5349-2006 金属弯曲力学性能试验方法
  - [8] T/CSTM 00587-2023 晶体硅光伏电池弯曲强度试验方法 四点弯曲法
  - [9] API 579-1/ASME FFS-1-2007 Fitness for service
-