

# 团 体 标 准

T/CDHA ××××—××××

---

## 供热管道内减阻涂层技术条件

Technical requirements for internal friction-reduction coating of heating pipes

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

---

中国城镇供热协会 发布

## 目次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 涂层分类	2
5 要求	3
6 试验方法	5
7 检验规则	8
8 标识、贮存与运输	9
附录 A（规范性）吸水增重率试验方法	11
附录 B（规范性）耐热水浸泡试验方法	12
附录 C（规范性）温度压力交变试验方法	14
附录 D（规范性）表面当量绝对粗糙度试验方法	17
附录 E（规范性）漏点试验方法	26

## 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。

本文件由中国城镇供热协会提出。

本文件由中国城镇供热协会标准化专业委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 供热管道内减阻涂层技术条件

## 1 范围

本文件规定了供热管道内减阻涂层技术条件的术语和定义、涂层分类、要求、试验方法、检验规则、标识、运输与贮存。

本文件适用于输送介质压力小于或等于 2.5 MPa、温度小于或等于 120 ℃ 的热水管道及管内减阻涂层涂敷与检验。

## 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 1408.1 绝缘材料 电气强度试验方法 第 1 部分：工频下试验
- GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法
- GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验
- GB/T 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度
- GB/T 8923.1—2011 涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂敷过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 8923.2—2008 涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 2 部分：已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级
- GB/T 10610 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法
- GB/T 13288.4 涂敷涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第 4 部分：ISO 表面粗糙度比较样块的校准和表面粗糙度的测定方法 触针法
- GB/T 13288.5 涂敷涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第 5 部分：表面粗糙度的测定方法 复制带法
- GB/T 18570.3—2005 涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第 3 部分：涂敷涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）
- GB/T 18570.9 涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第 9 部分：水溶性盐的现场电导率测定法
- GB/T 18838.3 涂敷涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求 第 3 部分：高碳铸钢丸和砂
- GB/T 30789.2 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第 2 部分：起泡等级的评定
- GB/T 31838.2 固体绝缘材料 介电和电阻特性 第 2 部分：电阻特性（DC 方法）体积电阻和体积电阻率
- SY/T 0315—2013 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范
- SY/T 0407 涂装前钢材表面处理规范
- SY/T 0442—2018 钢质管道熔结环氧粉末内防腐层技术标准

- SY/T 0457—2019 钢质管道液体环氧涂料内防腐技术规范  
 SY/T 4078 钢质管道内涂层液体涂料补口机补口工艺规范  
 SY/T 4113.7 管道防腐层性能试验方法 第7部分：厚度测试

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**管道内减阻涂层** internal friction-reduction coating of pipes

在工作钢管内涂敷的用于降低管道阻力、具有防腐功能的涂层结构。

#### 3.2

**涂层试片** coating specimens

为验证涂层性能，根据试验要求，按生产工艺对金属底材进行加工、表面处理、涂敷涂层后制得的试验样片。

#### 3.3

**涂敷** coating operation

将涂料按工艺要求覆盖在工作钢管内表面，经固化后形成连续性涂层结构的过程。

#### 3.4

**表面当量绝对粗糙度** equivalent absolute roughness of pipeline internal surface

与管道粗糙区沿程阻力系数相等的相同直径尼古拉兹粗糙管的糙粒高度。

#### 3.5

**表面粗糙度** roughness of pipeline internal surface

指管道内壁表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特性。

### 4 涂层分类

#### 4.1 涂料类型

根据涂料类型分为液体涂层和粉末涂层。

#### 4.2 涂层分级

涂层分级应符合表 1 的规定。

表 1 涂层分级

涂层分级	适用范围
I 级涂层	适用于输送介质温度不大于 120 ℃ 的热水管道
II 级涂层	适用于输送介质温度不大于 70 ℃ 的热水管道

## 5 要求

### 5.1 内表面锈蚀等级

钢管内表面锈蚀等级不应低于 GB/T 8923.1—2011 中的 B 级。

### 5.2 内表面预处理

5.2.1 在喷（抛）射除锈处理前，应按 SY/T 0407 的要求除掉钢管内表面的油和油脂物及其他污染物。

5.2.2 喷砂处理应符合下列规定：

- 喷（抛）射前，钢管内表面的温度保持高于环境露点温度至少 3 ℃，不满足时应先对钢管预热进行除湿；
- 用于喷（抛）射除锈的磨料应是清洁、无油、无污染、干燥的，磨料粒径应能满足表面锚纹深度及粗糙度的要求，并应满足 GB/T 18838.3 的要求；
- 供喷砂处理使用的压缩空气应干燥洁净，不应含有水分和油污及其他污染物。

5.2.3 喷（抛）丸处理后应使用吸尘器或干燥、洁净的压缩空气除去钢管内表面所有的灰尘、碎渣及砂粒

5.2.4 内表面预处理质量应符合下列规定：

- 喷（抛）除锈质量等级应达到 GB/T 8923.1—2011 中 Sa2.5 级；
- 锚纹深度宜为 35 μm~80 μm；
- 灰尘度不应低于 GB/T18570.3—2005 规定的 2 级；
- 盐分含量不应大于 20 mg/m<sup>2</sup>，否则应对钢管进行清洗。

5.2.5 表面处理后的钢管应在 4 h 内进行涂料的涂敷，超过 4 h 或当表面返锈或污染时，应重新进行表面处理。

### 5.3 涂敷

5.3.1 涂料应根据管道的输送介质特性和施工要求进行选择，确保涂层在使用温度下的性能。

5.3.2 涂料应有生产厂家提供的产品说明书、出厂合格证、质量证明书、出厂检测报告和安全数据单等技术资料。

5.3.3 用于涂敷的压缩空气应清洁、干燥、无油污。

5.3.4 涂层涂敷应按工艺评定试验确定的涂敷工艺进行。

5.3.5 钢管两端未涂敷的预留段长度宜为 70 mm~120 mm。

5.3.6 采用热涂工艺时，应对钢管进行均匀加热，钢管内表面温度应控制在规定的范围内，但不超过 275 ℃，加热不应导致钢管内表面氧化。

5.3.7 采用冷涂工艺时，在涂敷过程中钢管表面温度应保持在 10 ℃~60 ℃，当环境温度低于 10 ℃，相对湿度大于 85 %时，应对钢管内壁进行预热以驱除潮气，并应在涂装和干燥过程中保持钢管温度高于环境露点温度以上 3 ℃。

5.3.8 涂敷后的钢管温度应采用红外测温仪或其他适宜的方式进行监测，保温时间应满足涂料的固化要求。

5.3.9 固化后的涂层应采用空气或水进行冷却。

5.3.10 涂层管两端应进行密封与避光保护。

## 5.4 外观

涂层外观应平整、色泽均匀，无气泡、无开裂及缩孔等缺陷。

## 5.5 涂层厚度

涂层的厚度应根据涂层所用涂料类型、介质温度等因素选择，液体涂层最小干膜厚度不应小于 450  $\mu\text{m}$ ，粉末涂层最小干膜厚度不应小于 500  $\mu\text{m}$ 。

## 5.6 涂层性能

内减阻涂层性能应符合表 2 的规定，涂层厂家应提供管道内减阻涂层产品的表面当量绝对粗糙度值、表面粗糙度  $R_a$  值。

表 2 内减阻涂层性能

序号	项目	指标		
1	附着力	I 级涂层	液体涂层	$\geq 15 \text{ MPa}$
			粉末涂层	$\geq 30 \text{ MPa}$
		II 级涂层	液体涂层	$\geq 10 \text{ MPa}$
			粉末涂层	$\geq 20 \text{ MPa}$
2	铅笔硬度 <sup>a</sup>	$\geq 3 \text{ H}$		
3	抗弯曲	0 °C, 2.5° 弯曲, 涂层无开裂		
4	抗冲击	-30 °C, 2.5 J, 无漏点		
5	耐磨	液体涂层	1 kg, CS17 轮, 1 000 转, $\leq 100 \text{ mg}$	
		粉末涂层	1 kg, CS17 轮, 1 000 转, $\leq 50 \text{ mg}$	
6	断面孔隙率 <sup>b</sup>	粉末涂层 1 级~2 级		
7	黏结面孔隙率 <sup>b</sup>	粉末涂层 1 级~2 级		
8	电气强度	$\geq 30 \text{ MV/m}$		
9	体积电阻率	$\geq 1 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{m}$		
10	吸水增重率	80 °C (去离子水), 28 d, $\leq 3 \%$		
11	耐热水浸泡	去离子水, 95 °C, 90 d, 涂层气泡数量和大小应符合 2 (S2) 级, 涂层无开裂、无脱落、无生锈, 附着力应满足本文件要求		
12	耐化学介质	10 %HCl, 室温, 90 d	涂层无起泡、无开裂、无软化、无剥离	
		3 %NaCl, 室温, 90 d		
		10 %H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 室温, 90 d		
		10 %NaOH, 室温, 90 d		
13	温度压力交变	I 级涂层	(1) 高温: 150 °C、高压: 2.5 MPa、时间: 24 h (2) 低温: 5 °C、低压: 常压、时间: 24 h (3) 循环次数: 45 次 (4) 涂层气泡数量和大小应符合 2 (S2) 级、无脱落、无开裂 (5) 附着力应满足本文件要求	
		II 级涂层	(1) 高温: 100 °C、高压: 2.5 MPa、时间: 24 h (2) 低温: 5 °C、低压: 常压、时间: 24 h (3) 循环次数: 45 次 (4) 涂层气泡数量和大小应符合 2 (S2) 级、无脱落、无开裂 (5) 附着力应满足本文件要求	
14	表面当量绝对粗糙度	$\leq 0.05 \text{ mm}$		

15	表面粗糙度 $R_a$	$\leq 3 \mu\text{m}$
16	漏点	电火花测试无漏点
<sup>a</sup> 只针对液体涂层; <sup>b</sup> 只针对粉末涂层。		

## 5.7 搭接宽度

现场补口和涂层修补时，与原涂层搭接宽度不应小于 25 mm。

## 5.8 修补与重涂

5.8.1 修补材料宜采用涂料生产厂家配套提供或指定的涂料，并按经过工艺评定确定的方法进行修补，且应符合下列规定：

- 修补时，钢管内表面温度应高于环境露点温度至少 3 ℃；
- 应先除去待修部位的污物，按工艺要求将修补及搭接部位打磨或以其他适宜的方式进行处理；
- 应将灰尘清除干净；
- 应按工艺评定确定的修补工艺进行涂料配置和涂敷；
- 所修补涂层应进行厚度和漏点的检验，厚度应符合 5.5 的规定，且不应低于工艺要求。

5.8.2 经检验厚度不合格、漏点数量超过允许修补范围、漏点无法修补或其他指标检验不合格的涂层，应进行重涂。

5.8.3 重涂时，应按涂层规定的工艺要求将全部涂层清除掉，清除干净的钢管应按 5.2、5.3 的要求进行表面处理和涂敷施工，并进行质量检验。

## 5.9 现场补口

5.9.1 管道内减阻涂层的补口，可采用冷涂双组分无溶剂液体涂料补口，补口应按 SY/T 4078 的规定执行，也可采用机械压接法、内衬短管节或其他补口方法。

5.9.2 补口施工前，应制定相应的补口施工方案、拟定涂敷工艺规程，并进行工艺评定。

5.9.3 工艺评定试验，涂层的检验项目应包括涂层外观、厚度、漏点、表面粗糙度  $R_a$  及表 2 中的第 1 项至第 5 项试验。

5.9.4 涂敷材料或涂敷工艺改变时，均应重新进行工艺评定。

5.9.5 现场补口部位采用手工和动力工具进行内表面处理的质量等级应符合 GB/T 8923.1—2011 中 St3 级和 GB/T 8923.2—2008 中 P St3 级，处理宽度应大于管端预留长度加 20mm。

## 6 试验方法

### 6.1 内表面锈蚀等级

按 GB/T 8923.1 的规定执行。

### 6.2 内表面预处理

6.2.1 喷（抛）除锈质量等级检验应在不小于 100 lm 亮度条件下逐根对钢管内表面缺陷和除锈质量进行外观检查，并按 GB/T 8923.1—2011 规定的方法检测钢管内表面处理后的除锈等级，除锈等级至少应达到 Sa 2.5 级。



- 6.2.2 锚纹深度检验应按 GB/T 13288.5 或 GB/T 13288.4 的规定执行，采用锚纹深度测试仪或复制带检测钢管内表面锚纹深度。连续生产时，应至少每 4 h 检测 2 根钢管的内表面锚纹深度。
- 6.2.3 灰尘度检验应按 GB/T 18570.3 的规定执行。连续生产时，钢管内表面灰尘度每班且不超过 8h 应至少检测 2 次，每次应检测 2 根钢管的两端。
- 6.2.4 盐分含量检验应按 GB/T 18570.9 的规定执行。连续生产时，每班且不超过 8 h 应至少检测 2 根表面处理后的钢管内表面的盐分。

### 6.3 预留段长度

采用最小刻度为 1mm 的钢直尺或卷尺测量。

### 6.4 外观

外观检验应在不小于 100 lm 的亮度条件下，进行无放大目测检查。

### 6.5 涂层厚度

- 6.5.1 测试仪器应选用适合测定平面或圆形磁性机体上的非磁性干膜厚度，应适用于被测涂层管道的尺寸，测量精度不应低于各档量程的 2%。
- 6.5.2 对于管道涂层厚度测试，测量点的选取应满足沿管道长度方向任意分布的至少 10 个点，测量点宜包括距管端 1 m 以上位置的 4 个点，测量点应涵盖沿管道环向相隔 90° 的 4 个方向。
- 6.5.3 对于补口涂层厚度测试，测量点数不应少于 4 个，测量点应涵盖沿管道环向相隔 90° 的 4 个方向。
- 6.5.4 记录各测量点位置，计算测量后的算术平均值、最小值和最大值。
- 6.5.5 涂层厚度测试的其他要求应按 SY/T 4113.7 的规定执行。

### 6.6 涂层性能

#### 6.6.1 附着力

实验室检验按 GB/T 5210 的规定执行，现场检验按 SY/T 0457—2019 附录 A 的规定执行。

#### 6.6.2 铅笔硬度

按 GB/T 6739 的规定执行。

#### 6.6.3 抗弯曲

按 SY/T 0442—2018 附录 C 的规定执行。

#### 6.6.4 抗冲击

按 SY/T 0442—2018 附录 D 的规定执行。

#### 6.6.5 耐磨

按 GB/T 1768 的规定执行。

#### 6.6.6 断面孔隙率

按 SY/T 0315—2013 附录 F 的规定执行。

#### 6.6.7 黏结面孔隙率

按 SY/T 0315—2013 附录 F 的规定执行。

#### 6.6.8 电气强度

按 GB/T 1408.1 的规定执行。

#### 6.6.9 体积电阻率

按 GB/T 31838.2 的规定执行。

#### 6.6.10 吸水增重率

吸水增重率按附录 A 的规定执行。

#### 6.6.11 耐热水浸泡

耐热水浸泡按附录 B 的规定执行。

#### 6.6.12 耐化学介质

耐化学介质按 SY/T 0315—2013 附录 J 的规定执行。

#### 6.6.13 温度压力交变

温度压力交变按附录 C 的规定执行。

#### 6.6.14 表面当量绝对粗糙度

表面当量绝对粗糙度按附录 D 的规定执行。

#### 6.6.15 表面粗糙度

表面粗糙度按 GB/T 10610 的规定执行。

#### 6.6.16 漏点

按附录 E 的规定执行。

#### 6.7 搭接宽度

采用最小刻度为 1mm 的钢直尺或卷尺测量。

#### 6.8 现场补口

现场补口涂层检验应符合下列规定：

- a) 现场补口部位内表面处理的质量等级检验应在不小于 100 lm 亮度条件下对每道口进行外观检查，并按 GB/T 8923.1—2011 规定的方法检测内表面处理后的等级，等级应达到 St3 级，按 GB/T 8923.2-2008 规定的方法检测内表面处理后的等级，等级应达到 P St3，处理宽度采用最小刻度为 1mm 的钢直尺或卷尺测量；
- b) 搭接宽度按 6.7 的规定执行；
- c) 涂层外观按 6.4 的规定执行；
- d) 厚度按 6.5 的规定执行；

e) 漏点按 6.16 的规定执行。

## 7. 检验规则

### 7.1 检验分类和检验项目

7.1.1 检验分为出厂检验、现场检验和型式检验。

7.1.2 检验项目应按表 3 的规定执行。

表 3 检验项目

序号	检验项目	出厂和现场补口检验	型式检验		要求	试验方法	
			粉末涂层	液体涂层			
1	内表面锈蚀等级 <sup>a</sup>	√	—	—	5.1	6.1	
2	内表面预处理 <sup>a</sup>	√	—	—	5.2	6.2	
3	预留段长度 <sup>a</sup>	√	—	—	5.3.5	6.3	
4	外观	√	√	√	5.4	6.4	
5	涂层厚度	√	√	√	5.5	6.5	
6	性能	附着力	—	√	√	5.6	6.6.1
7		铅笔硬度	—	—	√	5.6	6.6.2
8		抗弯曲	—	√	√	5.6	6.6.3
9		抗冲击	—	√	√	5.6	6.6.4
10		耐磨	—	√	√	5.6	6.6.5
11		断面孔隙率	—	√	—	5.6	6.6.6
12		黏结面孔隙率	—	√	—	5.6	6.6.7
13		电气强度	—	√	√	5.6	6.6.8
14		体积电阻率	—	√	√	5.6	6.6.9
15		吸水增重率	—	√	√	5.6	6.6.10
16		耐热水浸泡	—	√	√	5.6	6.6.11
17		耐化学介质	—	√	√	5.6	6.6.12
18		温度压力交变	—	√	√	5.6	6.6.13
19		表面当量绝对粗糙度	—	√	√	5.6	6.6.14
20		表面粗糙度 <sup>a</sup>	√	√	√	5.6	6.6.15
21	漏点	√	√	√	5.6	6.6.16	
22	搭接宽度	√	—	—	5.7	6.7	
23	现场补口	√	—	—	5.9	6.8	

<sup>a</sup> 现场补口不做该项检验。

注：“√”表示应检项目；“—”表示不检项目。

### 7.2 出厂检验

7.2.1 管道涂层应逐根对预留段长度、涂层外观、涂层厚度、搭接宽度和漏点进行检验。

7.2.2 管道涂层应对内表面锈蚀等级、内表面处理质量和涂层附着力进行抽样检验，按管道数量的 2% 且不应少于 2 根的比例抽检。

7.2.3 对抽样检验，当检验项目全部合格时，则该批次管道涂层为合格。当有不合格项时，应加倍

抽检数量，复检结果仍有不合格项时，则该批次管道涂层为不合格。

### 7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式试验：

- a) 新产品的试制、定型鉴定或老产品转厂生产时；
- b) 主要设备、原材料、工艺有较大改变可能影响产品性能时；
- c) 根据预期服役条件需要进行适用性评价时；
- d) 正常生产时，每 2 年或不到 2 年，当管道涂层累计产量达到 600 km 时；
- e) 产品停产 1 年后，恢复生产时。

7.3.2 管道涂层型式检验应按表 3 的规定执行，补口涂层型式检验应按表 3 液体涂层的规定执行，检验样品根据检验项目应从成品管截取或为与实际生产相同工艺要求制作的涂层试片。

7.3.3 管道内减阻涂层产品在定型时应进行表面当量绝对粗糙度、表面粗糙度  $R_a$  值测试，在正常生产阶段的型式试验，可不测试表面当量绝对粗糙度，当主要设备、原材料、工艺有较大改变使得表面粗糙度  $R_a$  有较大变化时，应重新测量表面当量绝对粗糙度。

### 7.4 现场检验

#### 7.4.1 进场检验

7.4.1.1 工程现场应对到场管道涂层进行抽检，并应符合下列规定：

- a) 管道涂层按 5% 且不应少于 2 根的比例抽检；
- b) 抽检项目应包括涂层外观、涂层厚度、涂层漏点及涂层附着力。

7.4.1.2 当检验项目全部合格时，则该批次管道涂层为合格。当有不合格项时，应加倍抽检数量，复检结果仍有不合格项时，则该批次管道涂层为不合格。

#### 7.4.2 补口检验

现场每个补口涂层应对内表面处理质量、搭接宽度、涂层外观、涂层厚度、涂层漏点进行全部检验，对不合格项应进行修复，修复后应进行重新检验。

## 8 标识、贮存与运输

### 8.1 标识

8.1.1 检验合格的内减阻涂层管应在表面明显处做出标识。

8.1.2 标识内容应至少包括下列内容：

- a) 涂敷厂名称；
- b) 涂层等级；
- c) 涂层管编号；
- d) 涂敷日期；
- e) 执行标准。

### 8.2 贮存

8.2.1 内减阻涂层管堆放场地应平整，无坚硬杂物。地面应有足够的承载能力，场地内不应有积水。

堆放场地应设置管托，管托应高于地面 150 mm。涂层避光保存。

8.2.2 内减阻涂层管应按钢管规格及涂层等级分开堆放，并应排列整齐、有明显标识。

### 8.3 运输

8.3.1 成品管在装、卸过程中应采取措施防止撞击变形和机械损伤。

8.3.2 运输过程中，应防止钢管产生较大弯曲、扁口等现象。

## 附 录 A

(规范性)

## 吸水增重率试验方法

## A.1 一般规定

本试验方法试样在恒定温度介质中浸泡一段时间后，计算浸泡后试样质量相比于浸泡前试样质量的增重率。

## A.2 仪器设备

涂层吸水增重率所用主要仪器包括下列设备：

- 天平：精度为 0.1 mg；
- 恒温水浴：可调范围室温至 100 ℃，温控最大允许误差±2 ℃；
- 玻璃容器：1 000 mL；
- 玻璃干燥皿：内放变色硅胶或无水氯化钙。

## A.3 试样制备

A.3.1 按粉末涂料和液体涂料的产品说明书规定的涂装工艺，将涂料涂敷在抹有脱模剂的平滑金属板上，并按涂料规定的工艺条件进行固化，固化后的涂层取出冷却，切割样品尺寸为：长度（60±1）mm、宽度（60±1）mm、厚度（1±0.1）mm。

A.3.2 试样表面应平整、光滑，清洁，试样表面若有污染，应使用乙醇等试剂擦拭。

## A.4 试验步骤

A.4.1 将试样放入 50℃±2 ℃烘箱内干燥至少 24 h，然后再将干燥皿内冷却至室温，称量每个样品质量，精确至 0.1 mg，重复本步骤至试样质量变化在 0.2 mg 以内。

A.4.2 采用静态浸泡法，每组实验用平行试样 3 个，将试样放入盛有去离子水的试液瓶中，试样作好标记，并完全浸泡在试液里。

A.4.3 设定试验温度 80 ℃恒温浸泡 28 d。

A.4.4 到达浸泡时间后将试样从试液中取出，在环境温度（23±2）℃、相对湿度（50±10）%的标准大气环境中，用滤纸迅速擦去试样表面的水，再次称量该试样质量，精确至 0.1mg。试样从溶液中取出到称量完毕应在 1 min 内完成。

A.4.5 观察浸泡后的样片外观有无变色、起泡、失光、卷曲等现象，作好外观记录。

## A.5 结果计算

A.5.1 涂层吸水增重率按式（A.1）计算：

$$C = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \dots \dots \dots (A.1)$$

式中：

$C$  —— 涂层吸水增重率（%）；

$m_0$  —— 浸泡前烘干至恒重后的涂层质量，单位为毫克（mg）；

$m_1$  —— 浸泡后的涂层质量，单位为毫克（mg）。

A.5.2 试验结果取 3 个试样平行试验的算术平均值，作为涂层吸水增重率。

## 附录 B

## (规范性)

## 耐热水浸泡试验方法

## B.1 一般规定

本试验方法试样在常压热水介质中浸泡一定时间，测试并评价涂层的总体性能。

## B.2 试样

B.2.1 对涂层试片进行测试时，应符合下列规定：

- 涂层试片制备所用金属底材应与实际涂敷的钢管材质相同；
- 底材尺寸约为 150mm×75mm，厚度为 3mm~6mm，底材应平整没有变形，底材表面处理和涂层涂敷工艺要求应与实际生产相同；
- 试片边缘应进行保护，试片背面施涂适当的保护涂料或试板两面都涂敷受试涂料；
- 受试涂层平均厚度为厂家产品规格中的最小厚度，且各点厚度不应小于 5.5 的规定；
- 试样一次涂敷制备数量不少于 4 个，其中 3 个用于热水浸泡试验，1 个作为对比试样。

B.2.2 试样从成品管中截取进行测试时，应符合下列规定：

- 试样尺寸约为 150mm×75mm，厚度为管材厚度，试样应平整没有变形，除边缘外涂层表面应完好无缺陷；
- 试样边缘应进行保护，试样背面施涂适当的保护涂料；
- 试样制备数量不少于 4 个，其中 3 个用于热水浸泡试验，1 个作为对比试样。

B.2.3 试样在涂敷固化后，除另有商定，在试验前应将试样在环境温度（23±2）℃、相对湿度（50±10）%的标准大气环境中调节 72 h。

## B.3 试验步骤

B.3.1 试验前应对试样外观质量进行检查，外观要求平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔等缺陷。

B.3.2 按 GB/T 13452.2 中规定的非破坏性仪器测量法之一测定涂层的干膜厚度。

B.3.3 按 GB/T 5210 采用拉开法测试对比试样的附着力。

B.3.5 试验介质应选用去离子水。

B.3.6 将试样放入恒温水浴中，完全浸没在水中，各试样间、试样与水浴各壁均至少间隔 30mm。

B.3.7 将介质温度逐步升高到目标温度 95℃并保持恒温持续 90d，介质温度控制偏差应小于±2℃。

B.3.8 如要求中途检查，则应在商定的时间点，按安全操作规程借助工具将试样从介质内取出，用吸水纸吸干水迹，1 min 后按 GB/T 30789.2 的规定检查每块试板表面的起泡现象及涂层其他破坏现象，然后立即放回水浴中。

B.3.9 试验终止或结束，应将恒温水浴介质温度逐步降至 50℃以下后，将试样取出。

## B.4 测试与评定

B.4.1 达到规定的试验时间后，将试板从介质中取出，用吸水纸吸干水迹。1 min 后按 GB/T 30789.2 的规定检查每块试板表面的起泡现象及涂层其他破坏现象，涂层缺陷的总体评价按 GB/T 30789.1 的规定执行。

B.4.2 将试样按厂家给定的温度及时间进行烘干，并在环境温度（23±2）℃、相对湿度（50±10）%

的标准大气环境中调节 24 h 后，按 GB/T 5210 采用拉开法测试试样附着力。

B.4.3 其他测试评定项目与标准可由试验双方约定进行，并与未进行试验的试样进行对比。

B.4.4 3 个试样试验结果均应满足标准要求评价为合格。

## B.5 涂层性能可重复性

对于同一种涂层，只要试验条件相同，试验结果也应相同，当试验结果不具有可重复性，应查清原因，对试样进行进一步分析，重新进行试验。

## B.6 报告

试验报告内容宜包含以下内容：

- a) 试样的制备信息；
- b) 试验前试样的外观状态描述、试样照片；
- c) 试验前试样厚度测试结果；
- d) 热水浸泡试验过程中的试验参数与试验时间；
- e) 试验后试样的外观状态、试样照片与对比；
- f) 试验后试样的起泡和缺陷评定；
- g) 试验后试样附着力（拉开法）的测试结果与对比；
- h) 试验双方约定的其他内容。



## 附 录 C

## (规范性)

## 温度压力交变试验方法

## C.1 一般规定

本试验方法试样在高温高压釜内，在循环交变的温度、压力介质浸没条件下循环一定次数后，测试并评价涂层的总体性能。

## C.2 高温高压釜

## C.2.1 高温高压釜应符合下列规定：

- 高温高压釜应能承受额定压力、温度，并应带有压力、温度监测与控制装置；
- 高温高压釜应能保证试验过程中将温度和压力根据设定的程序曲线进行自动控制；
- 高温高压釜选用的材料应能抵抗试验介质的腐蚀和侵害。

C.2.2 对高温高压釜内介质加热应均匀，介质温度控制偏差应小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。C.2.3 对高温高压釜内介质升压、降压应平稳，且应具有保压措施，介质压力控制偏差应小于 $\pm 0.2\text{ MPa}$ 。

## C.2.4 高温高压釜及试验系统应有必要的安全措施，以保证操作人员的安全。

## C.3 试样

## C.3.1 对涂层试片进行测试时，应符合下列规定：

- 涂层试片制备所用金属底材应与实际涂敷的钢管材质相同；
- 底材尺寸约为  $150\text{ mm}\times 75\text{ mm}$ ，厚度为  $3\text{ mm}\sim 6\text{ mm}$ ，底材应平整没有变形，底材表面处理 and 涂层涂敷工艺要求应与实际生产相同；
- 试片边缘应进行保护，试片背面施涂适当的保护涂料或试板两面都涂敷受试涂料；
- 受试涂层平均厚度为厂家产品规格中的最小厚度，且各点厚度不应小于 5.1.4 的规定；
- 试样一次涂敷制备数量不少于 4 个，其中 3 个用于温度压力交变试验，1 个作为对比试样。

## C.3.2 试样从成品管中截取进行测试时，应符合下列规定：

- 试样尺寸约为  $150\text{ mm}\times 75\text{ mm}$ ，厚度为管材厚度，试样应平整没有变形，除边缘外涂层表面应完好无缺陷；
- 试样边缘应进行保护，试样背面施涂适当的保护涂料；
- 试样制备数量不少于 4 个，其中 3 个用于温度压力交变试验，1 个作为对比试样。

C.3.3 试样在涂敷固化后，除另有商定，在试验前应将试样在环境温度  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $(50\pm 10)\%$  的标准大气环境中调节 72 h。

## C.4 试验步骤

## C.4.1 试验前应对试样外观质量进行检查，外观要求平整、色泽均匀，无气泡、无开裂及缩孔等缺陷。

## C.4.2 按 GB/T 13452.2 中规定的非破坏性仪器测量法之一测定涂层的干膜厚度。

## C.4.3 按 GB/T 5210 采用拉开法测试对比试样的附着力。

## C.4.5 将高温高压釜盖打开，将进行高低温压力交变试验的试样放入釜中，当高温高压釜容积允许，可同时放入几个试样进行试验，各试样间、试样与釜壁均至少应间隔 30 mm。

C.4.6 高低温压力交变试验介质应选用去离子水。

C.4.7 盖好高温高压釜，并加力密封，试验介质应充满釜内，液体介质加压前应进行排气，然后根据预先设定的程序进行缓慢升压，并给釜体加热。

C.4.8 温度与压力控制程序应包括下列内容：

- a) 将介质从常温常压逐步升压升温至目标压力及温度，升压、升温过程中应保证釜内介质不汽化，升温时间控制在 2 h~3 h 完成，升压升温时间和保持目标压力及温度持续时间共计 48 h；
- b) 在保持高压状态下进行逐步降温，目标温度为常温 25 ℃，温度降至 50 ℃ 以下后，逐步降压至常压，降温时间控制在 2 h~3 h 完成，为了便于降温，可在温度降至 50 ℃ 以下且降为常压后，将试片从釜体内取出立即放入 25 ℃ 的恒温水浴中，降温降压时间和保持目标温度 25 ℃ 持续时间共计 24 h。

C.4.9 重复 C.4.8 中规定的程序，除特别约定外，循环次数为 30 次。

C.4.10 加热过程中，应对釜体内介质压力进行有效控制，使试验压力不能超过试验条件规定的压力。

C.4.11 如要求中途检查，应在商定的循环次数中，在常温 25 ℃ 保持阶段将试样从介质内取出，用吸水纸吸干水迹，1 min 后按 GB/T 30789.2 的规定检查每块试板表面的起泡现象及涂层其他破坏现象，然后立即放回介质中。

C.4.12 中途检查、试验终止或结束，应将高温高压釜及釜内介质温度降至 50 ℃ 以下后并进行卸压，待压力降至常压，再将试样取出。

## C.5 测试与评定

C.5.1 达到规定的试验时间和次数后，将试板从介质中取出，用吸水纸吸干水迹。1 min 后按 GB/T 30789.2 的规定检查每块试板表面的起泡现象及涂层其他破坏现象，涂层缺陷的总体评价按照 GB/T 30789.1 的规定执行。

C.5.2 将试样按厂家给定的温度及时间进行烘干，并在环境温度 (23±2) ℃、相对湿度 (50±10)% 的标准大气环境中调节 24 h 后，按 GB/T 5210 采用拉开法测试试样附着力。

C.5.3 其他测试评定项目与标准可由试验双方约定进行，并与未进行试验的试样进行对比。

C.5.4 3 个试样试验结果均应满足标准要求评价为合格。

## C.6 涂层性能可重复性

对于同一种涂层，只要试验条件相同，试验结果也应相同，当试验结果不具有可重复性，应查清原因，对试样进行进一步分析，重新进行试验。

## C.7 报告

试验报告内容宜包含以下内容：

- a) 试样的制备信息；
- b) 试验前试样的外观状态描述、试样照片；
- c) 试验前试样厚度测试结果；
- d) 高低温、压力交变试验过程中的试验参数与试验时间；
- e) 试验后试样的外观状态、试样照片与对比；
- f) 试验后试样的起泡和缺陷评定；

- g) 试验后试样附着力（拉开法）的测试结果与对比；
- h) 试验双方约定的其他内容。

## 附录 D

## (规范性)

## 表面当量绝对粗糙度试验方法

## D.1 一般规定

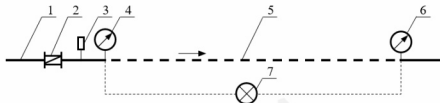
本试验方法通过测试一段供热直管段在一定工况条件下的压力损失，计算管道比摩阻和表面当量粗糙度，包括实验室测试和工程测试。

## D.2 测试原理

## D.2.1 压力损失测试

D.2.1.1 对被测管段起点和终点的压力或压差进行测量，计算得到被测管段的压力损失值，同时记录流经管道介质的流量和温度。

D.2.1.2 压力损失可分为单管测试和双管测试，单管测试数据采集点布置如图 D.1 所示。



标引序号说明：

- 1——测试系统管路；
- 2——流量计；
- 3——温度传感器；
- 4——起点压力变送器；
- 5——被测管段；
- 6——终点压力变送器；
- 7——压差变送器。

图 D.1 单管测试数据采集点布置

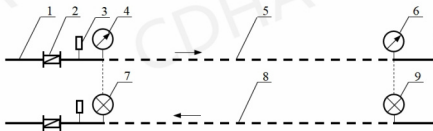
D.2.1.3 单管测试被测管段压力损失值可通过压差变送器直接测得或按式 (D.1) 计算。

$$\Delta P = P_s - P_f + \rho \times g \times \Delta h \dots \dots \dots (D.1)$$

式中：

- $\Delta P$ ——被测管段压力损失，单位为帕 (Pa)；
- $P_s$ ——被测管段起点压力，单位为帕 (Pa)；
- $P_f$ ——被测管段终点压力，单位为帕 (Pa)；
- $\rho$ ——水在测试温度下的密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；
- $g$ ——重力加速度，单位为米每秒的平方 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )；
- $\Delta h$ ——被测管段起点到终点压力测点高程差，单位为米 (m)。

D.2.1.4 双管测试采用规格、长度相同的两个被测管段测量并计算其压力损失之和，双管测试数据采集点布置如图 D.2 所示，被测管段 1 起点应与被测管段 2 终点高程相同，被测管段 2 起点应与被测管段 1 终点高程应相同。



标引序号说明:

- 1——测试系统管路;  
 2——流量计;  
 3——温度传感器;  
 4——被测管段 1 起点压力变送器  
 5——被测管段 1 ;  
 6——被测管段 1 终点压力变送器;  
 7——被测管段 1 起点和被测管段 2 终点压差变送器;  
 8——被测管段 2 ;  
 9——被测管段 1 终点和被测管段 2 起点压差变送器。

图 D.2 双管测试数据采集点布置

#### D.2.1.5 双管测试被测管段压力损失值之和按式 (D.2) 计算。

$$\Delta P_{12} = \Delta P_a - \Delta P_b + (\rho_1 - \rho_2)g \times \Delta h_1 \dots \dots \dots (D.2)$$

式中:

- $\Delta P_{12}$ ——双管测试被测管段压力损失值之和, 单位为帕 (Pa);  
 $\Delta P_a$ ——被测管段 1 起点和被测管段 2 终点压差, 单位为帕 (Pa);  
 $\Delta P_b$ ——被测管段 1 终点和被测管段 2 起点压差, 单位为帕 (Pa);  
 $\rho_1$ ——水在被测管段 1 测试温度下的密度, 单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  
 $\rho_2$ ——水在被测管段 2 测试温度下的密度, 单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  
 $\Delta h_1$ ——被测管段 1 起点到终点压力测点高程差, 单位为米 (m);

#### D.2.2 比摩阻及管壁表面当量绝对粗糙度的计算

##### D.2.2.1 被测管段在某一测试工况下的比摩阻按式 (D.3) 计算。

$$R = \frac{\Delta P}{L} \dots \dots \dots (D.3)$$

式中:

- $R$ ——被测管段比摩阻, 单位为帕每米 (Pa/m);  
 $\Delta P$ ——压力损失, 单位为帕 (Pa);  
 $L$ ——被测管段长度, 单位为米 (m)。

##### D.2.2.2 被测管段平均流速按式 (D.4) 计算。

$$v = \frac{Q}{900\pi d^2} \dots \dots \dots (D.4)$$

式中:

- $v$ ——被测管段平均流速, 单位为米每秒 (m/s);  
 $Q$ ——被测管段流量, 单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$d$ ——被测管段内径，单位为米（m）。

D.2.2.3 根据雷诺数判断管道内流体的运动状态，雷诺数按式（D.5）计算。

$$R_e = \frac{v \times d}{\gamma} \dots \dots \dots (D.5)$$

式中：

$R_e$ ——被测管雷诺数；

$v$ ——被测管段平均流速，单位为米每秒（m/s）；

$d$ ——被测管段内径，单位为米（m）；

$\gamma$ ——水在测试温度下的运动黏度，单位为平方米每秒（ $m^2/s$ ）。

D.2.2.4 单管测试被测管段在某一测试工况下的比摩阻可根据被测管段沿程阻力系数及热水工况按式（D.6）计算。

$$R = \frac{\lambda}{d} \times \frac{\rho \times v^2}{2} \dots \dots \dots (D.6)$$

式中：

$R$ ——被测管段比摩阻，单位为帕每米（Pa/m）；

$\lambda$ ——被测管段沿程阻力系数；

$d$ ——被测管段内径，单位为米（m）；

$\rho$ ——水在测试温度下的密度，单位为千克每立方米（ $kg/m^3$ ）；

$v$ ——被测管段平均流速，单位为米每秒（m/s）。

D.2.2.5 当双管测试时，被测管段平均比摩阻按（D.7）计算。

$$R_{1,2} = \frac{R_1 + R_2}{2} \dots \dots \dots (D.7)$$

式中：

$R_{1,2}$ ——被测管段平均比摩阻，单位为帕（Pa）；

$R_1$ ——被测管段 1 比摩阻，单位为帕每米（Pa/m）；

$R_2$ ——被测管段 2 比摩阻，单位为帕每米（Pa/m）。

D.2.2.6 被测管段沿程阻力系数可根据管内热水的流动状态和管壁表面当量绝对粗糙度进行计算，并应符合下列规定：

a) 热水流动状态从水力光滑区转到过渡区水流的临界速度按式（D.8）计算，从过渡区转到粗糙区水流的临界速度按（D.9）计算；

$$v_{c1} = 11 \frac{\gamma}{K} \dots \dots \dots (D.8)$$

$$v_{c2} = 445 \frac{\gamma}{K} \dots \dots \dots (D.9)$$

式中：

$v_{c1}$ ——从水力光滑区转到过渡区水流的临界速度，单位为米每秒（m/s）；

$v_{c2}$ ——从过渡区转到粗糙区水流的临界速度，单位为米每秒（m/s）；

$\gamma$ ——水在测试温度下的运动黏度，单位为平方米每秒（ $m^2/s$ ）；

$K$ ——管壁表面当量绝对粗糙度，单位为米（m）。

b) 当时  $v \leq v_{c1}$  时，被测管段沿程阻力系数按式按式（D.10）计算；

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \dots \dots \dots (D.10)$$

式中：

$\lambda$  ——被测管段沿程阻力系数；

$Re$  ——被测管雷诺数。

c) 当  $v_{c1} < v \leq v_{c2}$  时，被测管段沿程阻力系数按式按式 (D.11) 计算：

$$\lambda = \frac{1.42}{[\lg(Re \frac{d}{K})]^2} \dots \dots \dots (D.11)$$

式中：

$\lambda$  ——沿程阻力系数；

$Re$  ——被测管雷诺数；

$d$  ——被测管段内径，单位为米 (m)；

$K$  ——管壁表面当量绝对粗糙度，单位为米 (m)。

d) 当  $v > v_{c2}$  时，被测管段沿程阻力系数按式按式 (D.12) 计算：

$$\lambda = \frac{1}{(1.14 + 2 \lg \frac{d}{K})^2} \dots \dots \dots (D.12)$$

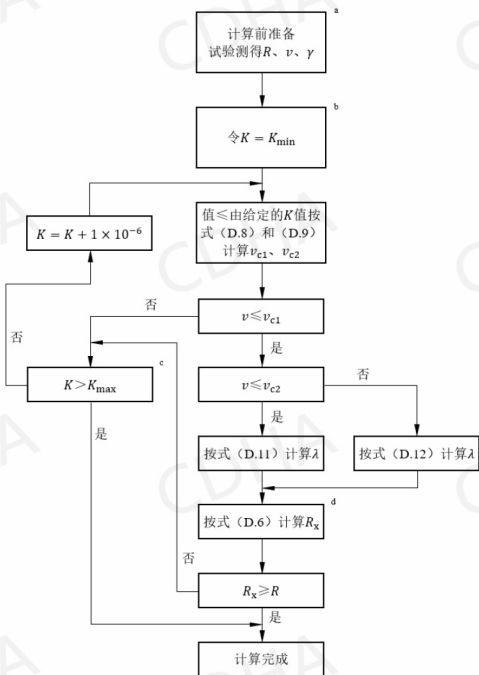
式中：

$\lambda$  ——沿程阻力系数；

$d$  ——被测管段内径，单位为米 (m)；

$K$  ——管壁表面当量绝对粗糙度，单位为米 (m)。

D.2.2.7 被测管段管壁表面当量绝对粗糙度计算流程见图 D.3。



- a 双管测试时,  $R$  由被测管段平均比摩阻  $R_{1,2}$  代替,  $v$  由被测管段 1 的平均流速  $v_1$  和被测管段 2 的平均流速  $v_2$  代替,  $\gamma$  由被测管段 1 水在测试温度下的运动黏度  $\gamma_1$  和被测管段 2 水在测试温度下的运动黏度  $\gamma_2$  代替;
- b  $K_{\min}$  为设定  $K$  值取值范围的最小值, 减阻涂层管道, 宜取  $K_{\min}=5 \times 10^{-6} \text{m}$ , 无涂层的管道,  $K_{\min}$  可适当增大;
- c  $K_{\max}$  为设定  $K$  值取值范围的最大值, 减阻涂层管道, 宜取  $K_{\max}=5 \times 10^{-5} \text{m}$ , 无涂层的管道,  $K_{\max}$  可适当增大;
- d  $R_x$  为  $K$  不同取值时计算得到的被测管段比摩阻, 当双管测试时, 应分别计算被测管段 1 的比摩阻  $R_{x1}$  和被测管段 2 的比摩阻  $R_{x2}$ , 按式 (D.7) 计算平均值。

图 D.3 被测管段管壁表面当量绝对粗糙度计算流程

### D.3 实验室测试



### D.3.1 测试系统

D.3.1.1 实验室测试系统为与被测管段相连接的循环加热系统，可控制管路压力、流量和介质温度，实验室测试系统应跟据被测管道的规格范围进行设计，可模拟被测管段的实际运行工况。

D.3.1.2 实验室测试系统宜采用闭式系统，当循环介质温度大于 100 ℃时，应选用闭式系统。循环介质为去离子水。

D.3.1.3 实验室测试系统可采用单管测试或双管测试，单管测试的数据采集点参照 D.2.1.2 布置，双管测试的数据采集点参照 D.2.1.4 布置。

D.3.1.4 测试系统管道应有相应的排气措施，保证试验过程中，管道内应全部充满水。

D.3.1.5 测试系统中的调节阀阀门应采用不会造成管道内水流量波动的阀门（阀芯节流件在水流冲击不会有晃动）。

D.3.1.6 测试系统与被测管段前后连接的管道应符合下列规定：

- 管道为圆形直管道，不应含弯头、变径、阀门等产生局部阻力的部件，管道内径应与被测管段相同，且不得有凸台、凹坑等现象；
- 按介质流向，被测管段前连接的直管段长度不应小于 15 倍的管道公称尺寸，若采用整流措施，则长度可缩短到 8 倍的管道公称尺寸；
- 按介质流向，被测管段后连接的直管段长度不应小于 5 倍的管道公称尺寸；
- 各连接处应无泄漏，连接处的密封垫片的内径应不小于管道内径，应无影响管道流通的凸台、棱边等异形结构。

D.3.1.7 测试系统的控制设备应符合下列规定：

- 水泵与调节阀应满足被测管段不同工况下的流量及压力调节，测试时应保证管道内介质流动处于紊流状态；
- 恒温设备应满足测试时对于介质温度的控制要求，温度控制偏差应小于 $\pm 2$  ℃；
- 定压装置应保证系统静压，防止水发生汽化。

D.3.1.8 流量计的准确度等级不应低于 1.0 级，流量计的安装应符合流量计厂家的规定，满足足够的直管段长度。

D.3.1.9 介质温度测量仪表的最大允许测量误差应不大于 $\pm 0.5$  ℃，温度传感器的安装可采用工作钢管贴敷或管道插入的方式，管道插入的方式不对管道流体产生影响。

D.3.1.10 压力、压差变送器所选量程宜满足测试数据落在量程的 20 %~80 %之间，最大允许测量误差应不大于 $\pm 0.1$  %。

D.3.1.11 取压孔及压力、压差变送器的安装应符合下列规定：

- 取压截面选在被测管段起点和终点位置，可设置在系统连接管上，每个取压截面宜设置 2 个对称或 4 个对称布置的取压孔，管道取压孔内径范围宜为 3 mm~5 mm，然后将各取压孔汇集成一个总取压孔，汇集成的总取压孔与变送器间连接管道的内径应至少为各取压孔直径的 2 倍，汇集成的总取压孔接管口应水平方向设置；
- 取压孔应与管道垂直，偏角最大不得超过 5 °，取压孔在管道内外表面的边为锐角，且不应有毛边、钻削飞边存在；
- 压力及压差变送器安装应符合变送器厂家的规定，对于采用引压管的变送器应有排气和排污措施，保证试验过程中，引压管内全部充满水且不能有堵塞。

D.3.1.12 整个测试系统管路和被测管段应进行保温，循环温降应小于 1 ℃。

### D.3.2 被测管段

D.3.2.1 被测管段应选择长直管段，不应含弯头、变径、阀门等产生局部阻力的部件，被测管段的规格与长度应在测试系统设计与测试仪选择时一并考虑。

D.3.2.2 被测管段起点与终点高程应相同。

D.3.2.3 双管测试时，被测管段应符合 D.2.1.4 的要求。

### D.3.3 测试步骤与要求

D.3.3.1 将被测管段安装到测试系统后，启动系统水泵，开启阀门，使管道内排净空气，全部充水，将循环介质加热到试验约定的工况温度并保持稳定。

D.3.3.2 如无特殊约定，应从测试系统的最大流量能力或该规格测试管道实际工程应用中的最大工况流量开始测试，然后逐步调整减少流量，应测试并记录不少于 5 种流量工况下的压力损失，且测试时管道内介质流动应始终处于紊流状态下，紊流状态的判断按 D.2.2.3 的规定执行，被测管段压力损失（双管测试为两个被测管段压力损失之和）不宜小于 16 kPa。

D.3.3.3 测试时，调整系统水泵、阀门使流量达到要求测试的流量值（允许有偏差），保持该流量 30 s 时间后观察流量计的显示值，在确定显示的流量中，最大值和最小值之差相对于平均值的偏差应不超过 1.2 % 后，才可进行被测管段压力、压差、流量的测试记录。数据采集间隔不应少于 5 s，同时记录压力、压差、流量数值，记录数据不应少于 5 次。

D.3.3.4 对公称尺寸大于 DN500 的试验系统，因可能受试验系统流量稳定状况的限制，按 D.3.3.3 的方法先对流量稳定性观察，其最大值和最小值之差相当于平均值的百分比不应超过表 D.1 的规定后，才可进行该工况下压力、压差、流量的数据记录。计算时，应取压力、压差、流量所有读数的算术平均值作为工况的实测值。

表 D.1 最大与最小值测量值相对于平均值的允许偏差

读数次数 次	最大和最小测量值相对于与平均值的最大允许偏差 %
5	3.5
7	4.5
9	5.8
13	5.9
≥31	6.0

D.3.3.5 测得压力、压差及流量值结果应根据设备溯源报告进行数据修正。

### D.3.4 计算

D.3.4.1 实验室测试结果的计算按 D.2 的规定执行，计算该介质温度条件下被测管段不同流量工况下的压力损失、比摩阻及管道的表面当量粗糙度，计算结果保留 3 位有效数字。

D.3.4.2 实验室条件下，测试系统、被测管段的设计与安装更容易控制，在满足 D.3.1 规定的条件下，单管测试可不考虑高程差的影响，双管测试可不考虑两段被测管段介质温差和高程差的影响，按式 (D.13)、(D.14) 计算。

$$\Delta P = P_s - P_f \dots \dots \dots (D.13)$$

式中：

$\Delta P$ ——被测管段压力损失，单位为帕 (Pa)；

$P_s$ ——被测管段起点压力，单位为帕 (Pa)；

$P_f$  ——被测管段终点压力，单位为帕 (Pa)；

$$\Delta P_{12} = \Delta P_a - \Delta P_b \dots \dots \dots (D.14)$$

式中：

$\Delta P_{12}$  ——双管测试被测管段压力损失值之和，单位为帕 (Pa)；

$\Delta P_a$  ——被测管段 1 起点和被测管段 2 终点压差，单位为帕 (Pa)；

$\Delta P_b$  ——被测管段 1 终点和被测管段 2 起点压差，单位为帕 (Pa)；

D.3.4.3 被测管段在不同流量工况下计算得到的表面当量绝对粗糙度的平均值作为该管道表面绝对当量粗糙度的测试结果，且各工况下的表面当量绝对粗糙度中的最大值和最小值之差相对于平均值的偏差不应大于 10%，不满足要求时应重新进行测试。

## D.4 工程测试

### D.4.1 被测管段

D.4.1.1 在实际供热管道工程中，选择一段不含弯头、变径、阀门等产生局部阻力部件的长直管段作为被测管段，被测管段所处管线的运行工况应保证管道内介质流动处于紊流状态。

D.4.1.2 被测管段可选择供水管道或回水管道进行单管测试，也可选择同一路由上相同规格、等长、平行设置的供回水管道进行双管测试。

D.4.1.3 被测管段宜大于或等于 500 m，实际运行流量时，被测管段压力损失（双管测试为两个被测管段压力损失之和）不宜小于 16 kPa。

D.4.1.4 被测管段前后直管段应符合 D.3.1.6 的规定。

D.4.1.5 单管测试的数据采集点按 D.2.1.2 的规定布置，双管测试的数据采集点按 D.2.1.4 的规定布置。

D.4.1.6 测试仪表精度和设置要求应符合 D.3.1.8 ~D.3.1.11 的规定。

D.4.1.7 被测管段起点到终点压力测点的高程差可在管道充满水且无循环流量时采集起点和终点的静压力和介质温度，按式 (D.15) 计算。

$$\Delta h = \frac{P_{f0} - P_{s0}}{\rho_0 \times g} \dots \dots \dots (D.15)$$

式中：

$\Delta h$  ——被测管段起点到终点压力测点高程差，单位为米 (m)；

$P_{f0}$  ——被测管段终点静压力，单位为帕 (Pa)；

$P_{s0}$  ——被测管段起点静压力，单位为帕 (Pa)；

$\rho_0$  ——水在当前测试温度下的密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$g$  ——重力加速度，单位为米每秒的平方 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )。

### D.4.2 测试步骤与要求

D.4.2.1 压力损失测试应在管道内排净空气，全部充满水，连续稳定运行不应少于 72 h 后进行。

D.4.2.2 如无特殊约定，应从被测管段所在管线可调节的最大工况流量开始测试，然后逐步调整减少流量，应测试并记录不少于 3 种流量工况下的压力损失，且测试时管道内介质流动应始终处于紊流状态下，紊流状态的判断按 D.2.2.3 的规定执行，被测管段压力损失（双管测试为两个被测管段压力损失之和）不宜小于 16 kPa。

D.4.2.3 数据稳定性的判断与数据记录按 D.3.3.3、D.3.3.4 的规定执行。

D.4.2.4 测得压力、压差及流量值结果应根据设备溯源报告进行数据修正。

#### D.4.3 计算

D.4.3.1 工程测试结果的计算按 D.2 的规定执行，计算实际运行介质温度条件下被测管段不同流量工况下的压力损失、比摩阻及管道的表面当量绝对粗糙度，计算结果保留 3 位有效数字。

D.4.3.2 双管测试时，当被测管段供回水温差小于 40℃且被测管段起点和终点高程差小于或等于 3 m 时，可忽略被测管段介质温差和高程差的影响，双管测试被测管段压力损失值之和按式 (D.14) 计算。

D.4.3.3 被测管段在不同测试流量工况下计算得到的表面当量绝对粗糙度的平均值作为该管道表面当量绝对粗糙度的测试结果，且各工况下的表面当量绝对粗糙度中的最大值和最小值之差相对于平均值的偏差不应大于 15%，不满足要求时应重新进行测试。

#### D.5 测试报告

##### D.5.1 被测管段信息

测试报告根据测试情况应至少包括下列信息：

- a) 管道生产厂家；
- b) 管道规格；
- c) 管道内涂层信息；
- d) 工程测试被测管段的选取位置，供热管道工程概况；
- e) 被测管段服役时间；
- f) 实验室测试被测管段内表面外观情况；
- g) 被测管段内径、长度、起点和终点高程差。

##### D.5.2 测试数据与结果

测试报告应至少包括下列信息：

- a) 测试方法与数据采集点布置说明；
- b) 时间；
- c) 管道内介质温度；
- d) 不同流量工况下的压力及压差测试值；
- e) 不同流量工况下的压力损失与比摩阻；
- f) 管道表面当量绝对粗糙度。

附 录 E  
(规范性)  
漏点试验方法

### E.1 一般规定

E.1.1 本测试方法适用于成品管道、管件涂层、补口涂层的质量检验，也可按 SY/T 4078 使用检测机进行测试。

E.1.1 本方法适用于涂层漏点或厚度过薄处的测试，为破坏性试验。

### E.2 试验

E.2.1 测试仪器选用电火花检漏仪，检漏电压为 900 V~36 000 V，装有由铜丝刷或其他导电材料组成的探测电极、音频信号发生器以及连接管壁的地线。

E.2.2 检漏试验前应按仪器说明书中给出的要求对检漏电压值进行校准，校准采用峰值电压表或示波器。

E.2.3 涂层的检漏电压按式 (E.1) 计算。

$$U = 5\delta \dots \dots \dots (E.1)$$

式中：

$U$  ——涂层的检漏电压，单位为伏特 (V)；

$\delta$  ——涂层标称厚度，单位为微米 ( $\mu\text{m}$ )。

E.2.4 涂层漏点测试步骤应符合下列规定：

- a) 将地线一端与金属管壁相连接，地线的另一端接检漏仪，再将探测电极和检漏仪相连接，然后开启检漏仪，开启检漏仪后，操作者不能同时接触地线和探测电极的金属部分；
- b) 将探测电极沿涂层表面移动进行检漏，并始终保持探测电极和涂层表面紧密接触。当探测电极经过涂层漏点或厚度过薄位置时，检漏仪报警，此时可移回电极，通过观察电火花的跳出点确定漏点的位置；
- c) 检漏过程中应确保涂层表面干燥，并应保持探测电极距金属管端或金属裸露面至少 13 mm。