

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31032—2023

代替 GB/T 31032—2014

## 钢质管道焊接及验收

Welding and acceptance standard for steel pipings and pipelines

2023-12-28 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

## 目 次

前言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 缩略语 .....	4
5 基本规定 .....	5
5.1 焊接设备及器具 .....	5
5.2 材料 .....	5
5.3 人员 .....	5
5.4 焊接工艺 .....	6
5.5 焊接环境 .....	6
6 焊接工艺评定 .....	6
6.1 一般规定 .....	6
6.2 记录 .....	6
6.3 工艺规程 .....	6
6.4 焊接工艺评定基本要素 .....	8
6.5 试验管接头的焊接——对接焊 .....	10
6.6 焊接接头的试验——对接焊 .....	10
6.7 试验管接头的焊接——角焊 .....	21
6.8 焊接接头的试验——角焊 .....	21
7 焊工上岗资格 .....	22
7.1 一般规定 .....	22
7.2 上岗考试 .....	22
7.3 单项资格 .....	23
7.4 全项资格 .....	24
7.5 考试焊口外观检查 .....	25
7.6 破坏性试验 .....	25
7.7 考试焊件的无损检测——仅用于对接焊 .....	28
7.8 补考 .....	28
7.9 记录 .....	28
8 现场焊接 .....	28
8.1 一般规定 .....	28
8.2 管口组对 .....	28

8.3	对口器使用要求	29
8.4	坡口	29
8.5	气候条件	29
8.6	作业空间	29
8.7	层间清理	29
8.8	施焊	29
8.9	焊口标记	30
8.10	预热、道间温度、后热及焊后热处理	30
9	焊缝检验与人员资格	30
9.1	检验内容	30
9.2	检验方法	30
9.3	无损检测人员要求	30
10	无损检测验收	30
10.1	射线检测、X射线数字成像检测和X射线计算机辅助成像检测	30
10.2	磁粉检测	35
10.3	渗透检测	36
10.4	超声检测、全自动超声检测和相控阵超声检测	36
10.5	咬边的目视检查	37
10.6	内凹的目视检查	38
11	缺陷的清除及返修	38
11.1	裂纹	38
11.2	非裂纹缺陷	38
11.3	返修要求	38
11.4	返修焊接工艺规程	38
11.5	返修焊接工艺评定基本要素	39
11.6	对接焊试验管接头的焊接	39
11.7	对接焊焊接接头的试验	39
11.8	返修焊工上岗考试	42
11.9	验收标准	44
12	无损检测方法	44
12.1	射线检测	44
12.2	X射线数字成像检测	44
12.3	X射线计算机辅助成像检测	44
12.4	磁粉检测	45
12.5	渗透检测	45
12.6	超声检测	45
12.7	相控阵超声检测	45

12.8	全自动超声检测	45
13	有填充金属的机动焊	45
13.1	适用的焊接方法	45
13.2	焊接工艺评定	45
13.3	记录	46
13.4	焊接工艺规程	46
13.5	机动焊焊接工艺评定基本要素	46
13.6	对接焊试验管接头的焊接	48
13.7	机动焊焊工上岗考试	49
13.8	合格机动焊操作工的记录	50
13.9	现场焊缝的检查和试验	50
13.10	无损检测验收标准	51
13.11	缺陷的返修和切除	51
13.12	射线检测	51
13.13	超声检测	51
附录 A (规范性)	环焊缝的附加验收准则	52
A.1	通则	52
A.2	应力分析	52
A.3	焊接工艺	53
A.4	焊工资格	59
A.5	检测及可接受临界尺寸	59
A.6	记录	68
A.7	返修	68
A.8	符号	68
附录 B (规范性)	在役管道焊接技术	70
B.1	通则	70
B.2	在役管道的焊接工艺评定	71
B.3	在役管道的焊工资格	80
B.4	在役管道焊接的推荐操作	82
B.5	在役管道焊缝的检测与试验	85
B.6	无损检测验收标准(包括外观检查)	85
B.7	在役管道的焊缝返修	85
附录 C (资料性)	焊接记录表	87
参考文献		92

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

## 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。

本文件代替 GB/T 31032—2014《钢质管道焊接及验收》，与 GB/T 31032—2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了适用范围，将适用介质中的“燃气”改为“天然气”，将适用范围“输送管线、管网、阀室和站场”改为“长输管道、集输管道”，删除了“气焊”焊接方法，增加了 X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测等验收要求（见第 1 章，2014 年版的第 1 章）；
- b) 删除了“业主”“承包商”“根焊”“返修”“焊缝”“显示”“合格焊工”“焊工考试”“焊接工艺评定”的术语和定义（见 2014 年版的 3.1、3.2、3.5、3.9、3.12、3.16、3.18、3.19、3.21）；
- c) 增加了“焊接工艺评定报告”“自动焊”“根焊道”“背面焊”“返修焊”“全壁厚返修”“部分壁厚返修”“背面内返修”“二次返修”“修补”“焊接热输入”“预热温度”“道间温度”“焊后热处理”“空心焊道”“回火焊道”“堆焊修复”的术语和定义（见 3.2、3.5、3.10、3.11、3.15～3.24、3.28～3.30）；
- d) 更改了“预焊接工艺规程”“焊接工艺规程”“机动焊”“旋转焊”“固定焊”“缺陷”“内凹”术语的定义（见 3.1、3.3、3.4、3.7、3.8、3.26、3.27，2014 年版的 3.20、3.22、3.3、3.10、3.11、3.15、3.17）；
- e) 增加了缩略语（见第 4 章）；
- f) 增加了人员、焊接工艺、焊接环境的内容（见第 5 章）；
- g) 更改了对管材及管件的具体要求（见 5.2.1，2014 年版的 4.2.1）；
- h) 更改了填充材料类型和规格（见 5.2.2.1，2014 年版的 4.2.2.1）；
- i) 更改了焊接工艺评定基本要素，增加了夏比冲击韧性试验、宏观金相试验、拉伸试验、背弯和面弯试验、侧弯试验、SSC 试验、HIC 试验、CTOD 试验、硬度试验的方法及要求等内容（见第 6 章，2014 年版的第 5 章）；
- j) 更改了上岗考试方法、单一考试适用壁厚范围，增加了支管连接单一考试技术要求等内容（见第 7 章，2014 年版的第 6 章）；
- k) 更改了管口组对错边量要求、焊缝外观检查尺寸要求，增加了不等壁厚对接焊口坡口形式、对口器使用要求等内容（见第 8 章，2014 年版的第 7 章）；
- l) 更改了无损检测人员要求，增加了 X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测、相控阵超声检测、全自动超声检测等方法（见第 9 章，2014 年版的第 8 章）；
- m) 增加了 X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测、相控阵超声检测、全自动超声检测等评定要求，更改了射线检测气孔、磁粉检测圆形缺陷、渗透检测圆形缺陷、超声检测体积缺陷评判指标等内容（见第 10 章，2014 年版的第 9 章）；
- n) 增加了返修要求、返修焊的焊接工艺评定基本要素、返修焊规程、返修焊工上岗考试等内容（见第 11 章）；
- o) 增加了 X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测、相控阵超声检测、全自动超声检测等内容，更改了射线检测、超声检测等内容（见第 12 章，2014 年版的第 11 章）；
- p) 更改了机动焊焊接工艺规程、机动焊焊接工艺评定基本要素、机动焊焊工上岗考试等内容（见第 13 章，2014 年版的第 12 章）；
- q) 更改了工程临界评估的相应内容（见附录 A，2014 年版的附录 C）；
- r) 更改了在役管道焊接的相应内容（见附录 B，2014 年版的附录 D）；

s) 更改了推荐记录表格(见附录 C,2014 年版的附录 E)。

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。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本文件起草单位:中国石油天然气管道科学研究院有限公司、中国石油管道局工程有限公司、中国石油集团工程技术研究有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司建设管理分公司、中石化石油工程建设有限公司、国家管网集团北方管道有限责任公司、天津大学。

本文件主要起草人:隋永莉、杨叠、闫臣、邓俊、薛岩、汪凤、常亮、鹿锋华、李曾珍、张书丽、于麟川、刘全利、周广言、李小龙、汤日光、姜晓红、李景昌、刘少柱、吕向阳、王鹏宇。

本文件于 2014 年首次发布,本次为第一次修订。

北京中培质联 专用

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

# 钢质管道焊接及验收

## 1 范围

本文件规定了原油、成品油、天然气、二氧化碳、氮气等介质的长输管道、集输管道的碳钢和低合金钢管及管件的对接接头、角接接头和承插接头的电弧焊工艺。

本文件适用的焊接方法为焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极及非熔化极气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊、等离子弧焊或其组合。焊接方式为手工焊、半自动焊、机动焊、自动焊或其组合。焊接位置为固定焊、旋转焊或其组合。

本文件还规定了焊接接头的射线检测、X射线数字成像检测、X射线计算机辅助成像检测、磁粉检测、渗透检测、超声检测、全自动超声检测、相控阵超声检测和采用破坏性试验的验收要求。

本文件适用于新建、改扩建管道和在役管道的焊接。

## 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 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 4157 金属在硫化氢环境中抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验方法
- GB/T 4340(所有部分) 金属材料 维氏硬度试验
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB/T 8650 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法
- GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB/T 13401 钢制对焊管件 技术规范
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- GB/T 20972.2 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第2部分：抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁
- GB/T 28896 金属材料 焊接接头准静态断裂韧性测定的试验方法

GB/T 29168(所有部分) 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰

GB/T 32533 高强钢焊条

GB/T 36034 埋弧焊用高强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求

GB/T 36233 高强钢药芯焊丝

GB/T 39255 焊接与切割用保护气体

GB/T 39280 钨极惰性气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝

GB/T 39281 气体保护电弧焊用高强钢实心焊丝

GB/T 50818 石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范

SY/T 4109 石油天然气钢质管道无损检测

SY/T 6554 石油工业带压开孔作业安全规范

BS 7910 金属结构裂纹验收评定方法指南(Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**预焊接工艺规程 preliminary welding procedure specification**

为进行焊接工艺评定所拟定的焊接工艺文件。

#### 3.2

**焊接工艺评定报告 welding procedure qualification record**

记载焊接工艺评定因素各项细节、焊接接头验证性试验及检验结果,对拟定的预焊接工艺规程进行评价的报告。

#### 3.3

**焊接工艺规程 welding procedure specification**

根据合格的焊接工艺评定报告编制的,用于指导焊接操作人员进行焊件施焊的焊接工艺文件。

#### 3.4

**机动焊 mechanized welding**

焊炬、焊枪或焊钳由机械装备夹持并要求随着观察焊接过程而调整设备控制部分的焊接方式。

#### 3.5

**自动焊 automaticwelding**

用自动焊接装置完成全部焊接操作的焊接方式。

#### 3.6

**半自动焊 semi-automatic welding**

采用控制填充金属传送速度的设备进行的电弧焊。焊炬的移动由手动控制。

#### 3.7

**旋转焊 roll welding**

焊接时焊接热源位置固定,并位于或接近被焊焊件的顶部中心,被焊焊件旋转的焊接方式。

#### 3.8

**固定焊 position welding**

焊接过程中管或管件固定不动的焊接方式。

## 3.9

**支管焊缝 branch weld**

采用骑坐式、嵌入式方法或管件(支管座或三通)连接支管或管件到主管的完整坡口焊缝或角焊缝。

## 3.10

**根焊道 root bead**

多层焊时,在管与管、管与管件或管件与管件之间接头坡口内焊接的第一层焊道。

## 3.11

**背面焊 back weld**

单面对接坡口焊完后,又在焊缝背面施焊的最终焊道,是原接头的一部分。

## 3.12

**热焊 hot pass**

根焊完成后立即快速进行的第二层焊道。

## 3.13

**填充焊 filling welding**

根焊或热焊完成后,在盖面焊之前的焊道。

## 3.14

**盖面焊 cap welding**

最外面一层的成型焊道。

## 3.15

**返修焊 repair welding**

对外观检查或无损检测发现的缺陷清除后所进行的焊接操作。

## 3.16

**全壁厚返修 full thickness repair**

对整个焊缝厚度(包括根焊缝和盖面焊缝)进行的返修焊接。

## 3.17

**部分壁厚返修 partial thickness repair**

对部分焊缝厚度进行的返修焊接。

## 3.18

**背面内返修 back weld repair**

从钢管内部或接头背面对根焊缝进行的返修焊接。

## 3.19

**二次返修 double repair**

在已完成的焊缝返修区域进行的再次返修焊接。

## 3.20

**修补 rework**

焊接过程中或焊接完成后,在外观检查或无损检测前,通过打磨和/或焊接去除焊缝缺欠的操作。

## 3.21

**焊接热输入 welding heat input**

由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热能。

## 3.22

**预热温度 preheat temperature**

根焊开始焊接前,起弧点周围母材的最低温度。

3.23

**道间温度 interpass temperature**

多层多道焊接时,后续焊道开始焊接前的起弧点附近的温度。

3.24

**焊后热处理 postweld heat treatment**

焊后为改善焊接接头的组织和性能或消除残余应力而进行的热处理。

3.25

**缺欠 imperfection**

按本文件中的检测方法检测出的焊缝的不连续性、不均匀性以及其它不健全等欠缺。

3.26

**缺陷 defect**

达到本文件拒收要求的缺欠。

3.27

**内凹 internal concavity**

焊道已经良好的熔合且完好渗入沿坡口两侧的管壁厚度,但焊道中部低于管壁内表面而形成的凹陷。

3.28

**空心焊道 hollow bead**

根部焊道中出现的细长线性气孔。

3.29

**回火焊道 temper bead**

多层多道焊时,对前道焊的焊缝金属进行一次加热或热循环的焊道。

3.30

**堆焊修复 weld deposition repair**

在役管道维修过程中,对管壁上的金属缺失进行修复的焊接操作。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CE:碳当量(Carbon Equivalent)

CTOD:裂纹尖端张开位移(Crack Tip Open Displacement)

$D/t$ :径厚比(Diameter Thickness Ratio)

ECA:工程临界评估(Engineering Critical Assessment)

FAC:失效评估曲线(Failure Assessment Curves)

FAD:失效评估图(Failure Assessment Diagram)

HIC:氢致开裂(Hydrogen Induced Cracking)

NDT:无损检测(Nondestructive Testing)

SSC:硫化物应力开裂(Sulfide Stress Cracking)

SMTS:规定最小抗拉强度(Specify Minimum Tensile Strength)

SMYS:规定最小屈服强度(Specify Minimum Yield Strength)

$Y/T$ :屈强比(Yield-Tensile Ratio)

## 5 基本规定

### 5.1 焊接设备及器具

5.1.1 焊接所用设备应能满足焊接工艺要求,且具有良好的工作状态和安全性。凡不符合要求的焊接设备应予修复或更换。

5.1.2 计量器具应在检定或校准有效期范围内。

### 5.2 材料

#### 5.2.1 管材及管件

管材及管件应符合 GB/T 3091、GB/T 5310、GB/T 6479、GB/T 8163、GB/T 9711、GB/T 13401、GB/T 14383、GB/T 20972.2、GB/T 29168(所有部分)的规定,本文件也可用于未按上述标准制造,但其化学成分和力学性能满足上述标准规定的材料。

#### 5.2.2 填充材料

##### 5.2.2.1 类型和规格

填充材料应符合 GB/T 5117、GB/T 5293、GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 32533、GB/T 36034、GB/T 36233、GB/T 39280、GB/T 39281 的规定。不符合上述标准要求的填充材料,经过焊接工艺评定合格后也可使用。

##### 5.2.2.2 填充材料及焊剂的保管、搬运

填充材料及焊剂的保管和搬运应符合生产厂家的规定,不应损坏填充材料、焊剂及其包装。包装开启后,应保护其不致变质,且不应受潮。凡有损坏或变质迹象的填充材料和焊剂不应使用。

#### 5.2.3 保护气体

##### 5.2.3.1 类型

保护气体分为惰性气体、活性气体及惰性气体和活性气体的组合。保护气体的配比和流量应满足焊接工艺规程的要求。氩气纯度不应低于 99.96%,二氧化碳的纯度不应低于 99.5%。保护气体的含水量、混合比例偏差应符合 GB/T 39255 的规定。

##### 5.2.3.2 保管和使用

5.2.3.2.1 保护气体应存放在容器中,并应远离高温或低温等极端环境,其他气体不应混入容器中。若保护气体的质量和容器存在问题,则不应使用。

5.2.3.2.2 焊接过程中,氩气的剩余压力不应低于 0.5 MPa,二氧化碳的剩余压力不应低于 0.98 MPa。二氧化碳气体使用前应预热。

### 5.3 人员

焊工和焊机操作工应持有监督管理部门颁发的《特种设备安全管理和作业人员证》。

## 5.4 焊接工艺

5.4.1 现场焊接开始之前,应依据设计要求、材料焊接性和工程经验拟定预焊接工艺规程,并对此焊接工艺进行评定。

5.4.2 应采用外观检查、无损检测方法证明焊缝质量合格,并应采用破坏性试验来证明焊接接头的力学性能满足要求。

## 5.5 焊接环境

5.5.1 焊接工艺规程中应规定适于焊接操作的焊接环境条件。

5.5.2 在下列任何一种环境中,如未采取有效防护措施不应进行焊接:

- a) 雨雪天气;
- b) 环境相对湿度大于 90%;
- c) 低氢型焊条电弧焊,风速大于 5 m/s;
- d) 纤维素焊条电弧焊、埋弧焊、自保护药芯焊丝半自动焊,风速大于 8 m/s;
- e) 气体保护焊,风速大于 2 m/s;
- f) 环境温度低于  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 6 焊接工艺评定

### 6.1 一般规定

6.1.1 应根据预焊接工艺规程制备焊件,制取试样,检测焊接接头是否符合规定的要求,并形成焊接工艺评定报告对预焊接工艺规程进行评价。其中,环焊缝的附加验收标准应符合附录 A 的规定,在役管道的焊接技术应符合附录 B 的规定。

6.1.2 应依据合格的焊接工艺评定报告编制焊接工艺规程,焊接工艺规程应包含有签署、发布和修订信息。

### 6.2 记录

焊接工艺评定的各项细节和结果应详细记录,记录格式见附录 C 的表 C.1 和表 C.2,并在该焊接工艺规程使用期间内应保存好记录。

### 6.3 工艺规程

#### 6.3.1 通则

工艺规程应包含 6.3.2 中的适用内容。

#### 6.3.2 规程说明

##### 6.3.2.1 焊接方法

应指明所使用的焊接方法,或其方法的组合。

##### 6.3.2.2 管子及管件材料

应指明适用的管子材料和管件材料。

### 6.3.2.3 外径和壁厚

应规定焊接工艺规程适用的钢管外径和壁厚范围。

### 6.3.2.4 接头设计和焊缝形状

应画出接头的简图。简图应指明接头形式、坡口形式、坡口面角度、钝边尺寸、根部间隙、焊缝宽度和余高等。角焊缝应指明形状和尺寸。如使用垫板时,还应指明其尺寸和材质。

### 6.3.2.5 填充材料和焊道数

应指明填充金属的种类和规格、焊缝最少层数、道数和焊道顺序。当焊接工艺规程不包含某种适用的钢管壁厚时,应重新编制焊接工艺规程,并明确该壁厚的最少焊接层数、道数和焊道顺序。

### 6.3.2.6 电特性

应指明电流种类和极性,规定每一种焊条或焊丝的电弧电压、焊接电流和焊接速度的范围值,应指明送丝速度、焊接热输入量的范围。

### 6.3.2.7 焊接位置

应指明旋转焊或固定焊。固定焊应指明水平固定焊接位置(5G)、垂直焊接位置(2G)或45°倾斜固定管位置(6G)。

### 6.3.2.8 焊接方向

应指明上向焊或下向焊。

### 6.3.2.9 焊道之间的时间间隔

应规定完成根焊道后至开始第二焊道之间的最长时间间隔。当采用纤维素焊条时,还应规定完成第二焊道后至开始下一焊道之间的最长时间间隔。

### 6.3.2.10 对口器的类型和撤离

应规定是否使用对口器。如使用对口器,应规定对口器类型为内对口器或外对口器,以及对口器撤离时应完成的根焊道长度最小百分比。

### 6.3.2.11 焊道的清理及打磨

应指明使用电动或手工工具进行焊道的清理和打磨。

### 6.3.2.12 预热和焊后热处理

当适用的材料或气候条件要求焊前预热或焊后热处理时,应规定预热、焊后热处理的加热方法、加热温度和加热宽度、温度控制方法及需预热的最低环境温度、焊后热处理的环境温度范围。

### 6.3.2.13 保护气体及流量

应规定保护气体的成分配比及流量范围。

### 6.3.2.14 保护焊剂

应规定保护焊剂的类型。

## 6.3.2.15 焊接速度

应规定各焊道的焊接速度范围。

## 6.3.2.16 层(道)间温度

应规定焊接时焊层(道)之间的温度范围。

## 6.3.2.17 焊后强制冷却

如采取焊后强制冷却,应规定强制冷却方法及其适用的焊缝金属最高温度。

## 6.4 焊接工艺评定基本要素

当焊接工艺规程有表 1 中规定的基本要素变更时,应对焊接工艺重新评定。当焊接工艺规程有表 1 中规定的基本要素以外的变更时,应修订焊接工艺规程,但不必对焊接工艺重新评定。

表 1 手工焊、半自动焊的焊接工艺评定基本要素

基本要素	焊接工艺评定基本要素的变更
焊接方法	焊接方法的改变
	焊接自动化程度的改变,如手工焊改变为半自动焊,或反之
母材	焊接两组不同材料时,应采用强度较高材料组别的焊接工艺单独评定。以下分组并不表示每组中母材可任意替代已做过焊接工艺评定的母材或填充材料,还应分析母材和填充材料在冶金特性、力学性能、预热和焊后热处理要求上的不同。本文件所有材料的分组如下: a) 规定最小屈服强度小于或等于 290 MPa; b) 规定最小屈服强度大于 290 MPa,且小于 448 MPa; c) 规定最小屈服强度大于或等于 448 MPa 的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验
	壁厚分组的改变,应重新评定,壁厚分组如下: a) 小于 4.8 mm; b) 大于或等于 4.8 mm 且小于或等于 19.1 mm; c) 大于 19.1 mm
接头设计	从角焊缝到对接焊缝的改变,反之不需要
	接头类型的重大改变 <sup>a</sup>
焊接位置	由旋转焊变为固定焊,反之不需要。固定焊应指明水平固定焊接位置(5G)、垂直固定焊接位置(2G)或 45°倾斜固定焊接位置(6G)。6G 位可替代 5G 位和 2G 位,其他不应相互替代
背部衬垫	去除衬垫或改变衬垫材料(钢、陶瓷、有色金属等) <sup>b</sup>
填充金属	填充金属型号的改变 <sup>c</sup>
	当同一焊缝使用两种及以上型号的填充金属时,焊接顺序的改变
	评定用填充金属型号中后缀代号仅为 G 时,制造商或牌号的改变
	当所用填充金属未在表 2 中列出的,填充金属型号的变化,或没有指定填充金属型号时其化学成分代号的改变

表 1 手工焊、半自动焊的焊接工艺评定基本要素（续）

基本要素	焊接工艺评定基本要素的变更
电特性	电流/极性类型的改变(DC+、DC-、AC)
	从波控电源改变为非波控电源,或反之
	焊接速度范围的变更
焊接方向	从下向焊改为上向焊,或者反之
保护气体	按照 GB/T 39255 定义,由一种气体改变为另一种气体,或一种混合气体换成另一种混合气体
	保护气体流量的降低超出评定记录值的 20%
	评定过程中使用背部保护气时,去除背部保护气或组分的改变
预热温度	预热温度低于评定记录最低值 <sup>d</sup>
	焊接工艺评定无预热要求时,焊接工艺规程规定的最低温度不应低于 16 °C 与评定母材实际温度两者中的较小值
道间温度	母材道间温度升高至 260 °C 以上 <sup>d、e</sup>
	道间温度高于评定记录最大值 55 °C 及以上,或低于评定记录值 <sup>d、e</sup>
焊道顺序	使用回火焊道技术时,焊道熔敷顺序的改变
消氢处理	增加或去除焊后消氢处理
焊后冷却	增加或去除焊后强制冷却
	改变焊后强制冷却方法而使焊缝金属的冷却速度变快
	强制冷却前的焊缝最高温度增加
焊后热处理	增加或去除焊后热处理
	实际应用中,焊后热处理工艺的改变
<p><sup>a</sup> 主要接头类型有 V 形、单边 V 形、X 形、U 形、双 U 形、J 形、双 J 形等。复合坡口的接头类型中,坡口面角度变化不作为接头类型的重要因素的变化。</p> <p><sup>b</sup> 此要求仅适用于根焊道。焊缝金属不作为背部衬垫。</p> <p><sup>c</sup> 化学成分代号是填充金属型号的一部分。</p> <p><sup>d</sup> 焊接工艺评定期间可采用不同的预热温度和道间温度。若评定合格,应规定相应焊道的预热温度和道间温度。</p> <p><sup>e</sup> 当采用不同道间温度焊接工艺评定合格时,应规定相应焊道的道间温度。</p>	

表 2 填充金属的分组

组别	标准	型号示例
1	GB/T 5117	E4310, E4311
	GB/T 5117	E5010-1M3, E5010-P1, E5011-1M3

表 2 填充金属的分组 (续)

组别	标准	型号示例
2	GB/T 5117	E5510-P1
3	GB/T 5117	E4315, E5015, E5016, E5018, E5018M, E5016-1, E5018-1
	GB/T 5117	E5015-N5, E5016-N5, E5018-N5, E5015-N7 E5016-N7, E5018-N7, E5018-N2, E5516-N5 E5518-N5, E5516-N7, E5518-N7, E5516-N2 E5518-N2, E5518-P2, E5545-P2
	GB/T 32533	E6215-N2M1, E6216-N5M1, E6218-N2M1, E6216-N2M1, E6218-P2, E6245-P2
	GB/T 32533	E6916-N4M3, E6918-N3M2, E6916-N2M1, E6918-P2, E6945-P2
5 <sup>a</sup>	GB/T 8110	G49A3C1S2, G49A2C1S3, G49A3C1S6, G49A4M21S6
	GB/T 8110	G49PZ×S1M3, G55A3C1S4M31 G55A4H×SN2, G55P6×SN5, G55P7H×SN71
6	GB/T 10045	T492T1-1C1A, T492T1-1M21A T493T5-1C1A, T493T-1M21A T493T12-1C1A, T493T12-1M21A, T493T12-1M21H5
7	GB/T 10045	T553T1-1C1A-N2, T553T1-1M21A-N2 T554T1-1C1A-N5, T554T1-1M21A-N5 T553T1-1C1A-N3, T553T1-1M21A-N3
	GB/T 36233	T624T1-1C1A-N5, T624T1-1M21A-N5 T622T1-1C1A-N3M1, T622T1-1M21A-N3M1
	GB/T 36233	T692T1-1C1A-N3M2, T692T1-1M21A-N3M2 T694T1-1C1A-N5M2, T694T1-1M21A-N5M2
<sup>a</sup> 使用组别 5 的焊丝时应有保护气体。		

6.5 试验管接头的焊接——对接焊

应将两个管段按照预焊接工艺规程的要求进行组对和焊接。

6.6 焊接接头的试验——对接焊

6.6.1 试样制备

6.6.1.1 试件取样应按图 1 指定的位置进行,试样的最少数量及试验项目应符合表 3 的规定。

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

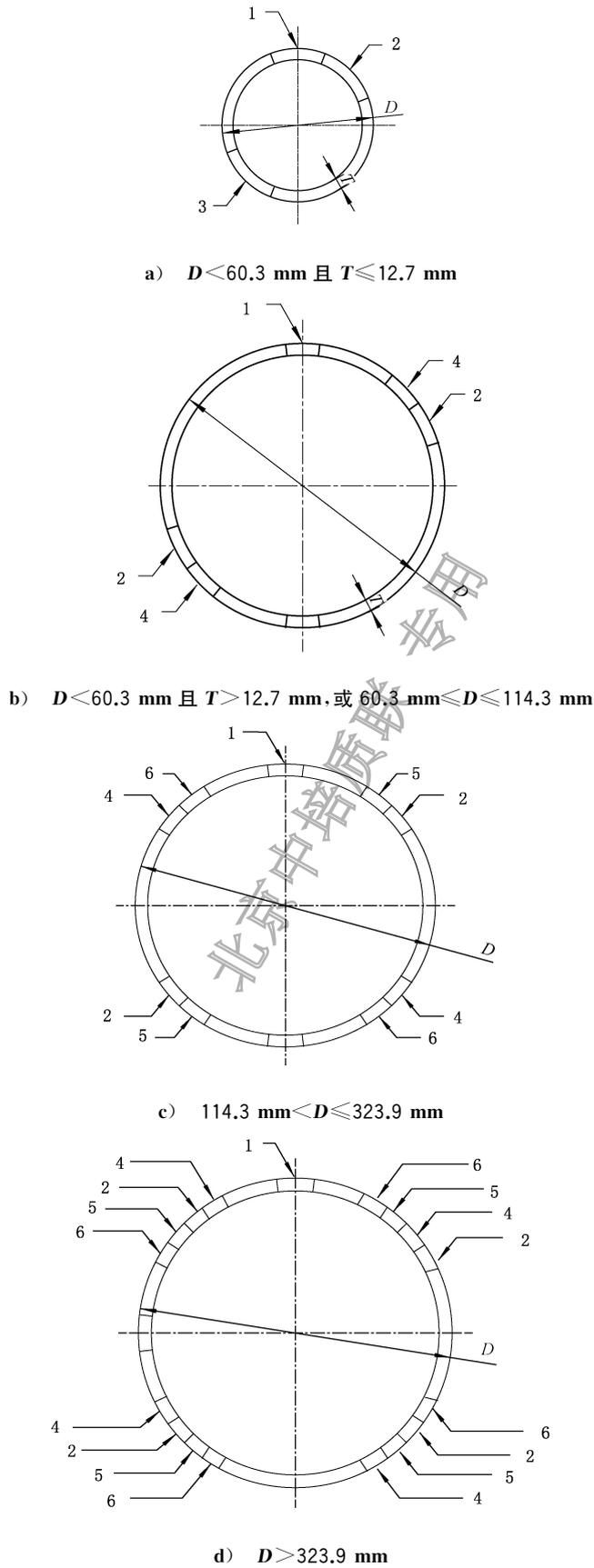


图 1 对接接头焊接工艺评定试验的试样位置

标引序号和符号说明：

- 1 —— 管顶；
- 2 —— 刻槽锤断；
- 3 —— 背弯；
- 4 —— 背弯或侧弯；
- 5 —— 拉伸；
- 6 —— 面弯或侧弯；
- D —— 焊件外径；
- T —— 焊件壁厚。

试件不应包含纵向焊缝。

图 1 对接接头焊接工艺评定试验的试样位置 (续)

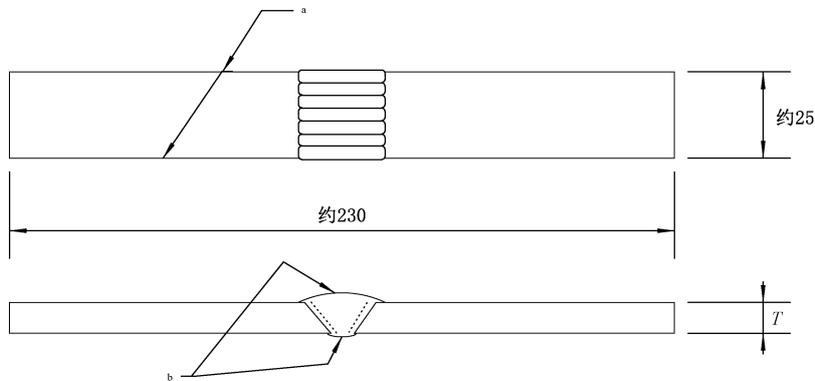
表 3 焊接工艺评定试验的试验类型及数量

管外径/mm	试样数量/个				
	拉伸 <sup>a</sup>	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯
	壁厚 ≤ 12.7 mm				
< 60.3	0	2	2	0	0
≥ 60.3 ~ 114.3	0	2	2	0	0
> 114.3 ~ 323.9	2	2	2	2	0
> 323.9	4	4	4	4	0
≤ 114.3	0	2	0	0	2
> 114.3 ~ 323.9	2	2	0	0	4
> 323.9	4	4	0	0	8

<sup>a</sup> 对于规定最低屈服强度大于 290 MPa 的材料至少应进行一次拉伸试验。

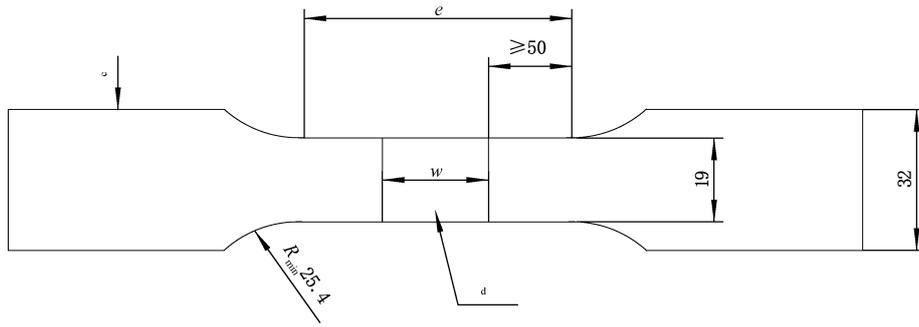
6.6.1.2 试件应按图 2、图 3、图 4、图 5 或图 6 的规定制备，试验应在试样空冷至室温后进行。

单位为毫米



a) 矩形拉伸试样

图 2 拉伸试样



b) 带肩板形拉伸试样

标引符号说明：

$T$  —— 焊件壁厚；

$w$  —— 盖面宽度；

$e$  —— 平行段长度。

<sup>a</sup> 试样可机械或氧气切割，但两侧应光滑平行。

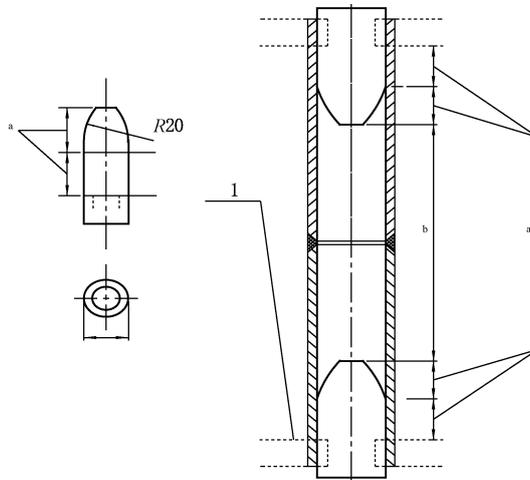
<sup>b</sup> 不去除焊缝内外表面余高。

<sup>c</sup> 试样长度应满足拉伸试验机的夹持要求。

<sup>d</sup> 去除焊缝内外表面余高。

图 2 拉伸试样（续）

单位为毫米



标引序号说明：

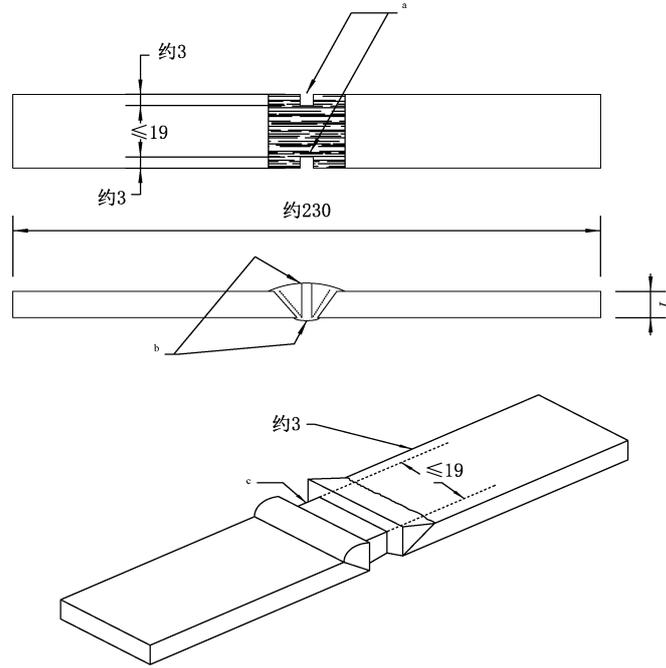
1——试验机的 V 型夹钳。

<sup>a</sup> 长度应为管内径的 1 倍。

<sup>b</sup> 长度应为管内径的 2 倍及以上。

图 3 全尺寸拉伸试样

单位为毫米



标引符号说明：

$T$ ——焊件壁厚。

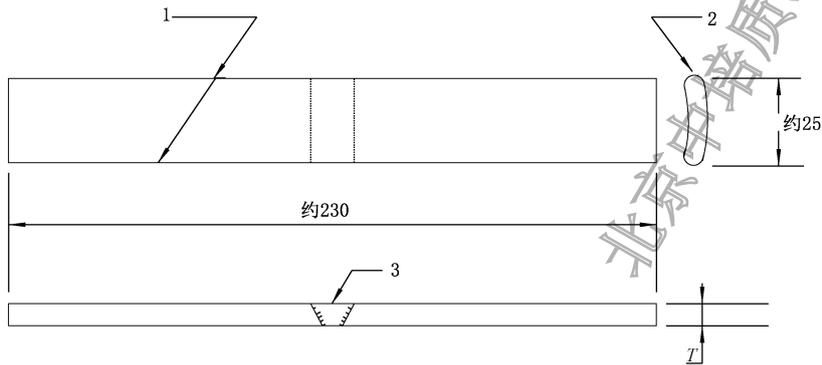
<sup>a</sup> 用钢锯切槽，试样可机械或氧气切割，两侧应光滑平行。

<sup>b</sup> 不去除焊缝表面内外余高。

<sup>c</sup> 横向槽的深度不应超过 1.6 mm。

图 4 刻槽锤断试样

单位为毫米



标引序号和符号说明：

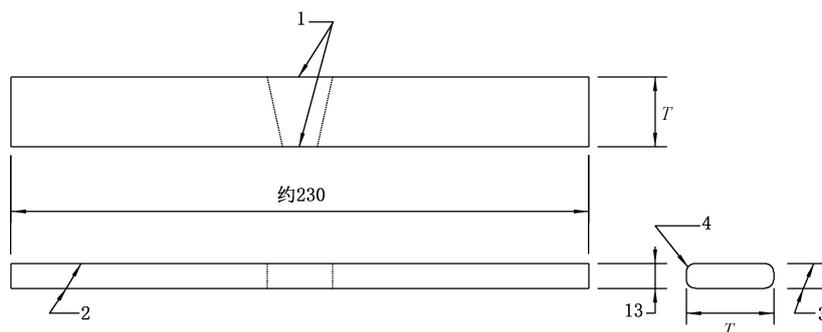
1——试样的表面可为机械或氧气切割；

2——所有圆角半径不超过 3 mm；

3——焊缝；

$T$ ——焊件壁厚。

图 5 背弯和面弯试样(壁厚 $\leq 12.7$  mm)



标引序号和符号说明：

- 1——试样的内外表面；
- 2——试样机加工 13 mm 宽，或氧乙炔切割约 19 mm 后再机加工或平滑打磨至 13 mm 宽；
- 3——试件宽度；
- 4——所有圆半径不超过 3 mm；
- T——焊件壁厚。

图 6 侧弯试样(壁厚 $>12.7$  mm)

6.6.1.3 对于外径小于 60.3 mm 的管子，应焊接两个试验焊口以获得所需的试件数量。

6.6.1.4 对于外径小于或等于 33.4 mm 的管子，可用一个全尺寸试样的拉伸试验代替两个刻槽锤断试样和两个背弯试样。

6.6.1.5 全尺寸拉伸试样的试验应按 6.6.2.2 的规定进行，且应符合 6.6.2.3 的规定。

## 6.6.2 拉伸试验

### 6.6.2.1 准备

拉伸试样(见图 2)约 230 mm 长，25 mm 宽，制样可通过机械切割或火焰切割的方法进行。图 2a) 试样不去除焊缝余高，图 2b) 试样去除焊缝余高。除有缺口或不平行外，试样不必进行其他加工。如有必要，应进行机加工处理使试样边缘光滑和平行。

### 6.6.2.2 方法

拉伸试验应符合 GB/T 228.1 的规定。拉伸试样应在拉伸载荷下拉断，且使用的拉伸试验机应能测量出拉伸试验时的最大载荷。用拉伸试验时的最大载荷除以试样在拉伸前测定的最小横截面积计算出抗拉强度。

### 6.6.2.3 要求

6.6.2.3.1 焊缝的抗拉强度，包括每个试样熔合区的抗拉强度应大于或等于管材的 SMTS，可不大于或等于管材的实际抗拉强度。

6.6.2.3.2 如试样断在母材上，且抗拉强度大于或等于管材 SMTS 的 95% 时，则该试样合格。

6.6.2.3.3 如试样断在焊缝或熔合区，其抗拉强度大于或等于管材的 SMTS，且断面缺陷符合 6.6.3.3 的规定，则该试样合格。

6.6.2.3.4 当不同强度等级的母材对接焊时，应以强度等级较低侧母材的 SMTS 作为验收值。

## 6.6.3 刻槽锤断试验

## 6.6.3.1 试样制备

刻槽锤断试样(见图 4)约 230 mm 长,25 mm 宽,制样可通过机械切割或火焰切割的方法进行。用钢锯在试样两侧焊缝断面的中心(以根焊道为准)锯槽,每个刻槽深度约为 3 mm。用此方法准备的某些机动焊及半自动焊(有时也包括焊条电弧焊)的刻槽锤断试样,有可能断在母材上而不断在焊缝上。当前一次试验表明可能会在母材处断裂时,为保证断口断在焊缝上,则可在焊缝外表面余高上刻槽,但深度从焊缝表面算起不超过 1.6 mm。如有必要,采用半自动焊或机动焊工艺的焊接工艺评定的刻槽锤断试样可在刻槽前进行宏观金相试验。

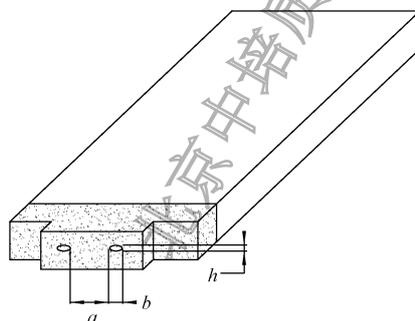
## 6.6.3.2 方法

刻槽锤断试样可使用任意有效的方法使其断在焊缝上(如拉伸、弯曲或敲击等)。断口的暴露面宽度应至少达到 19 mm。

## 6.6.3.3 要求

每个刻槽锤断试样的断裂面应完全焊透和熔合。任何气孔的最大尺寸不应大于 1.6 mm,且所有气孔的累计面积不应大于断裂面的 2%。夹渣高度不应超过 0.8 mm,长度不应大于钢管公称壁厚的 1/2,且小于 3.0 mm。相邻夹渣之间长度至少应有 13 mm,应按图 7 的方法进行测量。

单位为毫米



标引符号说明:

$a$  —— 夹渣间的距离;

$b$  —— 夹渣长度;

$h$  —— 夹渣高度。

注:此图为断裂的刻槽锤断试样,也适用于断裂拉伸和角焊试样。

图 7 刻槽锤断试样的缺欠尺寸测量

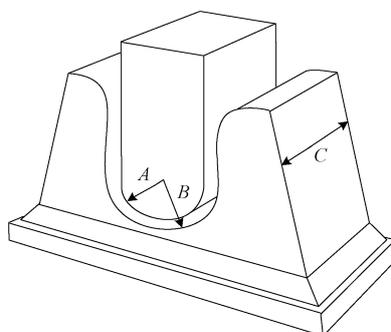
## 6.6.4 背弯和面弯试验

## 6.6.4.1 试样制备

背弯和面弯试验试样(见图 5)约 230 mm 长,25 mm 宽,且其长边缘应磨成圆角。制样可通过机械切割或火焰切割的方法进行。焊缝内外表面余高应去除至与试样母材表面平齐。试样在试验前不应压平。加工的表面应光滑平行,加工痕迹应轻微且垂直于焊缝轴线。

## 6.6.4.2 方法

弯曲试验应符合 GB/T 2653 的规定,试样可在图 8 或图 9 所示的导向弯曲试验设备上弯曲,但压头半径或压头直径不应大于图 8 或图 9 的规定。试样以焊缝为中心放置在下模或辊筒上,背弯试验以焊缝内表面为弯曲拉伸面。施给压头压力,将试样压入下模或辊筒内,直到试样弯曲成近似 U 形。



标引符号说明:

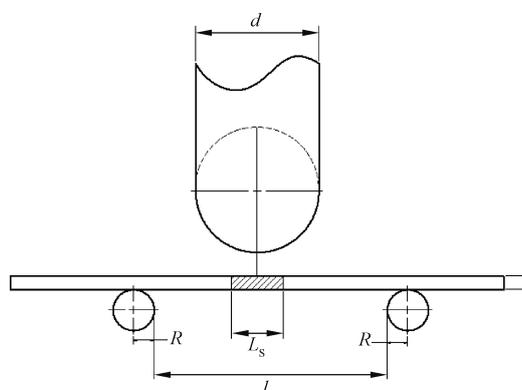
A —— 压头半径,45 mm;

B —— 胎具半径,60 mm;

C —— 胎具厚度,50 mm。

注:此图无比例。

图 8 导向弯曲试验模具



标引符号说明:

$d$  —— 压头直径,90 mm;

$R$  —— 辊筒半径,至少 10 mm;

$l$  —— 辊筒间的距离,在  $d+2t$  和  $d+3t$  之间;

$L_s$  —— 加工后试样上焊缝的最大宽度。

注:此图无比例。

图 9 三点弯曲试验辊筒

## 6.6.4.3 要求

弯曲后,在试样拉伸弯曲表面上的焊缝和熔合线区域所发现的焊缝任何方向上或焊缝和熔合区之间发现的任一裂纹或其他缺欠尺寸不应大于公称壁厚的  $1/2$ ,且不大于 3.0 mm。若未发现其他明显缺

欠,由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上均小于 6.0 mm,应视为合格。弯曲试验中每个试样均应满足评定要求。

### 6.6.5 侧弯试验

#### 6.6.5.1 试样制备

侧弯试样(见图 6)约 230 mm 长,13 mm 宽,且其长边缘应磨成圆角。试样可通过机械切割或火焰切割的方法制成宽度约 19 mm 的粗样,并用机加工或磨削制成 13 mm 宽的试验试样。试样各表面应光滑平行。焊缝的内外表面余高应去除至与试件表面平齐。

#### 6.6.5.2 方法

弯曲试验应符合 GB/T 2653 的规定,试样可在图 8 或图 9 所示的导向弯曲试验设备上弯曲,但压头半径或压头直径不应大于图 8 或图 9 的规定。试样以焊缝为中心放置在下模或辊筒上,以焊缝的侧面为弯曲拉伸面。施给压头压力,将试样压入下模或辊筒内,直到试样弯曲成近似 U 形。

#### 6.6.5.3 要求

每个侧弯试样应符合 6.6.4.3 的规定。

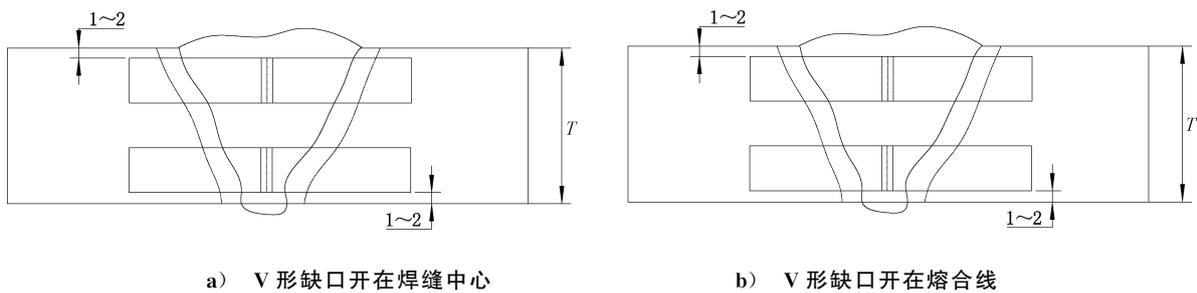
### 6.6.6 夏比冲击韧性试验

#### 6.6.6.1 试样制备

6.6.6.1.1 当规定做冲击试验时,应对每一种焊接方法(或焊接工艺)的平焊位置和立焊位置的焊缝区、熔合线各取 3 个冲击试样。对两侧母材不同的焊缝,每侧熔合线均应取 3 个冲击试样。母材壁厚小于或等于 19.1 mm 时取内表面冲击试样,壁厚大于 19.1 mm 应同时取外表面和内表面的冲击试样。

6.6.6.1.2 冲击试样(见图 10)应采用机械加工,其标准尺寸应为 10 mm×10 mm×55 mm;若无法制备标准试样时,可采用厚度为 7.5 mm 或 5.0 mm 的小尺寸试样。

单位为毫米



标引符号说明:  
T——焊件壁厚。

图 10 冲击试样

#### 6.6.6.2 方法

冲击试验应符合 GB/T 229 的规定,试验温度应等于或低于最低设计温度。

### 6.6.6.3 要求

冲击试验的合格指标应满足设计的技术要求。

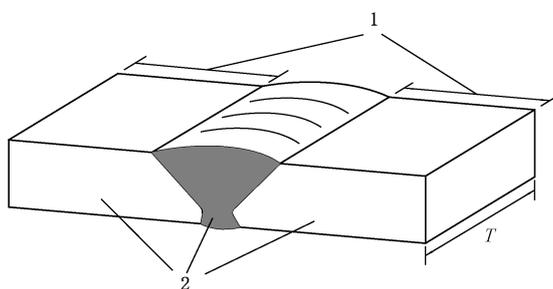
### 6.6.7 宏观金相试验

#### 6.6.7.1 试样制备

6.6.7.1.1 当规定做宏观金相试验时,应在平焊位置、立焊位置和仰焊位置各取 1 个宏观金相试样。试样尺寸见图 11。试样的一个断面应经研磨腐蚀后,作为检测面。

6.6.7.1.2 可通过机械或火焰切割的方法截取粗样,火焰切割取样后还应机加工去除至少 5 mm 热影响区。

单位为毫米



标引序号和符号说明:

1——包含热影响区和部分母材;

2——表面抛光并腐蚀;

T——试样宽度,大于或等于 10 mm。

图 11 宏观金相检验试样

#### 6.6.7.2 方法

宏观金相试验应符合 GB/T 226 的规定。

#### 6.6.7.3 要求

宏观金相试样的检查区域应包括焊缝、热影响区和相邻母材。除另有规定外,检验面不应有裂纹和未熔合,其他缺欠应符合第 10 章的规定。

### 6.6.8 硬度试验

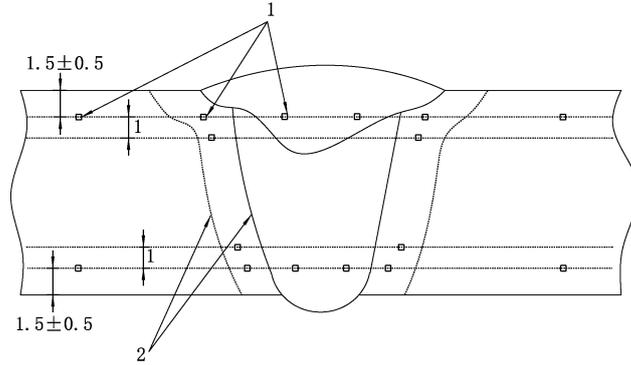
#### 6.6.8.1 试样制备

6.6.8.1.1 当规定做硬度试验时,可在宏观金相试样上进行硬度测试。

6.6.8.1.2 对下向焊工艺,应取立焊 3 点位置试样进行试验;对上向焊工艺,应取仰焊 6 点位置试样进行试验;根焊和填充焊接方向不一致时,应在立焊和仰焊位置分别取样进行试验。

#### 6.6.8.2 方法

硬度试验应符合 GB/T 4340(所有部分)的规定,宜采用 10 kg 载荷。硬度测试压痕点位置见图 12。



标引序号说明：  
 1——硬度测试点；  
 2——热影响区区域。

图 12 硬度测试压痕点示意图

6.6.8.3 要求

除另有规定外，焊接接头的最大允许硬度值应符合表 4 的规定。

表 4 焊接接头的最大允许硬度值<sup>a</sup> (HV10)

硬度测试位置	最大允许维氏硬度值(HV10)			
	焊缝金属		热影响区	
	根焊道	盖面焊道	根焊道	盖面焊道
L450 钢级及以下	265	265	265	265
L485 钢级	275	275	300	300
L555 钢级	300	325	325	325

<sup>a</sup> 列出的焊接接头最大允许维氏硬度值适用于非酸性介质管道。

6.6.9 其他试验

6.6.9.1 试样制备

当进行抗腐蚀(SSC、HIC)和断裂韧性(CTOD)等试验时，试件制备应满足相关标准的规定。

6.6.9.2 方法

SSC 试验应符合 GB/T 4157 的规定，HIC 试验应符合 GB/T 8650 的规定，CTOD 试验应符合 GB/T 28896 的规定。

6.6.9.3 要求

合格指标应满足设计的技术要求。

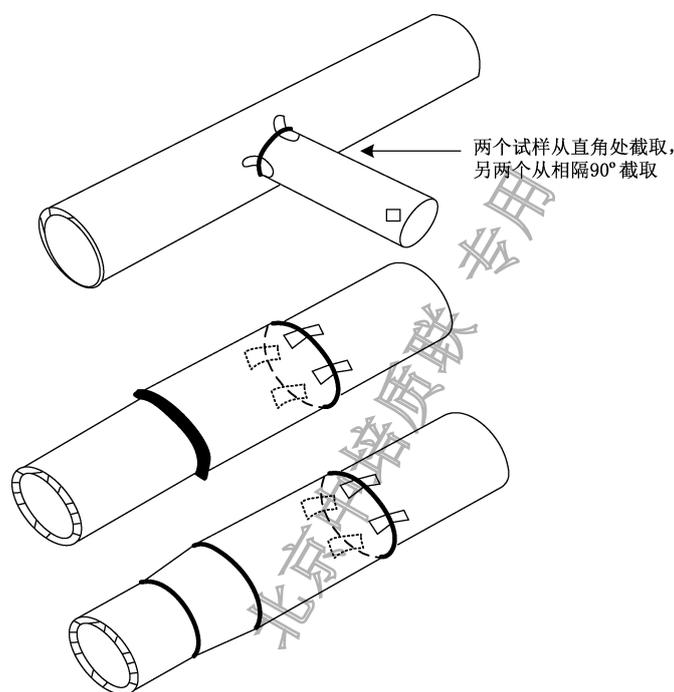
## 6.7 试验管接头的焊接——角焊

应按图 13 所示的任一结构进行角焊。

## 6.8 焊接接头的试验——角焊

### 6.8.1 试样制备

角焊缝的焊接工艺评定及焊工上岗考试的刻槽锤断试样取样应按图 13 中示意的位置进行。试样应至少 4 件,刻槽锤断试样应按图 14 进行准备。制样可通过机械切割或火焰切割的方法进行。试样宽度应大于或等于 25 mm,并有足够的长度使之能在焊缝处断裂。对于外径小于 60.3 mm 的管子,为满足所需的试样数量,应焊接两个试验焊口。试样应在空冷至室温后进行试验。



图中所示的试样位置适用于直径大于或等于 60.3 mm 的接头,对于外径小于 60.3 mm 的接头,试样应从大致相同的位置切取,但应从两个试验焊口上各切取两个试样。

图 13 角焊缝的焊接工艺评定及焊工上岗考试的刻槽锤断试样位置示意图

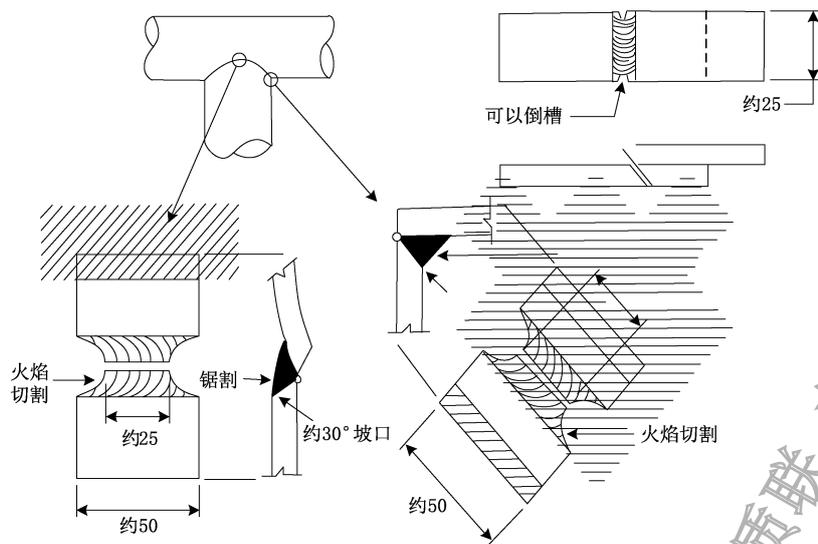


图 14 角焊缝的焊接工艺评定及焊工上岗考试的试样刻槽位置(含支管连接)示意图

## 6.8.2 方法

可采用任何一种适当的方法使角焊试样在焊缝处锤断。如有必要,也可采用 4 个宏观金相试验代替 4 个刻槽锤断试验。每个试样应至少有一个焊缝剖面进行打磨和抛光,并可使用 4% 硝酸酒精溶液等其他适合的侵蚀剂进行侵蚀,以得到清晰的焊缝组织。

## 6.8.3 要求

6.8.3.1 每个角焊试样的断裂表面应完全焊透和熔合,应满足以下要求:

- a) 单个气孔尺寸不大于 1.6 mm;
- b) 累计气孔面积不大于断裂面的 2%;
- c) 夹渣的深度不大于 0.8 mm,长度不大于钢管公称壁厚的 1/2 且小于 3.0 mm;
- d) 相邻夹渣之间的间距不小于 13 mm,测量方法见图 7,氢白点可不作为不合格原因。

6.8.3.2 每个金相试样剖面的焊缝的根部应完全熔合、无裂纹。角焊缝的焊脚高度应至少为焊接工艺规程的要求高度,角焊缝的凹凸度误差不应超过 1.5 mm,咬边深度不应超过 0.8 mm 与钢管壁厚 12.5% 两者中的最小值,焊接缺欠应符合 6.6.3.3 的规定。

## 7 焊工上岗资格

### 7.1 一般规定

焊工应通过上岗考试,考试项目应在其所持的合格项目范围并在有效期内,方可进行长输管道焊接作业。

### 7.2 上岗考试

7.2.1 焊工在上岗考试时,应使用和管道安装焊接时相同的焊接工艺。

7.2.2 当焊接工艺规程中有 7.3.2 和 7.4.2 中规定的基本要素变更时,应重新对焊工进行上岗考试。需

重新进行焊工上岗考试的基本要素与焊接工艺评定的基本要素不尽相同。

7.2.3 进行焊接工艺评定焊件焊接的焊工,焊接工艺评定合格后,该焊工自动取得该工艺上岗资格。

7.2.4 上岗考试前,应给焊工一定时间熟悉焊接工艺规程,熟悉和调整焊接设备。

7.2.5 焊工上岗考试过程应被见证。

7.2.6 焊接考试前焊工应对组对焊口进行检查确认,合格后方可进行焊接。

7.2.7 焊工应按 7.3.1 或 7.4.1 的规定焊接一个完整的管接头或管接头的扇形段。

7.2.8 外径小于或等于 323.9 mm 的管子,焊工考试应焊接一个完整的管圈。

7.2.9 外径大于 323.9 mm 的管子,焊工考试可采用 1/2 周长的管圈,此时两名焊工应同时对称施焊各自的一半管圈(0 点~6 点和 6 点~12 点),该考试方式为半周长双焊工考试。进行破坏性试验时,应依照 7.6.1 的规定分别从各自焊接的 1/2 周长焊缝上取样。

7.2.10 考试焊缝根焊、填充(包括热焊)和盖面可由一名焊工完成,也可由多名焊工完成。当根焊、填充(包括热焊)和盖面采用不同焊接方法、焊接方向或填充金属分组不同时可由多名焊工进行组合考试,当两名焊工组合考试时,如果该考试焊缝出现不合格,则两名焊工考试都不合格。

7.2.11 采用半周长双焊工考试时,半周长焊缝合格与否不影响另外半周长考试焊工的考试结果,除非缺陷发生在半周长交叉位置(0 点或 6 点)且难以区分。

### 7.3 单项资格

#### 7.3.1 通则

7.3.1.1 取单项资格时,焊工应使用评定合格的焊接工艺,焊接一个完整的管接头或一个钟点标记 0 点~6 点、6 点~12 点的管接头扇形段作为考试焊口;也可焊接一个完整的特定焊层,如根焊层、热焊层、填充层或盖面层。

7.3.1.2 当取对接管资格时,应选择旋转焊接位置或固定焊接位置进行。当选择固定焊接位置时,管轴线应平行于水平线[代号 5G(角度误差为 $\pm 15^\circ$ )],或垂直于水平线(代号 2G),或倾斜于水平线约  $45^\circ$ (代号 6G)。

7.3.1.3 当取支管连接资格、角接头资格或其他类型接头的单项资格时,应按专用的焊接工艺规程进行。取得的资格范围应限定在该工艺规程规定的范围内。

7.3.1.4 若考试焊口经检验和试验符合 7.5 和 7.6 或 7.7 的规定,则应给焊工颁发相应的单项资格证。

#### 7.3.2 资格范围

当焊接工艺规程有下列基本要素变更时,焊工应重新进行资格考试。

- a) 由一种焊接方法变为另一种焊接方法或其他焊接方法的组合。
- b) 焊接方向由上向焊变为下向焊,或反之。
- c) 对接焊缝考试合格可以进行角焊缝的焊接。
- d) 从一种管外径分组变为另一种管外径分组,管外径的分组如下:
  - 1) 外径小于 60.3 mm;
  - 2) 外径大于或等于 60.3 mm 且小于或等于 323.9 mm;
  - 3) 外径大于 323.9 mm。
- e) 对接焊从一种管壁厚分组变为另一种管壁厚分组;支管连接和搭接角焊缝,管子壁厚不是重要基本要素。壁厚分组及适用壁厚范围见表 5。

表 5 对接焊单一考试适用壁厚范围

类型	考试用管壁厚( $t_1$ )	适用壁厚范围( $t_2$ )
手工焊和半自动焊	$t_1 < 4.8 \text{ mm}$	$t_2 < 4.8 \text{ mm}$ 或 $1.5t_1$ 中较大值
	$4.8 \text{ mm} \leq t_1 \leq 19.1 \text{ mm}$	$4.8 \text{ mm} \leq t_2 \leq 19.1 \text{ mm}$ 或 $1.5t_1$ 中较大值
	$t_1 > 19.1 \text{ mm}$	$t_2 > 19.1 \text{ mm}$

- f) 焊接位置的变更[如从旋转焊变为固定焊;或从垂直焊接位置(2G)变为水平焊接位置(5G),或反之]。若焊工已取得  $45^\circ$  倾斜固定管资格(6G),则可焊接任意焊接位置的对接焊和角焊。
- g) 接头设计的变更(如由无垫板变为有垫板,或反之;或由 V 形坡口变为 U 形坡口,或反之),坡口角度或钝边的细小变化不属于基本要素。
- h) 接头设计的变更(如由无垫板变为有垫板,或反之;或由 V 形坡口变为 U 形坡口,或反之)。
- i) 支管连接单一考试适用的焊接位置范围见表 6。

表 6 支管连接单一考试适用位置范围

支管连接考试的位置	考试的支管直径/主管直径比值	适用的支管布置试件位置 <sup>a</sup>	适用的角焊缝位置角度 <sup>b</sup>
顶部	$< 0.75$	顶部	$75^\circ \sim 90^\circ$ (水平焊缝)
	$\geq 0.75$	顶部、侧面	$0^\circ \sim 90^\circ$
侧面	所有	顶部、侧面、底部	$0^\circ \sim 90^\circ$
底部	$< 0.75$	顶部、底部	$75^\circ \sim 90^\circ$ (水平焊缝)
	$\geq 0.75$	顶部、侧面、底部	$0^\circ \sim 90^\circ$
本表不能替代 7.3.2 d)管道对接管径的分组。			
<sup>a</sup> 顶部平焊为 $0^\circ \sim 15^\circ$ (约 12 点至 12:30 方向),侧面立焊为 $15^\circ \sim 105^\circ$ (约 12:30 至 3:30 方向),底部仰焊为 $105^\circ \sim 180^\circ$ (约 3:30 至 6 点方向)。			
<sup>b</sup> $0^\circ$ = 管管水平固定(1G), $90^\circ$ = 管管垂直固定(2G)。			

## 7.4 全项资格

### 7.4.1 通则

7.4.1.1 取全项资格时,焊工应使用评定合格的焊接工艺进行下述两项考试。

- a) 固定焊接位置对接焊。管位置可是水平固定(5G),或是倾斜固定(6G)。管外径不应小于 168.3 mm,公称管壁厚不应小于 6.4 mm,焊口内表面无垫板。当管外径大于 323.9 mm 时,可采用半周长双焊工考试试件。
- b) 支管连接。考试的焊工应独立完成支管连接所需的划线、切割、组对和焊接工作。考试用主管和支管外径应相同,且管的外径不应小于 60.3 mm,公称管壁厚不应小于 6.4 mm。在主管上切割一全尺寸孔。焊接时,应使主管管轴线在水平位置,支管管轴线与主管管轴线垂直,支管在主管下方。

7.4.1.2 对接焊的考试焊口的试样应从图 15 或图 16 所示的位置上取样,且相邻试样的试验类型顺序相同。若考试焊口经检验和试验符合 7.5 和 7.6 或 7.7 的规定,则焊接该焊口的焊工获得固定焊接位置对接焊资格。

7.4.1.3 支管连接的考试焊口的试样应从图 13 或图 14 所示的位置上取样。试样应按照 6.8.1 和 6.8.2 的规定进行准备和试验,其断裂面上缺陷应符合 6.8.3 的规定。

7.4.1.4 若焊工未能通过固定位置对接焊或支管连接焊,可针对不合格位置的项目补考一次。

## 7.4.2 资格范围

7.4.2.1 如焊工已按 7.4.1 所述的方法通过对接焊[倾斜固定(6G)]和支管连接两项考试,且考试用管的外径大于或等于 323.9 mm,则该焊工取得全项资格,可焊接所有焊接位置、管壁厚、管外径、接头形式和管件的焊口。

7.4.2.2 如焊工已按 7.4.1 所述的方法通过对接焊和支管连接两项考试,且考试用管的外径小于 323.9 mm,则该焊工取得全项资格,可焊接所有焊接位置、管壁厚、接头形式和管件的焊口,但管外径应小于或等于其考试用管的外径。

7.4.2.3 若考试焊口仅满足 7.4.1.3 的规定,则焊接该焊口的焊工应仅获得支管连接资格。

7.4.2.4 如焊接工艺规程中有下列基本要素的任一变更,焊工应重新进行上岗考试:

- a) 从一种焊接方法变为另一种焊接方法或其他焊接方法的组合;
- b) 焊接方向由上向焊变为下向焊,或反之。

## 7.5 考试焊口外观检查

7.5.1 对接焊缝,在整个圆周上,焊缝应完全焊透。除盖面焊道的咬边外,应无裂纹、未焊透、烧穿及其他缺陷。盖面采用多道焊时,后续焊道应覆盖前面焊道至少 1/3,焊缝表面鱼鳞纹、相邻焊道间沟槽的底部应高于母材,沟槽深度不应超过 1.0 mm。角焊缝的凹度或凸度不应大于 1.5 mm。

7.5.2 支管连接根焊道不应有任何超过 6 mm 的烧穿,在焊缝任何 300 mm 的连续长度中,未经修补的烧穿,其最大尺寸的累积长度不应超过 13 mm。

7.5.3 焊缝应整齐均匀,盖面焊道的咬边深度不应大于管壁厚的 12.5%,且不超过 0.8 mm。

7.5.4 在焊缝任何 300 mm 的连续长度中,累计咬边长度不应大于 50 mm。

7.5.5 当采用半自动焊根焊时,穿丝不应超过 2 处,穿丝长度尽可能短。

7.5.6 如考试焊口不符合 7.5.1~7.5.5 的要求,则该焊口不应再做其他的试验和检验。

## 7.6 破坏性试验

### 7.6.1 对接焊试样

当考试焊口是完整环焊缝时,应按照图 15、图 16 中所示的取样位置在每个考试焊口上取样;当考试焊口是管接头的扇形段时,则应从扇形段上截取数量相等的试样。试验类型和试样数量要求见表 7。试样应空冷至室温后试验。

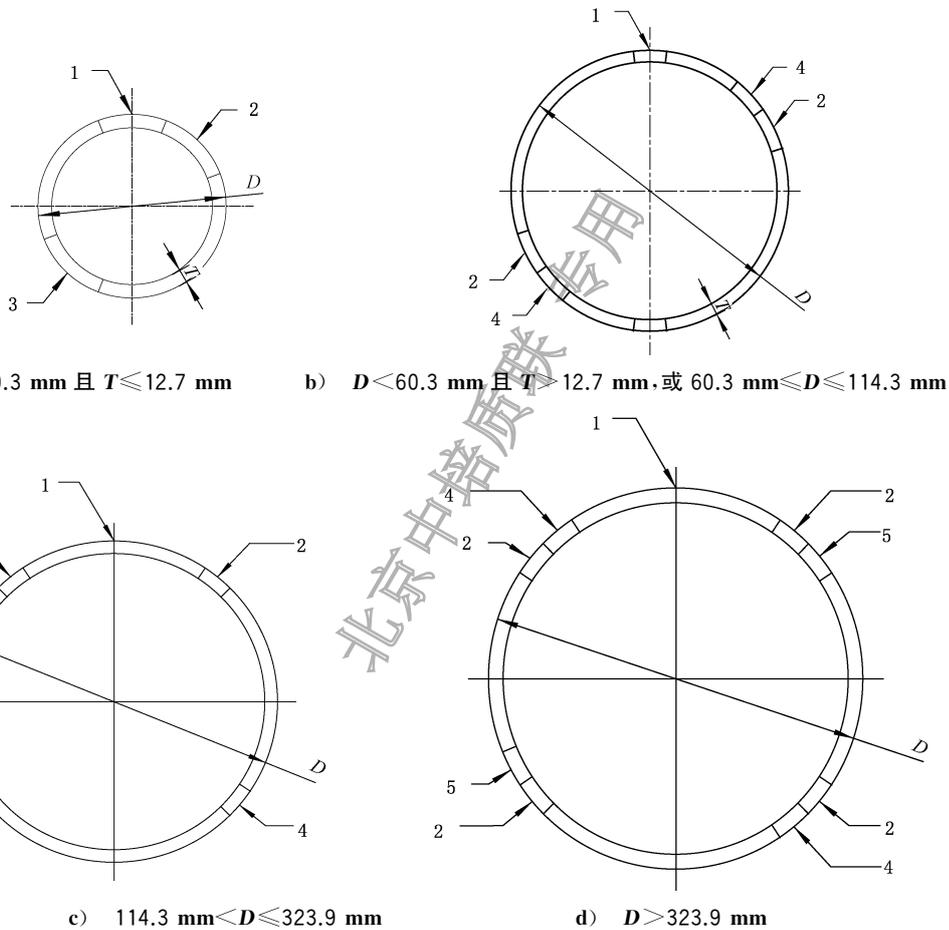
表 7 试验类型和试样数量

管外径/mm		试样数量/个			
		刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯
壁厚≤12.7 mm	<60.3°	2	2	0	0
	≥60.3~114.3	2	2	0	0
	>114.3~323.9	2	2	0	0
	>323.9	4	2	2	0

表 7 试验类型和试样数量 (续)

管外径/mm		试样数量/个			
		刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯
壁厚>12.7 mm	≤114.3	2	0	0	2
	>114.3~323.9	2	0	0	2
	>323.9	4	0	0 </td <td>4</td>	4

<sup>a</sup> 外径小于 60.3 mm 的管子应焊接两个试验焊缝,各取 1 个刻槽锤断试样及 1 个背弯试样。对外径小于或等于 33.4 mm 的管子,可用 1 个全尺寸管试样的拉伸试验代替刻槽锤断和背弯试验。

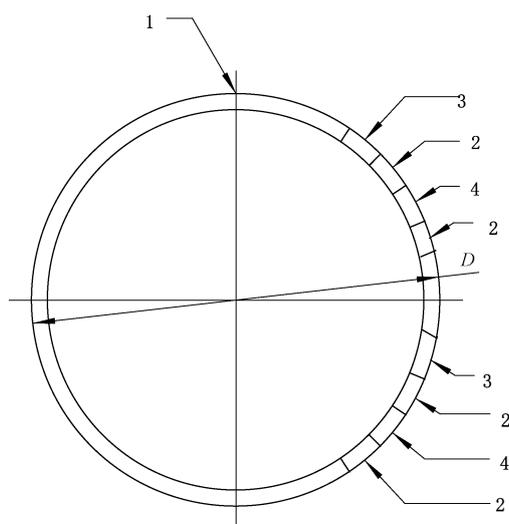


标引序号和符号说明:

- 1 ——管顶;
- 2 ——刻槽锤断;
- 3 ——背弯;
- 4 ——背弯或侧弯;
- 5 ——面弯或侧弯;
- $D$  ——焊件外径;
- $T$  ——焊件壁厚。

试件不应包含纵向焊缝。

图 15 全周长焊工考试对接焊试件试样位置



标引序号和符号说明：

- 1 —— 管顶；
- 2 —— 刻槽锤断；
- 3 —— 背弯或侧弯；
- 4 —— 面弯或侧弯；
- D —— 焊件外径, 大于 323.9 mm。

图 16 半周长焊工考试对接焊试件取样位置

#### 7.6.2 对接焊的刻槽锤断和弯曲试验

试样的制备及试验应按 6.6 的规定进行。

#### 7.6.3 对接焊的刻槽锤断试验验收要求

如任一时刻槽锤断试样断口的缺欠超出 6.6.3.3 的规定范围, 则该焊工考试不合格。刻槽锤断试样不合格不应复取试样。

#### 7.6.4 对接焊的弯曲试验验收要求

7.6.4.1 如任一弯曲试样拉伸弯曲面的缺欠超出 6.6.4.3 或 6.6.5.3 的规定范围, 则该焊工考试不合格。

7.6.4.2 对级别较高的钢管焊口的弯曲试样可弯曲到不是完全的 U 形。如试样断裂, 且其断面满足 6.6.3.3 的规定, 则该试样合格。

7.6.4.3 如只有一个弯曲试样因缺欠造成不合格, 且考试机构和考试监督认定该试样中的缺欠不是该焊缝的典型缺欠, 宜在紧邻该试样的地方加倍复取替换试样试验, 如替换试样仍不合格, 则该焊工考试不合格。

#### 7.6.5 角焊缝试样

7.6.5.1 应从每个考试焊口上取样。当考试焊口是一道完整的环焊缝时, 应按照图 13、图 14 所示位置取样; 如考试焊口是管接头的扇形段时, 则应从每个扇形段上截取数量相等的试样。试样在试验前应空冷至室温。

7.6.5.2 角焊缝刻槽锤断试样应为 4 个。

### 7.6.6 角焊缝试样的试验方法和要求

角焊缝试样应按照 6.8 的规定进行准备和试验。

### 7.7 考试焊件的无损检测——仅用于对接焊

#### 7.7.1 概述

在对接管上岗考试时,可用射线检测或与工程项目相符合的无损检测方法代替 7.6 中规定的破坏性试验。

#### 7.7.2 检测要求

考试焊件采用射线检测应符合 SY/T 4109 的 II 级要求,采用全自动超声检测应符合 GB/T 50818 的规定。

### 7.8 补考

7.8.1 因焊工不能控制的条件或环境所造成的不合格,经考试机构和考试监督同意,可给该焊工一次补考机会。

7.8.2 其他不合格的焊工在未经考试机构和考试监督认可的培训前,不应补考。

### 7.9 记录

7.9.1 宜见表 C.3(该表格可进行修改以适合不同考试的要求,但其记录内容应详细,满足本文件对焊工考试的要求)详细记录每名焊工的考试过程。

7.9.2 合格焊工的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如对某个合格焊工的能力有疑问时,可要求重新进行上岗考试。

## 8 现场焊接

### 8.1 一般规定

8.1.1 管道工程的焊接应使用评定合格的焊接工艺规程,焊工应取得相应上岗资格。

8.1.2 管口表面在焊接前应均匀光滑,无起鳞、裂纹、锈皮、夹渣、油脂、油漆及其他影响焊接质量的有害物质。

8.1.3 接头设计及对口间隙应符合所采用的焊接工艺规程的要求。

### 8.2 管口组对

8.2.1 壁厚钢管对接焊时,管口错边量宜小于或等于  $1/8$  壁厚和 3 mm 之间的较小值,且连续 50 mm 的焊缝长度范围内局部错边量不应大于 3 mm。

8.2.2 如果由于尺寸偏差造成一处较大的集中错边,应沿管口圆周将其均匀分布。不宜直接用锤击法校正错口。

8.2.3 不等壁厚对接焊符合下列规定:

- a) 壁厚差小于或等于 2.5 mm 时可直接焊接;
- b) 壁厚差大于 2.5 mm、小于  $1/2$  薄壁管壁厚时,应采用内削薄坡口或孔锥型坡口处理,对于 DN 大于或等于 600 mm 管道,宜优先采用孔锥型坡口处理;

- c) 内削薄坡口过渡角度宜小于或等于  $15^{\circ}$ , 采用孔锥型坡口时, 厚壁管削薄长度应满足设计文件要求, 过渡角度宜小于或等于  $30^{\circ}$ ;
- d) 壁厚差大于  $1/2$  薄壁管壁厚时, 应采用过渡管进行过渡。

### 8.3 对口器使用要求

使用对口器应符合下列要求:

- a) 优先选用内对口器, 不具备使用内对口器条件时选用外对口器;
- b) 使用内对口器时, 在根焊全部完成后拆卸和移动对口器;
- c) 外对口器撤离时, 完成的根焊道长度和间距均匀、对称分布于管口圆周, 符合焊接工艺规程规定的长度比例要求且不低于钢管圆周长度的  $50\%$ ;
- d) 移动对口器时, 管子保持稳定和平衡。

### 8.4 坡口

#### 8.4.1 工厂加工

所有管端坡口应符合焊接工艺规程中对接头设计的要求。

#### 8.4.2 现场加工

管端坡口现场加工宜用坡口机或机械式火焰切割机进行。如建设单位同意, 也可用手工火焰切割方法进行。坡口加工后应光滑均匀, 尺寸应符合焊接工艺规程要求。

### 8.5 气候条件

8.5.1 低温、大气潮湿、大风或雨雪等恶劣天气条件影响焊接质量时, 若无有效的防护措施不应进行焊接操作。焊接环境应符合焊接工艺规程规定的条件。有效的防护措施包括遮雨篷、遮风篷、防风棚及防风保温棚等。

8.5.2 环境温度低于  $-5^{\circ}\text{C}$  时, 焊接机具和设备应满足低温环境下的野外工作条件要求。有预热要求时, 宜采用中频感应加热、电加热、火焰加热或上述方法的组合方式。

### 8.6 作业空间

8.6.1 当管道在沟上焊接时, 管口周围焊接作业空间距离不应小于  $400\text{mm}$ 。沟下焊接时, 焊接工作坑的大小应使焊工操作容易。

8.6.2 机动焊的成套设备应合理摆放和布线, 保证焊工在工作过程的安全和无障碍通过。

8.6.3 机动焊和半自动焊时, 送丝机与焊炬之间的空间位置应能够保证焊接过程中送丝顺畅。

### 8.7 层间清理

8.7.1 坡口和每层焊道上的锈皮及焊渣, 在下一步焊接前应清除干净。打磨清理工具应符合焊接工艺规程的规定。若无规定, 可使用手动工具或电动工具。

8.7.2 当采用机动焊或半自动焊时, 在下一焊道焊接前, 应用砂轮磨除已完成焊道表面的密集气孔、引弧处、高凸处及熔渣。

### 8.8 施焊

8.8.1 固定焊时, 焊口应可靠固定, 并具有足够的焊接作业空间。

8.8.2 旋转焊时,应采用旋转滚架,并应使用足够的支撑滚轮使组对的管道在旋转焊接时保持平直稳定。

8.8.3 填充焊和盖面焊的焊道数量,应保证完成的焊缝横断面在整个管口上均匀一致。

8.8.4 相邻焊层引弧点应错开。焊口完成后应将表面彻底清理干净。

8.8.5 焊缝表面的任何一点均不应低于钢管外表面,焊缝余高宜在 0 mm~3 mm 范围内,且向母材的过渡应平滑。焊缝表面每侧宽度应大于或等于坡口表面宽度 0.5 mm。

8.8.6 焊工可自行进行修补作业。

## 8.9 焊口标记

每个焊工应在自己完成的焊口上按规定的方法标记。

## 8.10 预热、道间温度、后热及焊后热处理

8.10.1 预热、道间温度、后热及焊后热处理的加热方法、温度范围等应符合焊接工艺规程的规定。

8.10.2 道间温度不能满足焊接工艺规程要求时,可采取电加热、火焰加热等措施。

## 9 焊缝检验与人员资格

### 9.1 检验内容

9.1.1 应对焊缝进行无损检测或力学性能试验,检验可在焊接过程中或焊接完成后进行。

9.1.2 检验比例应按设计文件的规定执行。

### 9.2 检验方法

9.2.1 无损检测包括射线检测、X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测、超声检测、相控阵超声检测、全自动超声检测、磁粉检测、渗透检测等方法。使用的检测方法应能检出焊缝缺欠,并便于对缺欠进行准确性和定量。

9.2.2 力学性能试验应包括截取一道完整焊口,在该焊口上切取试样和对试样进行试验及检验,试验的准备应符合 6.6 的规定。

### 9.3 无损检测人员要求

9.3.1 射线检测、X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测、超声检测、相控阵超声检测、磁粉检测、渗透检测人员资格要求应符合 SY/T 4109 的规定。

9.3.2 全自动超声检测人员资格要求应符合 GB/T 50818 的规定。

9.3.3 无损检测人员进行检测操作前可要求参加上岗考试并获得上岗证书。

## 10 无损检测验收

### 10.1 射线检测、X 射线数字成像检测和 X 射线计算机辅助成像检测

#### 10.1.1 根部未焊透(IP)

当根部未焊透缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

a) 单个长度超过 25 mm;

- b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 25 mm;  
 c) 当焊缝长度小于 300 mm 时,其累计长度超过焊缝长度的 8%。  
 根部未焊透示意图见图 17。

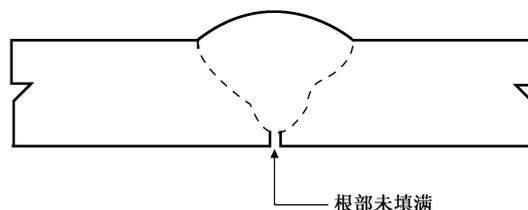


图 17 根部未焊透示意图

#### 10.1.2 错边未焊透(IPD)

当错边未焊透缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个长度超过 50 mm;  
 b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 75 mm。  
 错边未焊透示意图见图 18。

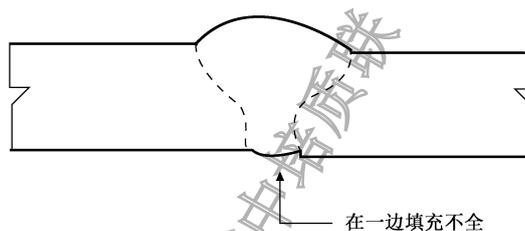


图 18 错边未焊透示意图

#### 10.1.3 中间未焊透(ICP)

当中间未焊透缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个长度超过 50 mm;  
 b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 50 mm。  
 中间未焊透示意图见图 19。

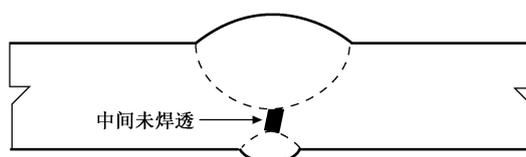


图 19 中间未焊透示意图

#### 10.1.4 表面未熔合(IF)

当表面未熔合缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个长度超过 25 mm；
  - b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 25 mm；
  - c) 当焊缝长度小于 300 mm 时,其累计长度超过焊缝长度的 8%。
- 表面未熔合示意图见图 20。

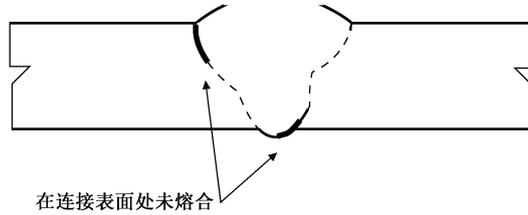


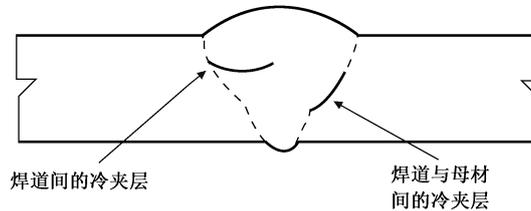
图 20 焊道根部或接头顶面表面未熔合示意图

### 10.1.5 夹层未熔合 (IFD)

当夹层未熔合缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个长度超过 50 mm；
- b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 50 mm；
- c) 其累计长度超过焊缝长度的 8%。

夹层未熔合示意图见图 21。



注:冷夹层为夹层两面未熔合。

图 21 夹层未熔合示意图

### 10.1.6 内凹 (IC)

10.1.6.1 内凹的深度为管壁表面的轴向延伸线和该焊道表面最低点之间的垂直距离,根部内凹示意图见图 22。

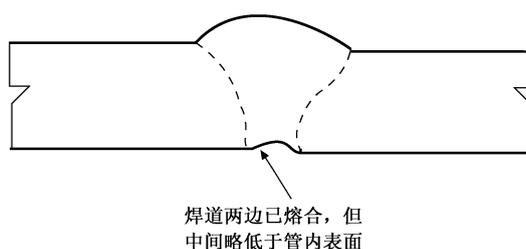


图 22 根部内凹示意图

10.1.6.2 当内凹的影像黑度不超过相邻较薄侧母材的黑度时,任何长度均允许。

10.1.6.3 当内凹的影像黑度超过相邻较薄母材的黑度时,应符合 10.1.7 的规定,按烧穿进行评定。

### 10.1.7 烧穿(BT)

10.1.7.1 当管外径大于或等于 100 mm 时,如果烧穿符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- 烧穿影像的任一部分黑度超过相邻较薄侧母材黑度,且其最大长度超过 6 mm;
- 烧穿影像的任一部分黑度超过相邻较薄侧母材黑度,且最大长度超过接头较薄侧的公称壁厚;
- 在任何连续 300 mm 焊缝长度中(当焊缝长度小于 300 mm 时,取全部焊缝长度),影像黑度的任一部分超过相邻较薄侧母材黑度的烧穿,其累计长度超过 13 mm。

10.1.7.2 当管外径小于 100 mm 时,如果烧穿符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- 烧穿影像的任一部分黑度超过相邻较薄侧母材的黑度,且其最大长度超过 6 mm;
- 烧穿影像的任一部分黑度超过相邻较薄侧母材黑度,且最大长度超过接头较薄侧母材的公称壁厚;
- 无论长度如何,烧穿影像的任一部分黑度大于相邻较薄侧母材黑度,且多于一处。

### 10.1.8 夹渣(SI)

10.1.8.1 在评定时,把夹渣在射线底片上显示的最大长度作为夹渣的评定长度。

10.1.8.2 当管外径大于或等于 100 mm 时,夹渣符合下列任一条件时,应评定为缺陷。

- 单个细长夹渣(ESI)长度超过 50 mm。针对间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣,其任一夹渣宽度都小于或等于 0.8 mm 时,应视为一个缺欠,当任一夹渣宽度超过 0.8 mm,则应视为不同的缺欠。
- 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,细长夹渣(ESI)的累计长度超过 50 mm。
- 细长夹渣(ESI)的宽度超过 1.6 mm。
- 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,独立夹渣(ISI)的累计长度超过 13 mm。
- 独立夹渣(ISI)的宽度超过 3 mm。
- 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,最大宽度达到 3 mm 的独立夹渣(ISI)超过 4 个。
- 细长夹渣(ESI)和独立夹渣(ISI)的累计长度超过焊缝长度的 8%。

10.1.8.3 当管外径小于 100 mm 时,夹渣符合下列任一条件时,应评定为缺陷。

- 单个细长夹渣(ESI)长度超过接头较薄侧公称壁厚的 3 倍。针对间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣,其任一条夹渣宽度都小于或等于 0.8 mm 时,应视为一个缺欠,当任一条夹渣宽度超过 0.8 mm,则应视为不同的缺欠。
- 细长夹渣(ESI)的宽度超过 1.6 mm。

- c) 宽度超过较薄侧公称壁厚 0.5 倍的独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过接头较薄侧公称壁厚的 2 倍。
- d) 细长夹渣 (ESI) 和独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过焊缝长度的 8%。

10.1.9 气孔

10.1.9.1 圆形缺欠用圆形缺欠评定区进行评定, 评定区域的大小应符合表 8 的规定, 评定区框线的长边应与焊缝平行, 框线内应包含最严重区域的主要缺欠, 与框线外切的缺欠不应计入评定区, 相割的缺欠应计入评定区。

表 8 缺欠评定区

母材厚度 $T/\text{mm}$	$\leq 25$	$> 25 \sim 50$
评定区尺寸/ $\text{mm} \times \text{mm}$	$10 \times 10$	$10 \times 20$

10.1.9.2 圆形缺欠应按照表 9 换算成点数, 由于材质或结构等影响, 进行返修可能会产生不利后果的对接接头, 评定时圆形缺欠点数可放宽一至二点。

表 9 缺欠点数换算表

缺欠长/ $\text{mm}$	$\leq 1$	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	$> 8$
点数	1	2	3	6	10	15	25

10.1.9.3 不计点数的圆形缺欠应符合表 10 的规定。

表 10 不计点数的缺欠尺寸

母材厚度 $T/\text{mm}$	缺欠长径
$\leq 25$	$\leq 0.5$
$> 25 \sim 50$	$\leq 0.7$

10.1.9.4 当圆形缺欠符合下列任一条件时, 应评定为缺陷:

- a) 当母材厚度  $\geq 2 \text{ mm}$  且  $\leq 5 \text{ mm}$  时, 缺欠点数大于 3;
- b) 当母材厚度  $> 5 \text{ mm}$  且  $\leq 15 \text{ mm}$  时, 缺欠点数大于 6;
- c) 当母材厚度  $> 15 \text{ mm}$  且  $\leq 25 \text{ mm}$  时, 缺欠点数大于 9;
- d) 当母材厚度  $> 25 \text{ mm}$  且  $\leq 50 \text{ mm}$  时, 缺欠点数大于 12;
- e) 圆形缺欠长径大于  $T/2$ ;
- f) 底片上黑度较大的缺欠, 确认为柱孔或针孔。

10.1.9.5 当空心焊道缺欠符合下列任一条件时, 应评定为缺陷:

- a) 单个长度超过 13 mm;
- b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中, 其累计长度超过 50 mm;
- c) 长度大于 6 mm 的单个空心焊道 (HB) 间的间隔小于 50 mm;
- d) 所有空心焊道 (HB) 的累计长度超过焊缝长度的 8%。

### 10.1.10 裂纹(C)

当裂纹缺欠符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 焊缝中除浅弧坑裂纹或星形裂纹以外任何尺寸或位置的裂纹;
- b) 长度超过 4 mm 的浅弧坑裂纹或星形裂纹(浅弧坑裂纹或星形裂纹是位于焊缝收弧处由于焊缝金属在固化期间收缩引起的结果)。

### 10.1.11 咬边

当外咬边(EU)或内咬边(IU)符合下列任一条件时,应评定为咬边缺陷:

- a) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,任意组合的外咬边(EU)和内咬边(IU)的累计长度超过 50 mm;
- b) 任意组合的外咬边(EU)和内咬边(IU)的累计长度超过焊缝长度的 1/6(外观检查或无损检测发现的咬边缺欠验收见 10.5)。

### 10.1.12 缺陷累计评定

除了咬边和错边未焊透外,当其他缺欠的累计长度符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,缺欠累计长度超过 50 mm;
- b) 缺欠累计长度超过焊缝长度的 8%。

### 10.1.13 管子和管件缺欠

对管子或管件进行射线检测、X 射线数字成像检测或 X 射线计算机辅助成像检测时,缺欠处理应按设计文件要求执行。

## 10.2 磁粉检测

### 10.2.1 磁痕分类

10.2.1.1 任何最大尺寸小于或等于 1.6 mm 的磁痕显示应判定为非相关显示,任何大于 1.6 mm 的磁痕显示,在未重新用磁粉或其他无损检测方法判定其是否是真实存在的缺欠前,均应判为相关显示。

10.2.1.2 重新检测前,宜将检测表面磨光或进行其他处理,当一个显示确定为非相关显示后,其他相同类型的磁痕显示不必重新检测,可直接判定为非相关显示。

10.2.1.3 由缺欠引起的磁痕显示为相关显示。

### 10.2.2 验收标准

10.2.2.1 当相关显示符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 评定为弧坑裂纹或星形裂纹的线形显示,其长度超过 4 mm;
- b) 评定为裂纹的线形显示(弧坑裂纹和星形裂纹除外);
- c) 评定为未熔合的线形显示,在任何 300 mm 连续焊缝长度中,累计长度超过 25 mm 或者超过焊缝长度的 8%。

10.2.2.2 当圆形显示符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 链状圆形显示,在同一直线上存在 4 个以上直径大于 1.5 mm 且间距小于 1.5 mm 的圆形显示时,按链状圆形显示处理;
- b) 单个圆形显示的尺寸大于相邻较薄侧管壁厚度的 1/2;

- c) 工作压力小于或等于 4.0 MPa 的管道,单个圆形显示大于 5 mm 或 150 mm×25 mm 的评定区域内缺欠磁痕长度的总和大于 12 mm;
- d) 工作压力大于 4.0 MPa 的管道,单个圆形显示大于 4 mm 或 150 mm×25 mm 的评定区域内缺欠磁痕长度的总和大于 9 mm。

### 10.2.3 管子和管件缺欠

对管子或管件进行磁粉检测时,缺欠处理应按设计文件要求执行。

## 10.3 渗透检测

### 10.3.1 显示分类

10.3.1.1 任何最大尺寸小于或等于 1.6 mm 的显示应判定为非相关显示,任何最大尺寸大于 1.6 mm 的显示,在未重新用渗透或其他无损检测方法判别其是否是真实存在的缺欠前,均判为相关显示。

10.3.1.2 重新检测前,应将检测表面磨光或进行其他处理,当一个显示确定为非相关显示后,其他同类型的显示不必重新检测,可直接判为非相关显示。

10.3.1.3 由缺欠引起的显示为相关显示。

### 10.3.2 验收标准

10.3.2.1 当相关显示符合下列任何一条时,应评定为缺陷:

- a) 评定为弧坑裂纹或星形裂纹的线形显示,其长度超过 4 mm;
- b) 评定为裂纹的线形显示(弧坑裂纹和星形裂纹除外);
- c) 评定为未熔合的线形显示,在任何 300 mm 连续焊缝长度中,缺陷累计长度超过 25 mm 或者超过焊缝长度的 8%。

10.3.2.2 当圆形显示符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 链状圆形显示,在同一直线上存在 4 个以上直径大于 1.5 mm 且间距小于 1.5 mm 的圆形显示时,按链状圆形显示处理;
- b) 单个圆形显示的尺寸大于相邻较薄侧管壁厚度的 1/2;
- c) 工作压力小于或等于 4.0 MPa 的管道,单个圆形显示大于 5 mm 或 150 mm×25 mm 的评定区域内缺欠磁痕长度的总和大于 12 mm;
- d) 工作压力大于 4.0 MPa 的管道,单个圆形显示大于 4 mm 或 150 mm×25 mm 的评定区域内缺欠磁痕长度的总和大于 9 mm。

### 10.3.3 管子和管件缺陷

对管子或管件进行渗透检测时,缺欠处理应按设计文件要求执行。

## 10.4 超声检测、全自动超声检测和相控阵超声检测

### 10.4.1 显示分类

10.4.1.1 典型的线性显示包括根部未焊透(IP)、错边未焊透(IPD)、中间未焊透(ICP)、表面未熔合(IF)、夹层未熔合(IFD)、细长夹渣(ESI)、裂纹(C)、外咬边(EU)、内咬边(IU)及空心焊道气孔(HB)等缺欠。

10.4.1.2 典型的横向显示包括裂纹(C)、独立夹渣(ISI)、夹层未熔合(IFD)等缺欠。

10.4.1.3 典型的体积型显示包括内凹(IC)、烧穿(BT)、独立或多个夹渣(ISI)、气孔(P)、密集气孔(CP)

等缺欠。

10.4.1.4 超声检测和全自动超声检测的缺欠验收按 10.4.2 执行,相控阵超声检测的缺欠验收按 SY/T 4109 执行。

#### 10.4.2 验收标准

10.4.2.1 当相关显示符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 判定为裂纹(C)的相关显示;
- b) 单个相关显示的垂直高度(壁厚方向)大于壁厚的 1/4;
- c) 周向位置相同的多个相关显示,其自身高度之和大于壁厚的 1/2 或 6 mm,取二者中的较小值。

10.4.2.2 表面线形显示符合以下任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,累计长度超过 25 mm;
- b) 累计长度超过焊缝长度的 8%。

10.4.2.3 内部线形显示符合以下任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 在任何连续 300 mm 焊缝中,累计长度超过 50 mm;
- b) 累计长度超过焊缝长度的 8%。

10.4.2.4 横向显示(非裂纹)(T)应视为体积型缺欠,应使用体积型缺欠验收标准进行评定,所有横向缺欠报告应用字母 T 表示。

10.4.2.5 密集体积型显示(VC)的最大尺寸超过 13 mm 时,应评定为缺陷。

10.4.2.6 单个体积型显示(VI)的最大尺寸超过 6.0 mm 或超过较薄侧母材壁厚的 1/2,取二者中的较小值,应评定为缺陷。

10.4.2.7 根部体积型显示当符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 根部体积型显示最大尺寸超过 6.0 mm 或公称壁厚,取二者中的较小值;
- b) 根部体积型显示在任何连续 300 mm 焊缝长度中,累计长度超过 13 mm。

10.4.2.8 当缺欠显示波累计长度(AR)符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 在任何 300 mm 的连续焊缝长度中,在评定线以上的相关显示的累计长度超过 50 mm;
- b) 在评定线以上的相关显示的累计长度超过焊缝长度的 8%。

#### 10.4.3 管子或管件缺欠

对管子或管件进行超声检测、全自动超声检测或相控阵超声检测时,缺欠处理应按设计文件要求执行。

#### 10.5 咬边的目视检查

当采用外观检查确定咬边深度时,表面咬边或根部咬边应符合表 11 中的规定,当外观检查和射线检测均可使用时,宜采用外观检查,本条验收标准不应代替本文件中其他部分对外观检查的要求。

表 11 咬边的最大尺寸

深度	长度
大于 0.8 mm 或大于 12.5% 管壁厚,取二者中的较小值	任何长度均不允许
大于 0.4 mm 且小于或等于 0.8 mm,或大于管道壁厚 6% 且小于或等于管道壁厚 12.5%,取二者中的较小值	在焊缝任何 300 mm 连续长度不超过 50 mm 或者焊缝长度的 1/6,取二者较小值

表 11 咬边的最大尺寸（续）

深度	长度
小于或等于 0.4 mm 或小于或等于 6% 的管壁厚,取二者中的较小值	任何长度均允许

## 10.6 内凹的目视检查

10.6.1 当采用外观检查确定内凹深度大于焊缝圆周方向上相同位置盖面的高度时,任何长度均不允许。

10.6.2 10.6.1 验收要求不应代替本文件其他部分对外观检查的要求。

## 11 缺陷的清除及返修

### 11.1 裂纹

11.1.1 焊缝内表面或外表面余高上的弧坑裂纹或星形裂纹可打磨清除。

11.1.2 长度超过 4 mm 的浅弧坑裂纹或星形裂纹、单个裂纹长度或多个裂纹累计长度大于焊缝总长度的 8%、浅弧坑裂纹或星形裂纹以外的任何裂纹,应直接割除。

11.1.3 除 11.1.1 规定裂纹外,其他返修应通过建设单位同意,并使用评定合格的返修焊接工艺进行返修。若裂纹焊缝返修焊接后再出现裂纹,不应进行二次返修,应直接割除。

### 11.2 非裂纹缺陷

11.2.1 通过外观检查、无损检测发现的缺陷,及按照附录 A 判定的缺陷,应获得返修授权后再进行返修。

11.2.2 当任何一种类型的返修焊接工艺与原焊缝焊接工艺不同,或存在二次返修等工况时,应进行返修焊接工艺评定。自保护药芯焊丝的焊接工艺不应用于返修焊接。

11.2.3 二次返修后仍不合格的焊缝,不应再进行返修焊接。

### 11.3 返修要求

11.3.1 返修区域内的缺陷应完全打磨清除干净,不应只对缺陷的局部进行返修。

11.3.2 若钢管剩余壁厚和焊缝余高满足要求,可采用打磨方法去除根焊缝和盖面焊缝余高内的缺陷,打磨长度和打磨段数量不受限制。打磨后焊缝不应低于母材内、外表面。

11.3.3 若打磨后的焊缝低于母材,应采用合格的返修焊接工艺进行焊接。

11.3.4 最大返修长度应在母材表面测量,单个返修长度或累计返修长度不应超过焊缝圆周长度的三分之一。最小返修长度应在返修区域底部测量,单个返修长度不应小于 50 mm 或焊接工艺规程的规定值。

11.3.5 用于二次返修的合格返修焊接工艺可用于一次返修焊接。

11.3.6 返修焊接过程应进行记录和保存。

### 11.4 返修焊接工艺规程

返修焊接工艺规程应包含 6.3 所要求的内容,还应包含下列信息。

- a) 指明返修类型、适用位置、缺陷清除方法、清除缺陷后坡口检测方法、层间无损检测要求和方  
法、返修焊缝长度的最大和最小值、无损检测延迟时间要求等。
- b) 若返修类型与所支持的焊接工艺评定报告返修类型不同,重新编制返修焊接工艺规程并明确  
规定焊接方法和填充金属类别。
- c) 返修焊接有预热和道间温度要求时,规定加热方法、加热位置和长度,以及加热温度的最小值  
和最大值。返修焊接给出填充金属和保护气体的储存、烘干和使用方法。

### 11.5 返修焊接工艺评定基本要素

返修焊接工艺评定基本要素除表 1 的规定外,还应符合表 12 的规定。当表 1 和表 12 中列出的基  
本要素发生改变时,应重新进行返修焊接工艺评定。

表 12 返修焊的焊接工艺评定因素

因素	焊接工艺评定因素的变更
返修类型 <sup>a</sup>	表 13 所规定的返修类型覆盖范围以外的其他返修类型的改变
多道或单道返修	从多道焊返修改变为单道焊返修
坡口角度	坡口面角度的改变超过评定记录值 $\pm 25\%$
<sup>a</sup> 评定合格的对接焊缝返修工艺适用于支管焊缝和角焊缝。	

表 13 返修类型的覆盖范围

返修类型	覆盖原则		
	全壁厚返修	部分壁厚返修	背面内返修
全壁厚返修	√	√	—
部分壁厚返修	—	√	—
背面内返修	—	—	√
注：“√”表示适用，“—”表示不适用。			

### 11.6 对接焊试验管接头的焊接

11.6.1 返修焊接工艺评定的焊件应在一段环焊缝的规定位置进行焊接,焊缝长度应至少 200 mm  
长,确保足够进行破坏性试验。返修焊缝长度应在打磨坡口的底部进行测量。

11.6.2 一个环接头可用于多种返修类型的焊接工艺评定。

### 11.7 对接焊焊接接头的试验

#### 11.7.1 试样制备

试样的最少数量及试验类型应符合表 14 的规定。

表 14 推荐的焊接工艺评定的试验类型及试样数量

返修工艺类型	试样数量/个				
	拉伸 <sup>a</sup>	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯
壁厚≤12.7 mm					
全壁厚返修	1	0	1	1	0
部分壁厚返修	1	0	0	1	0
背面内返修	0	0	0	1 <sup>b</sup>	0
壁厚>12.7 mm					
全壁厚返修	1	0	0	0	2
部分壁厚返修	1	0	0	0	1
背面内返修	0	0	0	0	1
<sup>a</sup> SMYS 大于 290 MPa 的母材对接焊缝,应至少进行一次拉伸试验。 <sup>b</sup> 焊接位置在钢管内表面(凹面)。					

### 11.7.2 冲击试验

11.7.2.1 当规定做冲击试验时,应在返修位置的焊缝区、熔合线各制取 3 个冲击试样。对两侧母材不同的焊缝,每侧熔合线均应取 3 个冲击试样。母材壁厚小于或等于 19.1 mm 时取内表面冲击试样,壁厚大于 19.1 mm 应同时取外表面和内表面的冲击试样。

11.7.2.2 试样尺寸和试验过程应符合 6.6.6 的规定。

### 11.7.3 宏观金相试验

11.7.3.1 当规定做宏观金相试验时,应在返修位置取 1 个宏观金相试样,试验方法和要求应符合 6.6.7.2 和 6.6.7.3 的规定。

11.7.3.2 若宏观金相试样表面所显示的缺欠与返修焊接无关,则不应判定返修工艺不合格。

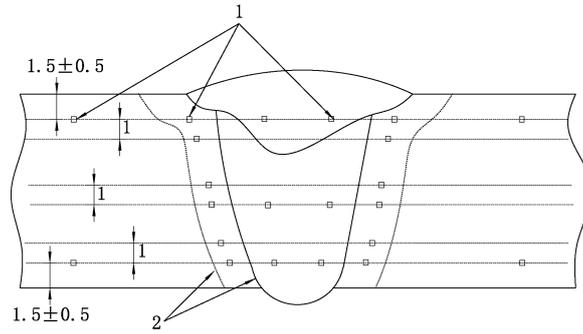
### 11.7.4 硬度试验

11.7.4.1 当规定做硬度试验时,可在宏观金相试样上进行。

11.7.4.2 硬度试验应符合 GB/T 4340(所有部分)的规定,宜采用 10 kg 载荷。硬度测试压痕点位置见图 23、图 24 和图 25。

11.7.4.3 除另有规定外,焊接接头的最大硬度值应符合表 4 的规定。

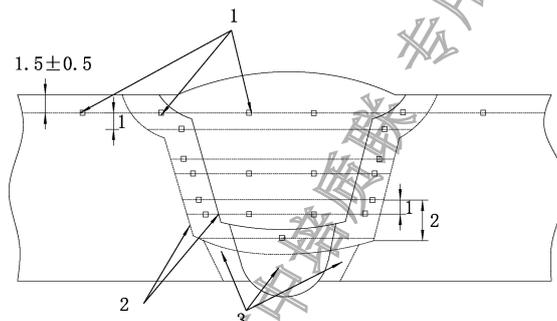
单位为毫米



- 标引序号说明：
- 1——硬度测试点；
  - 2——热影响区区域。

图 23 全壁厚返修工艺的焊接接头硬度测试点示意图

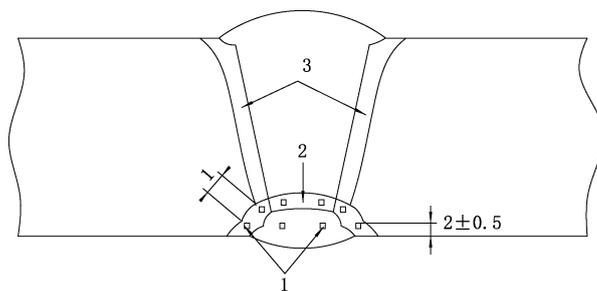
单位为毫米



- 标引序号说明：
- 1——硬度测试点；
  - 2——返修焊缝热影响区区域；
  - 3——原始焊缝和热影响区。

图 24 部分壁厚返修工艺的焊接接头硬度测试点示意图

购买单位：北京中培质联  
防伪编号：2024-0321-0815-3155-0122  
订单号：0100240321135290



标引序号说明：

- 1——硬度测试点；
- 2——返修焊缝热影响区；
- 3——原始焊缝热影响区。

图 25 背面内返修工艺的焊接接头硬度测试点示意图

### 11.8 返修焊工上岗考试

#### 11.8.1 一般规定

11.8.1.1 返修焊接作业应由具有返修上岗资格的焊工承担,使用原焊接工艺进行全壁厚返修的焊工也应具有返修上岗资格。应记录返修焊工上岗的资格因素信息,见表 C.4。

11.8.1.2 返修焊工考试时,一道环焊缝可用于多名焊工或一名焊工的多种返修类型的上岗考试。返修焊工上岗资格类型的覆盖见表 15。

表 15 返修焊工上岗资格覆盖范围

上岗考试返修类型	适用的返修类型		
	全壁厚返修	部分壁厚返修	背面内返修
全壁厚返修	√	√	√
部分壁厚返修	—	√	—
背面内返修	—	—	√

注：“√”表示适用，“—”表示不适用。

11.8.1.3 每名焊工均应在规定位置独立完成返修坡口打磨,并按焊接工艺规程完成所要求壁厚的返修焊缝焊接,返修焊缝长度不应少于 200 mm。

11.8.1.4 若考试焊口经检验和试验满足 7.5,且满足 11.8.3 或 11.9 中的规定,则应给焊工颁发相应的返修资格证。

#### 11.8.2 基本要素

返修焊工上岗资格基本要素见表 16。当焊接工艺规程中有上岗资格基本要素的改变时,应重新进行上岗考试。

表 16 返修焊工的上岗资格基本要素

因素	上岗资格基本要素的变更
焊接工艺	从一种返修焊接工艺改变为另一种返修焊接工艺
	返修焊接工艺组合的改变。除非焊工针对每种返修焊接工艺均具有上岗资格
	使用组合焊接工艺时,根焊、填充焊、盖焊等焊道所用焊接工艺的改变。除非填充金属满足本表的因素要求,且仅用于填充焊道和盖面焊道的返修焊
	单独使用上岗考试的填充焊工艺进行返修焊时,该工艺应至少在上岗考试中完成三层焊缝。上岗考试中少于三层焊缝的焊接工艺不应用于两层以上的返修焊接
熔敷厚度	焊工可焊接的熔敷厚度不应超过上岗考试时熔敷厚度的 2 倍
	返修焊使用熔化极气体保护电弧焊短路过渡模式(GMAW-S)时,仅能焊接与上岗考试时所焊数量相同的焊道
焊接位置	平焊位置的上岗资格,仅适用于该位置的焊接
	立焊位置的上岗资格,适用于立焊与平焊位置的焊接
	横焊位置的上岗资格,适用于横焊和平焊位置的焊接
	管 5G 位置的仰焊位置上岗资格,适用于除横焊外的其他所有焊接位置
	具有横焊和管 5G 仰焊两种位置的上岗资格,适用于所有焊接位置
	管 6G 位置的仰焊位置上岗资格,适用于所有焊接位置
焊接方向	固定位置焊接,焊接方向从立向上改变为立向下,或反之
	固定位置焊接,从立焊改变为水平焊,或反之。下列情况除外: a) 为避免起弧或收弧处的接头过厚而进行的越过管顶或管底的水平焊; b) 具有管 6G 位置上岗资格的焊工
填充金属	全壁厚返修的根部焊道,更换填充金属组号
	填充金属分类从表 2 的 1 组或 2 组改变为任何其他组,或从 3 组至 7 组改变为 1 组或 2 组
	未在表 2 中列出的填充金属,改变为任何其他填充金属组别,反之亦然
返修类型 <sup>a</sup>	从部分壁厚返修到全壁厚返修或背面内返修的改变
	从背面内返修到任何其他返修类型的改变
<sup>a</sup> 返修焊工上岗资格覆盖范围见表 15,全壁厚返修上岗资格适用于其他所有返修类型。返修类型与焊接接头类型是各自独立的因素,对接焊缝返修资格可适用于角焊缝和支管坡口焊缝;上岗考试均应在对接焊缝上完成。	

### 11.8.3 破坏性试验

11.8.3.1 各类型的返修焊件,应从返修区域的焊缝上制取试样,且除刻槽锤断试样外的其他试样的取样顺序不受限制。

11.8.3.2 返修焊工考试焊件的试验类型和试样数量见表 17。破坏性试验前,试样应空冷至室温。

表 17 返修焊工考试焊件的试验类型和试样数量

返修类型	刻槽锤断 <sup>a</sup>	背弯	面弯	侧弯
壁厚≤12.7 mm				
全壁厚返修	2	1	1	0
部分壁厚返修	2	0	1	0
背面内返修	2	0	1 <sup>b</sup>	0
壁厚>12.7 mm				
全壁厚返修	2	0	0	2
部分壁厚返修	2	0	0	1
背面内返修	2	0	0	1
<sup>a</sup> 其中 1 个刻槽锤断试样位于返修焊缝和原始焊缝的过渡位置,另 1 个试样位于返修焊缝的中心位置。 <sup>b</sup> 焊接面位于管内表面(凹侧)。				

11.9 验收标准

11.9.1 若缺陷是通过目视检查发现,且仅进行了打磨清除,可仅进行目视检查。若返修区域进行了焊接操作,则应对返修区域进行无损检测,返修焊缝的检测和验收应符合第 10 章或附录 A 水平 3 的规定。

11.9.2 返修区域的无损检测宜采用原检测方法,无损检测长度应至少为返修焊缝长度两侧各增加 50 mm。

11.9.3 若返修过程产生了新的缺欠,但仍满足第 10 章的验收要求,则该返修焊缝合格。

12 无损检测方法

12.1 射线检测

12.1.1 当设计文件规定使用射线检测时,检测承包商应制定详细的书面射线检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.1.2 检测承包商应证明 12.1.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行射线检测工作。

12.2 X 射线数字成像检测

12.2.1 当设计文件规定使用 X 射线数字成像检测时,检测承包商应制定书面 X 射线数字成像检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.2.2 检测承包商应证明 12.2.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行 X 射线数字成像检测工作。

12.3 X 射线计算机辅助成像检测

12.3.1 当设计文件规定使用 X 射线计算机辅助成像检测时,检测承包商应制定书面 X 射线计算机辅助成像检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.3.2 检测承包商应证明 12.3.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行 X 射线计算机辅助成像检

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

测工作。

#### 12.4 磁粉检测

12.4.1 当设计文件规定使用磁粉检测时,检测承包商应制定书面磁粉检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.4.2 检测承包商应证明 12.4.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行磁粉检测工作。

#### 12.5 渗透检测

12.5.1 当设计文件规定使用渗透检测方法时,检测承包商应制定渗透检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.5.2 检测承包商应证明 12.5.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行渗透检测工作。

#### 12.6 超声检测

12.6.1 当设计文件规定使用超声检测方法时,检测承包商应制定超声检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.6.2 检测承包商应证明 12.6.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行超声检测工作。

#### 12.7 相控阵超声检测

12.7.1 当设计文件规定使用相控阵超声检测方法时,检测承包商应制定相控阵超声检测规程,检测规程应符合 SY/T 4109 的规定。

12.7.2 检测承包商应证明 12.7.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行相控阵超声检测工作。

#### 12.8 全自动超声检测

12.8.1 当设计文件规定使用全自动超声检测方法时,检测承包商应制定全自动超声检测规程,检测规程应符合 GB/T 50818 的规定。

12.8.2 检测承包商应证明 12.8.1 中操作规程的正确性,并按该规程进行全自动超声检测工作。

### 13 有填充金属的机动焊

#### 13.1 适用的焊接方法

机动焊应采用下列一种或多种焊接方法:

- a) 埋弧焊;
- b) 熔化极气体保护焊;
- c) 非熔化极气体保护焊;
- d) 自保护或气保护药芯焊丝电弧焊;
- e) 等离子弧焊;
- f) 将手工或半自动方法与某一机动焊组合使用。

#### 13.2 焊接工艺评定

13.2.1 在现场焊接之前,应制定详细的预焊接工艺规程,并应对此焊接工艺进行评定。

13.2.2 应按预焊接工艺规程焊接两根整管或两管段接头。应采用无损检测和破坏性试验检验焊接接

头的质量和性能。无损检测应符合第 10 章的规定,破坏性试验应符合 13.6 的规定。应依据评定合格的焊接工艺编制焊接工艺规程。

### 13.3 记录

应对评定的焊接工艺的参数、试验和结果进行详细记录。记录表格见表 C.1 和表 C.2。在该焊接工艺使用期间内应妥善保存评定记录。

### 13.4 焊接工艺规程

焊接工艺规程应包含 6.3 所规定的内容,还应包含下列信息:

- a) 各焊道所使用的焊接设备;
- b) 旋转焊时焊件的旋转方向和焊接电弧位置;
- c) 焊炬位置和倾角,导电嘴与工件的距离,焊炬摆动宽度和频率、保护气体成分和喷嘴直径等。

### 13.5 机动焊焊接工艺评定基本要素

当焊接工艺规程有表 18 中规定的基本要素变更时,应对焊接工艺重新评定。当焊接工艺规程有表 18 中规定的基本要素以外的变更时,应修订焊接工艺规程,但不必对焊接工艺重新评定。组合机动焊中的手工焊、半自动焊的焊接工艺评定因素按表 1 执行,机动焊的焊接工艺评定因素按表 18 执行。

表 18 机动焊的焊接工艺评定因素

类型	焊接工艺评定因素的变更
焊接方法	任一焊道焊接方法的改变
母材	焊接两组不同材料时,应采用强度较高材料组别的焊接工艺单独评定。以下分组并不表示每组中母材可任意替代已做过焊接工艺评定的母材或填充材料,应分析母材和填充材料在冶金特性、力学性能、预热和焊后热处理要求上的不同。本文件所有材料的分组如下: a) 规定最小屈服强度小于或等于 290 MPa; b) 规定最小屈服强度大于 290 MPa,且小于 448 MPa; c) 规定最小屈服强度大于或等于 448 MPa 的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验
	钢管壁厚的改变超出评定用母材壁厚 $t$ 的 $\pm 3.2$ mm,应重新评定
	钢管管径的改变超出评定用母材管径 $D$ 的下列范围时,应重新评定: a) 当 $D$ 小于 323.9 mm 时, $0.5D$ 至 $2D$ ; b) 当 $D$ 大于或等于 323.9 mm 时, $0.5D$ 至无限制
接头设计	坡口形式的改变,如 V 形、U 形、K 形等
	坡口面角度的改变超出评定值一定范围时应重新评定*: a) 当坡口面角度小于或等于 $10^\circ$ 时,变化范围为 $\pm 2^\circ$ ; b) 当坡口面角度大于 $10^\circ$ 且小于 $30^\circ$ 时,变化范围为 $\pm 5^\circ$ ; c) 当坡口面角度大于或等于 $30^\circ$ 时,变化范围为 $\pm 10^\circ$
	根焊为机动焊时,钝边的改变超过评定时 50%,根部间隙的增加超过评定时 0.25 mm 或 50% 两者中的较大值

表 18 机动焊的焊接工艺评定因素（续）

类型	焊接工艺评定因素的变更
填充金属	填充金属型号的改变,见表 19
	焊剂型号的改变
	填充金属规格的改变
	评定用填充金属型号中后缀代号仅为 G 时,制造商或牌号的改变
焊接位置	焊接位置从旋转焊变为固定焊,反之不需要
焊接方向 <sup>b</sup>	从立向下焊改变为立向上焊,或者反之
	从立向下焊或立向上焊改变为全位置焊,反之不需要
保护气体	由一种气体改变为另一种气体
	保护气体流量的降低超出评定记录下限值的 20%
	取消保护气体
喷嘴直径和气体成分	改变等离子焊的气体成分
	改变等离子焊的喷嘴直径
电特性	电流极性的改变(DC+,DC-,AC)
	从波控电源改变为非波控电源,或反之
	焊接速度范围的变更
预热温度	取消预热
	预热温度低于评定记录最小值
道间温度	母材道间温度升高至 260 °C 以上 <sup>c</sup>
	道间温度高于评定记录最大值 55 °C 及以上,或低于评定记录值 <sup>c</sup>
焊后热处理	焊后热处理工艺中温度范围、保温时间的任何改变,或增加焊后热处理
焊后冷却	增加焊后强制冷却
	改变焊后强制冷却方法而使焊缝金属的冷却速度变快
	强制冷却前的焊缝最高温度增加
<sup>a</sup> 复合坡口的每个坡口面角度都应要求加工的公差范围。 <sup>b</sup> 焊接方向仅适用于固定位置焊接。 <sup>c</sup> 焊接工艺评定期间可采用不同的预热温度和道间温度。若评定合格,应规定相应焊道的预热温度和道间温度。	

表 19 机动焊填充金属分组

组别	标准	焊丝型号示例 <sup>a,b</sup>	焊剂型号示例
4 <sup>a</sup>	GB/T 5293	SU08A、SU08、SU11、SU22、SU21、 SU25SU24、SU1M3TiB、SU4M1	S43A2、S43A3、S49A2、S49A3S49A4、 S49A5、S49A6、S55A2S57A2
5 <sup>c</sup>	GB/T 8110	G49A3C1S2、G49A2C1S3、G49A3C1S6G49A4M21S6	—
	GB/T 8110	G49PZ×S1M3、G55A3C1S4M31 G55A4H×SN2、G55P6×SN5、G55P7H×SN71	—

表 19 机动焊填充金属分组 (续)

组别	标准	焊丝型号示例 <sup>a、b</sup>	焊剂型号示例
6	GB/T 10045	T492T1-1C1A、T492T1-1M21A T493T5-1C1A、T493T-1M21A T493T12-1C1A、T493T12-1M21A、T493T12-1M21H5	—
7	GB/T 10045	T553T1-1C1A-N2、T553T1-1M21A-N2 T554T1-1C1A-N5、T554T1-1M21A-N5 T553T1-1C1A-N3、T553T1-1M21A-N3	—
8	GB/T 36233	T624T1-1C1A-N5、T624T1-1M21A-N5 T622T1-1C1A-N3M1、T622T1-1M21A-N3M1	—
9	GB/T 36233	T692T1-1C1A-N3M2、T692T1-1M21A-N3M2 T694T1-1C1A-N5M2、T694T1-1M21A-N5M2	—
<sup>a</sup> 未列出的其他型号焊条、焊丝和焊剂也可使用,但应焊接工艺评定合格。 <sup>b</sup> 若焊接接头所要求的冲击试验温度为-18℃及以下或最小冲击吸收功为50J及以上,或者填充金属化学成分为供需双方协商,应对每各批号的填充金属进行熔敷金属检验,确保其与评定用焊材的一致性。 <sup>c</sup> 使用组别5的焊丝时应有保护气体。			

13.6 对接焊试验管接头的焊接

13.6.1 试样制备

13.6.1.1 试样的最少数量及试验类型见表 20。

13.6.1.2 当机动焊焊接工艺评定需要焊接多个焊件时,应确保至少 1 个弯曲试样和 2 个拉伸试样取样于不同的焊件。

表 20 推荐的焊接工艺评定的试验类型及数量

管外径 mm	试样数量/个				
	拉伸 <sup>b</sup>	刻槽锤断 <sup>c</sup>	背弯	面弯	侧弯
壁厚≤12.7 mm					
<60.3 <sup>a</sup>	0	2	2	0	0
≥60.3 ~114.3	0	2	2	0	0
>114.3 ~323.9	2	2	2	2	0
>323.9	4	4	4	4	0
壁厚>12.7 mm					
≤114.3 <sup>a</sup>	0	2	0	0	2
>114.3~323.9	2	2	0	0	4
>323.9	4	4	0	0	8
<sup>a</sup> 外径小于 60.3 mm 的钢管宜焊接两个焊件,分别制取 1 个刻槽锤断试样和 1 个背弯试样。外径小于或等于 33.4 mm 的钢管,可用 1 个全尺寸试样的拉伸试验代替 2 个刻槽锤断试验和 2 个背弯试验。 <sup>b</sup> SMYS 大于 290 MPa 的母材对接焊缝,应至少进行一次拉伸试验。 <sup>c</sup> 机动焊可不进行刻槽锤断试验,组合机动焊应进行刻槽锤断试验。					

### 13.6.2 破坏性试验

13.6.2.1 拉伸试验、刻槽锤断试验、背弯试验、面弯试验和侧弯试验应符合 6.6.2~6.6.5 的规定。

13.6.2.2 当规定做冲击试验、宏观金相试验、硬度试验等其他试验时,应符合 6.6.6~6.6.9 的规定。

### 13.7 机动焊焊工上岗考试

#### 13.7.1 一般规定

13.7.1.1 如果机动焊焊接工艺规程中包含了多种机动焊设备,焊机操作工应具有全部机动焊设备的操作资格。组合机动焊的焊机操作工,可只对其中一种或多种工艺进行考试,合格后应仅具有相应焊接工艺的上岗资格。焊机操作工也可只进行对接接头多焊道的特定焊道的焊接,其他焊道由另外的焊机操作工完成,但只有该焊缝被评判为合格时,特定焊道的焊机操作工方可被判定为合格,且只具有相应特定焊道的上岗资格。

13.7.1.2 当取机动焊对接管资格时,具有水平固定焊接位置资格的机动焊操作工,上岗考试时焊接位置角度应为焊接工艺规程中规定的最大角度。

#### 13.7.2 基本要素

焊机操作工上岗资格基本要素见表 21。当焊接工艺规程中有上岗资格基本要素的改变时,应重新进行上岗考试。

表 21 焊机操作工的上岗资格基本要素

因素	上岗资格基本要素的变更 <sup>a</sup>
焊接工艺	由一种焊接工艺改变为另一种焊接工艺
	由一种焊接工艺改变为另一种焊接工艺组合,除非焊工针对每种焊接工艺均具有上岗资格
	组合焊接工艺时,某焊道焊接工艺的改变。除非使用的为一种或多种填充焊和盖面焊的焊接工艺
	当采用上岗考试时的填充焊工艺进行整个焊缝的焊接时,该工艺应至少在上岗考试中完成了三层焊缝。上岗考试中少于三层焊缝的焊接工艺不应使用于两层以上的焊接
	使用熔化极气体保护电弧焊短路过渡模式(GMAW-S)焊接时,仅能焊接与上岗考试时所焊数量相同的焊道
	机动焊由波控电源改变为非波控电源工艺,或反之
焊接方向	从立向上焊改变为立向下焊,或反之
	从立焊改变为水平焊,或反之。下列情况除外: a) 全位置焊时,焊工为避免起弧或收弧处的焊道过厚而进行的跨过 12 点或 6 点的水平焊; b) 具有斜 45°管固定位置上岗资格的焊工
	立向上或立向下焊改变为轨道焊,反之不需要
	旋转焊改变为立向上、立向下或轨道焊,反之不需要
填充金属	填充金属类型改变(实心焊丝,金属粉芯焊丝,药芯焊丝)
管径	管径的改变超出下列管径分组范围: a) 外径小于 323.9 mm; b) 外径大于或等于 323.9 mm

表 21 焊机操作工的上岗资格基本要素（续）

因素	上岗资格基本要素的变更 <sup>a</sup>
壁厚	母材壁厚 $t$ 的改变超出下列范围时,应重新上岗考试: a) 考试壁厚 $t < 12.7$ mm 时,可焊接壁厚范围为 $\leq 2t$ ; b) 考试壁厚 $t \geq 12.7$ mm 时,可焊接任意壁厚
焊接位置	从旋转焊改变为固定焊,反之不需要 固定焊位置时,钢管轴线转角的变化超出考试记录最大值
焊接接头	接头设计的改变,如由 V 形坡口改变为 U 形或 J 形坡口,及组对间隙、坡口面角度和钝边等超出焊接工艺规程所规定范围的任何改变
焊接小车	机动焊制造商或型号的改变
根焊方法	根焊方法的改变,如外根焊改变为内根焊,或反之
<sup>a</sup> 焊机操作工进行特定焊道的考试时,只需考虑与特定焊道相关的上岗资格基本要素。组合机动焊工艺考试时,基本要素应分别满足各自的要素。	

13.7.3 破坏性试验

焊机操作工考试焊件的试验类型和试样数量见表 22。破坏性试验前,试样应空冷至室温。

表 22 焊机操作工考试焊件的试验类型和试样数量

壁厚 mm	管外径 mm	试样数量/个		
		背弯	面弯	侧弯
$\leq 12.7$	$< 60.3$	2	0	0
	$\geq 60.3 \sim 114.3$	2	0	0
	$> 114.3 \sim 323.9$	2	2	0
	$> 323.9$	4	4	0
$> 12.7$	$\leq 114.3$	0	0	2
	$> 114.3 \sim 323.9$	0	0	4
	$> 323.9$	0	0	8

13.8 合格机动焊操作工的记录

13.8.1 宜见表 C.3(该表格可进行修改以适合不同考试的要求,但其记录内容应详细,满足本文件对焊工考试的要求)详细记录每名焊工的考试过程。

13.8.2 合格机动焊操作工的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如对某个机动焊操作工的能力有疑问,可要求重新进行资格考试。

13.9 现场焊缝的检查和试验

13.9.1 采用机动焊进行根焊时,穿丝不应超过 2 处,穿丝长度尽可能短。

13.9.2 机动焊的焊接接头应按第 9 章的规定对现场焊缝进行无损检测。

购买单位: 北京中培质联 订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122

### 13.10 无损检测验收标准

无损检测验收标准应符合第 10 章或附录 A 的规定。

### 13.11 缺陷的返修和切除

缺陷的清除和返修应符合第 11 章的规定。

### 13.12 射线检测

射线检测应符合 12.1 或 12.2 或 12.3 的规定。

### 13.13 超声检测

超声检测应符合 12.6 或 12.7 或 12.8 的规定。

北京中培质联 专用

附录 A

(规范性)

环焊缝的附加验收准则

A.1 通则

第 10 章的验收标准是以焊接工艺经验为判据,其判定的主要依据是缺欠的长度。本附录是第 10 章验收标准的替代方法,它是基于断裂力学分析和合于使用准则,同时考虑缺欠的高度和长度。按照本附录确定的可接受的缺欠长度更大。使用本附录应增加评定试验、应力分析和无损检测。环焊缝的附加验收准则的分析也称为工程临界评估。

本附录包含了 3 种水平的平面缺欠可接受的临界尺寸评定方法,水平 1 和水平 2 的计算方法相同,仅适用于 A.2.2.1 中规定的低、中疲劳载荷谱强度。水平 3 方法适用于疲劳载荷谱强度超出水平 1 和水平 2 的情况,且应由掌握断裂力学和管线载荷分析知识的专业人员实施评价。

使用时,应通过破坏性试验获得环焊缝的力学性能。本附录不影响按第 10 章的规定确定焊接缺欠的可接受临界尺寸,可根据实际情况确定是否使用。

符合以下条件时可按环焊缝的附加验收准则进行验收:

- a) 名义等壁厚钢管的环焊缝;
- b) 所有接头均完成无损检测;
- c) 焊缝整体上不存在低强匹配;
- d) 设计的最大轴向应力不大于规定的最小屈服强度;
- e) 设计的最大轴向应变不大于 0.5%;
- f) 不包括泵站和压气站的焊缝、返修焊缝、主线路管件和阀室的焊缝;
- g) 水平 1 和水平 2 的方法不适用于返修焊缝,返修焊缝可采用水平 3 的方法评价,见 A.5.1.5.1。

A.2 应力分析

A.2.1 轴向设计应力

应进行应力分析以确定环焊接头在安装和运行期间可能承受的最大轴向应力。应力分析应包括管道安装期间的应力和运行、气候条件引起的应力。最大轴向设计应力应为管道设计寿命期间内任何时间的最大总轴向应力。

A.2.2 交变应力

A.2.2.1 分析

交变应力分析应包括管线设计寿命内可能承受的疲劳载荷谱。疲劳载荷谱应包括但不限于因水压试验、运行压力、管道安装而产生的应力,还可能包括热应力、地震及沉降应力等。疲劳载荷谱由若干轴向循环应力等级和各等级应力条件下的循环次数组成。如应力等级在各循环间变化,应采用适当的计数方法(如雨流计数方法)确定交变应力等级及循环次数,循环次数小于  $5 \times 10^6$  的为有限疲劳载荷。

定义疲劳载荷谱强度  $S^*$  见公式(A.1):

$$S^* = N_1(\Delta\sigma_1)^3 + N_2(\Delta\sigma_2)^3 + \dots + N_i(\Delta\sigma_i)^3 + N_k(\Delta\sigma_k)^3 \dots\dots\dots(A.1)$$

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

式中：

$S^*$  ——载荷谱强度密度,单位为循环次数兆帕的三次方( $\text{MPa}^3$ )；

$N_i$  ——第  $i$  等级交变应力下的循环次数；

$\Delta\sigma_i$  ——循环应力幅度,单位为兆帕(MPa)；

$k$  ——循环应力等级的总数；

$i$  ——第  $i$  次循环应力,从 1 至  $k$ 。

如  $S^*$  小于  $5 \times 10^6$ ,且能够采用 BS 7910 中钢材在空气中的裂纹扩展曲线,应采用水平 1 和水平 2 的评价方法(见 A.5.1.3 和 A.5.1.4),可不开展疲劳分析。如  $S^*$  大于  $5 \times 10^6$ ,且不能采用钢在空气中的裂纹扩展曲线,使用水平 1 和水平 2 的方法时要做进一步分析,或采用水平 3 方法进行分析。

#### A.2.2.2 环境对疲劳的影响

本附录未考虑腐蚀环境的不利影响,当输送介质中  $\text{CO}_2$  或  $\text{H}_2\text{S}$  的任一浓度超过非腐蚀管道设计要求时,除非有证据表明推荐的超标浓度不会导致疲劳裂纹扩展速率的增加,或采取了充分的防腐措施,否则不应使用本附录。可不考虑外部环境对管道环焊缝疲劳裂纹扩展速率的影响。

#### A.2.3 长期载荷开裂

当管道环焊缝在服役中承受长期载荷时,某些环境会加速裂纹的扩展,或诱使缺欠周围的材料变脆,并达到临界开裂状态。这些典型环境包括含硫化氢、强氢氧化物、硝酸盐及碳酸盐等的介质。当管道中存在这些介质时,应确定最小临界应力。若环焊接头承受的长期载荷超过最小临界应力值,本附录不应使用。

采用涂层和阴极保护措施时,可使用本附录。

#### A.2.4 动载荷

应力分析应分析焊缝可能承受的潜在动载荷,如检修阀关闭时产生的动载荷。当焊缝承受的动载荷应变速率大于  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (应力速率为  $207 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ )时,本附录不应使用。

#### A.2.5 残余应力

本附录通过规定最小的断裂韧性(CTOD)和夏比冲击韧性,以及水平 1 和水平 2 (A.5.1.3 和 A.5.1.4)的固有安全系数,考虑了焊接残余应力的影响,不再额外考虑残余应力。但与时间相关的失效机制(如疲劳)除外。

### A.3 焊接工艺

#### A.3.1 通则

本附录要求的焊接工艺评定应按第 6 章或第 13 章进行,焊接工艺评定基本要素应符合 A.3.2 的要求,附加的环焊缝力学性能试验按 A.3.4 的规定进行。

#### A.3.2 焊接工艺评定基本要素

当表 A.1 所列任一基本要素发生改变时,应重新进行焊接工艺评定。

表 A.1 焊接工艺评定基本要素

类型	基本要素的变更
焊接工艺	焊接工艺的改变
	电弧过渡模式的改变
	焊接自动化程度改变(手工焊、半自动焊、机动焊)
母材	强度等级的改变
	钢管来源/厂家的改变(钢板、钢锭、钢坯等)
	钢板或板卷加工设备的改变
	制管设备的改变
	制管工艺的改变,包括钢管成型和热处理工艺(EW,SAWH,无缝,扩径或不扩径,热处理或不热处理)
	化学成分超出生产技术规格书(MPS)文件 <sup>a</sup> 规定的上限值或钢管未按MPS文件制造的下列任何改变: a) 对于 $C \leq 0.12$ 的钢材, $P_{cm}$ 值增加 $\geq 0.02\%$ [ $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$ ]; b) 对于 $C \geq 0.12$ 的钢材, $CE$ 值增加 $\geq 0.03\%$ [ $CE = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ ]; c) 碳含量增加 $\geq 0.02\%$
	壁厚大于评定母材壁厚的 $\pm 3.2 \text{ mm}$
钢管管径的改变超出评定母材管径的 $-0.25D \sim 0.5D$	
填充金属	单批次填充金属化学成分的变化,见表 A.2
接头设计	接头的主要变更 <sup>b</sup>
焊接位置	从旋转焊变为固定焊,或反之
	从立焊改变为水平焊,或反之
时间间隔	根焊道完成与下一焊道开始之间的时间间隔增加。低氢工艺无须考虑
焊接方向	焊接方向的改变(如立向下焊改变为立向上焊,反之亦然)
保护气体	由一种气体改变为另一种气体
	保护气体流量的改变超出评定记录值 $\pm 10\%$ 以上
焊剂	焊剂的变更,相同型号填充金属制造商的变化
电特性	电流极性的改变(DC+, DC-, AC)
	每焊道焊接热输入量的改变超过评定记录值 <sup>c</sup> 的 $\pm 10\%$
预热温度	预热温度的改变
道间温度	道间温度的改变低于评定记录最低值,或高于评定记录最大值 $25 \text{ }^\circ\text{C}$
焊后热处理	焊后热处理要求的改变
<sup>a</sup> 用户宜考虑 MPS 文件规定的钢管化学成分是否能够达到焊缝金属的力学性能水平。化学成分要求应基于热分析的的结果。 <sup>b</sup> 坡口角度或坡口面角度的微小变化不是焊接工艺评定因素。 <sup>c</sup> 除非设计文件另有规定,否则该参数应记录为一个或一段焊道的平均值。波控电源的参数采样频率不应低于 $10 \text{ kHz}$ 。施工期间的参数记录和热输入量计算方法应与评定时相同。	

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

表 A.2 单批次填充金属化学成分相对于目标均值的允许变化范围

合金元素	允许变化范围/%	
	实心焊丝	金属粉芯焊丝
C	±0.02	±0.02
Mn	±0.10	±0.15
Si	±0.10	±0.10
Ni	±0.10	±0.10
Cr	±0.05	±0.05
Mo	±0.05	±0.05
Ti	±0.01	±0.02
V	±0.02	±0.02
Nb	±0.01	±0.01
Cu	±0.05	±0.05
P	±0.005	±0.005
S	±0.005	±0.005
B	±0.001	±0.002

### A.3.3 多来源钢管的焊接工艺评定

对于低熔合比的焊接工艺,例如熔化极气体保护机动焊,对表 A.1 母材中规定的多来源母材进行焊接工艺评定时,应按照下列要求补充环焊缝力学性能试验:

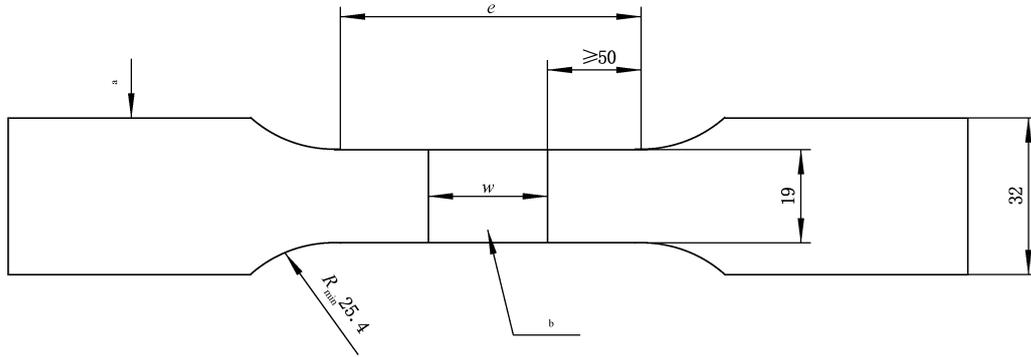
- 每种母材的热影响区按照 A.3.4.2 进行夏比冲击韧性试验;
- 每种母材的热影响区按照 A.3.4.3.3 进行 CTOD 试验;
- a) 或 b) 试验的全部环焊缝进行横向拉伸试验。

多来源钢管所有可能的组合可不进行环焊缝力学性能试验。

### A.3.4 环焊缝试验-对接焊

#### A.3.4.1 拉伸试验

A.3.4.1.1 试样应为带肩板的试样,试样尺寸应符合图 A.1 的规定,且应去除焊缝余高。焊缝应位于试样平行段的中心位置,试样两端长度应满足夹持要求,取样位置和试样数量见图 1 和表 3。



标引符号说明：

$w$ ——盖面宽度；

$e$ ——平行段长度。

<sup>a</sup> 试样长度应满足拉伸试验机的夹持要求。

<sup>b</sup> 去除焊缝内外表面余高。

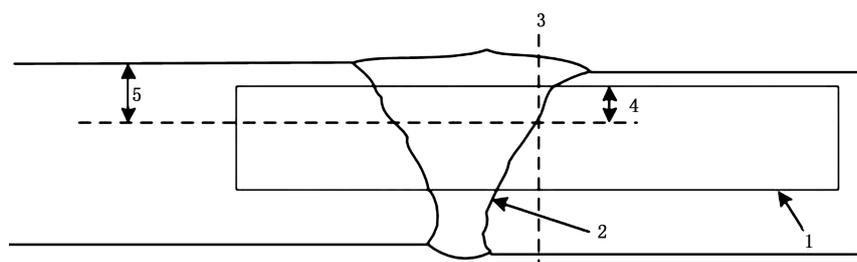
图 A.1 横向拉伸试样

A.3.4.1.2 环焊缝横向拉伸性能结果应满足以下规定。

- 若试样的抗拉强度不低于钢管的 SMTS, 试样合格。当试样的断裂位置在焊缝, 且抗拉强度满足要求, 该试样合格, 但环焊缝不低强匹配。
- 若试样断裂位置在焊缝或热影响区, 且抗拉强度低于钢管名义规定最大屈服强度, 则试样不合格。
- 若试样断裂位置在焊缝或热影响区之外, 且抗拉强度低于钢管的 SMTS 但不低于 95% SMTS, 则可复取两个试样, 复取试样的抗拉强度均不低于钢管的 SMTS。若复取的任一试样结果不满足要求, 则不再复取试样。
- 任何试样断裂位置在焊缝或热影响区以外的区域, 且抗拉强度低于钢管 95% SMTS, 则试样不合格, 且不复取试样。

A.3.4.2 夏比冲击试验

A.3.4.2.1 冲击试样的长度方向应与钢管轴线平行。宜优先采用标准的全尺寸冲击试样, 当钢管壁厚不满足全尺寸试样的制样要求时, 可制取小尺寸试样。小尺寸试样的厚度应至少为钢管壁厚的 80%。应分别从 12 点、6 点及 3 点(或 9 点)位置制取 6 个试样, 共计 18 个试样, 每个位置应有 3 个试样缺口开在焊缝中心, 3 个试样缺口开在热影响区。热影响区试样的缺口位置见图 A.2。



标引序号说明：

- 1——冲击试样；
- 2——熔合线；
- 3——冲击试样缺口位置；
- 4——1/3 冲击试样厚度；
- 5——1/3 壁厚。

图 A.2 热影响区夏比冲击试样及 V 形缺口位置

A.3.4.2.2 夏比冲击试验应符合 GB/T 229 的规定，试验温度不应高于最低设计温度，每个缺口位置（焊缝或热影响区）应至少有 9 个有效试样。

A.3.4.2.3 焊缝或热影响区的夏比冲击功应满足以下要求：

- a) 每组 3 个试样的均值大于或等于 40 J；
- b) 每组 3 个试样的单值大于或等于 30 J；
- c) 当使用小尺寸试样时，夏比冲击吸收能量的要求符合 a) 和 b) 的规定，不转化或修正。

A.3.4.2.4 当取自 12 点、6 点以及 3 点（或 9 点）位置的焊缝金属或热影响区的各组 9 个试样中，每组 3 个试样的平均值大于 40 J，且仅有 1 个试样的冲击吸收能量低于 30 J 时，可进行复检。复检应满足以下要求：

- a) 在原韧性低值的附近区域复取一组 3 个试样；
- b) 复取的 3 个试样的冲击吸收能量均不低于 40 J；
- c) 如满足上述复检要求，视为试样合格，否则，试样不合格，且不再复检。

#### A.3.4.3 断裂韧性试验

A.3.4.3.1 环焊缝断裂韧性试验应按照 GB/T 28896 进行，试样规格宜为  $B \times 2B$ ，取样位置见图 A.3。试样的长度方向应平行于钢管轴向，宽度方向为钢管环向，裂纹尖端应贯穿厚度方向。试样的厚度应为去除加工与磨削量后的最大钢管剩余壁厚（见图 A.4），应去除焊缝余高，试样粗加工后宜使用侵蚀剂显示出清晰的焊缝和热影响区轮廓。

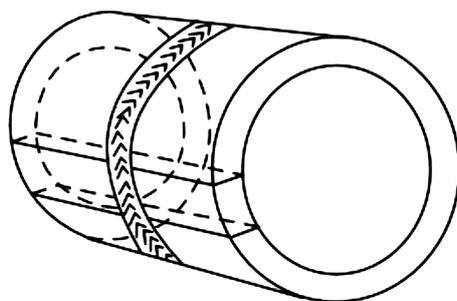


图 A.3 CTOD 试样的取样位置示意图

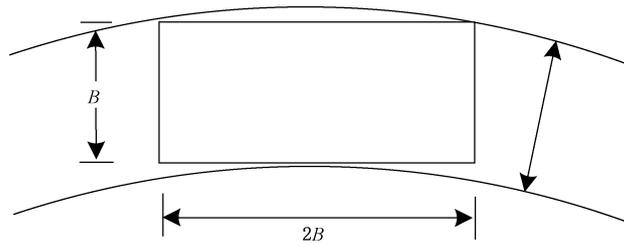


图 A.4 CTOD 试样加工与管壁厚关系示意图

A.3.4.3.2 焊缝金属 CTOD 试样的缺口及预制的疲劳裂纹尖端应位于焊缝中心,焊缝金属试样的开缺口位置见图 A.5。热影响区 CTOD 试样预制的疲劳裂纹应贯穿试样 70% 中间厚度范围内的最大热影响区粗晶区,热影响区试样的开缺口位置见图 A.6。每组热影响区的 3 个试样所预制的疲劳裂纹应分别穿过中部 70% 范围内的不同粗晶区。如不能满足上述要求,则可在同一粗晶区取多个试样。盖面焊缝热影响区的试样不应超过 1 件,避免从盖面焊缝热影响区的粗晶区多次取样。可通过显微硬度试验来辨别受后续焊道回火作用影响最小的焊缝热影响区粗晶区。

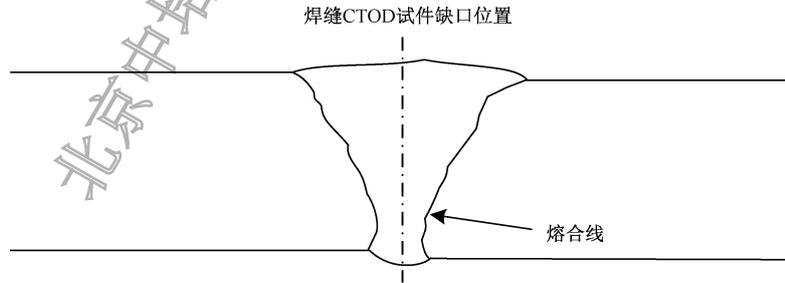


图 A.5 焊缝金属试样的开缺口位置示意图

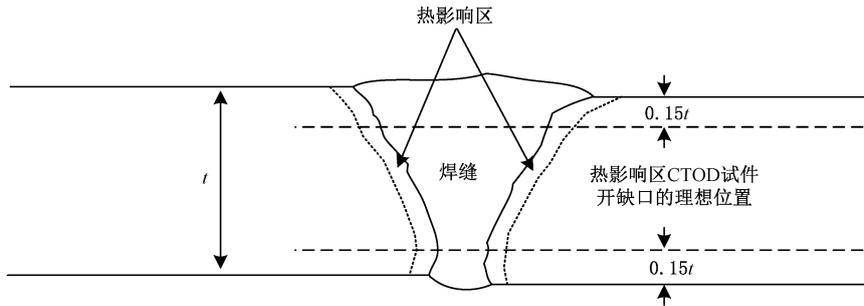


图 A.6 热影响区试样的开缺口位置示意图

A.3.4.3.3 每种焊接工艺的焊缝和热影响区都应进行 CTOD 试验,试验温度应为设计温度或低于设计温度。每组焊缝和热影响区的试验均应至少包括 3 个有效试样,这 3 个试样应分别取自试验焊缝的 12 点、3 点或 9 点、6 点位置,每个位置各取 1 个,并做好原始位置的永久性标识。

A.3.4.3.4 试验后,应按 GB/T 28896 的规定裂纹尖端平直度。本附录使用  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$  表示 CTOD 韧性值。当使用  $\delta_m$  时,应在首次达到最大载荷点测量。应根据 GB/T 28896 评估 Pop-in。测试报告应符合 GB/T 28896 的规定,并至少包括试样的取样位置,CTOD 韧性值代表  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$ ,载荷-位移曲线记录 and 断口表面形貌记录等信息。断口形貌记录可通过断口照片表示。

A.3.4.3.5 当存在下列任一情况时,可进行复检,复取试样数量按 1:1 的比例要求:

- a) 试件加工错误；
- b) 疲劳裂纹尖端不满足平直度要求；
- c) 裂纹尖端周围有较大的焊接缺欠。

A.3.4.3.6 当焊缝和热影响区全部 6 个试样的 CTOD 最小值均大于 0.05 mm 时,方可使用本附录。

#### A.4 焊工资格

焊工上岗考核应符合第 7 章的规定。

#### A.5 检测及可接受临界尺寸

##### A.5.1 平面缺欠

###### A.5.1.1 通则

评价前,应采用适合的无损检测方法测定缺欠的长度、高度及距外表面的深度。在检测精度已知且考虑了检测不确定度的情况下,可采用超声检测法、带有黑度计的射线检测法、超声成像法、根据焊道厚度估算等方法确定缺欠高度。缺欠高度值的确定应具有保守性。可采用常规射线检测来辨识缺欠长度,并辅助其他检测方法测定缺欠高度。

###### A.5.1.2 确定缺欠最大可接受尺寸的流程

A.5.1.2.1 确定平面缺欠最大可接受尺寸的方法有以下三种水平。

- a) 水平 1 是图形格式的简化方法。是基于理论和试验验证的塑性失效准则,并经过水平 2 的适当修正。
- b) 水平 2 是失效评估图方法。宜同时考虑脆性断裂、塑性失效,以及两种失效模式之间的影响(弹性-塑性断裂)。水平 1 和水平 2 方法仅适用于 A.2.2.1 中规定的承受有限疲劳载荷的管道。
- c) 水平 3 在交变载荷超过水平 1 和水平 2 对载荷谱强度的要求时使用,也可使用其他经过验证的有效的合于使用评定方法。

A.5.1.2.2 水平 1 应限于裂纹尖端张开位移 CTOD 大于或等于 0.10 mm 的情况。水平 2 和水平 3 可应用于 CTOD 最小值大于 0.05 mm 的情况。

A.5.1.2.3 水平 1 和水平 2 可无管径或  $D/t$  限制,但经理论证实,水平 1 和水平 2 评价在  $D/t \geq 10$  时有效性更好。

A.5.1.2.4  $Y/T > 0.95$  的钢管通常会有较低的均匀应变能力和延展性,当使用本附录对  $Y/T > 0.95$  的钢管进行评价时,应进行附加的力学性能试验。

###### A.5.1.3 水平 1

###### A.5.1.3.1 通则

根据 CTOD 值的不同,给出了两套验收准则。

- a) 图 A.7 为 CTOD 值大于或等于 0.25 mm 时,不同载荷水平( $P_r$ )条件下的缺欠最大可接受尺寸。若实际载荷水平未在图 A.7 中列出,可通过临近曲线插值或采用次高载荷水平曲线确定缺欠最大可接受尺寸。
- b) 图 A.8 为 CTOD 值大于或等于 0.10 mm 且小于 0.25 mm 时,缺欠最大可接受尺寸。
- c) 图 A.7 和 A.8 分别对应 CTOD 值为 0.25 mm 和 0.10 mm 的情况,因此图 A.7 和 A.8 缺欠可

接受尺寸的应用是有局限性的。

- d) 缺欠累计长度不应大于管周长的 12.5%，缺欠最大高度不应大于钢管壁厚的 50%。
- e) 埋藏缺欠的可接受高度应等同于表面缺欠的可接受高度。
- f) 缺欠可接受尺寸的固有安全系数允许缺欠高度应具有一定的尺寸偏差，且不对焊缝的完整性造成负面影响。固有安全系数中的假定缺欠高度不确定度为 1.5 mm 与 8%*t* 中的较小值。
- g) 当无损检测工艺的高度测量误差大于固有安全系数中假定的缺欠高度不确定度时，则缺欠可接受高度值应扣除无损检测工艺的高度测量误差与假定缺欠高度不确定度的差值。当无损检测工艺的高度测量误差小于假定缺欠高度不确定度时，可不对缺欠的可接受高度值做任何修正。

**A.5.1.3.2 载荷水平( $P_r$ )的计算**

应使用流变应力计算载荷水平，流变应力应为 SMYS 与 SMTS 之和的平均值。GB/T 9711 中 L360~L555 钢的流变应力也可按公式(A.2)估算：

$$\sigma_f = \sigma_y \left[ 1 + \left( \frac{150}{\sigma_y} \right)^{2.3} \right] \dots\dots\dots (A.2)$$

载荷水平( $P_r$ )的计算见公式(A.3)：

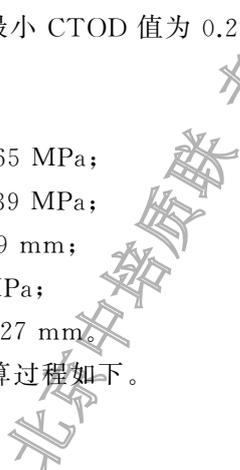
$$P_r = \frac{\sigma_a}{\sigma_f} \dots\dots\dots (A.3)$$

**A.5.1.3.3 水平 1 方法的应用实例**

钢管外径为 610 mm，壁厚为 12.7 mm，钢级为 L485。依据 A.2 确定的最大轴向设计应力为 424.04 MPa，环焊缝最小 CTOD 值为 0.279 mm。具体参数如下：

- a) *D*: 610 mm；
- b) *t*: 12.7 mm；
- c) SMYS: 482.65 MPa；
- d) SMTS: 565.39 MPa；
- e) CTOD: 0.279 mm；
- f)  $\sigma_a$ : 424.04 MPa；
- g) 检测误差: 1.27 mm。

详细的 ECA 计算过程如下。



订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

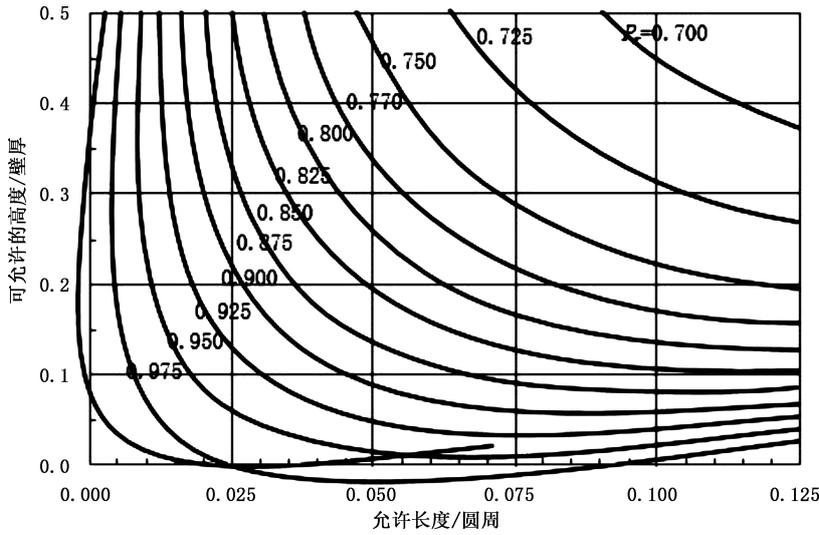


图 A.7 水平 1 CTOD ≥ 0.25 mm 时的缺欠临界尺寸

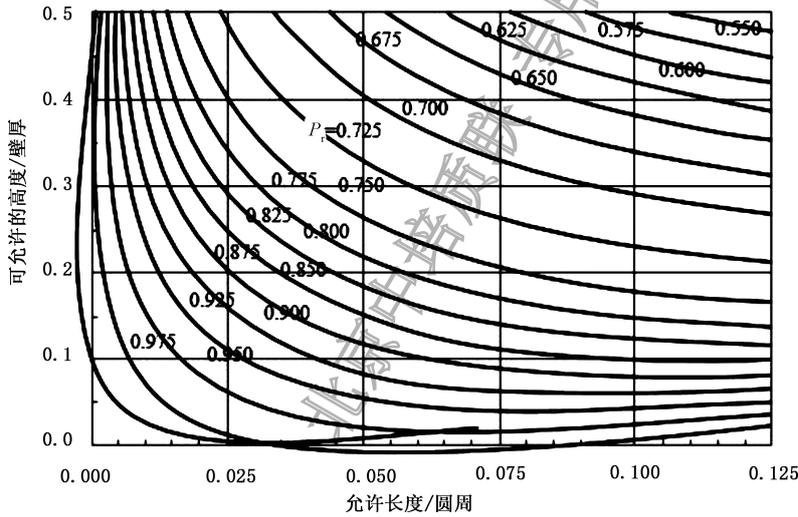


图 A.8 水平 10.10 mm ≤ CTOD < 0.25 mm 时的缺欠临界尺寸

步骤一:确定流变应力

钢级  $\sigma_y$  为 482.65 MPa 时,根据公式(A.2)计算得到的流变应力如下:

$$\sigma_f = 482.65 \times \left[ 1 + \left( \frac{150}{482.65} \right)^{2.3} \right] = 515.46 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

示例中流变应力可用 SMYS 与 SMTS 之和的平均值替代,本案例按照屈服强度和抗拉强度均值计算的流变应力为 524.02 MPa,与公式(A.2)计算出的结果非常接近。

步骤二:确定所施加的载荷水平

通过代入  $\sigma_a$  和流变应力  $\sigma_f$ ,依据公式(A.3)计算得到载荷水平  $P_r$ 如下:

$$P_r = \frac{\sigma_a}{\sigma_f} = \frac{424.04}{515.46} = 0.823 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

步骤三:确定初始的允许缺欠尺寸

CTOD ≥ 0.25 mm 的情况下,可根据图 A.7 中载荷水平  $P_r = 0.825$  的曲线进行插值处理,确定初始

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

的允许缺欠尺寸。表 A.3 和图 A.9 中列出了允许的缺欠尺寸。

表 A.3 的第二列显示允许的缺欠高度通过允许的缺欠高度/壁厚的比值乘以壁厚(此例中壁厚为 12.7 mm)得到。允许的缺欠长度通过允许的缺欠长度/管周长的比值乘以管周长( $\pi \times D$ )或  $3.14 \times 610$  mm 计算得到。

表 A.3 载荷水平为 0.825 时缺欠的初始允许尺寸

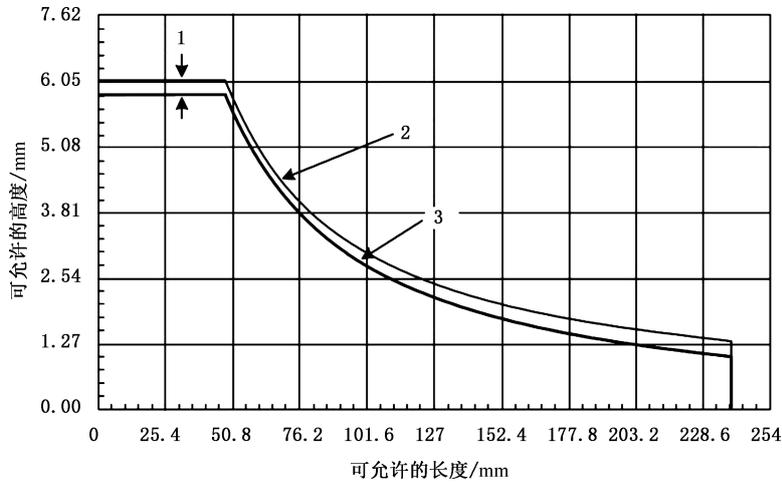
允许的缺欠高度/ 管壁厚度	允许的缺欠高度 mm	允许的缺欠长度/ 钢管周长	允许的缺欠长度 mm
0.5	6.35	0.025	48.26
0.4	5.08	0.032	60.96
0.3	3.81	0.042	81.28
0.2	2.54	0.063	121.92
0.1	1.27	0.128	246.38

步骤四:缺欠高度的调整

假定的缺欠高度不确定度取  $8\%t$  和 1.524 mm 两者之间的最小值,确定为 1.02 mm。

检测误差为 1.27 mm。

缺欠高度调整数值为检测误差减假定的缺欠高度不确定度,确定为 0.25 mm。



标引序号说明:

- 1——高度调整;
- 2——可允许的初台缺陷尺寸;
- 3——高度调整后可允许的最终缺陷尺寸。

图 A.9 高度调整前后的允许缺欠尺寸曲线

步骤五:最终的可接受表格

ECA 评价结果应以便于用户使用的表格形式列出,如表 A.4 所示。当钢管壁厚较厚时,表格中可出现更多的行,也可参照 A.5.1.4.2.1 中的步骤 h)对 ECA 结果进行进一步调整。

表 A.4 可接受的缺欠表格示例

单位为毫米

允许的缺欠高度	允许的缺欠长度
0~1.27	203.2
1.27~3.81	76.2
3.81~6.10	48.26
>6.10	0.0

### A.5.1.4 水平 2

#### A.5.1.4.1 背景

水平 2 是失效评估图法 (FAD), 使用者应精通和掌握断裂力学知识。水平 2 流程图见图 A.10, FAD 法的评定有三个重要组成部分:

- a) 失效评估曲线 (FAC);
- b) 应力 ( $S_r$ ) 或载荷比率 ( $L_r$ );
- c) 韧性比率 ( $K_r$ )。

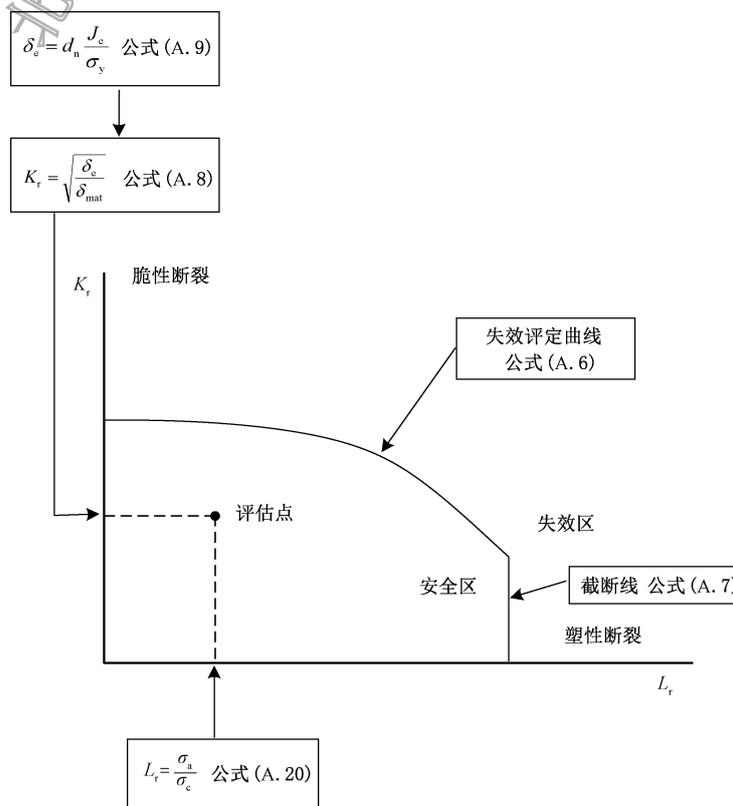


图 A.10 水平 2 流程图

失效评估曲线 (FAC) 是以应力比和韧性比定义的临界状态轨迹。应力比定义了塑性失效的可能性。韧性比是所施加的裂纹驱动力与材料的断裂韧性之比, 它定义了脆性断裂的可能性。

FAD 方法计算复杂,应由熟悉和理解断裂力学知识的人员实施,确保其应用的准确性。经验证正确的计算程序能极大地简化计算过程。

**A.5.1.4.2 确定临界缺欠尺寸**

**A.5.1.4.2.1** 应采用 A.5.1.4.3 中所列出的公式迭代计算确定临界缺欠尺寸,具体步骤如下。

- a) 设定缺欠尺寸的初始值。缺欠尺寸初始值应包括缺欠高度( $a$ )、缺欠高度和管壁厚之比( $\eta$ )和缺欠长度( $2c$ )。缺欠长度可根据采用的无损检测方法所能检测到的最小缺欠长度确定。
- b) 应按 A.5.1.4.3 的步骤,在失效评估图(FAD)中确定评定点。
- c) 如果评定点落在了安全区域以内,则应增加缺欠长度,并重复步骤 2。
- d) 如果评定点落在了安全区域以外,则应减小缺欠长度,并重复步骤 2。
- e) 如果评定点落在 FAC 上:
  - 1) 说明此状态为载荷、材料特性和缺欠尺寸组合条件下的临界状态,记录  $\eta$  和  $2c$ ;
  - 2) 数值不变,小幅度减小  $\eta$  值(如  $\Delta\eta$  为 0.05),重复步骤 2,得到  $\eta$  和  $2c$ 。
- f) 制作临界缺欠高度和长度记录表。
- g) 将缺欠长度取 1.5 倍的安全系数,获得可接受的缺欠高度与缺欠长度的初始允许缺欠尺寸。
- h) 对草稿表格进行必要的修正,确保其符合所选定的无损检测方法的检测性和良好的焊接操作性,获得最终的可接受缺欠高度与长度值。

**A.5.1.4.2.2** 总的缺欠长度不应大于管周长的 12.5%,最大缺欠高度不应大于管壁厚的 50%。

**A.5.1.4.2.3** 埋藏缺欠的可接受高度应等同于表面开裂缺欠的可接受高度。

**A.5.1.4.2.4** 水平 2 的固有安全系数对缺欠高度偏差具有一定的包容性,且不会对焊缝的完整性产生负面影响。固有安全系数中的假定缺欠高度偏差应为 1.5 mm 和 8% $t$  中的较小值。

**A.5.1.4.2.5** 当无损检测工艺的高度测量误差大于固有安全系数中假定的缺欠高度不确定度时,则缺欠可接受高度值应扣除无损检测工艺的高度测量误差与假定缺欠高度不确定度的差值,可参考 A.5.1.3.3 中步骤四的示例。当无损检测工艺的高度测量误差小于假定缺欠高度不确定度时,可不对缺欠的可接受高度值做任何修正。

**A.5.1.4.3 确定 FAD 评定流程的关键要素**

失效评估曲线(FAC)应根据公式(A.6)确定:

$$K_r = f(L_r) = (1 - 0.14L_r^2)[0.3 + 0.7\exp(-0.65L_r^2)] \dots\dots\dots (A.6)$$

失效评估曲线(FAC)在  $L_r$  轴上方的截断线应按公式(A.7)计算:

$$L_r^{\text{cutoff}} = \sigma_f / \sigma_y \dots\dots\dots (A.7)$$

韧性比  $K_r$  应按公式(A.8)计算:

$$K_r = \sqrt{\frac{\delta_e}{\delta_{\text{mat}}}} \dots\dots\dots (A.8)$$

$\delta_e$  应按公式(A.9)计算:

$$\delta_e = d_n \frac{J_e}{\sigma_y} \dots\dots\dots (A.9)$$

$d_n$  应按公式(A.10)估算:

$$d_n = 3.69\left(\frac{1}{n}\right)^2 - 3.19\left(\frac{1}{n}\right) + 0.882 \dots\dots\dots (A.10)$$

应变硬化指数应按公式(A.11)估算:

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

$$n = \frac{\ln(\epsilon_t/0.005)}{\ln\{1/(Y/T)\}} \dots\dots\dots(\text{A.11})$$

对于 GB/T 9711 的 L360~L555 级别的材料, 屈强比  $Y/T$  应按公式(A.12)计算:

$$Y/T = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{150}{\sigma_y}\right)^{2.30}} \dots\dots\dots(\text{A.12})$$

$\epsilon_t$  应按公式(A.13)计算:

$$\epsilon_t = -0.01206625 \sigma_y + 0.22 \dots\dots\dots(\text{A.13})$$

J 积分弹性分量应按公式(A.14)计算:

$$J_e = \frac{K_1^2}{E/(1-\nu^2)} \dots\dots\dots(\text{A.14})$$

公式(A.14)中的  $K_1$  应按公式(A.15)计算:

$$K_1 = \sigma_a \sqrt{\pi a} F_b \dots\dots\dots(\text{A.15})$$

公式(A.15)中的  $F_b$  是管径比  $\alpha$ 、相对缺欠长度  $\beta$  和相对缺欠高度  $\eta$  的函数, 应按公式(A.16)计算:

$$F_b(\alpha, \beta, \eta) = \begin{cases} F_{b0}(\alpha, \beta, \eta) & \eta \geq 0.1 \text{ 且 } \beta \leq \frac{80}{\pi} \frac{\eta}{\alpha} \\ F_{b0}\left(\alpha, \beta = \frac{80}{\pi} \frac{\eta}{\alpha}\right) & \eta \geq 0.1 \text{ 且 } \beta > \frac{80}{\pi} \frac{\eta}{\alpha} \\ F_{b0}\left(\frac{80}{\pi} \frac{0.1}{\alpha}, 0.1\right) & \eta < 0.1 \end{cases} \dots\dots\dots(\text{A.16})$$

公式(A.16)中的  $F_{b0}(\alpha, \beta, \eta)$  应按公式(A.17)计算:

$$F_{b0}(\alpha, \beta, \eta) = \left(1.09 + 2.31\alpha^{0.791}\beta^{0.906}\eta^{0.983} + \frac{m_1}{\alpha\beta} + \alpha^{0.806}\beta m_2\right) \dots\dots\dots(\text{A.17})$$

公式(A.17)中的  $m_1$  和  $m_2$  应按公式(A.18)和公式(A.19)计算:

$$m_1 = -0.00985 - 0.163\eta - 0.345\eta^2 \dots\dots\dots(\text{A.18})$$

$$m_2 = -0.00416 - 2.18\eta + 0.155\eta^2 \dots\dots\dots(\text{A.19})$$

$L_r$  应按公式(A.20)计算:

$$L_r = \frac{\sigma_a}{\sigma_c} \dots\dots\dots(\text{A.20})$$

公式(A.20)中  $\sigma_c$  应按公式(A.21)和公式(A.22)计算:

当  $\eta\beta < 0.05$  时:

$$\sigma_c = \left[\frac{\pi}{4} + 385(0.05 - \eta\beta)^{2.5}\right] \left[\cos\left(\frac{\eta\beta\pi}{2}\right) - \frac{\eta\sin(\beta\pi)}{2}\right] \sigma_y \dots\dots\dots(\text{A.21})$$

当  $\eta\beta \geq 0.05$  时:

$$\sigma_c = \frac{\pi}{4} \left[\cos\left(\frac{\eta\beta\pi}{2}\right) - \frac{\eta\sin(\beta\pi)}{2}\right] \sigma_y \dots\dots\dots(\text{A.22})$$

注:  $\pi$  为弧度单位。

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

A.5.1.5 水平 3

A.5.1.5.1 通则

仅当疲劳载荷谱强度超过  $5 \times 10^6$  的情况下,可使用水平 3 的方法。

水平 3 可使用验证合格的合于使用方法和评价试验来建立缺欠验收准则。水平 3 的评价应由精通断裂力学、管道焊接和无损检测原理知识的高素质分析师/工程师来实施。在建立验收准则时,任何被选择的评价程序均应被看成一个整体,并适当考虑安全系数。适用于水平 3 的具体评价流程和评定试验的基本假定可能不同于水平 1 和水平 2。不应将不同方法的各部分混合使用。

A.5.1.5.2 疲劳缺欠扩展

疲劳缺欠的评估应包括下列内容。

- a) 进行恰当的疲劳分析来确定初始的缺欠验收准则。可使用公开获取的各种程序和软件来确定缺欠扩展。在整个疲劳载荷谱中,检验缺欠在整个疲劳载荷谱所有峰值载荷下的静态抗裂性。
- b) 使用水平 1 得到的可接受缺欠尺寸可视为埋藏和表面缺欠的初始尺寸。如果在使用寿命(具有合适的设计或安全系数)结束前就达到了临界缺欠尺寸或出现了静态峰值载荷的失效,则减小初始缺欠尺寸。根据服役类型选择合适的裂纹扩展曲线( $da/dN$  曲线)。对于  $D/t$  值较小的钢管,壁厚方向的应力是非均匀的,进行多个位置初始缺欠的分析。

A.5.1.5.3 检测误差和允许缺欠尺寸的安全系数

应通过评定合格的检测系统/检测工艺/检测人员在特定项目或采用类似材料和焊接工艺的项目 NDT 评定结果提取检测误差,修正允许的缺欠高度。

A.5.1.6 横向平面缺欠

横向平面缺欠应进行返修或清除。焊缝缺欠的累积高度不应超过 6.4 mm 和  $50\%t$  中的较小值。

A.5.2 体积缺欠的验收极限

高断裂韧性材料中的埋藏体积缺欠,如夹渣或气孔等产生失效的可能性要远低于平面缺欠,这些缺欠可视为平面缺欠评定,或使用表 A.5 的简化方法。表面开裂缺欠和根据缺欠相互影响规则应重新归类为表面开裂缺欠的埋藏缺欠,应视为平面缺欠评价。本附录提出的 CTOD 和夏比冲击最低韧性要求值适用于上述两种评价方法。

表 A.5 埋藏体积缺欠的可接受临界尺寸

缺欠类型	高度或宽度	长度
气孔	$t/4$ 或 6.35 mm,二者取其小	$t/4$ 或 6.35 mm,二者取其小
夹渣	$t/4$ 或 6.35 mm,二者取其小	$4t$

A.5.3 电弧烧伤

表 A.6 是未经返修的电弧烧伤的验收标准,该标准的前提是假设电弧烧伤区域的热影响区韧性值为零,且所有平面缺欠的边缘是钝化的情况。若电弧烧伤含有肉眼可见或常规射线检测可检测到的裂纹,则本附录不适用,且应进行返修或清除。

表 A.6 未经返修的电弧烧伤的可接受临界尺寸

测量尺寸	验收标准
宽度	$t$ 或 7.94 mm, 二者取其小
长度(任意方向)	$t$ 或 7.94 mm, 二者取其小
深度(至弧坑底部)	1.59 mm, 二者取其小

注 1: 适用于最小 CTOD 值为 0.127 mm 或 0.254 mm 的情况。  
注 2: 大量数据显示电弧烧伤(包括热影响区)的深度不足其宽度的一半。

A.5.4 缺欠的相互影响

A.5.4.1 若两处缺欠相隔足够靠近,则可视为单个大缺欠。应根据图 A.11 确定缺欠是否存在相互影响。若存在相互影响,则应按图 A.11 计算其缺欠的有效尺寸,并按本附录评定。

A.5.4.2 在存在相互影响的缺欠中,若有一处缺欠需要返修,则所有相互影响的缺欠都应按 A.7 的规定进行返修。

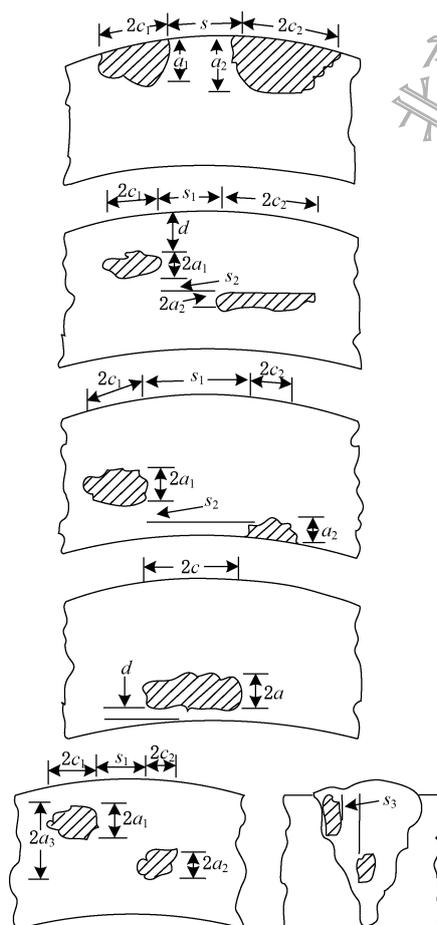


图 A.11 缺欠相互影响评价准则

标引符号说明：

- $a$  —— 缺欠高度；
- $c$  —— 缺欠半长；
- $s$  —— 缺欠间的距离；
- $d$  —— 缺欠与表面的距离；
- $a_1$  —— 缺欠 1 的高度；
- $a_2$  —— 缺欠 2 的高度；
- $c_1$  —— 缺欠 1 的半长；
- $c_2$  —— 缺欠 2 的半长；
- $s_1$  —— 缺欠间的径向距离；
- $s_2$  —— 缺欠间的环向距离。

图 A.11 缺欠相互影响评价准则（续）

## A.6 记录

应以适当的表格记录所有按照本附录拒收的所有缺陷类型、位置和尺寸信息。该记录应与包括射线胶片或其他无损检测记录在内的文件一起存档。

## A.7 返修

### A.7.1 焊缝返修及验收

依据本附录判定的所有缺陷，应按第 11 章的规定进行返修或割口。

焊缝返修区域的累计长度不应超过管周长 30% 或 763 mm 两者的较小值。返修区域的射线类检测应按 12.1 或 12.2 或 12.3 的规定进行，返修区域的超声检测应按照 12.6 或 12.7 或 12.8 的规定进行。当返修区域质量满足第 10 章或 A.7.2 的规定时，该返修可接受。

### A.7.2 依据水平 3 的特殊环境焊缝的返修及验收

当水平 3 的缺欠验收标准较第 10 章更为严格时，应根据水平 3 建立返修焊缝的替代验收标准。

## A.8 符号

- $a$  —— 缺欠高度，单位为毫米(mm)；
- $c$  —— 缺欠半长，单位为毫米(mm)；
- $D$  —— 钢管外径，单位为毫米(mm)；
- $d_n$  —— 由 J 积分计算 CTOD 的转换因子；
- $E$  —— 杨式模量，单位为兆帕(MPa)；
- $J_e$  —— J 积分的弹性分量，单位为兆帕毫米(MPa·mm)；
- $K_I$  —— 应力强度因子，单位为兆帕毫米平方根[MPa·(mm)<sup>1/2</sup>]；
- $K_r$  —— FAD 模式中的韧性比；
- $L_r$  —— FAD 模式中的应力比；
- $L_r^{\text{cutoff}}$  —— FAD 模式中的截断应力比；
- $n$  —— 应变硬化指数；
- $P_r$  —— 标准化的载荷应力或载荷水平；
- $\alpha$  —— 管径和壁厚之比， $\alpha = D/t$ ；

- $\beta$ ——缺欠长度和管周长之比,  $\beta = 2c/\pi D$ ;
- $\delta_e$ ——CTOD 韧性值的弹性部分, 单位为毫米(mm);
- $\delta_c, \delta_u, \delta_m, \delta_{mat}$ ——CTOD 韧性值, 单位为毫米(mm);
- $t$ ——钢管公称壁厚, 单位为毫米(mm);
- $\eta$ ——缺欠高度和管壁厚之比,  $\eta = a/t$ ;
- $\nu$ ——泊松比;
- $\sigma_a$ ——最大轴向设计应力, 单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_c$ ——塑性破坏应力, 单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_f$ ——管材的流变应力, 单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_y$ ——管材的屈服强度, 单位为兆帕(MPa);
- $\epsilon_t$ ——均匀应变。

北京中培质联 专用

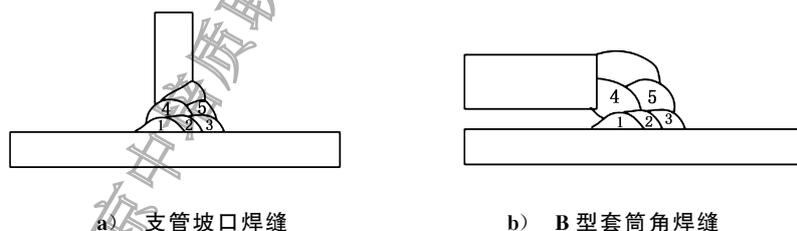
**附 录 B**  
(规范性)  
在役管道焊接技术

### B.1 通则

含有输送介质的带压或不带压、流动或不流动的管道系统,在该管道系统中与外管壁直接接触、熔合的焊接操作时,应按本附录的要求执行。为便于分析,本附录将输送原油、成品油或天然气的管道统称为在役管道。在役管道上进行焊接并得到的焊缝统称为在役焊缝。在役管道的焊接工艺应按照本附录进行评定。

在役管道的焊接主要是要避免“烧穿”和预防氢致裂纹,烧穿即为焊接电弧烧穿管壁。氢致裂纹主要是由于介质流动增加管壁散热,使得焊缝金属冷却速度增大。当钢管壁厚不小于 6.4 mm 时,采用低氢型焊条焊接,通常不会出现烧穿现象。而对于在役的薄壁管线,应采取特殊措施,如控制焊接热输入量等防止烧穿。烧穿一般可能发生在堆焊回火焊道隔离层、对焊缝缺陷返修焊、对管壁金属缺失进行堆焊修复等工况条件下。

氢致裂纹的产生,应同时满足三个条件:焊缝金属含氢量、焊接接头淬硬倾向及焊接接头所承受的拘束应力。若其中有一个条件不满足,就可避免产生氢致裂纹。对在役管道进行焊接时,应使用低氢型焊条或低氢焊接工艺。当不能保证焊缝金属低氢水平时,应采取减少焊接接头淬硬组织形成的方法,如焊接热输入量控制法、预热法、回火焊道工艺法等,均可有效地避免氢致裂纹。焊接热输入量控制法是使用足够大的焊接热输入量,以克服介质流动带来的负面影响,目前有多种预测焊接热输入量的方法,如计算机模拟热分析,这些热分析方法可预测焊接过程所需要的热输入量,但不应替代焊接工艺评定(见 B.2)。对某些在役管道进行焊接时,由于输送介质散热,会造成预热困难。图 B.1 为典型的回火焊道工艺的熔敷顺序。为了减少焊接应力,应合理装配,以减小根部的应力集中。



标引序号说明:

1、2、3——代表预堆隔离层焊道的熔敷顺序;

4、5 ——代表回火焊道的熔敷顺序。

预堆隔离层焊道宜采用直拉焊。后续回火焊道的焊接宜采用更大的热输入量,可对预堆隔离层焊道的热影响区起到细化和回火的作用。

**图 B.1 回火焊道熔敷顺序示例**

在役管道的焊接,既要考虑焊缝的安全性,又要具有可靠的使用性能。例如,如果管壁比较薄(小于 6.4 mm),应限制焊接热输入量以防止烧穿,但低热输入量又会因输送介质散热而使焊缝金属冷却速度增大,导致氢致裂纹产生。此时,应调整焊接工艺参数。如果防止烧穿工况的最大焊接热输入量仍不可避免氢致裂纹时,则应采取其他措施,如调整回火焊道顺序。

本附录的主要内容是防止在役管道焊缝中产生氢致裂纹。当钢管壁厚小于 6.4 mm,要考虑烧穿

的可能性,并应使用计算机模拟热分析或其他方法确定最大焊接热输入量。在役管道焊接时应分析内部流动介质在热作用下易爆、易燃,或影响管材性能使其产生应力腐蚀开裂或脆性断裂等问题。其他安全要求参照 SY/T 6554 执行。

在役管道的焊接应遵守本文件中关于角焊缝的规定,并满足图 B.1 的焊道熔敷顺序要求。

## B.2 在役管道的焊接工艺评定

### B.2.1 焊接工艺规程

#### B.2.1.1 通则

在役管道焊接工艺规程除符合 6.3 的规定外,还应符合本附录的规定。

#### B.2.1.2 钢管和管件

在役管道焊接时,除了指明材料的 SMYS 外,还应指明材料的碳当量。可依据碳当量值对母材进行分组。

当焊缝金属散热条件没有焊接工艺评定时严苛且氢致开裂的风险不会增加时,可用于比焊接工艺评定时所用母材碳当量更高的材料。

#### B.2.1.3 管道服役条件

在役管道焊接时,应指明焊接工艺适用的管道服役条件(如输送介质、流量等)。

#### B.2.1.4 焊接热输入量范围

焊接工艺采用热输入量控制方法,为克服介质流动影响而采用足够大的焊接热输入量时,应规定焊接热输入量范围。焊接工艺采用回火焊道,为克服介质流动影响而规定了回火焊道熔敷顺序时,应规定每焊道的焊接热输入量范围。

#### B.2.1.5 焊道顺序

采用回火焊道焊接工艺克服介质流动影响时,应规定焊道顺序和焊道间距。

### B.2.2 焊接工艺评定基本要素

当表 B.1 中规定的焊接工艺评定基本要素有变更时,应重新进行在役管道焊接工艺评定。当焊接工艺规程有表 B.1 中规定的焊接工艺评定基本要素以外的变更时,可修订焊接工艺规程,不必重新进行焊接工艺评定。表 B.2 中列出了焊接工艺评定和焊工上岗资格考试适用的基本要素。

表 B.1 焊接工艺评定基本要素

序号	类型	焊接工艺评定基本要素的变更
a	钢管和管件	对于在役管道的角焊缝,SMYS 不是基本要素
		除在役管道的角焊缝外,其余焊接接头的抗拉强度或屈服强度宜大于或等于钢管和管件的规定最小抗拉强度或屈服强度
		除下列规定外,焊接工艺评定所用钢管和管件的碳当量增加构成基本要素:若焊接工艺评定的散热条件比在役管道焊接更为恶劣,且不会增加在役管道焊接的氢致裂纹风险,则可使用比焊接工艺评定时碳当量更高的钢管和管件

表 B.1 焊接工艺评定基本要素 (续)

序号	类型	焊接工艺评定基本要素的变更
b	管道服役条件	管道服役条件恶化,如焊缝金属冷却速度增加构成基本要素
c	壁厚	a) 堆焊修复时,壁厚是基本要素; b) 在役管道焊接散热条件苛刻时,壁厚是基本要素; c) 上述两种情况外的其他工况,壁厚不属于基本要素
		对在役管道的金属缺失进行堆焊修复时,剩余壁厚小于焊接工艺评定的壁厚,壁厚是基本要素
d	焊道熔敷顺序	回火焊道从一种焊道顺序变更为另一种焊道顺序是基本要素
		对于回火焊道规定的焊道间距变化超过评定记录值构成基本要素
e	焊接方法	焊接工艺规程中焊接方法的变更
f	接头设计	接头设计的重大变更(如对接焊缝改为角焊缝)。带坡口角焊缝评定合格的焊接工艺适用于不带坡口角焊缝
g	填充金属	表 2 规定的填充金属组别,从一组变更为另一组。还应从力学性能和氢致裂纹敏感性的方面分析母材和填充金属的匹配性
h	保护气体和流量	一种保护气体变更为另一种保护气体,或一种混合气体变更为另一种混合气体
		保护气体流量范围增加或减少超过 20%
i	电特性	直流焊接时焊条(或焊丝)接正极变更为接负极或反之;直流电变为交流电或反之
j	焊接热输入	焊接工艺规程中焊接热输入量的变更。焊接工艺规程的焊接热输入量应基于焊接工艺评定的焊接热输入量范围及避免裂纹和烧穿的焊接热输入量范围
k	焊道之间的时间间隔	根焊道完成后至第二道焊道开始前所允许的最长时间间隔的增加。 采用回火焊道工艺时,第一层焊道(预堆隔离层)完成后至第二层焊道(回火焊道)开始前允许的最长时间间隔的增加
l	焊接方向	从下向焊改为上向焊,或者反之
m	预热	降低焊接工艺规程的最低预热温度。如果计算机热模拟分析预测的预热温度的变化不会导致焊缝金属冷却速度高于焊接工艺评定,则可以取消或降低预热温度
n	层(道)间温度	降低焊接工艺规程的层(道)间温度范围。如果散热条件没有比焊接工艺评定更严苛,且不增加氢致裂纹的风险,则无须重新进行焊接工艺评定即可降低层(道)间温度
o	焊后热处理	增加焊后热处理工艺或改变焊接工艺规程中焊后热处理的参数范围或温度值
p	消氢处理	降低焊接工艺规程中消氢处理的时间或温度范围。如果消氢处理低于评定记录值,且不增加氢致裂纹风险,则可减少时间或降低温度

订购号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

表 B.2 焊接工艺评定和焊工上岗资格考试适用的焊接工艺评定基本要素

焊接工艺评定因素	在役管道的焊接工艺评定	在役管道的套筒角焊缝焊工上岗考试 <sup>a</sup>	在役管道的支管坡口焊缝的焊工上岗考试 <sup>a</sup>	在役管道的管壁金属缺失堆焊修复焊工上岗考试	在役管道套筒纵焊缝的焊工上岗考试 <sup>b</sup>	在役管道的返修焊接工艺评定	在役管道的返修焊工上岗考试
焊接工艺	表 B.1 序号 e	B.3.1	B.3.1	B.3.1	B.3.1	表 B.6 序号 b	B.7.3
管道带压运行条件下焊缝金属的抗拉或屈服强度	c	—	—	—	—	c	—
碳当量	表 B.1 序号 a	—	—	—	—	表 B.1 序号 a	—
焊缝冷却速度	表 B.1 序号 b	B.3.2	B.3.2	B.3.2	B.3.2	表 B.1 序号 b	—
接头设计	表 B.1 序号 f	B.3.1	B.3.1	B.3.1	B.3.1	—	—
返修类型	—	—	—	—	—	表 B.6 序号 a	B.7.3.2
剩余壁厚	—	—	—	—	—	—	B.7.3.2
壁厚,如剩余壁厚小于 6.4 mm 和评定壁厚两者之间的较大值	d	—	—	—	—	d	—
主管管径	—	B.3.1	B.3.1	—	—	—	B.7.3.2
主管壁厚	表 B.1 序号 c	B.3.1	B.3.1	B.3.1	B.3.1	—	B.7.3.2
支管管径	—	B.3.1	B.3.1	—	—	—	B.7.3.2
支管壁厚	—	B.3.1	B.3.1	—	—	—	B.7.3.2
电特性	表 B.1 序号 i	—	—	—	—	表 B.1 序号 i	—
焊接热输入	表 B.1 序号 j	B.3.2	B.3.2	B.3.2	B.3.2	表 B.1 序号 j	e
支管位置	—	B.3.1	B.3.1	—	—	—	B.7.3.2
坡口位置	—	—	—	B.3.1	B.3.1	—	B.7.3.2
套筒角焊缝位置	—	B.3.1	B.3.1	—	—	—	B.7.3.2
焊接方向	表 B.1 序号 l	B.3.1	B.3.1	B.3.1	B.3.1	表 B.1 序号 l	B.7.3.2

表 B.2 焊接工艺评定和焊工上岗资格考试适用的焊接工艺评定基本要素 (续)

焊接工艺评定因素	在役管道的焊接工艺评定	在役管道的套筒角焊缝焊工上岗考试 <sup>a</sup>	在役管道的支管坡口焊缝的焊工上岗考试 <sup>a</sup>	在役管道的管壁金属缺失堆焊修复焊工上岗考试	在役管道套筒纵焊缝的焊工上岗考试 <sup>b</sup>	在役管道的返修焊接工艺评定	在役管道的返修焊工上岗考试
焊缝熔敷顺序	表 B.1 序号 d	B.3.2	B.3.2	B.3.2	B.3.2	表 B.1 序号 d	B.3.2
填充金属组别	表 B.1 序号 g	B.3.1	B.3.1	B.3.1	B.3.1	表 B.1 序号 g	B.7.3.2
保护气体类型	表 B.1 序号 h	表 B.1 序号 h	表 B.1 序号 h	表 B.1 序号 h	表 B.1 序号 h	表 B.1 序号 h	—
保护气体流量	表 B.1 序号 h	—	—	—	—	表 B.1 序号 h	—
预热	表 B.1 序号 m	—	—	—	—	表 B.1 序号 m	—
层(道)间温度	表 B.1 序号 n	—	—	—	—	表 B.1 序号 n	—
焊后后热	表 B.1 序号 p	—	—	—	—	表 B.1 序号 p	—

**注:** “—”表示不适用。

<sup>a</sup> 在役管道的套筒角焊缝和支管坡口焊缝的焊工上岗考试除遵守 7.3.2 和 7.4.2 外,还应符合本表的规定。

<sup>b</sup> 在役管道中与主管相关的焊接操作应符合本附录的要求。

<sup>c</sup> 焊缝金属强度不是焊接工艺评定基本要素,但除套筒角焊缝以外的其他焊缝,如支管坡口焊缝、套筒纵向坡口焊缝和堆焊返修焊缝,焊缝金属强度宜大于或等于钢管、管件的规范最小强度。

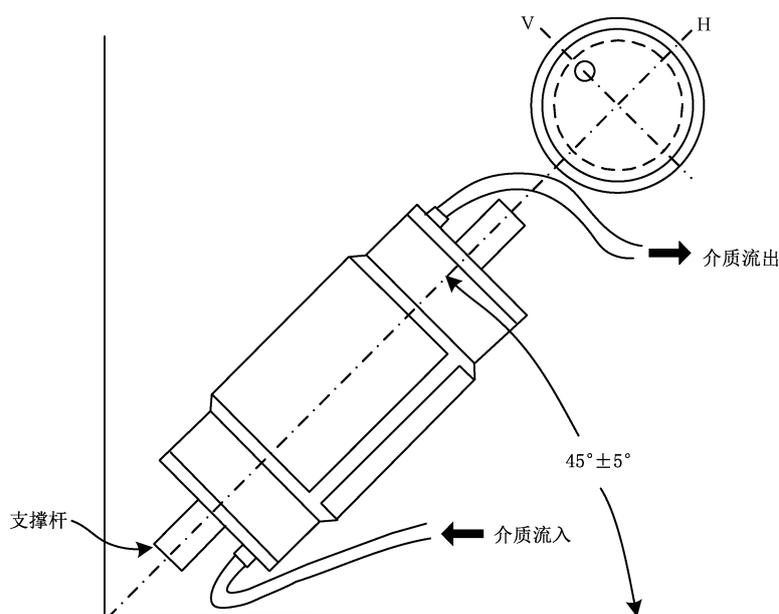
<sup>d</sup> 当剩余壁厚小于 6.4 mm 时,应评估会增大烧穿风险的因素,如焊接热输入量过大,或其他导致管内壁温度升高的条件。

<sup>e</sup> 在安装焊接过程中,如果焊接热输入量较大偏离评定记录值,会导致冷裂纹敏感性倾向或烧穿风险增加。

**B.2.3 试验接头的焊接**

**B.2.3.1** 在役管道中支管和套袖的焊接应按 6.7 的规定进行。当进行试验接头焊接时,应模拟管道运行条件。

**B.2.3.2** 焊接试验接头时,试验管内充满水,且水流过试验截面时的散热条件与施工现场相同或更为苛刻(见图 B.2)。具有模拟现场焊接条件的焊接工艺评定方可应用于现场,也可采用其他介质(如机油)来模拟不太苛刻的散热条件。



标引符号说明：

H —— 横向；

V —— 纵向。

焊接工艺评定采用图中的焊接位置和焊缝位置时,可进行任何现场施工条件的安装焊接。焊接工艺评定也可使用其他焊接位置和焊缝位置,但仅适用于具有相同现场施工条件的安装焊接。

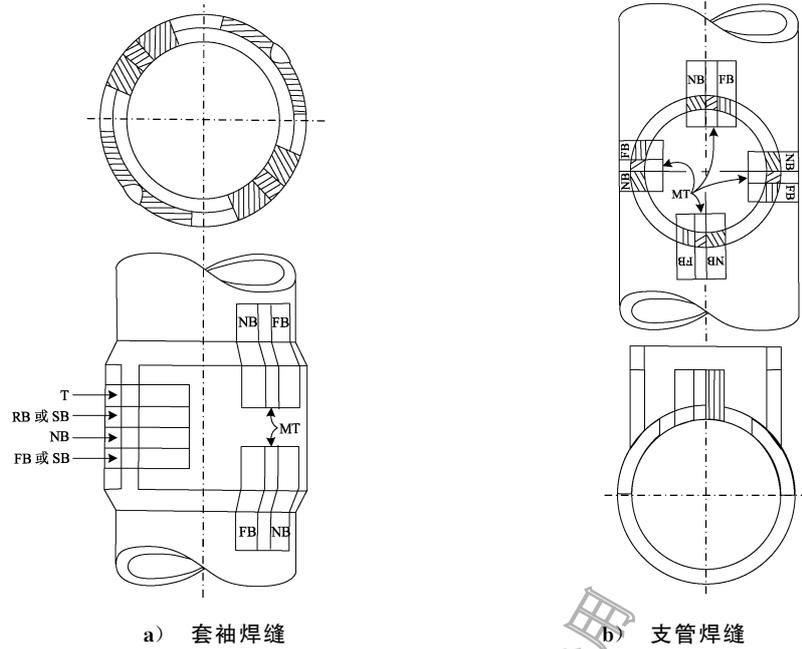
图 B.2 焊接工艺评定和焊工上岗考试的焊件示意图

**B.2.3.3** 堆焊修复焊缝的焊接应在含有模拟金属缺失的管段上进行。模拟的管壁金属缺失面积应满足制取试样数量要求,也可进行多个小面积管道金属缺失的焊接。取样和制样应符合 B.2.4.1 的规定。模拟金属缺失处的剩余壁厚不应大于焊接工艺规程中规定的最小值。堆焊修复后应达到原始钢管壁厚。

## B.2.4 焊接接头试验

### B.2.4.1 准备

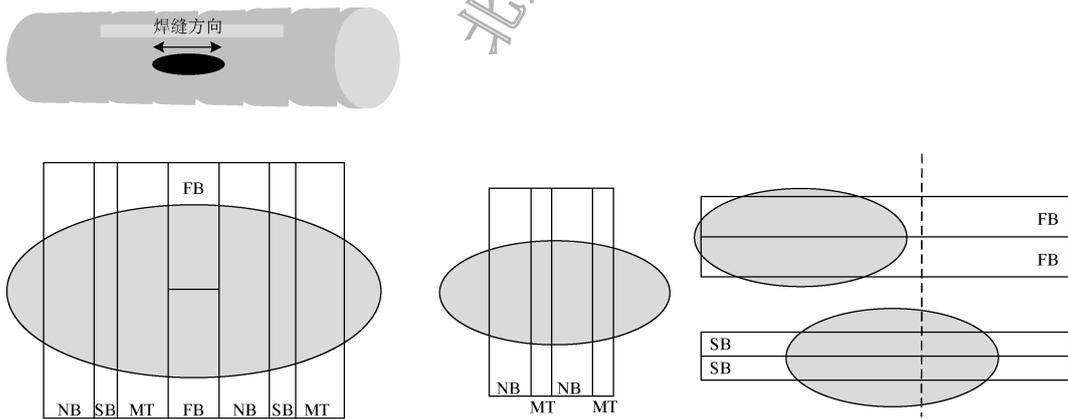
取样和制样应符合图 B.3 或图 B.4 的规定。试验类型和试样数量见表 B.3。试样的切割、加工或破坏性试验应在焊接完成 24 h 后进行。



标引符号说明:

- T —— 拉伸试样;
- RB —— 背弯试样;
- FB —— 面弯试样;
- NB —— 刻槽锤断试样;
- SB —— 侧弯试样;
- MT —— 宏观金相试样。

图 B.3 试样的取样位置



标引符号说明:

- FB —— 面弯试样;
- MT —— 宏观金相试样;
- SB —— 侧弯试样;
- NB —— 刻槽锤断试样。

图 B.4 堆焊修复焊缝的取样位置示意图

表 B.3 试验类型和试样数量

管壁厚/mm	接头类型	试样类型及试样数量/个 <sup>a</sup>					
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	宏观金相
≤12.7	纵向坡口焊缝	2	2	2	2	0	0
	套筒角焊缝	0	4 <sup>b</sup>	0	4	0	4
	支管坡口焊缝	0	4 <sup>b</sup>	0	4	0	4
	堆焊修复	0	2	0	4	0	2 <sup>c</sup>
>12.7	纵向坡口焊缝	2	2	0	0	4	0
	套筒角焊缝	0	4 <sup>b</sup>	0	4	0	4
	支管坡口焊缝	0	4 <sup>b</sup>	0	4	0	4
	堆焊修复	0	2	0	2	2	2 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> 外径小于或等于 114.3 mm 的钢管或支管,应焊接两个焊件。  
<sup>b</sup> 刻槽锤断试验后,剩余的试件部分可进行面弯试验(见 B.2.4.5)。可选择面弯试验来代替刻槽锤断试验。  
<sup>c</sup> 宏观试验后,剩余的试件部分可进行面弯试验(见 B.2.4.5)或侧弯试验(见 6.6.5),可选择面弯或侧弯试验来代替宏观金相试验。

#### B.2.4.2 纵向坡口焊缝

套筒的纵向坡口焊缝的试验应按 6.6 进行。如果焊接时使用了背部垫板,试验前应先去。试验前试样可在室温下展平。

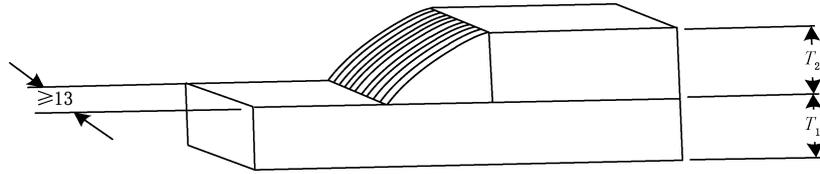
#### B.2.4.3 支管坡口焊缝、套筒角焊缝和堆焊修复焊缝

支管坡口焊缝和套筒角焊缝的试验应按 6.8、B.2.4.4 和 B.2.4.5 进行。堆焊修复焊缝的试验应按 6.6.3、B.2.4.4 和 B.2.4.5 进行。当需要进行侧弯试验时,应按 6.6.5 进行。

#### B.2.4.4 宏观金相试验——支管坡口焊缝、套筒角焊缝和堆焊修复焊缝

##### B.2.4.4.1 准备

宏观金相试样应至少 13 mm 宽,见图 B.5。试样可先通过机械切割或火焰切割进行粗加工,然后机加工切除至少 6 mm。宏观金相试样应至少有一个表面经 W14(600 目)砂纸抛光。应用浸蚀液(如过硫酸铵、稀盐酸)侵蚀剂侵蚀试样表面,以清晰显示焊缝组织。



标引符号说明：  
 T<sub>1</sub>——管壁厚；  
 T<sub>2</sub>——附件壁厚。

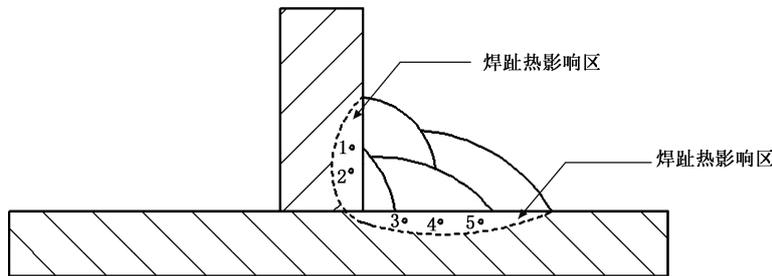
图 B.5 在役管道的焊接接头宏观金相试样

**B.2.4.4.2 外观检查**

应在充分显示焊缝完整细节的光线下对金相试样进行检查,可不使用光学显微镜或其他表面无损检测方法。

**B.2.4.4.3 硬度试验**

应从四个宏观金相试样中随机选取两个试样进行硬度试验,用维氏硬度机压头,对每个测量点施加 10 kg 载荷。试验应符合 GB/T 4340(所有部分)的规定。应在焊趾热影响区部位的粗晶区最少测量 5 个硬度点,见图 B.6。机动焊的焊接热影响区较为狭窄时,可采用更小载荷的维氏硬度计测试。



标引序号说明：  
 1、2、3、4、5——硬度测试点。

图 B.6 焊趾热影响区硬度测量示意图

**B.2.4.4.4 要求**

每个试样的根部应完全熔合和无裂纹。角焊缝的焊脚高度应至少为焊接工艺规程的要求高度,角焊缝的凹凸度误差不应超过 1.5 mm,咬边深度不应超过 0.8 mm 和钢管壁厚 12.5% 两者中的最小值。在役管道的焊接接头硬度值不应超过表 B.4 的规定。

表 B.4 中的有效壁厚应根据公式(B.1)计算：

$$t_e = (2t_s + t_a) / 3 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- t<sub>e</sub> ——有效壁厚,单位为毫米(mm)；
- t<sub>s</sub> ——钢管壁厚,单位为毫米(mm)；
- t<sub>a</sub> ——配件壁厚,单位为毫米(mm)。

表 B.4 非酸性环境下焊接接头的最大硬度值<sup>a、b</sup> (HV10)

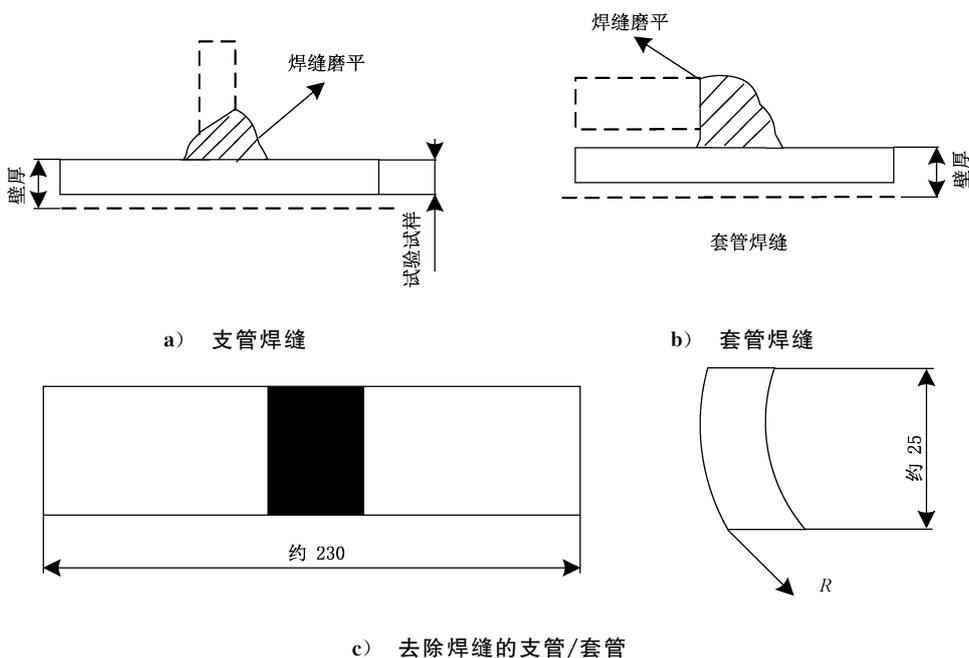
焊接工艺	最大维氏硬度值(HV10)							
	有效壁厚 <sup>c、d</sup> /mm							
	≤9.5		12.7		15.9		19.1	
	CE IIW <sup>d</sup>							
	≤0.35	≥0.5	≤0.35	≥0.5	≤0.35	≥0.5	≤0.35	≥0.5
低氢焊接工艺(焊缝金属氢含量最大为5 mL/100 g)	375	425	358	408	342	392	325	375
低氢焊接工艺(焊缝金属氢含量最大为10 mL/100 g)	350	400	335	383	317	367	300	350
其他焊接工艺	300	350	285	335	265	315	250	300

<sup>a</sup> 表中给定的硬度值可能不适用于 C%<0.10%的微合金钢及 SMYS≥555 MPa 的钢管。  
<sup>b</sup> 最大硬度值是测量 5 个硬度点的平均值。对于酸性介质,参考适用的标准或规范。  
<sup>c</sup> 有效壁厚根据公式(B.1)计算而得。  
<sup>d</sup> 采用线性插值方法计算中间壁厚和/或 CE 值对应的最大硬度值,见示例 1~示例 4。  
示例 1: 对于“其他焊接工艺”情况,当管道壁厚为 10.3 mm,CE 为 0.4 时。  
示例 2: 对于 CE=0.35,  $HV10=300 - ((0.406 - 0.375) \times (300 - 285) / (0.500 - 0.375)) = 296$ 。  
示例 3: 对于 CE=0.5,  $HV10=350 - ((0.406 - 0.375) \times (350 - 335) / (0.500 - 0.375)) = 346$ 。  
示例 4: 所以,  $HV10=296 + (0.4 - 0.35) \times (346 - 296) / (0.5 - 0.35) = 313$ 。

#### B.2.4.5 面弯试验——支管坡口焊缝、套筒角焊缝和堆焊修复焊缝

##### B.2.4.5.1 准备

面弯试样约 230 mm 长,25 mm 宽,见图 B.7。面弯试样可先通过机械切割或火焰切割的方法制成粗样,然后用机加工去除 3 mm 切割面。试样各表面应光滑平行,且其长边缘应磨成圆角。套筒、支管和加强板应去除至与试样表面平齐,但不应低于试样表面。所有咬边不应磨除。试验前试样不应压平。



标引符号说明：

$R$ ——所有边角的最大半径, 3 mm。

壁厚大于 12.7 mm 时, 将试样内表面机加工至 12.7 mm 厚。

可采用刻槽锤断试样试验后的剩余部分制作面弯试样。

图 B.7 面弯试样示意图

#### B.2.4.5.2 方法

面弯试验应在焊后 24 h 后进行。面弯试验应在导向弯曲模具上弯曲, 导向弯曲试验模具见图 8。试样的焊缝中心应对准压头轴线, 并以焊缝外表面朝向下模。在试样上表面施加压力, 将试样压入下模内, 直到试样弯曲或近似 U 形。

#### B.2.4.5.3 要求

面弯试样的弯曲拉伸面上, 焊缝和热影响区发现的任何方向上的裂纹或缺欠尺寸不应大于公称壁厚的 1/2, 且不大于 3.0 mm。若试样边缘出现裂纹但未发现其他明显缺欠, 则任何方向上的裂纹长度不应大于 6 mm。

### B.3 在役管道的焊工资格

#### B.3.1 焊工上岗资格

从事在役管道纵向坡口焊缝、套筒角焊缝、堆焊修复焊缝等焊接操作的焊工应按 B.3.2 的规定, 使用评定合格的在役管道焊接工艺规程进行上岗考试。焊工上岗考试所完成的焊缝应按 B.3.3 的规定进行破坏性试验。焊工上岗资格基本要素如下。

a) 焊接方法的变更, 如:

- 1) 一种焊接方法变更为另外一种不同的焊接方法;
- 2) 焊接方法组合的变更, 除非焊工具有每一种焊接方法的单项资格, 否则应使用该组合焊接

方法进行上岗考试。

- b) 从下向焊改为上向焊,或反之。
- c) 填充金属组别的变更。从表 2 的组别 1 或组别 2 变更为其组别,或者组别 3 至组别 7 变更为组别 1 或组别 2。表 2 中未列出的填充金属组别变更为任何其他组别的填充金属,或反之。
- d) 接头设计的重大变更。坡口面角度等微小变化不属于焊工上岗资格基本要素:
  - 1) 如焊工取得套筒角焊缝的焊接资格,则具备在管道与套筒的套筒角焊缝或管道与支管之间角焊缝的焊接资格;
  - 2) 如焊工取得支管焊缝(包括支管坡口焊缝、支管角焊缝)的焊接资格,则具备支管焊缝的焊接资格;
  - 3) 如焊工取得纵向坡口焊缝的焊接资格,则具备在主管道套筒的纵向坡口焊缝以及带垫板的纵向坡口焊缝的焊接资格。
- e) 增加管道、支管或套筒的管径:
  - 1) 如焊工取得 323.9 mm 及以上管径的角焊缝焊接资格,则具备所有管径的焊接资格;
  - 2) 如焊工取得支管焊缝(包括支管坡口焊缝、支管角焊缝)的焊接资格,且管径大于或等于 323.9 mm,则具备对所有管径的焊接资格;
  - 3) 对于堆焊修复焊缝和纵向坡口焊缝,主管或套筒的管径不属于焊工上岗资格基本要素。
- f) 增加管道、支管或套筒的壁厚。当焊接壁厚小于 6.4 mm 时,焊工应证明其有能力防止烧穿:
  - 1) 如焊工取得 6.4 mm 及以上壁厚的套筒角焊缝焊接资格,则具备对所有壁厚的焊接资格;
  - 2) 如焊工取得支管焊缝(包括支管坡口焊缝、支管角焊缝)的焊接资格,且壁厚大于或等于 6.4 mm,则具备对所有壁厚的焊接资格;
  - 3) 如焊工取得纵向坡口焊缝的焊接资格,且套筒壁厚大于或等于 9.5 mm,则具备对所有壁厚套筒的焊接资格;
  - 4) 对于堆焊修复焊缝,主管壁厚不属于基本要素。
- g) 焊接位置的变更:
  - 1) 如焊工取得主管和套筒焊接位置为水平固定或斜 45°固定位置的角焊缝焊接资格,则具备对所有焊接位置的焊接资格;
  - 2) 如焊工取得主管焊接位置为水平固定或斜 45°固定,支管位于主管侧面、底部或侧面与底部之间的焊接位置的角焊缝焊接资格,则具备对所有焊接位置的焊接资格;
  - 3) 如焊工取得主管焊接位置为水平固定或斜 45°固定位置的支管焊缝(包括支管坡口焊缝、支管角焊缝)的焊接资格,则具备对所有支管焊接位置的焊接资格;
  - 4) 如焊工取得支管位于主管侧面、底部或侧面与底部之间的焊接位置的支管焊缝(包括支管坡口焊缝、支管角焊缝)的焊接资格,则具备对所有支管焊接位置的焊接资格;
  - 5) 如焊工取得套筒焊接位置为水平固定或斜 45°固定位置的纵向坡口焊缝的焊接资格,则具备对所有焊接位置的焊接资格;
  - 6) 如焊工取得主管焊接位置为水平固定或斜 45°固定,且焊缝返修位于主管底部位置的焊接资格,则具备对所有焊接位置的返修焊接资格;
  - 7) 如焊工取得主管侧面焊接位置的焊接资格,则具备对主管侧面和顶部位置的返修焊接资格;
  - 8) 如焊工取得主管顶部焊接位置的焊接资格,则具备对主管顶部位置的返修焊接资格。

### B.3.2 考试焊口的焊接

B.3.2.1 焊接考试焊口时,应模拟在役管道运行时流动介质的运行条件。

**B.3.2.2** 焊接管试件时,试验管内充满水,且保持水流动的散热条件与施工现场相同或更恶劣,见图 B.2。此条件下考试合格的焊工视为具备在役管道焊接上岗资格。也可采用其他介质(如机油)来模拟散热条件相对较好的工况。

**B.3.2.3** 焊工完成的试件,除应符合 B.3.3 中关于破坏性试验的规定外,还应在执行焊接工艺规程条件下能够避免出现导致冷裂纹的淬硬组织,并防止烧穿。对于焊接热输入量控制法的焊接工艺,焊工应有能力将焊接热输入量控制在焊接工艺规程规定的范围内。对于回火焊道工艺法的焊接工艺,焊工应有能力按焊接工艺规程要求正确排布焊道位置和焊道顺序,并能将焊接热输入量控制在规定的范围内。

### B.3.3 破坏性试验

若考试焊工经检验和试验符合 7.5 和 7.6 的规定,则焊工具有上岗资格。对于堆焊修复焊工,试验类型和试样数量见表 B.3。对于纵向坡口焊缝,试验类型和试样数量见表 B.5。

表 B.5 纵向坡口焊缝焊工资格试验类型和试样数量

管壁厚/mm	试样数量/个				
	拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯
≤12.7	1	1	1	1	0
>12.7	1	1	0	0	2

### B.3.4 记录

应记录焊工考试时的管道运行条件(如输送介质、流量等)。施工条件可分组。

## B.4 在役管道焊接的推荐操作

### B.4.1 工程焊接

在役管道焊接除应执行第 8 章规定外,还应执行本附录的规定。

在役管道焊接前,应综合分析工作压力、流动介质和焊接部位壁厚等影响安全的因素。应检查焊接区域,确保无缺欠且剩余壁厚符合要求。焊工应熟悉不同输送介质管道(原油、成品油或天然气等)焊接的安全预防措施,具体安全预防措施应按 SY/T 6554 执行。

### B.4.2 组对

#### B.4.2.1 装配

焊接套筒和马鞍型加强板时,套筒或马鞍型加强板与主管之间的间隙不应太大。应使用夹具进行合理装配。如有必要,可在主管上进行预堆焊使间隙最小。

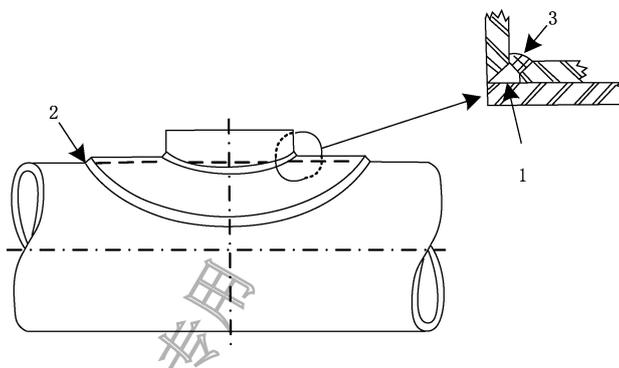
#### B.4.2.2 根部间隙——纵向坡口焊缝

不应将纵向坡口焊缝直接焊透至主管上。纵向坡口焊缝可不完全焊透。当要求整个套筒的纵向坡口焊缝完全焊透时,应在套筒的背部加装低碳钢垫板,且根部间隙足够大。此类纵向坡口焊缝不属于在役管道焊缝。

### B.4.3 焊接顺序

套筒和支管的焊接推荐按图 B.8~图 B.13 所示序号的顺序进行。套筒应先完成纵向坡口焊缝的

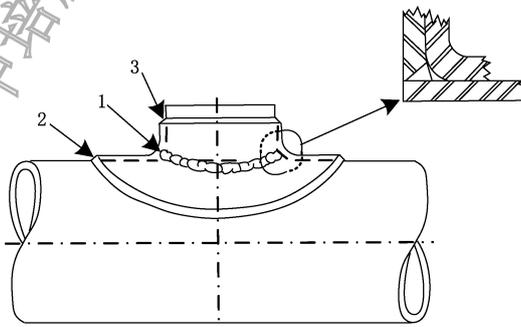
焊接, 然后进行套筒角焊缝的焊接。应在完成套筒一端套筒角焊缝焊接后, 再进行另一端的套筒角焊缝焊接。对于其他类型的套筒, 应采用使残余应力最小化的焊接顺序。



标引序号说明:

1、2、3——代表焊接顺序。

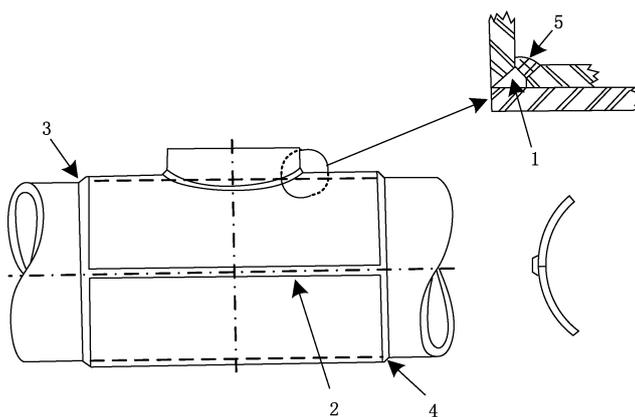
图 B.8 补强板推荐的焊接顺序



标引序号说明:

1、2、3——代表焊接顺序。

图 B.9 马鞍型补强板推荐的焊接顺序

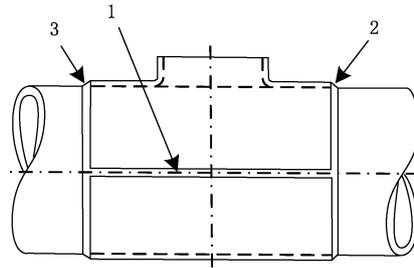


标引序号说明:

1、2、3、4、5——代表焊接顺序。

第 3 道和第 4 道环向焊缝可不焊。

图 B.10 对开三通套筒推荐的焊接顺序

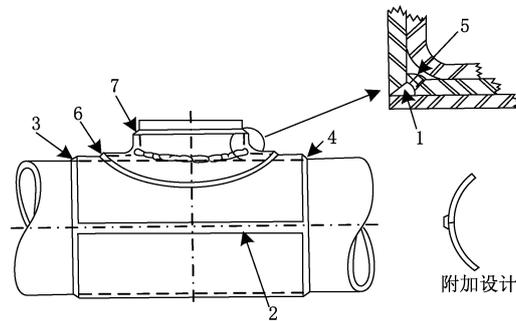


标引序号说明:

1、2、3——代表焊接顺序。

施焊时,管件承受管线工作压力。

图 B.11 全包围三通推荐的焊接顺序

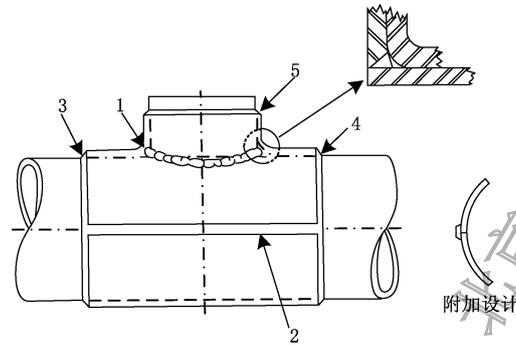


标引序号说明:

1、2、3、4、5、6、7——代表焊接顺序。

第3道和第4道套筒角焊缝可不焊。

图 B.12 带压开孔对开三通套筒和马鞍型补强板推荐的焊接顺序



标引序号说明:

1、2、3、4、5——代表焊接顺序。

图 B.13 带压开孔全包围三通推荐的焊接顺序

制定堆焊修复焊接工艺规程时,应包括焊前准备和焊道熔敷顺序。例如,应先堆焊外圈焊道以确定修补边界,不应超边界焊接。在修补边界内进行第一层堆焊时,应按限定的焊接热输入量进行焊接,避免烧穿。在第一层堆焊焊缝上进行第二层堆焊时,应对第一层外圈焊道的焊趾部位热影响区进行回火处理。后续堆焊的焊道和焊层可使用较高的焊接热输入量,以进一步回火第一层堆焊焊道,但存在烧穿风险时,仍应按限定的焊接热输入量要求进行焊接。为了完全修复金属壁厚缺失,可进行多层的堆焊焊接。

#### B.4.4 焊接方向

在役管道进行焊接时,焊接方向宜与环向应力方向平行,即沿圆周方向进行焊接。

#### B.5 在役管道焊缝的检测与试验

**B.5.1** 焊缝的检测和试验应同时满足第 9 章及 B.5.2~B.5.3 的要求。

**B.5.2** 与主管相连的焊缝易产生焊道下裂纹或延迟裂纹,应采用无损检测方法进行检测。使用的检测方法可采用磁粉检测、超声检测,或两者共用,使用评定合格的检测工艺规程。

**B.5.3** 在检测氢致裂纹前,应分析易出现裂纹的时机与焊缝产生裂纹概率的关系,确定合适的检测延迟时间;延迟时间较长可降低检测完成后裂纹出现的概率;采用可靠的焊接工艺也可使延迟裂纹出现的可能性降至最低。

#### B.6 无损检测验收标准(包括外观检查)

在役管道焊缝的无损检测验收按第 10 章执行。堆焊修复的焊缝长度是指缺陷所在方向上的最大焊缝长度。

#### B.7 在役管道的焊缝返修

##### B.7.1 通则

本条适用于对在役管道上的新焊缝进行焊接返修,以及对在役管道原焊缝上的焊接缺陷或服役过程中的损坏进行焊接返修。当在役管道焊缝需要返修时,应对该部位进行无损检测。无法进行焊缝内部无损检测时,不应进行打磨操作。

首次对在役管道上的新焊缝进行焊接返修时,应由合格的在役管道焊工按照原在役管道的焊接工艺规程进行焊接。若进行第二次返修,则应按 B.7.2 和 B.7.3 的规定进行返修焊接工艺评定和返修焊工资格考试。

对在役管道原焊缝上的焊接缺陷或服役过程中的损坏进行焊接返修时,应按在役管道的返修焊接工艺规程进行焊接,并由符合 B.7 要求的在役管道的返修焊工进行操作。按照 11.8 和 B.3 的要求取得相应资格的焊工应具有在役管道返修的焊接资格。

##### B.7.2 在役管道的返修焊接工艺评定

###### B.7.2.1 基本要素

当在役管道返修焊接工艺规程存在 B.2.2 或表 B.6 所列基本要素变更时,应重新进行返修焊接工艺评定,并编制新的返修焊接工艺规程。表 B.6 给出了适用于在役管道返修焊接工艺规程的基本要素。

表 B.6 返修焊接工艺评定基本要素

序号	类型	焊接工艺评定因素的变更
a	返修类型 <sup>a</sup>	返修类型的变更。全壁厚返修变更为部分壁厚返修时不构成基本要素的变更
b	焊接方法的变更	返修焊接方法不同于原焊接工艺评定的焊接方法
		堆焊修复的焊接方法不同于原始焊缝的焊接方法
<sup>a</sup> 在役管道返修类型见表 B.7 的规定。		

### B.7.2.2 返修焊接工艺评定的破坏性试验

在役管道的返修焊接工艺评定应进行外观检查和破坏性试验。按业主或设计文件要求可进行无损检测。返修焊接工艺评定时,焊缝冷却至环境温度之前不应进行破坏性试验和无损检测。返修焊缝破坏性试验应符合 B.2.4 的规定,试验类型和试样数量见表 B.7。当规定现场在役焊缝通过夏比冲击试验以满足设计要求时,还应进行夏比冲击试验以评定部分壁厚和全壁厚返修。当壁厚超过 12.7 mm 时,侧弯试验应代替面弯或背弯试验(见表 3)。若未完全打磨透,则属于部分壁厚返修。若完全打磨透,则属于全壁厚返修。若完全打磨去除角焊缝且不产生间隙,则属于部分壁厚返修。

表 B.7 试验类型和试样数量

返修类型	试样数量/个			
	拉伸	面弯	宏观/硬度 <sup>a</sup>	冲击
支管全壁厚	0	1	1	0
部分壁厚(坡口焊缝)、堆焊修复	1	1	1	<sup>a</sup>
部分壁厚(支管角焊缝和套筒角焊缝)	0	1	1	0
盖面焊缝	0	1	1	0
支管背面焊缝	0	1	1	0

<sup>a</sup> 硬度和夏比冲击试验的试样数量和验收标准参考原始焊缝的要求。

### B.7.3 在役管道返修焊工资格

#### B.7.3.1 返修焊工上岗资格

焊工应根据评定合格的在役管道返修焊接工艺规程进行上岗考试。钢管强度等级的改变不是在役管道返修焊工上岗资格基本要素。考试时,焊工应自行准备返修坡口,并焊接足够的长度,以满足破坏性试验的试样数量要求。考试焊缝应满足第 7 章的目视检查 and 无损检测检测要求,应记录并保存在役管道返修焊工资格考试的详细信息。

#### B.7.3.2 返修焊工资格适用范围

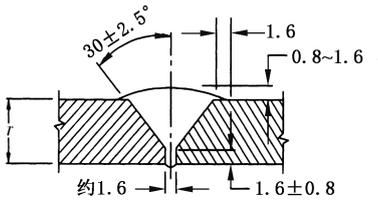
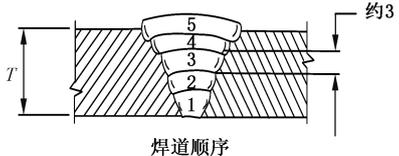
在役管道返修焊工资格如果发生下列任何基本要素的变化,应重新进行资格考试。

- 从盖面返修或背面焊缝返修变更为部分壁厚返修或全壁厚返修。
- 填充金属组别的变更。
- 当打磨返修坡口时,剩余壁厚减少至低于其上岗考试时的剩余壁厚。
- 焊接位置的变更。仰焊位置可覆盖的所有焊接位置。
- 支管壁厚、环焊缝返修、堆焊修复,或者正在修补的管道或管件壁厚的组别变更(见表 5)。
- 焊接方向从立向上变更为立向下,或反之。
- 11.8.2 所规定的返修焊工上岗资格基本要素和 B.3.4 所规定的输送介质、流量的变更。

附录 C  
(资料性)  
焊接记录表

焊接工艺评定记录表格格式见表 C.1, 试件试验报告表格格式见表 C.2, 焊工焊机操作工考试记录表格格式见表 C.3, 返修焊工上岗的资格因素信息表见表 C.4。

表 C.1 焊接工艺评定记录表格格式

焊接工艺评定记录 编号: _____ 评定时间: _____ 委托单位: _____ 评定单位: _____ 焊接方法: _____ 材料: _____ 外径和壁厚: _____ 焊接接头形式: _____ 填充金属、焊道层数: _____ 焊接位置: _____ 焊接方向: _____ 焊工数量: _____ 焊道之间的时间间隔: _____ 对口器类型及其拆卸: _____ 清理和(或)打磨: _____ 预热和应力消除: _____ 保护气体和流量: _____ 保护焊剂: _____ 附图和附表: _____ 焊工: _____ 试验: _____ 审核(焊接工程师): _____ 批准(焊接责任工程师): _____	
单位为毫米	
	
注: 尺寸仅供参考	

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

表 C.1 焊接工艺评定记录表格格式 (续)

焊接参数							
焊道	焊材规格和型号	极性	电弧电压	电流	焊接速度	保护气体流量	热输入量

表 C.2 试件试验报告表格格式

焊接试样试验报告							
日期:		试验编号:					
位置:							
试样状态:		焊接位置:		旋转焊 <input type="checkbox"/>		定位焊 <input type="checkbox"/>	
焊工姓名:		焊工代号:					
焊接所需时间:		焊接时间:					
试验温度:		防风措施:					
气候条件:							
电弧电压:		电流:					
焊机型号:		焊机容量:					
填充金属:							
焊缝余高尺寸:							
管子类型和等级:		外径:					
壁厚:							
	1	2	3	4	5	6	7
试样编号							
试样原始尺寸							
试样原始面积							
最大载荷							
抗拉强度							
断裂位置							

表 C.2 试件试验报告表格格式 (续)

<input type="checkbox"/> 焊接工艺	<input type="checkbox"/> 评定试验	<input type="checkbox"/> 合格
<input type="checkbox"/> 焊工考试	<input type="checkbox"/> 工程焊口试验	<input type="checkbox"/> 不合格
最大抗拉强度	最小抗拉强度	平均抗拉强度
拉伸试验结论:		
1.		
2.		
3.		
4.		
弯曲试验结论:		
1.		
2.		
3.		
4.		
刻槽锤断试验结论:		
1.		
2.		
3.		
4.		
冲击韧性试验结论:		
1.		
2.		
3.		
4.		
其他试验结论:		
1.		
2.		
3.		
4.		
试验单位:	试验日期:	
试验:	批准:	

北京中培质联 专用

订购单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

表 C.3 焊工焊机操作工考试记录表格格式

焊工姓名：            试件编号：            项目名称：            考试日期：    年    月    日

焊接工艺方法：		执行焊接工艺规程编号：						
焊材型号：		规格：						
试件钢级：		规格：						
装配条件：		坡口及角度：	形(°)	对口方法：	根部间隙：	mm	钝边：	mm
错边：		最大错边量	mm,	错边长度	mm,	错边位置		
预热方法：	环境温度： 环境湿度： 风速：	预热温度：	°C		延迟停气时间：			
电源种类：		保护气体类型：		焊后保温：				
电源型号：		纯度要求：		运条方式：				
清理工具：		提前送气时间：		其他：				
工艺参数	焊道							
	根焊	热焊	填充 1	填充 2	填充 3	填充 4	盖面焊	
焊条(丝)种类								
焊条(丝)规格/mm								
电压范围/V								
电流范围/A								
焊接速度/(cm/min)								
送丝速度/(cm/min)								
气体流量/(L/min)								
摆幅/mm								
摆频/Hz								
干伸长度/mm								
停留时间/s								
极性(正、反)								
焊接起始时间								
焊接结束时间								
焊接温度								
焊接方向								

焊工签字：

记录人签字：

表 C.4 返修焊工上岗的资格因素信息表

返修焊工上岗考试 应记录的资格因素	考试记录	上岗资格及范围
焊接工艺	SMAW	SMAW
返修类型	全壁厚返修	全壁厚返修、部分壁厚返修
每种填充金属组别熔敷的 焊缝金属厚度	12 mm	≤24 mm
返修焊缝坡口位置	6G	2G、5G、6G
焊接方向	上向	上向

北京中培质联 专用

参 考 文 献

- [1] GB/T 3375 焊接术语
  - [2] NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- 

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

北京中培质联 专用

订单号: 0100240321135290 防伪编号: 2024-0321-0815-3155-0122 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

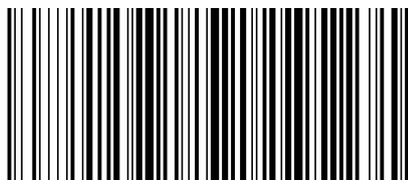
北京中培质联 专用

## ⚠ 版权声明

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!



购买者:北京中培质联  
时 间:2024-03-21  
定 价:129元



GB/T 31032-2023

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
钢质管道焊接及验收  
GB/T 31032—2023

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

服务热线:400-168-0010

2023年12月第一版

\*

书号:155066·1-74805

版权专有 侵权必究