



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31032—2014

## 钢质管道焊接及验收

Welding and acceptance standard for steel pipings and pipelines

2014-12-05 发布

2015-06-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
钢质管道焊接及验收  
GB/T 31032—2014

※

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](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

※

开本 880×1230 1/16 印张 6.25 字数 181 千字  
2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月第一次印刷

※

书号:155066·1-51448 定价 81.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107

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 焊接一般规定 ..... 4

    4.1 设备 ..... 4

    4.2 材料 ..... 4

5 焊接工艺评定 ..... 5

    5.1 工艺评定 ..... 5

    5.2 记录 ..... 5

    5.3 工艺规程 ..... 5

    5.4 焊接工艺规程的基本要素 ..... 7

    5.5 试验管接头的焊接——对接焊 ..... 10

    5.6 焊接接头的试验——对接焊 ..... 10

    5.7 试验管接头的焊接——角焊 ..... 17

    5.8 焊接接头的试验——角焊 ..... 17

6 焊工资格 ..... 18

    6.1 概述 ..... 18

    6.2 资格考试 ..... 18

    6.3 上岗考试 ..... 19

    6.4 单项资格 ..... 19

    6.5 全项资格 ..... 20

    6.6 考试焊口外观检查 ..... 20

    6.7 破坏性试验 ..... 20

    6.8 射线检测——仅用于对接焊 ..... 23

    6.9 补考 ..... 23

    6.10 记录 ..... 23

7 施工现场焊接接头的设计和准备 ..... 23

    7.1 概述 ..... 23

    7.2 管口组对 ..... 24

    7.3 对接焊缝对口器的使用 ..... 24

    7.4 坡口 ..... 24

    7.5 气候条件 ..... 24

    7.6 作业空间 ..... 24

    7.7 层间清理 ..... 24

    7.8 固定焊 ..... 24



7.9 旋转焊 .....	25
7.10 焊口标记 .....	25
7.11 预热及焊后热处理 .....	25
8 焊缝检验与人员资格 .....	25
8.1 检验内容 .....	25
8.2 检验方法 .....	25
8.3 检测人员的资格审定 .....	26
8.4 无损检测人员的资格 .....	26
9 无损检测验收标准 .....	26
9.1 概述 .....	26
9.2 拒收权 .....	26
9.3 射线检测 .....	26
9.4 磁粉检测 .....	32
9.5 渗透检测 .....	33
9.6 超声检测 .....	33
9.7 咬边的外观检查标准 .....	34
10 缺陷的消除和返修 .....	35
10.1 返修权限 .....	35
10.2 返修规程 .....	35
10.3 验收标准 .....	35
10.4 监督 .....	35
10.5 焊工 .....	35
11 无损检测 .....	35
11.1 射线检测方法 .....	35
11.2 磁粉检测方法 .....	41
11.3 渗透检测方法 .....	41
11.4 超声检测方法 .....	41
12 有填充金属的机动焊 .....	45
12.1 适用的焊接方法 .....	45
12.2 焊接工艺评定 .....	45
12.3 记录 .....	45
12.4 焊接工艺规程 .....	45
12.5 焊接工艺规程的变更 .....	47
12.6 焊接设备和操作人员的审定 .....	49
12.7 合格机动焊操作工的记录 .....	49
12.8 现场焊缝的检查和试验 .....	49
12.9 无损检测验收标准 .....	49
12.10 缺陷的返修和切除 .....	49
12.11 射线检测 .....	50
12.12 超声检测 .....	50
附录 A (资料性附录) 本标准与 API Std 1104:2010 相比的结构变化情况 .....	51



附录 B (资料性附录) 本标准与 API Std 1104:2010 技术性差异及其原因 .....	54
附录 C (规范性附录) 环焊缝的附加验收标准 .....	59
C.1 概述 .....	59
C.2 应力分析 .....	60
C.3 焊接工艺 .....	61
C.4 焊工资格 .....	65
C.5 检测及验收标准 .....	65
C.6 记录 .....	74
C.7 返修 .....	75
C.8 术语 .....	75
附录 D (规范性附录) 在役管道焊接技术 .....	76
D.1 概述 .....	76
D.2 在役管道系统的焊接工艺评定 .....	77
D.3 在役焊接焊工资格 .....	81
D.4 在役管道系统焊接的推荐操作 .....	82
D.5 在役管道焊缝的检测与试验 .....	85
D.6 无损检测验收标准(包括外观检查) .....	86
D.7 缺陷的清除和返修 .....	86
附录 E (资料性附录) 焊工考试记录 .....	87
参考文献 .....	92
图 1 对接接头焊接工艺评定试验的试样位置 .....	10
图 2 拉伸试样 .....	12
图 3 刻槽锤断试样 .....	12
图 4 背弯和面弯试样(壁厚 $\leq 12.7$ mm) .....	13
图 5 侧弯试样(壁厚 $> 12.7$ mm) .....	13
图 6 刻槽锤断试样的缺欠尺寸测量 .....	14
图 7 导向弯曲试验胎具 .....	15
图 8 冲击试样 .....	16
图 9 刻槽锤断试样的位置:角焊焊接工艺及焊工资格考试 .....	17
图 10 刻槽锤断试样的位置:角焊焊接工艺评定及焊工资格考试(包括支管连接焊工资格考试) .....	18
图 11 对接焊焊工资格考试试验的试样位置 .....	21
图 12 根部未焊透 .....	27
图 13 错边未焊透 .....	27
图 14 中间未焊透 .....	28
图 15 焊道根部或接头顶面表面未熔合 .....	28
图 16 夹层未熔合 .....	28
图 17 根部内凹 .....	28
图 18 气孔最大分布:壁厚 $\leq 12.7$ mm .....	30
图 19 气孔最大分布:壁厚 $> 12.7$ mm .....	31
图 20 线型像质计 .....	38
图 21 手动超声参考试块 .....	43

图 22 确定距离、折射角及声速 ..... 44

图 23 转换程序 ..... 44

图 C.1 横向拉伸试样 ..... 62

图 C.2 热影响区的夏比冲击试验取样及 V 型缺口开口位置 ..... 63

图 C.3 CTOD 试样的取样位置 ..... 63

图 C.4 CTOD 试样加工与管壁厚关系示意图 ..... 64

图 C.5 焊缝金属试样的开缺口位置 ..... 64

图 C.6 热影响区试样的开缺口位置 ..... 64

图 C.7 方法一  $CTOD \geq 0.25$  mm 时的缺陷极限曲线 ..... 66

图 C.8 方法一  $0.10$  mm  $\leq CTOD < 0.25$  mm 时的缺陷极限曲线 ..... 67

图 C.9 高度调整前后的允许缺陷尺寸曲线 ..... 68

图 C.10 第二种工艺的示意图 ..... 69

图 C.11 缺陷干涉评估准则 ..... 74

图 D.1 典型的回火焊道熔敷顺序实例 ..... 76

图 D.2 推荐的焊工考试方法和装配 ..... 78

图 D.3 在役管道系统焊接工艺评定试验试样的取样位置 ..... 79

图 D.4 在役管道系统焊缝的宏观试验试样 ..... 80

图 D.5 面弯试样 ..... 81

图 D.6 加强板 ..... 83

图 D.7 加强鞍板 ..... 83

图 D.8 环形套袖 ..... 84

图 D.9 环形三通管 ..... 84

图 D.10 环形套袖和鞍板 ..... 85

图 D.11 环形鞍板 ..... 85

表 1 填充材料分类 ..... 8

表 2 焊接工艺评定试验的试样类型及数量 ..... 11

表 3 试验项目和试样数量 ..... 21

表 4 咬边的最大尺寸 ..... 34

表 5 透照厚度的计算 ..... 37

表 6 JB/T 7902 标准规定的线型像质计线号、线径 ..... 38

表 7 像质计的选用 ..... 39

表 C.1 载荷水平=0.825 时的初始允许缺陷尺寸 ..... 68

表 C.2 验收表格示例 ..... 69

表 C.3 内部体积缺陷的验收极限 ..... 73

表 C.4 未经返修的电弧烧伤的验收标准 ..... 73

表 D.1 试验项目和试样数量 ..... 78

表 D.2 纵焊缝焊工资格试验项目和试样数量 ..... 82

表 E.1 焊接工艺评定记录表格格式 ..... 87

表 E.2 试件试验报告表格格式 ..... 88

表 E.3 焊工考试记录表格格式 ..... 90

表 E.4 焊工考试结果表格格式 ..... 91



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 和 GB/T 20000.2—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 API Std 1104:2010《钢质管道焊接及验收》。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本标准起草单位:中国石油管道学院、中国石油天然气管道第二工程公司、廊坊北方检测公司。

本标准主要起草人:李建军、高泽涛、续理、王乐生、吴大可、吕向阳、于英姿、王义、刘光云、徐进、张宏亮、袁浩、周文波、乔桂利、韩德辉、胡庆春、马佳、古楨、周艳霞、陈俊敏、田丽。



## 钢质管道焊接及验收

### 1 范围

本标准规定了原油、成品油、燃气、二氧化碳、氮气等介质的输送管线、管网、阀室和站场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气焊和电弧焊工艺,也包括集输系统的焊接工艺。

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、气焊或其组合。焊接方式为手工焊、半自动焊、机动焊、自动焊或其组合。适用的焊接位置为固定焊、旋转焊或其组合。

本标准还规定了射线检测、磁粉检测、渗透检测和超声检测的工艺以及采用破坏性试验或采用射线、磁粉、渗透、超声和外观检测的现场焊缝的验收标准。

本标准适用于新建管线、在役管线和返修管线的焊接。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 229 金属材料夏比摆锤冲击试验方法(GB/T 229—2007,ISO 148-1:2006,MOD)
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管(GB/T 3091—2008,ISO 559:1991,NEQ)
- GB/T 4340 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 5117—2012,ISO 2560:2009,MOD)
- GB/T 5118 热强钢焊条(GB/T 5118—2012,ISO 3580:2010,MOD)
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂(GB/T 5293—1999,ANSI/AWS A5.17:1989,EQV)
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝(GB/T 8110—2008,AWS A5.18M:2005,MOD)
- GB/T 9711 石油天然气工业管线输送系统用钢管(GB/T 9711—2011,ISO 3183:2007,MOD)
- GB/T 10045 碳钢药芯焊丝(GB/T 10045—2001,ANSI/AWS A5.20:1995,MOD)
- GB/T 12459 钢制对焊无缝管件(GB/T 12459—2005,ASME B16.9:2001,MOD)
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
- GB/T 13793 直缝电焊钢管(GB/T 13793—2008,ASTM A 53/A 53M:2005 JIS G 3444:2004,MOD)
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝(GB/T 17493—2008,AWS A5.29M:2005,MOD)
- SY/T 0510 钢制对焊管件规范
- SY/T 4109 石油天然气钢质管道无损检测(SY/T 4109—2005,API Std 1104:1999,NEQ)
- SY/T 5037 普通流体输送管道用埋弧焊钢管
- SY/T 5038 普通流体输送管道用直缝高频焊钢管
- SY/T 5257 油气输送用钢制感应加热弯管(SY/T 5257—2012,ISO 15590.1:2001,NEQ)
- JB/T 7902 无损检测 射线照相检测用线型像质计(JB/T 7902—2006,ISO 19232-1:2004,NEQ)



TSG Z6002;2010《特种设备焊接操作人员考核细则》国家质量监督检验检疫总局

API RP 2201 石油石化行业不停输封堵安全操作规程 (Safe hot tapping practices in the petroleum & petrochemical industries)

ASTM E92 金属材料维氏硬度测试方法 (Standard test method for vickers hardness of metallic materials)

AWS A5.1 碳钢药皮电弧焊焊条 (Covered carbon steel arc welding electrodes)

AWS A5.2 铸铁和钢质氧乙炔气焊焊丝 (Iron and steel oxyfuel gas welding rods)

AWS A5.5 低合金钢药皮电弧焊焊条 (Low alloy steel covered arc welding electrodes)

AWS A5.17 埋弧焊用碳钢焊丝及焊剂 (Carbon steel electrodes and fluxes for submerged-arc welding)

AWS A5.18 气体保护电弧焊碳钢填充材料 (Carbon steel filler metals for gas shielded arc welding)

AWS A5.28 气体保护电弧焊低合金钢填充材料 (Low-alloy steel filler metals for gas shielded arc welding)

AWS A5.29 低合金钢药芯电弧焊焊丝 (Low-alloy steel electrodes for flux cored arc welding)

BS 7448 断裂韧性试验 第二部分 焊缝金属  $K_{IC}$  临界 CTOD 及临界 J 积分取值方法 (BS 7448 Pt 2 Fracture mechanics toughness test—Part 2, Method for determination of  $K_{IC}$  critical CTOD and critical J values of welds in metallic materials)

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)

NACE MR0175 油田设备用抗硫化物应力开裂金属材料 (Sulfide stress cracking resistant metallic materials for oil field equipment)

《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》国家质量监督检验检疫总局

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**业主** **company**

工程的主管单位或建设单位,或由其委派或授权的单位或代表。

#### 3.2

**承包商** **contractor**

从事本标准中所述工程任务的承包单位和分包单位。

#### 3.3

**机动焊** **mechanized welding**

焊接参数和焊炬导控均由机械或电子控制,也可采用手动操控,以保持规定的焊接工艺。

#### 3.4

**半自动焊** **semi-automatic welding**

控制填充材料传送速度的设备进行的电弧焊。焊炬的移动由手动控制。

#### 3.5

**根焊** **root bead**

连接管与管、管与管件或管件与管件之间焊接的第一层焊道。



- 3.6  
**热焊 hot pass**  
根焊完成后立即快速进行的第二层焊道。
- 3.7  
**填充焊 filling welding**  
根焊或热焊完成后,盖面焊之前的焊道。
- 3.8  
**盖面焊 cap welding**  
最外面一层的成型焊道。
- 3.9  
**返修 repair**  
对经外观检查或无损检测发现的缺陷进行的修补焊接。
- 3.10  
**旋转焊 roll welding**  
焊接时焊接热源位置固定,并位于或接近其顶部中心,被焊管或管件旋转。
- 3.11  
**固定焊 position welding**  
焊接过程中管或管件固定不动。
- 3.12  
**焊缝 weld**  
焊件焊接后所形成的结合部分。
- 3.13  
**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。
- 3.14  
**缺欠 imperfection**  
按本标准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。
- 3.15  
**缺陷 defect**  
达到本标准拒收要求的缺欠。
- 3.16  
**显示 indication**  
通过无损检测获得的证据。
- 3.17  
**内凹 internal concavity**  
焊道已经良好的熔合并且已经完好渗入沿坡口两侧的管壁厚度,但焊道中部比管壁的内表面低,形成的内陷即为内凹。
- 3.18  
**合格焊工 qualified welder**  
按照第5章或第6章的要求考核合格的焊工。
- 3.19  
**焊工考试 welder qualification test**  
焊工经过培训或一定工作时间后,按标准规定对其专业理论知识和实际操作技能进行的考试。



### 3.20

**预焊接工艺规程(PWPS) preliminary welding procedure specification**

按照工程设计要求,根据已有的焊接试验结果或其他类似工程经验,由业主委托的焊接试验单位编制的用于焊接工艺评定的焊接工艺指导性文件。

### 3.21

**焊接工艺评定 welding procedure qualification**

在工程焊接前,为制定焊接工艺规程,通过对焊接方法、焊接材料、焊接参数等进行选择和调整的一系列工艺性试验,以确定获得标准规定焊接质量的正确工艺。

### 3.22

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

根据焊接工艺评定报告,并结合实践经验而制定的直接指导工程焊接的技术细则文件。包括对焊接接头、母材、焊接材料、焊接位置、预热、电特性、操作技术等内容进行详细的规定,以保证焊接质量的再现性。

## 4 焊接一般规定

### 4.1 设备

焊接所用设备应能满足焊接工艺要求,且应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。

### 4.2 材料

#### 4.2.1 管材及管件

本标准适用于焊接符合下列最新版本的标准中的管材和管件:

GB/T 3091

GB/T 9711(API Spec 5L、ISO 3183)

GB/T 12459

GB/T 13793

SY/T 0510

SY/T 5037

SY/T 5038

SY/T 5257

适用的 ASTM 标准

本标准也适用于未按照上述标准制造,但其化学成分和力学性能满足上述标准规定的材料。

#### 4.2.2 填充材料

##### 4.2.2.1 类型和规格

所有填充材料应符合下列任一标准,使用本标准的各方应探讨使用下列标准的最新版本:

GB/T 5117

GB/T 5118

GB/T 5293

GB/T 8110

GB/T 10045



GB/T 12470

GB/T 14957

GB/T 17493

AWS A5.1

AWS A5.2

AWS A5.5

AWS A5.17

AWS A5.18

AWS A5.28

AWS A5.29

不符合上述标准要求的填充材料,如经过焊接工艺评定合格后也可使用。

#### 4.2.2.2 填充材料及焊剂的保管、搬运

填充材料及焊剂在保管和搬运时,应符合生产厂家的规定,并应避免损坏填充材料、焊剂及其包装。包装开启后,应保护其不致变质,药皮焊条应避免受潮。凡有损坏或变质迹象的填充材料和焊剂不应使用。

#### 4.2.3 保护气体

##### 4.2.3.1 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。保护气体的纯度和干燥度,应满足焊接工艺规程要求。

##### 4.2.3.2 保管和使用

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 焊接工艺评定

#### 5.1 工艺评定

5.1.1 在焊接生产开始之前,应制定详细的预焊接工艺规程,并对此焊接工艺进行评定。工艺评定目的在于验证用此工艺能否得到具有合格力学性能,如强度、塑性、韧性和硬度等的完好焊接接头。其中,环焊缝的附加验收标准见附录 C,在役管道的焊接见附录 D。

5.1.2 应使用破坏性试验检验焊接接头质量。应依据评定合格的工艺编制焊接工艺规程。

#### 5.2 记录

评定的焊接工艺的各项细节和焊接工艺评定试验的各项结果的记录见表 E.1 和表 E.2,并在该焊接工艺规程使用期间内应保存好记录。

#### 5.3 工艺规程

##### 5.3.1 概述

工艺规程应包含 5.3.2 中的适用内容。



## 5.3.2 规程说明

### 5.3.2.1 焊接方法

应指明所使用的焊接方法,或其方法的组合。

### 5.3.2.2 管子及管件材料

应指明适用的管子材料和管件材料。

适用的管子和管件材料分组见 5.4.2.2,评定试验应选择该组材料中具有最高规定屈服强度的材料进行。

### 5.3.2.3 外径和壁厚

应规定焊接工艺规程适用的外径和壁厚范围,其分组见 6.4.2 中 d)和 e)。

### 5.3.2.4 接头设计

应画出接头的简图。简图应指明接头形式、坡口形式、坡口角度、钝边尺寸和根部间隙等。角焊缝应指明形状和尺寸。如使用垫板时,还需指明其尺寸和材质。

### 5.3.2.5 填充材料和焊道数

应指明填充材料的种类和规格、焊缝最少层数及焊道顺序。

### 5.3.2.6 电特性

应指明电流种类和极性,规定所使用的每一种焊条或焊丝的电弧电压和焊接电流值的范围。

### 5.3.2.7 火焰特性

应指明使用的火焰类型(中性焰、碳化焰或氧化焰),并应规定每种规格的焊丝适用的焊炬喷嘴的规格。

### 5.3.2.8 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)。

### 5.3.2.9 焊接方向

应指明上向焊或下向焊。

### 5.3.2.10 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及完成第二焊道后至开始其他焊道之间的最长时间间隔。

### 5.3.2.11 对口器的类型和撤离

应规定是否使用对口器、使用内对口器或外对口器。如使用对口器,应规定在撤离对口器时完成根焊道长度的最小百分比。

### 5.3.2.12 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。

#### 5.3.2.13 预热和焊后热处理

应规定预热和焊后热处理的加热方法,温度、温度控制方法及需预热和焊后热处理的环境温度的范围,且应符合 7.11 的规定。

#### 5.3.2.14 保护气体及流量

应规定保护气体的成分及流量范围。

#### 5.3.2.15 保护焊剂

应规定保护焊剂的类型。

#### 5.3.2.16 焊接速度

应规定各焊道的焊接速度范围。

#### 5.3.2.17 层(道)间温度

应规定焊接时焊层(道)之间的温度范围。

### 5.4 焊接工艺规程的基本要素

#### 5.4.1 概述

当焊接工艺规程有 5.4.2 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 5.4.2 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。

#### 5.4.2 基本要素

##### 5.4.2.1 焊接方法

焊接工艺规程中焊接方法的变更,其方法见 5.3.2.1。

##### 5.4.2.2 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。本标准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;
- d) 以上分组并不表示上述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,还应考虑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。

##### 5.4.2.3 接头设计

接头设计的重大变更(如 V 型坡口改为 U 型坡口,或反之)。坡口角度或钝边的细小变化不属于基本要素。

##### 5.4.2.4 焊接位置

由旋转焊变为固定焊,或反之。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,其他不得相互替代。



## 5.4.2.5 壁厚

从一种壁厚分组到另一种壁厚分组的变更[管壁厚分组见 6.4.2 e)]。

## 5.4.2.6 填充材料

## 5.4.2.6.1 填充材料的变更

从一组填充材料变为另一组填充材料应符合表 1 的规定。

表 1 填充材料分类

组别	标准	焊条(焊丝)	焊剂 <sup>c</sup>
1	GB/T 5117	E4310, E4311	—
	GB/T 5118	E5010, E5011	
	AWS A5.1	E6010, E6011	
	AWS A5.5	E7010, E7011	
2	GB/T 5118	E5510 E5511	—
	AWS A5.5	E8010 E8011 E9010	
3	GB/T 5117 或 GB/T 5118	E5015, E5016, E5018	—
	GB/T 5118	E5515, E5516, E5518	
	AWS A5.1 或 AWS A5.5	E7015, E7016, E7018	
	AWS A5.5	E8015, E8016, E8018 E9018 E10018	
4 <sup>a</sup>	GB/T 5293 GB/T 12470	H08 H10Mn2	HJ401 HJ402
	AWS A5.17	EL8	P6XZ
		EL8K	F6X0
		EL12	F6X2
		EM5K	F7XZ
		EM12K	F7X0
		EM13K	F7X2
		EM15K	—
5 <sup>b</sup>	GB/T 8110	ER50-6 ER50-G	—
	AWS A5.18	ER70S-2 ER70S-6	
	GB/T 8110	ER55-6 ER62-××	
	AWS A5.28	ER80S-D2 ER90S-G E70C-×× E80C-××	



表 1 (续)

组别	标准	焊条(焊丝)	焊剂 <sup>c</sup>
6	AWS A5.2	RG60, RG65	—
7	AWS A5.20	E61T-GS <sup>d</sup> E71T-GS <sup>d</sup>	—
8	GB/T 17493	E501T8-K6	—
	AWS A5.29	E71T8-K6, E71T8-Ni1	
9	AWS A5.29	E81T8-Ni2 E81T8-G E91T8-G	—
<p><sup>a</sup> 其他型号的焊条、填充材料和焊剂也可以使用,但需要进行单独的焊接工艺评定。</p> <p><sup>b</sup> 在 4 组中可使用其他焊丝和焊剂的组合进行焊接工艺评定,此组合应用完整的 AWS 型号表示,如 F7A0-E1.12 或 F6A2-EM12K。只有用同一 AWS 型号的材料允许不重新进行焊接工艺评定。国内材料亦同。当焊接或焊后热处理时,焊剂型号中的 X 可以为 A 或 P。</p> <p><sup>c</sup> 在 5 组中的焊丝应使用保护气体。</p> <p><sup>d</sup> 7 组的焊丝仅用于根焊。</p>			

5.4.2.6.2 规定最小屈服强度大于或等于 448 MPa 的管材填充材料型号的变更(见 5.4.2.2)

可在 5.4.2.2 a)和 5.4.2.2 b)中规定的分组内变更填充材料,但应从力学性能的角度保持母材和填充材料的一致性。

5.4.2.7 电特性

直流焊接时焊条(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。

5.4.2.8 焊道之间的时间间隔

根焊道完成后至第二焊道开始前所允许的最长时间间隔的增加。

5.4.2.9 焊接方向

从下向焊改为上向焊,或者反之。

5.4.2.10 保护气体和流量

一种气体换成另一种气体,或一种混合气体换成另一种混合气体,或保护气体流量范围较大地增加或减少。

5.4.2.11 保护焊剂

保护焊剂的选用可参照表 1。

5.4.2.12 焊接速度

焊接速度范围的变更。

5.4.2.13 预热

降低焊接工艺规程的最低预热温度。



5.4.2.14 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范围或温度。

5.5 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规定的要求进行组对和焊接。

5.6 焊接接头的试验——对接焊

5.6.1 试样制备

5.6.1.1 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见表 2。

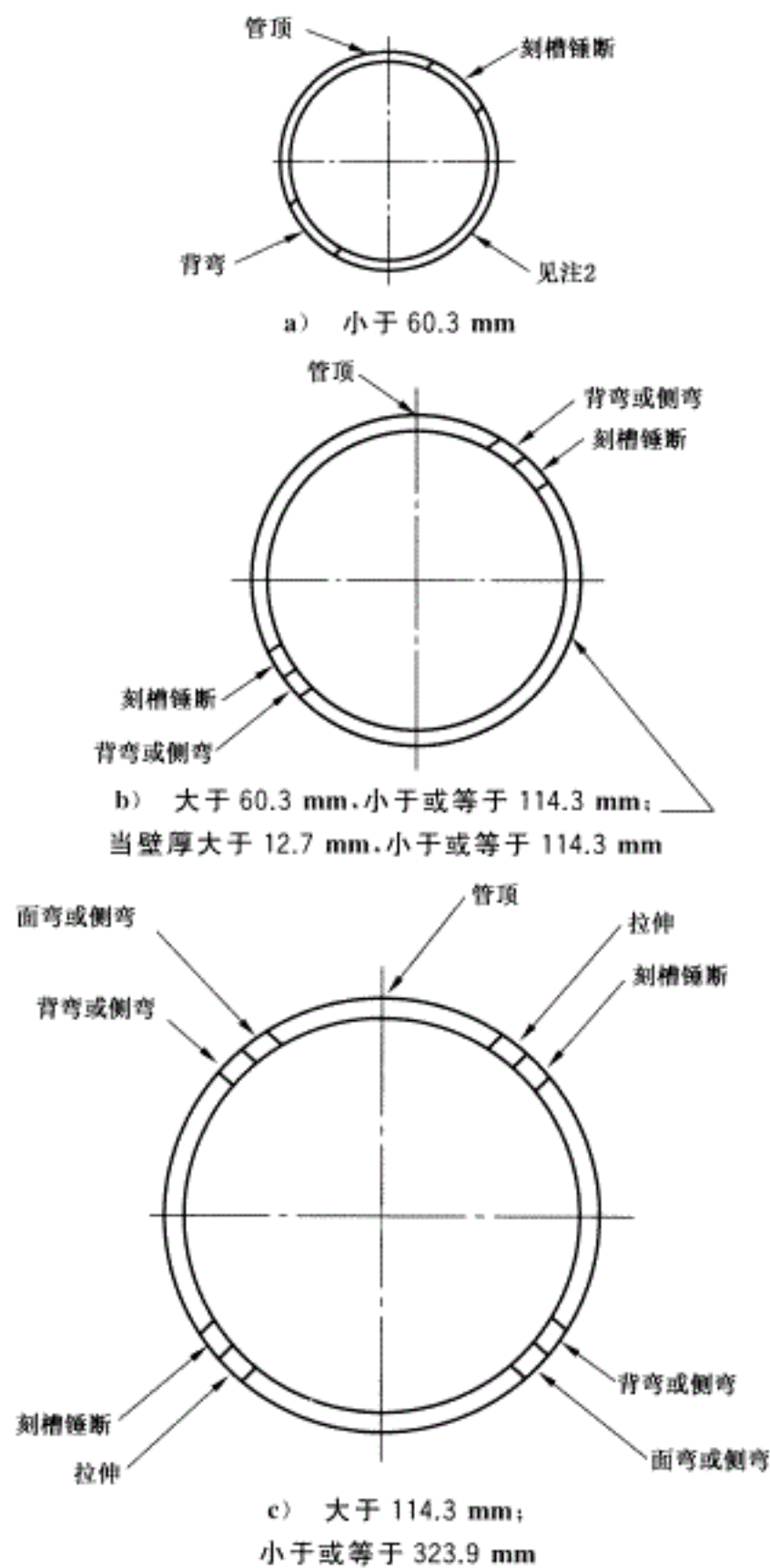
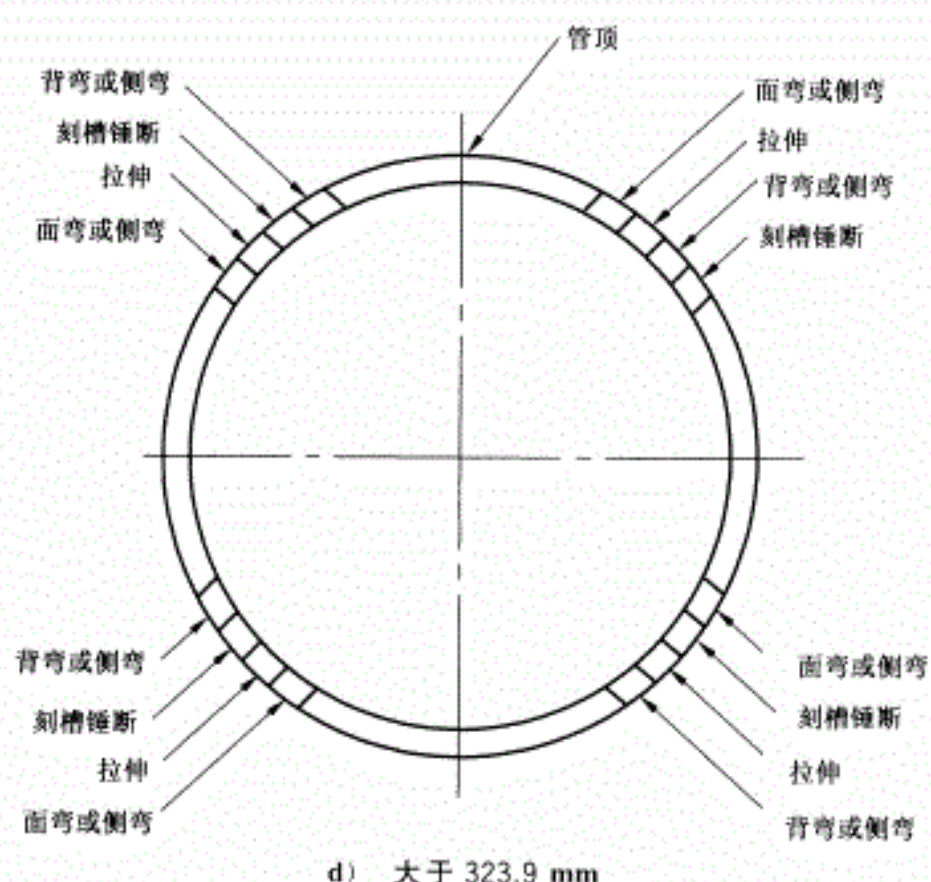


图 1 对接接头焊接工艺评定试验的试样位置



说明:

- 1 根据业主的意见,位置可以旋转,只要试件在圆周上间距相等即可。但试件不能包含有纵向焊缝。
- 2 对直径小于或等于 33.4 mm 的管子,可用全尺寸拉伸试件。

图 1 (续)

表 2 焊接工艺评定试验的试样类型及数量

管外径 mm	试样数量					
	拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	总数
	壁厚≤12.7 mm					
<60.3	0	2	2	0	0	4
60.3~114.3	0	2	2	0	0	4
114.3~323.9	2	2	2	2	0	8
>323.9	4	4	4	4	0	16
壁厚>12.7 mm						
≤114.3	0	2	0	0	2	4
114.3~323.9	2	2	0	0	4	8
>323.9	4	4	0	0	8	16
对外径小于 60.3 mm 的管子焊接两个试验焊缝,各取一个刻槽锤断试样及一个背弯试样。对外径小于或等于 33.4 mm 的管子,应做一个全尺寸的拉伸试样。 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。						

5.6.1.2 试样应按图 2、图 3、图 4 或图 5 的要求制备。试样的试验应在试样空冷至室温后进行。

5.6.1.3 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样数量。

5.6.1.4 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。



5.6.1.5 全尺寸试样的试验应按 5.6.2.2 的规定进行,且应符合 5.6.2.3 的要求。

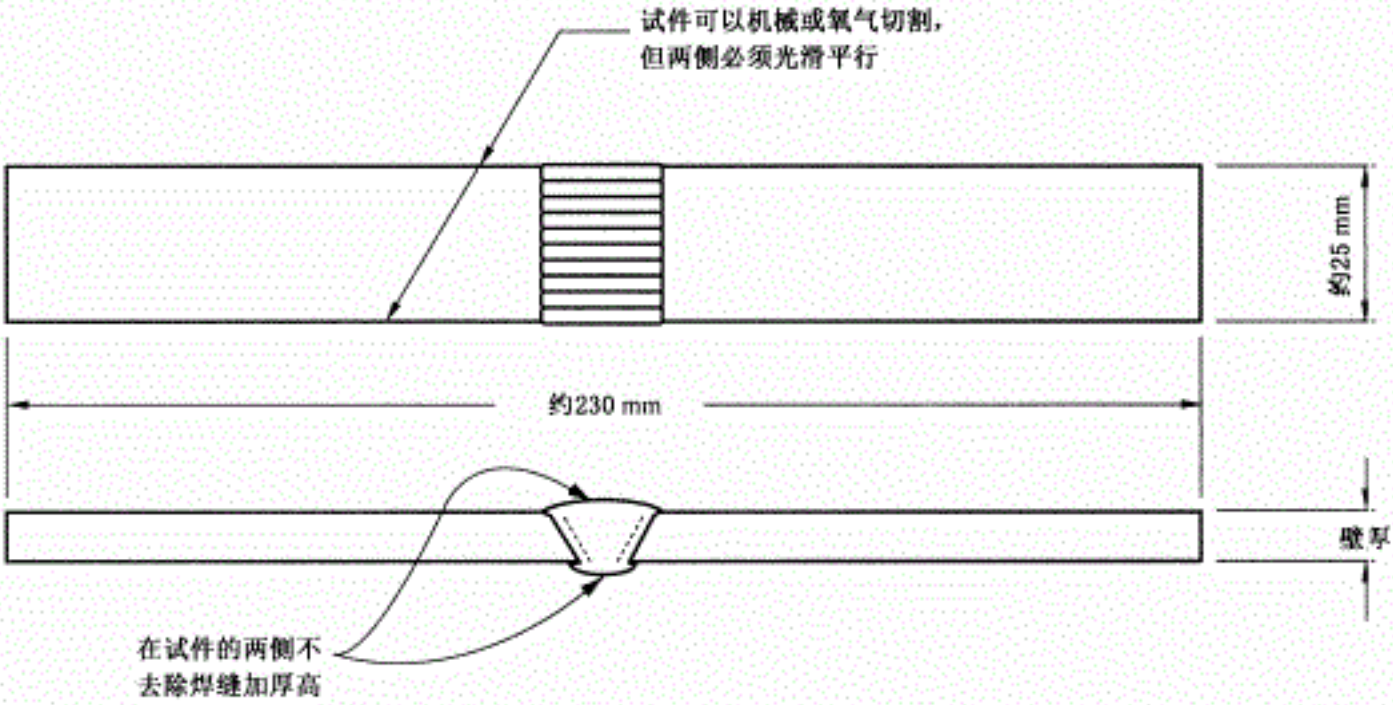


图 2 拉伸试样

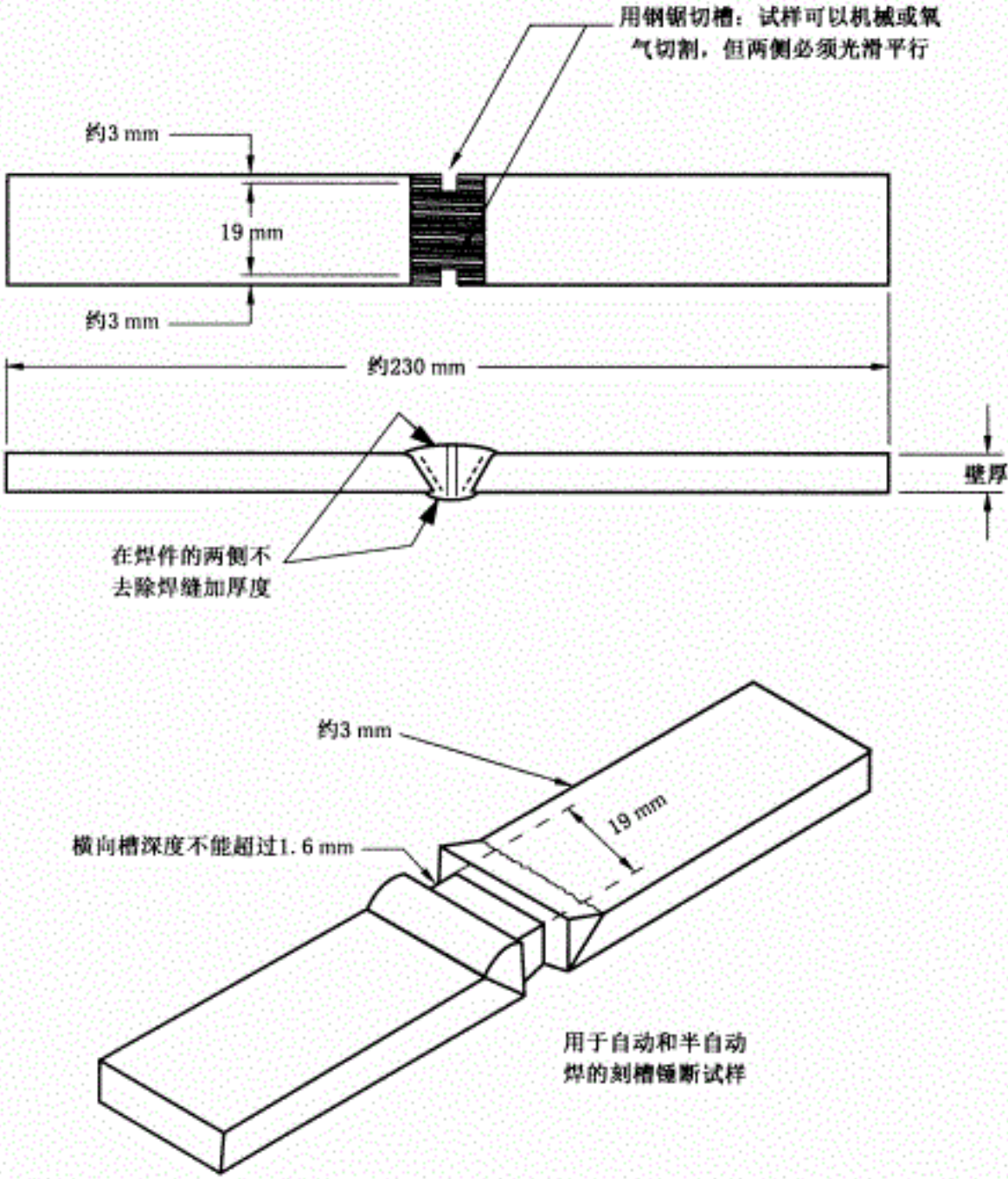
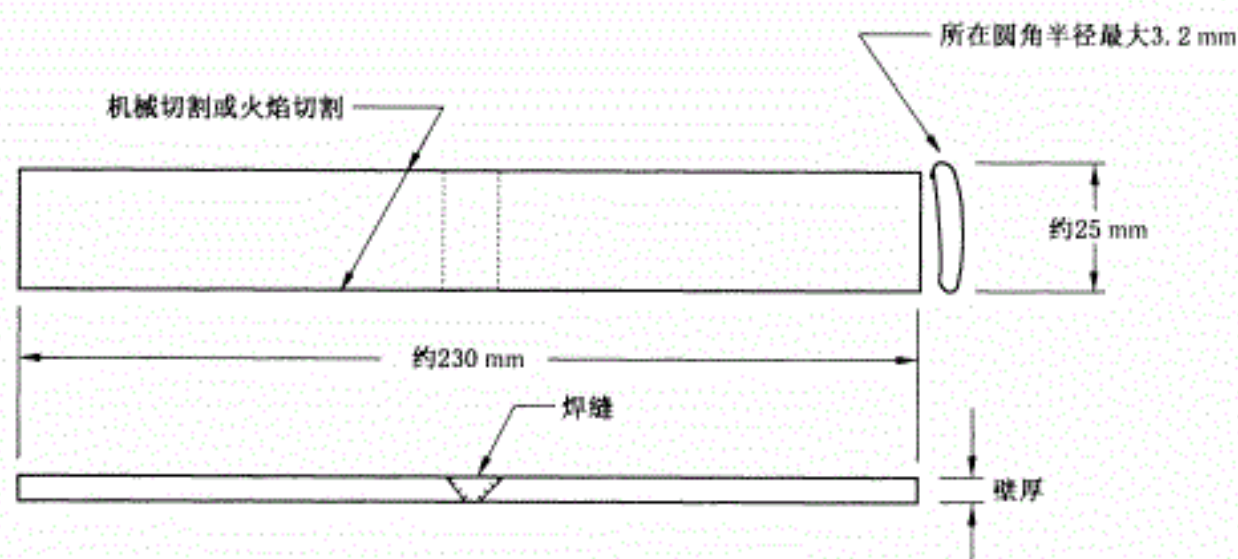


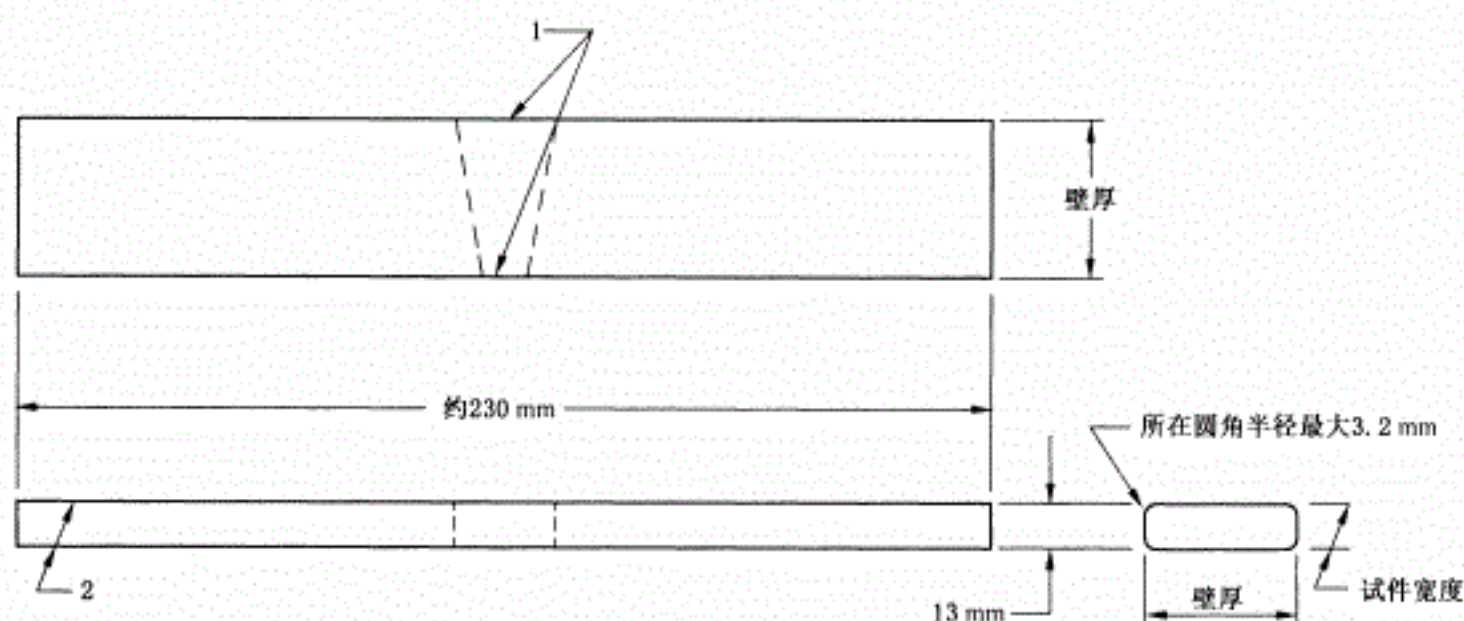
图 3 刻槽锤断试样





说明:内外表面的焊缝余高应去除至与试样表面平齐。试样在试验前不应压平。

图4 背弯和面弯试样(壁厚 $\leq 12.7$  mm)



说明:

- 1 内外表面的焊缝余高应去除至到试样表面平齐。试样在试验前不应压平。
- 2 试样应机械切割到13 mm宽,或氧乙炔焰切割到约19 mm宽,然后再机加工或平滑打磨到13 mm宽。切割表面应光滑和平行。

图5 侧弯试样(壁厚 $> 12.7$  mm)

## 5.6.2 拉伸试验

### 5.6.2.1 准备

拉伸试样(如图2所示)约230 mm长,25 mm宽,制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。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。

### 5.6.2.2 方法

拉伸试样应在拉伸载荷下拉断,且使用的拉伸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。

### 5.6.2.3 要求

5.6.2.3.1 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规定最小抗拉强度,



但不需要大于或等于管材的实际抗拉强度。

5.6.2.3.2 如试样断在母材上,且抗拉强度大于或等于管材规定的最小抗拉强度时,则该试样合格。

5.6.2.3.3 如试样断在焊缝或熔合区,其抗拉强度大于或等于管材规定的最小抗拉强度,且断面缺陷符合 5.6.3.3 的要求,则该试样合格。

5.6.2.3.4 如试样是在低于管材规定的最小抗拉强度下断裂,则该焊接接头不合格,应重新试验。

### 5.6.3 刻槽锤断试验

#### 5.6.3.1 试样制备

刻槽锤断试样(如图 3 所示)约 230 mm 长,25 mm 宽,制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。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。

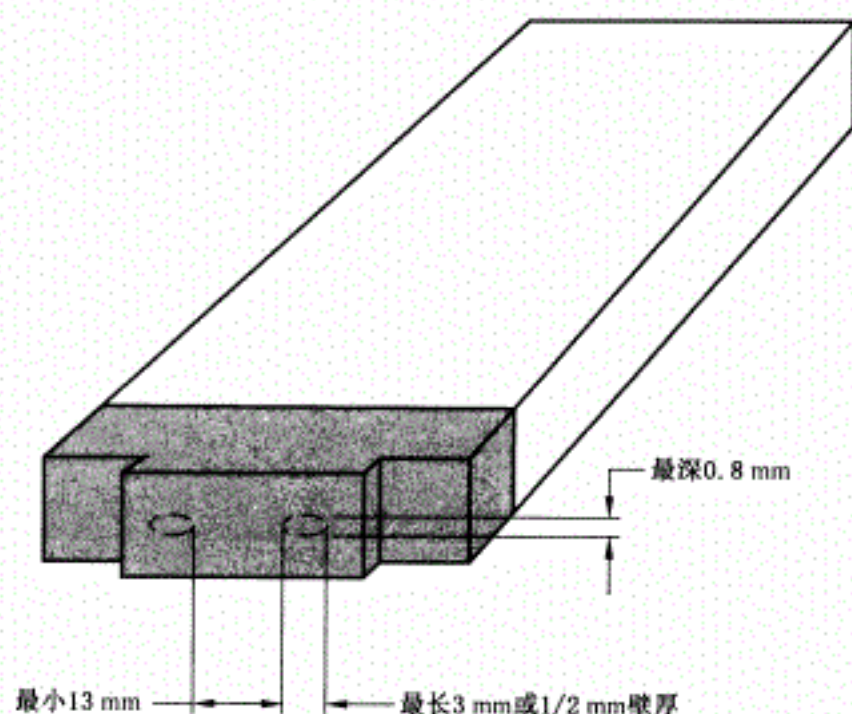
如业主要求,采用半自动焊或机动焊工艺的焊接工艺评定的刻槽锤断试样可在刻槽前进行宏观金相试验。

#### 5.6.3.2 方法

刻槽锤断试样应在拉伸机上拉断;或支承两端,打击中部锤断;或支承一端,锤断另一端。断口暴露面宽至少应达到 19 mm。

#### 5.6.3.3 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应不大于 1.6 mm,且所有气孔的累计面积应不大于断裂面积的 2%,夹渣高度应不超过 0.8 mm,长度应不大于钢管公称壁厚的 1/2,且小于 3 mm。相邻夹渣之间至少应有 13 mm,测量方法如图 6 所示。



说明: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 6 刻槽锤断试样的缺欠尺寸测量

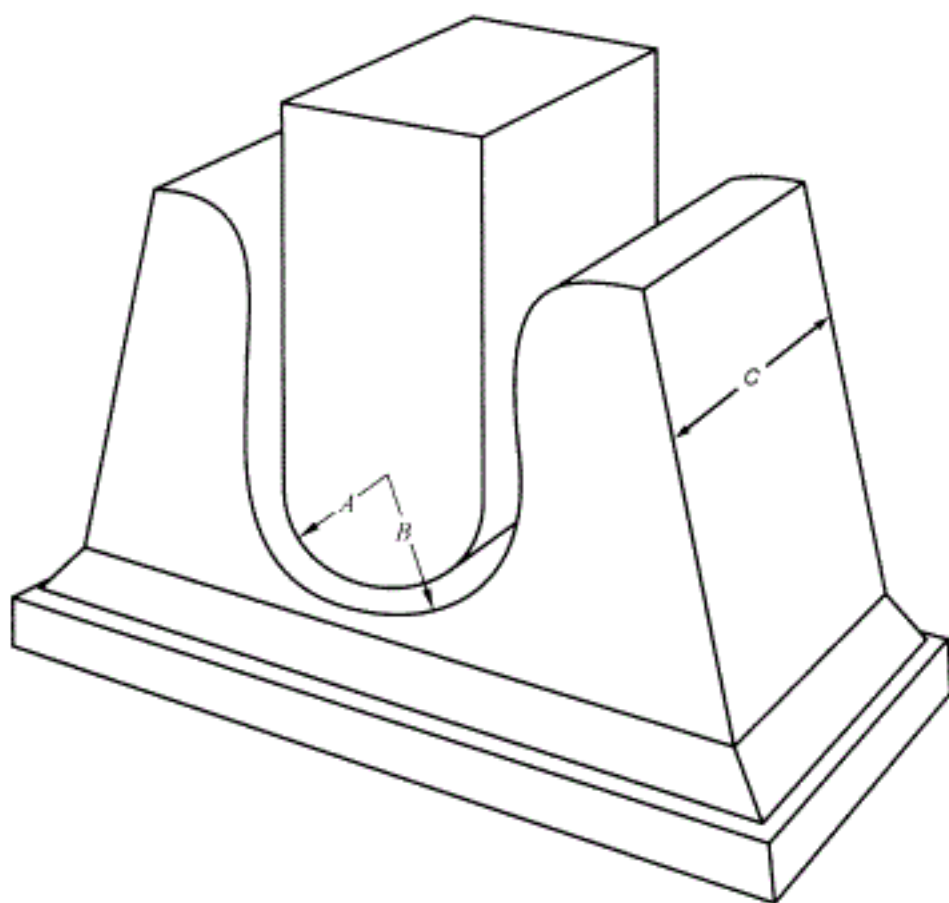
#### 5.6.4 背弯和面弯试验

##### 5.6.4.1 试样制备

背弯和面弯试验试样(如图4所示)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氧气切割的方法进行。焊缝内外表面余高应去除至与试样母材表面平齐。加工的表面应光滑,加工痕迹应轻微且垂直于焊缝轴线。

##### 5.6.4.2 方法

背弯和面弯试样应在导向弯曲试验模具上弯曲,模具如图7所示。试样以焊缝为中心放置于下模上。面弯试验以焊缝外表面朝向下模,背弯试验以焊缝内表面朝向下模,施给上模压力,将试样压入下模内,直到试样弯曲成近似U形。



说明:图无比例,压头半径  $A=45$  mm,胎具半径  $B=60$  mm,胎具厚度  $C=50$  mm。

图7 导向弯曲试验胎具

##### 5.6.4.3 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应不大于公称壁厚的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。

#### 5.6.5 侧弯试验

##### 5.6.5.1 试样制备

侧弯试样(如图5所示)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



或氧气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。

#### 5.6.5.2 方法

侧弯试样应在类似于图 7 所示的导向弯曲试验模具上弯曲。将试样以焊缝为中心放在下模上,焊缝表面与模具成  $90^\circ$ 。施给上模压力,将试样压入下模内,直到试样弯曲成近似 U 形。

#### 5.6.5.3 要求

每个侧弯试样应符合 5.6.4.3 的规定。

### 5.6.6 夏比冲击试验

#### 5.6.6.1 试样制备

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和熔合线各取 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。

冲击试样(如图 8 所示)应采用机械加工,其标准尺寸应为  $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ ;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。

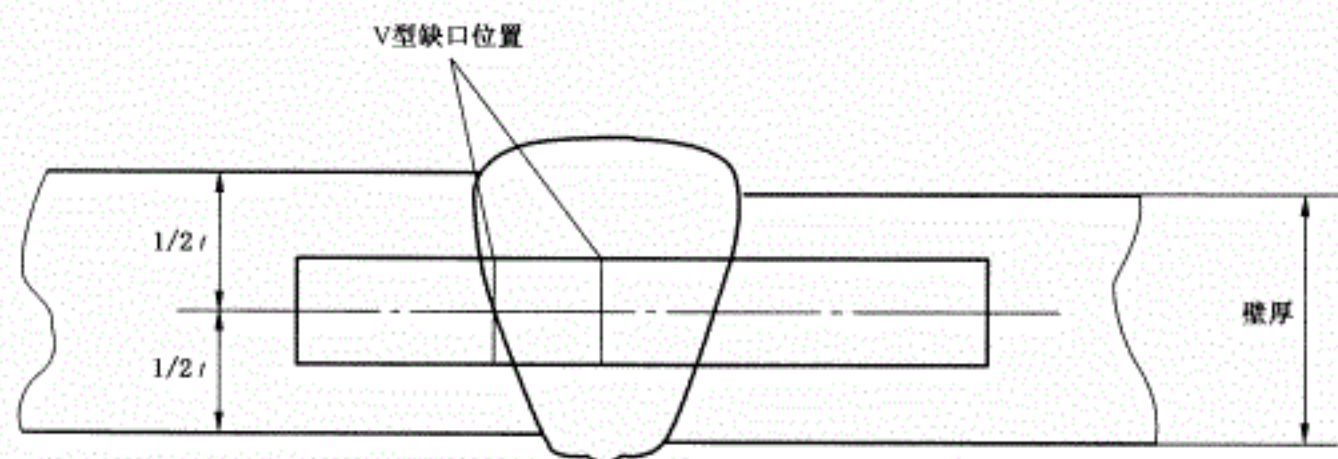


图 8 冲击试样

#### 5.6.6.2 方法

冲击试验应符合 GB/T 229 的规定。

#### 5.6.6.3 要求

冲击试验的合格指标应满足设计的技术要求。

### 5.6.7 其他试验

#### 5.6.7.1 试样制备

当进行金相、硬度、抗腐蚀(HIC SCC)和断裂韧性(CTOD)试验时,应满足试样制备相关标准的要求。

#### 5.6.7.2 方法

执行试样相关试验标准的规定。



5.6.7.3 要求

合格指标应满足设计的技术要求。

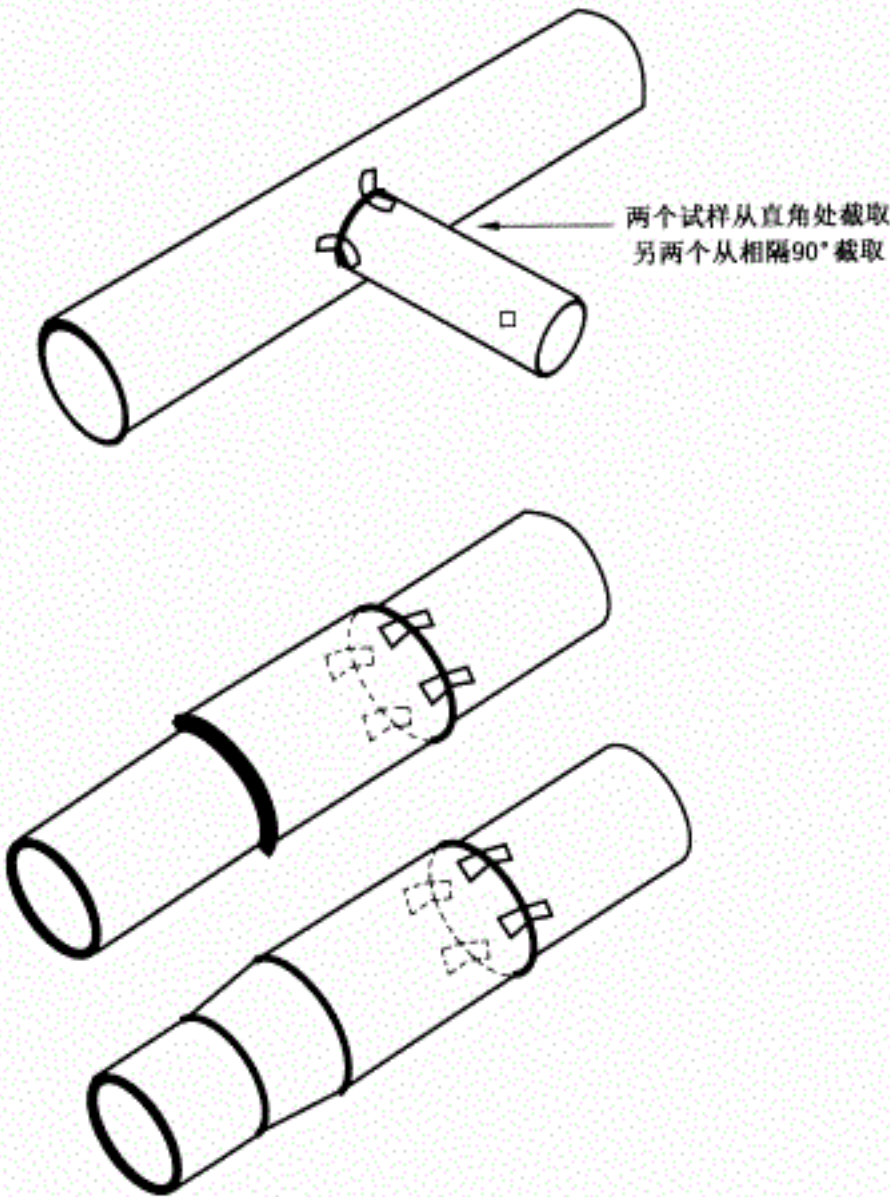
5.7 试验管接头的焊接——角焊

应按图 9 所示的任一结构进行角焊。

5.8 焊接接头的试验——角焊

5.8.1 试样制备

试样取样应按图 9 指定的位置进行。试样应至少 4 件,并按图 10 进行准备。制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。试样应至少 25 mm 宽,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。



说明: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 9 刻槽锤断试样的位置:角焊焊接工艺及焊工资格考试



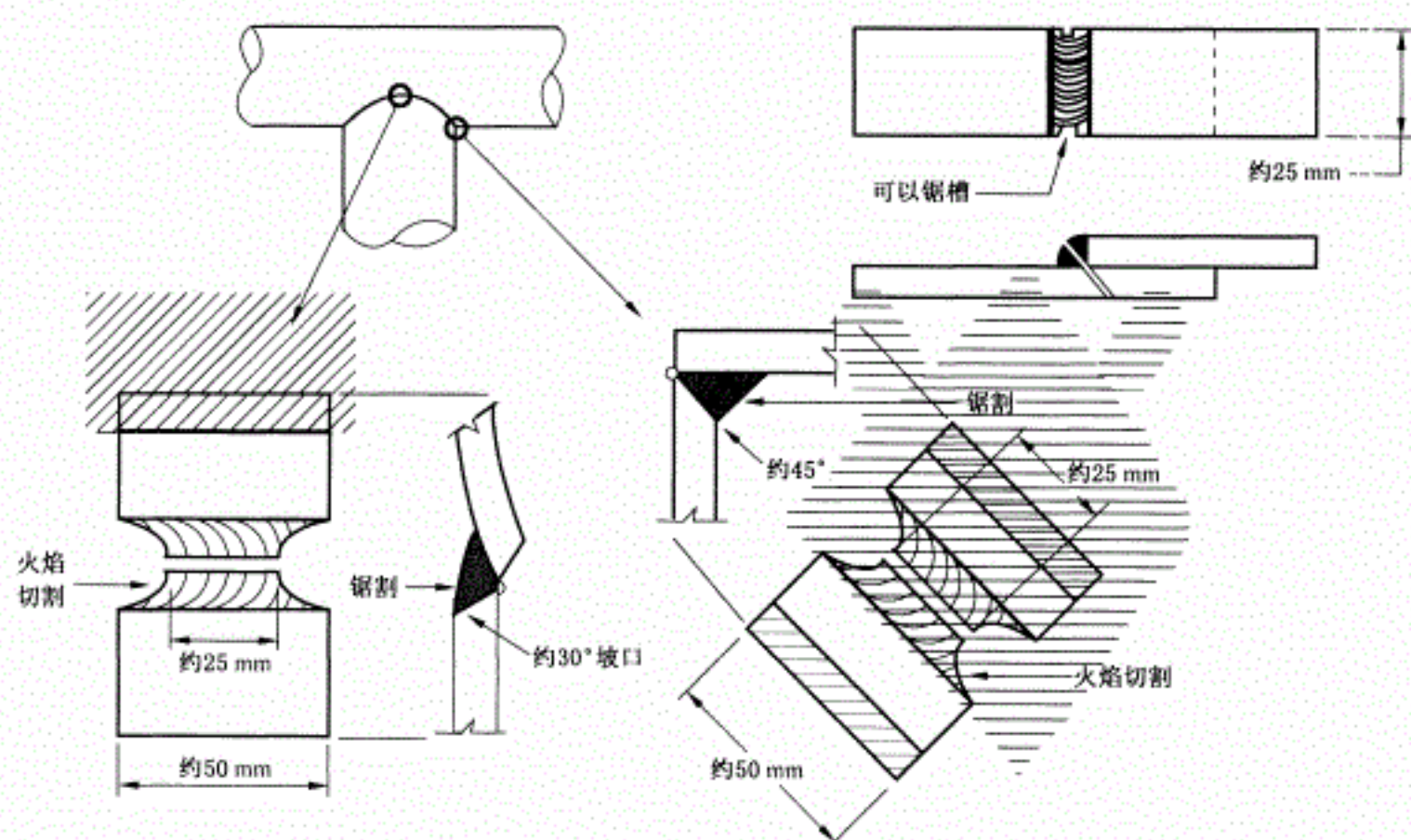


图 10 刻槽锤断试样的位置:角焊焊接工艺评定及焊工资格考试(包括支管连接焊工资格考试)

### 5.8.2 方法

可采用任何一种适当的方法使角焊试样在焊缝处断裂。

### 5.8.3 要求

每个角焊试样的断裂表面应完全焊透和熔合,且满足以下要求:

- 最大气孔尺寸不大于 1.6 mm;
- 所有气孔的累计面积不大于断裂面积的 2%;
- 夹渣高度不大于 0.8 mm,长度不大于公称管壁厚的 1/2,且小于 3.0 mm;
- 相邻夹渣之间应至少有 13 mm 的无缺陷焊缝金属,测量方法如图 6 所示。

## 6 焊工资格

### 6.1 概述

焊工考试分资格取证考试和上岗取证考试,焊工上岗考试前应具备国家质监部门颁发的资格证书。

资格考试机构必须是国家质量监督检验检疫总局颁布的管道焊接操作人员考试机构。考试机构应严格按照国家质量监督检验检疫总局公布的考试类别、考试项目和《特种设备焊接操作人员考核细则》TSG Z6002 组织进行焊工考试。

### 6.2 资格考试

从事管道焊接工作的焊工必须持有质监部门颁发的《特种设备作业人员证》,且焊工上岗考试项目应在其所持的《特种设备作业人员证》合格项目范围内。



### 6.3 上岗考试

6.3.1 焊工在上岗考试前应持有质量技术监督部门颁发的《特种设备作业人员证》。

6.3.2 在进行管道安装焊接之前应按照 6.4 或 6.5 中的规定对焊工进行上岗考试。

6.3.3 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。

6.3.4 焊工应按 6.4.1 的要求焊接一个完整的管接头或管接头的扇形段。当焊接管接头扇形段时应将其支承在具有典型的平焊、立焊和仰焊的位置。

6.3.5 当焊接工艺规程中有 6.4.2 和 6.5.2 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。

### 6.4 单项资格

#### 6.4.1 概述

6.4.1.1 取单项资格时,每个焊工应使用评定合格的焊接工艺规程,焊接一个完整的管接头或一个管接头的扇形段作为考试焊口。

6.4.1.2 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),或垂直于水平线(代号 2G),或倾斜于水平线约  $45^\circ$ (代号 6G)。

6.4.1.3 当取支管连接资格、角焊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。

6.4.1.4 当使用的焊接工艺规程有 6.4.2 中所述的基本要素变更时,应重新对焊工资格进行考试。

6.4.1.5 若考试焊口经检验和试验满足 6.6,且满足 6.7 或 6.8 中的要求,则应给焊工颁发相应的单项资格证。

#### 6.4.2 资格范围

除了焊接工艺规程有以下基本要素的变更外,按 6.4.1 规定取得资格的焊工可以进行规定范围内的焊接工作。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) 填充材料组别从 1 组或 2 组变为 3 组,或从 3 组变为 1 组或 2 组(见表 1);
- 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:
  - 外径小于 60.3 mm;
  - 外径大于或等于 60.3 mm 且小于或等于 323.9 mm;
  - 外径大于 323.9 mm。
- e) 从一种管壁厚分组变为另一种管壁厚分组,管壁厚分组如下:
  - 公称管壁厚小于 4.8 mm;
  - 公称管壁厚大于或等于 4.8 mm 且小于或等于 19.1 mm;
  - 公称管壁厚大于 19.1 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;或由 V 型坡口变为 U 型坡口,或反之)。



## 6.5 全项资格

### 6.5.1 概述

6.5.1.1 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。管位置可以是水平固定(5G),或是倾斜固定(6G)。管外径应不小于 168.3 mm,公称管壁厚应不小于 6.4 mm,焊口内表面无垫板。考试焊口的试样应从图 10 所示的位置上取样或按图 10 所示的顺序,在相对位置上取样。对于各种外径的管子,相邻试样试验类型的顺序应与图 10 中所示的顺序相同。若考试焊口经检验和试验符合 6.4 和 6.5 或 6.6 的要求,则焊接该焊口的焊工获得固定焊接位置对接焊资格;
- b) 支管连接。考试用管的外径应不小于 168.3 mm,公称管壁厚应不小于 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。焊接完成后,焊缝外观应整齐均匀。

6.5.1.2 在整个圆周上,焊缝应完全焊透。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应不超过 13 mm。

6.5.1.3 按照图 10 所示位置从管接头上切取 4 块刻槽锤断试样。试样应按照 5.8.1 和 5.8.2 的规定进行准备和试验,其断裂面上缺陷应符合 5.8.3 的要求。

6.5.1.4 若考试焊口满足上述要求,则焊接该焊口的焊工获得支管连接资格。

### 6.5.2 资格范围

6.5.2.1 如焊工已按 6.4.1.2 和 6.4.1.3 中所述的方法通过对接焊和支管连接两项考试,且考试用管的外径大于或等于 323.9 mm,则该焊工取得全项资格,可以焊接所有焊接位置、管壁厚、管外径,接头形式和管件的焊口。

6.5.2.2 如焊工已按 6.4.1.2 和 6.4.1.3 中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,可以焊接所有焊接位置、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。

6.5.2.3 如焊接工艺规程中有下列基本要素的任一变更,焊工应重新进行资格考试:

- 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;
- c) 填充材料类别由 1 组或 2 组变为 3 组,或从 3 组变为 1 组或 2 组(见表 1)。

## 6.6 考试焊口外观检查

6.6.1 考试焊口的焊缝,除盖面焊道的咬边外,应无裂纹、未焊透、烧穿及其他缺陷。

6.6.2 焊缝应整齐均匀,盖面焊道的咬边深度应不大于管壁厚的 12.5%,且不超过 0.8 mm。

6.6.3 在焊缝任何 300 mm 的连续长度中,累计咬边长度应不大于 50 mm。

6.6.4 当采用半自动焊或机动焊工艺时,应将填充金属对管内壁的损伤降到最小。

6.6.5 如考试焊口不符合本节要求,则该焊口不应再做其他的试验和检验。

## 6.7 破坏性试验

### 6.7.1 对接焊试样

当考试焊口是完整环焊缝时,应按照图 10 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,则应从每一扇形段上截取数量相等的试样。试验项目和试样数量要求见表 3。试样应空冷至室温后试验。



表 3 试验项目和试样数量

管外径 mm		试 样 数 量					
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	总数
壁厚 ≤12.7 mm	<60.3	0	2	2	0	0	4
	60.3~114.3	0	2	2	0	0	4
	>114.3~323.9	2	2	2	0	0	6
	>323.9	4	4	2	2	0	12
壁厚 >12.7 mm	≤114.3	0	2	0	0	2	4
	>114~323.9	2	2	0	0	2	6
	>323.9	4	4	0	0	4	12

外径小于 60.3 mm 的管子应焊接两个试验焊缝,各取一个刻槽锤断试样及一个背弯试样。对外径小于或等于 33.4 mm 的管子,应做一个全尺寸试样的拉伸试样。该表适用于对接管资格考试和工程焊接要求的破坏性试验。

当考试用管外径小于或等于 33.4 mm 时,可用一个全尺寸管试样的拉伸试验代替背弯和刻槽锤断试验。拉伸试验除应按 5.6.2.2 的要求进行,并应符合 5.6.2.3 的要求。

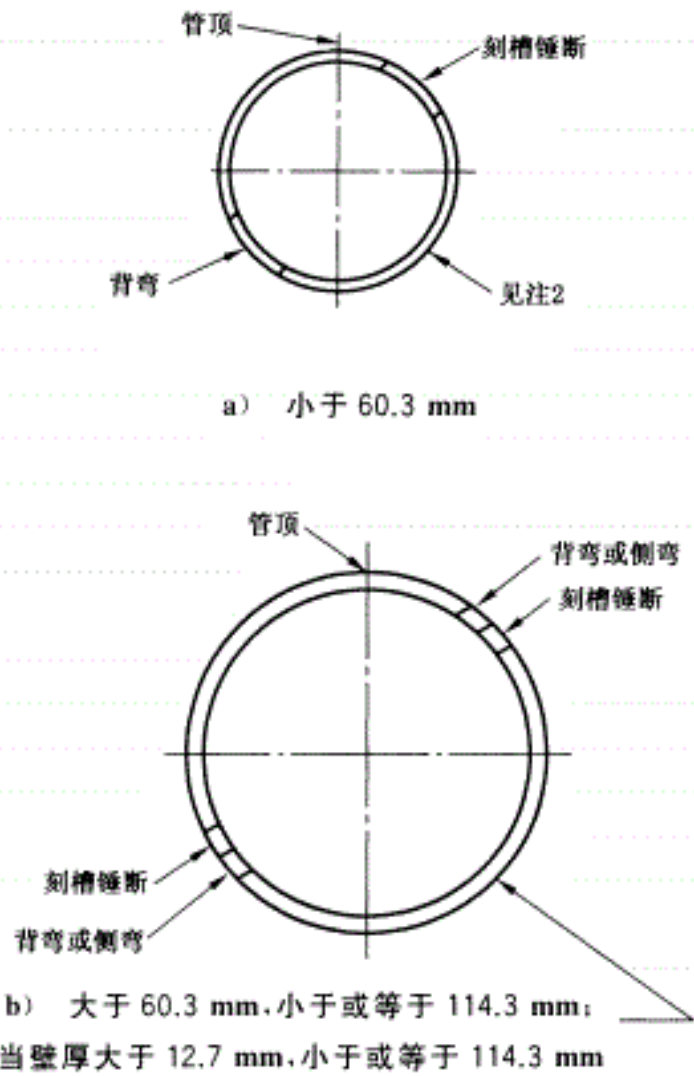
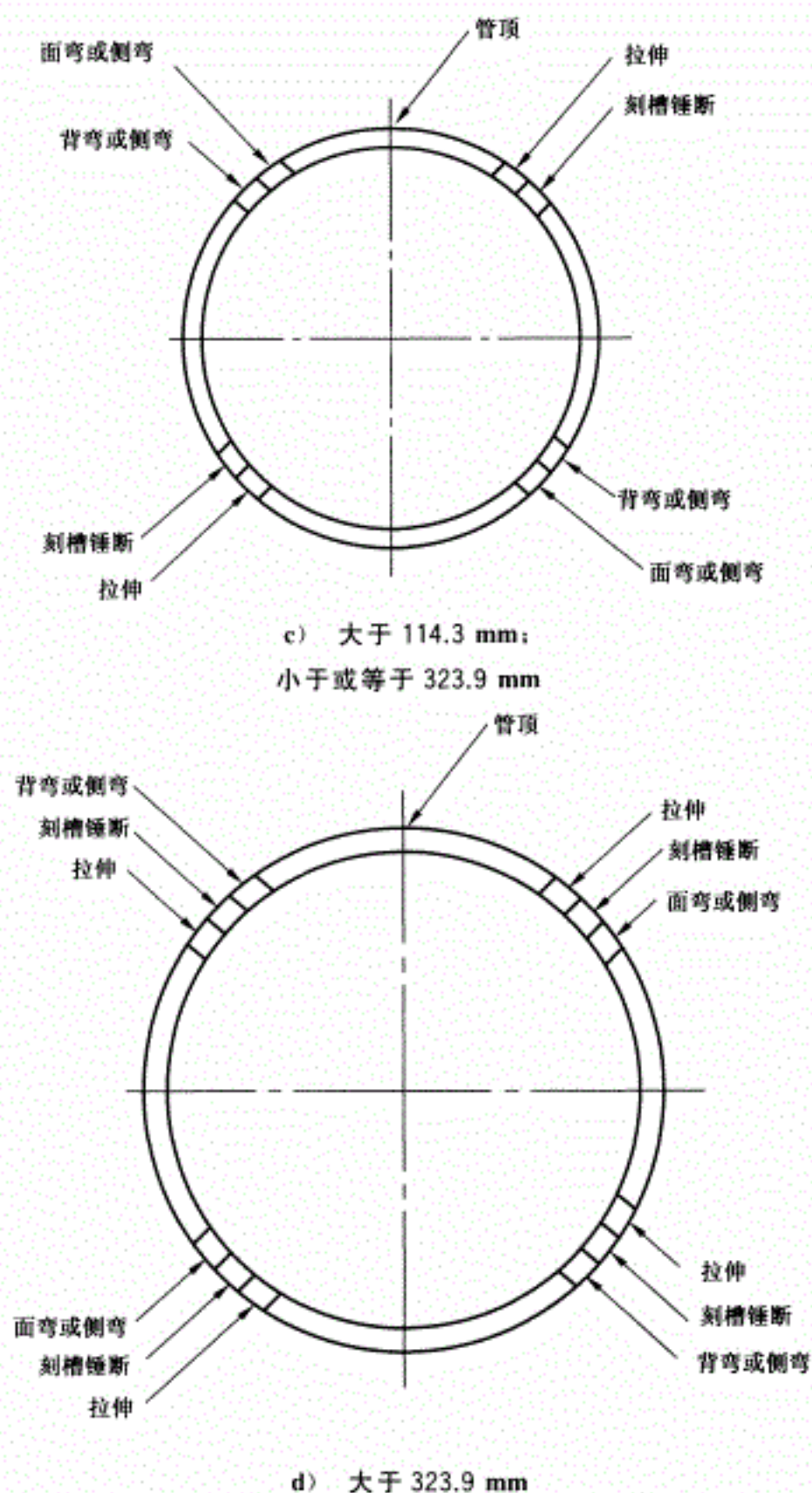


图 11 对接焊焊工资格考试试验的试样位置





说明:

- 1 根据业主的意见,位置可以旋转,只要试样在圆周上间距相等即可。但试样不能包含有纵向焊缝。
- 2 对于直径小于或等于 33.4 mm 的管子,可用全截面拉伸试样。

图 11 (续)

### 6.7.2 对接焊的拉伸、刻槽锤断和弯曲试验

试样的制备及试验应按 5.6 的规定进行,对于焊工上岗考试而言,不必计算出试样的抗拉强度。用于拉伸试验的试样可改做刻槽锤断试验。

### 6.7.3 对接焊拉伸试验验收要求

如拉伸试样或全尺寸管试样拉伸断口在焊缝处或熔合线处,且断口缺欠无法满足 5.6.3.3 的质量要求,则该焊工不合格。



#### 6.7.4 对接焊的刻槽锤断试验验收要求

如任一刻槽锤断试样断口的缺欠超出 5.6.3.3 的规定范围,则该焊工不合格。

#### 6.7.5 对接焊的弯曲试验验收要求

6.7.5.1 如任一弯曲试样拉伸弯曲面的缺欠超出 5.6.4.3 或 5.6.5.3 的规定范围,则该焊工不合格。

6.7.5.2 对级别较高的钢管焊口的弯曲试样允许没有弯曲到完全的 U 型。如试样断裂,且其断面满足 5.6.3.3 的要求,则该试样合格。

6.7.5.3 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,允许在紧邻该试样的地方再取一个替换试样试验,如替换试样仍不合格,则该焊工不合格。

#### 6.7.6 角焊缝试样

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 9 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。

#### 6.7.7 角焊缝试样的试验方法和要求

角焊缝试样应按照 5.8 的规定进行准备和试验。

### 6.8 射线检测——仅用于对接焊

#### 6.8.1 概述

在对接管资格考试时,若业主许可,可用射线检测代替 6.7 中规定的试验。

#### 6.8.2 检测要求

应对每个焊工的全部考试焊口进行射线检测,如任何一段焊缝不满足 9.3 的要求,则该焊工不合格。

### 6.9 补考

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。

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,不允许补考。

### 6.10 记录

应使用附录 E 所示的表格(该表格可进行修改以适合不同考试的要求,但其记录内容必须充分翔实,满足本标准对焊工考试的要求),将每名焊工的试验和每次试验的详细结果进行记录。

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,可要求重新进行资格考试。

## 7 施工现场焊接接头的设计和准备

### 7.1 概述

管道工程的焊接应使用评定合格的焊接工艺规程,焊工应取得相应资格。管口表面在焊接前应均



匀光滑,无起鳞、裂纹、锈皮、夹渣、油脂、油漆及其他影响到焊接质量的有害物质。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。

## 7.2 管口组对

组对同一公称壁厚的管口时,当壁厚小于等于 14 mm 时,错边量不大于 1.5 mm;当壁厚大于 14 mm 且小于等于 17 mm 时,错边量不大于 2.0 mm;当壁厚大于 17 mm 且小于等于 21 mm 时,错边量不大于 2.2 mm;当壁厚大于 21 mm 且小于等于 26 mm 时,错边量不大于 2.5 mm;当壁厚大于等于 26 mm 时,错边量不大于 3.0 mm。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。

## 7.3 对接焊缝对口器的使用

按照焊接工艺规程的要求,对接焊应使用对口器。当允许在根焊道焊接完成前撤离对口器时,则在卸下对口器前,完成的根焊道应均匀分布于管口圆周,且每段焊道长度和间距近似相等。如使用内对口器,焊完的部分焊道难于阻止管子位移或应力过大,则应在卸去内对口器张力前焊完全部根焊道。在外对口器撤离前,完成的根焊道应均匀分布于管口圆周,焊道累计长度应不少于管周长的 50%。

## 7.4 坡口

### 7.4.1 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。

### 7.4.2 现场加工

管端坡口现场加工宜用坡口机或自动氧气切割机进行。如业主同意,也可用手工氧气切割方法进行。坡口加工后应光滑均匀,尺寸应符合焊接工艺规程要求。

## 7.5 气候条件

当恶劣气候条件影响焊接质量时,应停止焊接。恶劣气候条件包括(但不限于)大气潮湿、风沙或大风。如有条件,可使用防风棚焊接。焊接工艺规程应规定适于焊接的气候条件。

## 7.6 作业空间

当管道在沟上焊接时,管口周围焊接作业空间距离应不小于 400 mm。沟下焊接时,焊接工作坑的大小应使焊工操作容易。

## 7.7 层间清理

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。清理工具可使用无动力工具或动力工具。若焊接工艺规程规定使用动力工具,则应使用动力工具。

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。

## 7.8 固定焊

### 7.8.1 工艺

管道在焊接时应可靠固定,并在管口周围有足够的焊接作业空间。



### 7.8.2 填充焊和盖面焊

对于全位置固定焊接,填充焊和盖面焊的焊道数目,应保证完成的焊缝横断面在整个管口上均匀一致。焊缝表面任何一点应不低于管外表面。焊缝余高应不大于 2.0 mm,局部不大于 3.0 mm。

相邻焊层引弧点应错开。焊缝表面宽度宜比坡口开口宽度宽 3.0 mm。焊口完成后应将表面彻底清理干净。

## 7.9 旋转焊

### 7.9.1 管口组对

条件允许时,可采用旋转焊接。在旋转滚架上,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。

### 7.9.2 填充焊和盖面焊

对于旋转焊接,填充焊和盖面焊的焊道数目,应保证完成的焊缝横断面在整个管口上均匀一致,焊缝表面任何一点应不低于管外表面。焊缝余高应不大于 2.0 mm,局部不大于 3.0 mm。

相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面宽度应约大于坡口开口宽度 0.5 mm~2.0 mm。应保持在旋转管的顶部或管顶附近位置进行焊接,焊口完成后应将表面彻底清理干净。

## 7.10 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。

## 7.11 预热及焊后热处理

当使用的材料或气候条件要求焊前预热或焊后热处理时,焊接工艺规程中应规定焊前预热或焊后热处理的工艺。

# 8 焊缝检验与人员资格

## 8.1 检验内容

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。检验比例应按业主的规定执行。

## 8.2 检验方法

8.2.1 无损检测包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测或业主规定的其他检测方法。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定性和定量。

8.2.2 对焊缝质量评定应按第 9 章的要求进行。

8.2.3 破坏性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。试样的准备应符合 6.7 的要求。

8.2.4 对任何不合格的焊口,业主有权验收或不验收。对焊接不合格焊口的焊工(焊工组),可取消其焊接资格。

8.2.5 对无损检测人员可要求进行现场操作考试,以检验其技术水平及其使用的检测规程的准确性。

8.2.6 不应采用穿孔试验法(即自焊缝处锯取柱状试样以检验焊口的方法)。



### 8.3 检测人员的资格审定

应对检测人员的培训经历和同类型检测经验进行资格审定。检测人员资格审定资料至少应包括：

- a) 学历；
- b) 检测经历；
- c) 资格证书。

### 8.4 无损检测人员的资格

#### 8.4.1 规定

无损检测人员应按国家质量监督检验检疫总局《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》规定取得相应的资格。无损检测人员资格级别分为Ⅰ级(初级)、Ⅱ级(中级)和Ⅲ级(高级)，只有Ⅱ级(中级)或Ⅲ级(高级)检验员有权评定检测结果。资格证书应在有效期内。当对持证人员的能力有疑问时，可要求对其检测能力进行确认。

#### 8.4.2 记录

应保存无损检测人员的取证记录。该记录应包括取证考试的结果、发证机构和有效日期。

## 9 无损检测验收标准

### 9.1 概述

本验收标准适于用射线检测、磁粉检测、渗透检测、超声检测和自动超声检测等方法检测出的缺欠。本标准同时也可用于外观检查。

按 6.7 给出的要求进行破坏性试验的焊缝不应使用无损检测方法进行试件部位选择。

### 9.2 拒收权

任何无损检测均有一定的局限性。若检出的缺欠在本标准的容限范围内，但业主认为该缺欠的深度对焊缝有危害，可拒收该焊缝。

### 9.3 射线检测

#### 9.3.1 根部未焊透(IP)

根部未焊透是指焊缝根部未完全熔化结合(填充不完全)而引起的缺欠，如图 12 所示。当根部未焊透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%。

#### 9.3.2 错边未焊透(IPD)

错边未焊透是指由于错边而引起的单边根部未焊透，如图 13 所示。当错边未焊透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。



### 9.3.3 中间未焊透(ICP)

中间未焊透是指内焊第一层与外焊第一层之间由于未焊透而引起的内部缺欠。如图 14 所示。当中间未焊透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。

### 9.3.4 表面未熔合(IF)

表面未熔合是指焊缝与母材之间未能完全熔化结合,并延续到表面的缺欠,如图 15 所示。当表面未熔合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%。

### 9.3.5 夹层未熔合(IFD)

夹层未熔合是指焊道与焊道之间或焊道与母材之间未能完全熔化结合,但未延续到表面的缺欠,如图 16 所示。当夹层未熔合符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

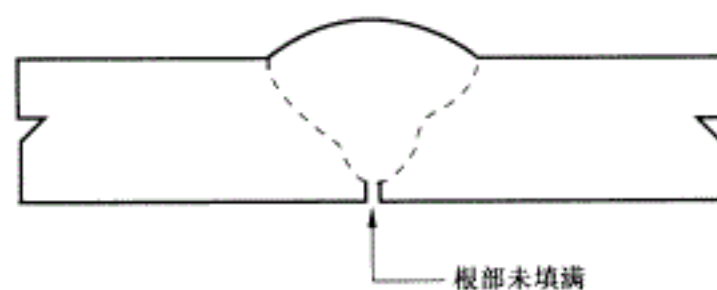
- a) 单个长度超过 50 mm;
- b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,其累计长度超过 50 mm;
- c) 其累计长度超过焊缝长度的 8%。

### 9.3.6 内凹(IC)

9.3.6.1 内凹是指焊道已经良好的熔合并且已经完好渗入沿坡口两侧的管壁厚度,但焊道中部比管壁的内表面低,形成的内陷即为内凹。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(如图 17 所示)。

9.3.6.2 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。

9.3.6.3 当内凹的影像黑度超过相邻较薄母材的黑度时,应符合 9.3.7 的规定,按烧穿的标准进行评定。



注:在根部的一边未填满或两边未填满。

图 12 根部未焊透

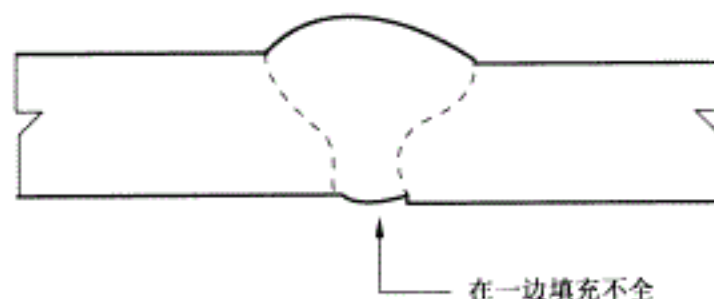


图 13 错边未焊透



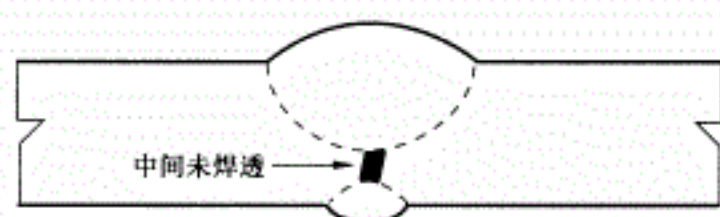
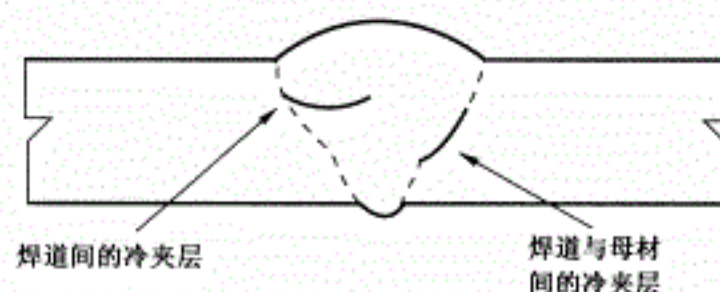


图 14 中间未焊透



图 15 焊道根部或接头顶部表面未熔合



注：冷夹层为夹层两面未熔合。

图 16 夹层未熔合

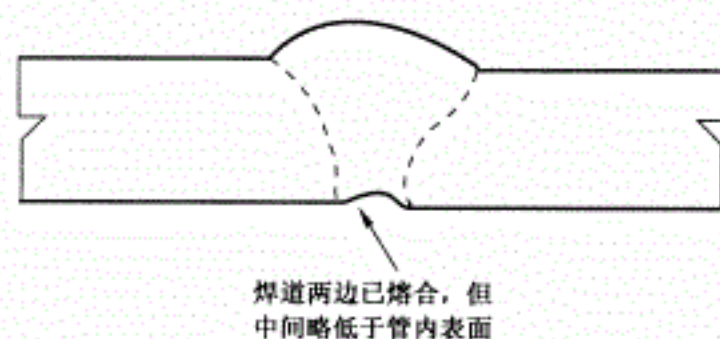


图 17 根部内凹

### 9.3.7 烧穿(BT)

9.3.7.1 烧穿是指部分根焊道被熔透,引起焊缝塌陷的缺欠。

9.3.7.2 当管外径大于或等于 60.3 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的黑度,且其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。



9.3.7.3 当管外径小于 60.3 mm 时,如果烧穿符合下列任一条件时,应评为缺陷:

- a) 烧穿影像的任一部分黑度大于相邻较薄侧母材的黑度,且其最大长度超过 6 mm;
- b) 烧穿影像的任一部分黑度大于相邻较薄侧母材黑度,且其最大长度超过相邻较薄侧母材的公称壁厚;
- c) 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。

### 9.3.8 夹渣(SI)

9.3.8.1 夹渣定义为焊缝金属中或焊缝金属与母材金属之间的非金属固体夹杂物。

细长夹渣(ESIs):一般存在于熔合区内的连续或断续的夹渣线和车轨线等均属细长夹渣。

独立夹渣(ISIs):形状不规则,且可能分布于焊缝的任何部位。

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。

9.3.8.2 当管外径大于或等于 60.3 mm 时,如夹渣符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个细长夹渣(ESI)长度超过 50 mm(间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣(车轨线),且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);
- b) 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;
- c) 细长夹渣(ESI)的宽度超过 1.6 mm;
- d) 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;
- e) 独立夹渣(ISI)的宽度超过 3 mm;
- f) 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;
- g) 细长夹渣(ESI)和独立夹渣(ISI)的累计长度超过焊缝长度的 8%。

9.3.8.3 当管外径小于 60.3 mm 时,如果夹渣符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

- a) 单个细长夹渣(ESI)长度超过接头较薄侧公称壁厚的 3 倍(间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣(车轨线),且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);
- b) 细长夹渣(ESI)的宽度超过 1.6 mm;
- c) 宽度超过相邻较薄管公称壁厚一半的独立夹渣(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%。

### 9.3.9 气孔

#### 9.3.9.1 气孔定义

熔池中的气体在金属凝固前未能从焊缝表面逸出,在焊缝金属中残留下来所形成的孔穴。气孔通常是球形的,但也有狭长形或不规则形状的,如条状气孔。在评定时,缺欠的最大尺寸应符合 9.3.9.2~9.3.9.4 的规定。

#### 9.3.9.2 单个或分散气孔(P)

当单个或分散气孔符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

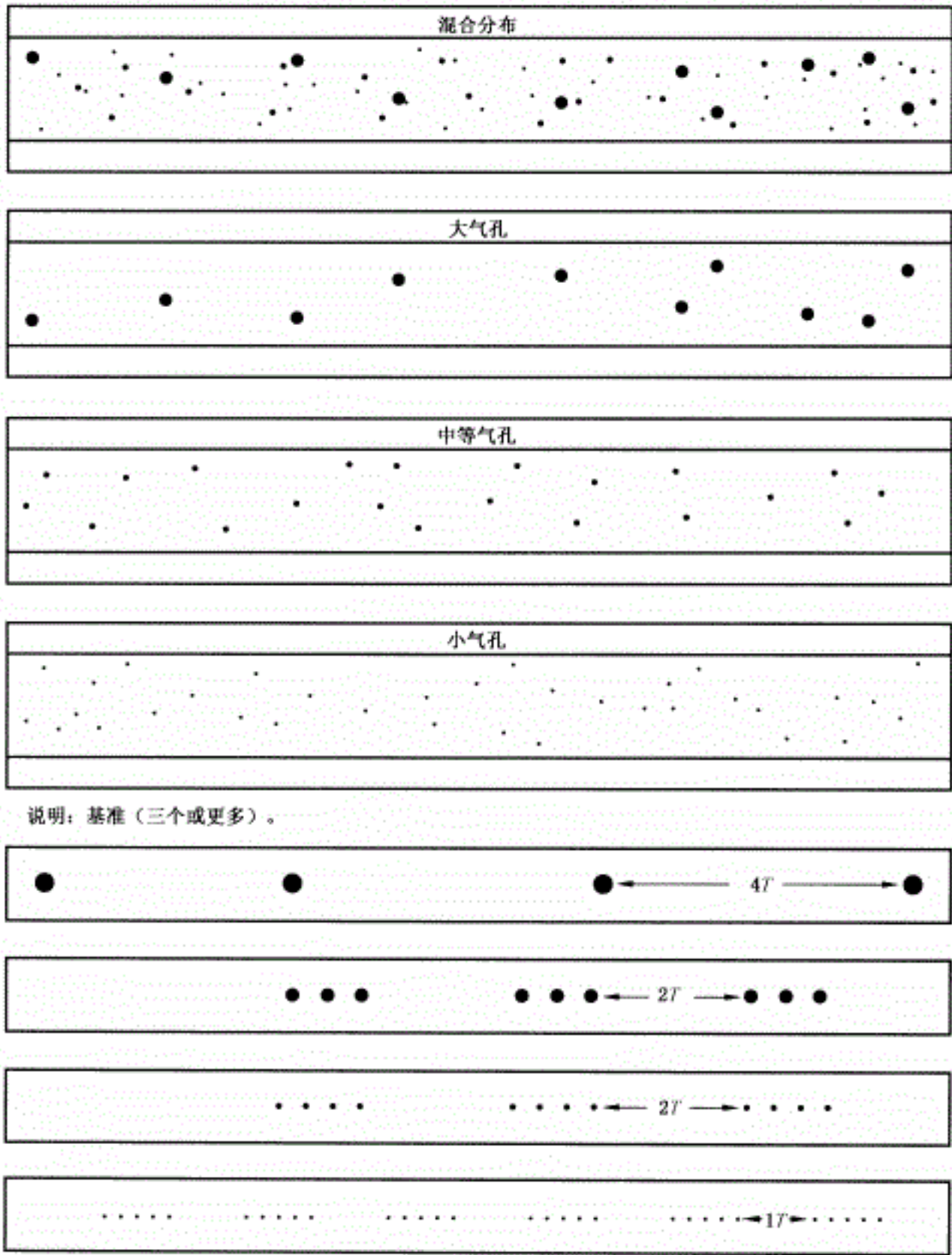
- a) 单个气孔的最大尺寸超过 3 mm;
- b) 单个气孔的尺寸超过相邻较薄侧母材公称壁厚的 25%;
- c) 分散气孔的分布超过图 18 或图 19 允许的分布。



9.3.9.3 密集气孔(CP)

非盖面焊道上存在的密集气孔应按 9.3.9.2 给出的要求进行评定。盖面焊中的密集气孔符合下列任一条件时,应评定为缺陷:

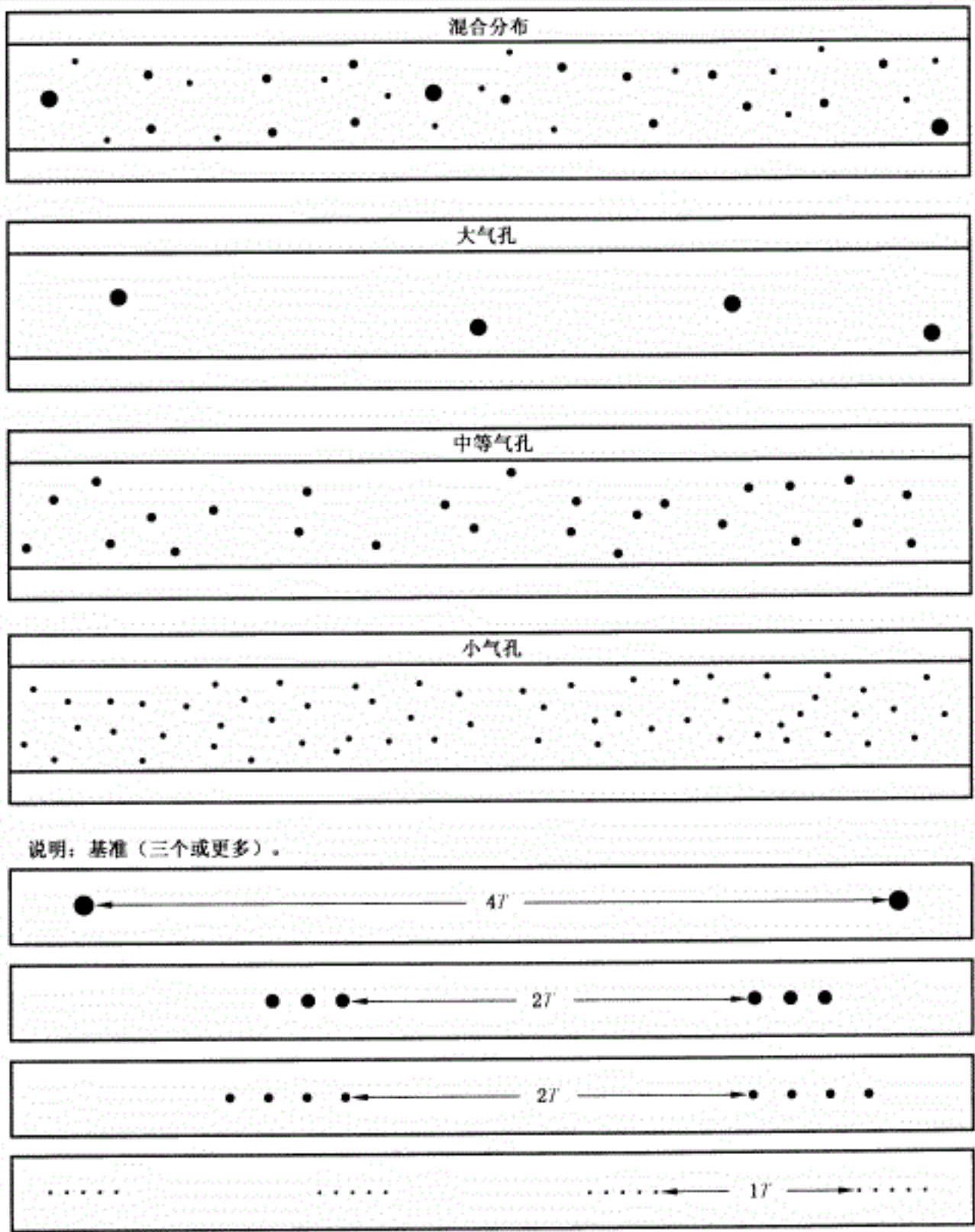
- a) 密集气孔分布区域的长径超过 13 mm;
- b) 在任何连续 300 mm 焊缝长度中,密集气孔分布区域长径的累计长度超过 13 mm。



注: 气孔尺寸未按比例绘制,尺寸参照 9.3.9。

图 18 气孔最大分布:壁厚≤12.7 mm





注：气孔尺寸未按比例绘制，尺寸见 9.3.9。

图 19 气孔最大分布：壁厚 $>12.7\text{ mm}$

9.3.9.4 空心焊道(HB)

空心焊道(HB)是指根部焊道中的条形气孔。当其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%。

9.3.10 裂纹(C)

当裂纹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)。

#### 9.3.11 咬边

咬边是指沿着焊趾或根焊在母材部位产生的没有被焊接金属填充的沟槽。当外咬边(EU)或内咬边(IU)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,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(外观检查或机械检测咬边的验收标准见 9.7)。

#### 9.3.12 缺欠累计评定

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%。

#### 9.3.13 管子和管件缺欠

射线检测时,在管子或管件上发现的缺欠应向业主报告。对缺欠的处理应在业主的指导下进行。

### 9.4 磁粉检测

#### 9.4.1 磁痕分类

9.4.1.1 磁粉检测发现的显示不一定是由缺欠产生的,磁性或金相组织的变化均可产生类似缺欠显示的非相关磁痕显示。对显示的磁痕应按 9.4.1.2 和 9.4.1.3 的规定进行评定。

9.4.1.2 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。

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。

9.4.1.3 由缺欠引起的磁痕显示为相关显示。长度与宽度之比大于 3 的为线形显示;长度与宽度之比小于或等于 3 的为圆形显示。

#### 9.4.2 验收标准

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%。

圆形显示应按 9.3.9.2 和 9.3.9.3 的规定进行评定。评定时,以圆形显示的最大磁痕尺寸作为评定尺寸。

#### 9.4.3 管子和管件缺欠

磁粉检测时,在管子或管件上发现的缺欠应向业主报告。对缺欠的处理应在业主的指导下进行。



## 9.5 渗透检测

### 9.5.1 显示分类

9.5.1.1 渗透检测所发现的显示不一定是由缺欠产生的。机加工痕迹、擦痕及表面状况均会产生类似于缺欠显示的非相关显示。对渗透显示应按 9.5.1.2 的规定进行评定。

#### 9.5.1.2 相关显示及非相关显示

9.5.1.2.1 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。

9.5.1.2.2 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。

9.5.1.3 由缺欠引起的显示为相关显示。长度与宽度之比大于 3 的缺欠为线形显示;长度与宽度之比小于或等于 3 的缺欠为圆形显示。

### 9.5.2 验收标准

9.5.2.1 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%。

9.5.2.2 圆形显示应按 9.3.9.2 和 9.3.9.3 的规定进行评定,评定时,以圆形显示的最大显示尺寸作为评定尺寸。

### 9.5.3 管子和管件缺陷

用液体渗透检测查出的管子和管件中的缺欠应向业主报告。对缺欠的处理应在业主的指导下进行。

## 9.6 超声检测

### 9.6.1 显示分类

9.6.1.1 超声检测时,出现的反射波不一定是由缺陷产生的。错边引起的焊缝几何尺寸变化、焊缝内外余高变化、管内的倒角以及由以上原因引起的超声波型转换均会产生类似于缺陷的反射信号。

9.6.1.2 线性显示是指焊缝纵向上尺寸最大的显示。典型的线性显示可能是由于根部未焊透(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)等及其他一些原因引起。

9.6.1.3 横向显示是指在焊缝横向上尺寸最大的显示。典型的横向显示可能是裂纹(C)、独立夹渣(ISI)、引弧、熄弧时的夹层未熔合(IFD)等缺欠造成的,但并不限于这些缺欠。

9.6.1.4 体积型显示是三维缺欠,是由于单个或多个夹渣、缩孔或气孔引起的。焊道引弧、熄弧处的缩孔、气孔或小夹渣,其在焊缝横向上的尺寸可能大于纵向。典型的体积型显示可能但并不限于下列原因:内凹(IC)、烧穿(BT)、独立夹渣(ISI)、气孔(P)、密集气孔(CP)等。

9.6.1.5 由缺欠产生的相关显示应按 11.4.7 给出的要求评价,验收应按 9.6.2 的规定执行。



9.6.2 验收标准

9.6.2.1 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。

9.6.2.2 表面线形显示(非裂纹)(LS)是指延续到焊缝内、外表面的缺欠。当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%。

9.6.2.3 内部线形显示(非裂纹)(LB)是指在焊缝内部,没有延续到表面的缺欠。当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%。

9.6.2.4 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。

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

9.6.2.6 当单个体积型显示(VI)的最大尺寸超过 3.0 mm 时,应评定为缺陷。

9.6.2.7 根部体积型显示(VR)是指延伸到焊缝内表面的缺欠。当符合下列任一条,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。

9.6.2.8 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%。

9.6.3 管或管件缺欠

超声检测时,若在管或管件中发现缺欠,应向业主报告。对缺欠的处理应在业主的指导下进行。

9.7 咬边的外观检查标准

9.7.1 概述

咬边定义见 9.3.11。在 9.7.2 中增补的验收标准,不应代替本标准中其他部分对外观检查的要求。

9.7.2 验收标准

当采用外观检查确定咬边深度时,表面咬边或根部咬边应不应超过表 4 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。

表 4 咬边的最大尺寸

深 度	长 度
>0.8 mm 或 >12.5%管壁厚,取二者中的较小值	任何长度均不允许
>6%~12.5%管壁厚或 >0.4 mm,取二者中的较小值	在焊缝任何 300 mm 连续长度中不超过 50 mm 或者焊缝的 1/6,取二者中的较小值
≤(0.4 mm)或 ≤6%的管壁厚,取二者中的较小值	任何长度均允许



## 10 缺陷的清除和返修

### 10.1 返修权限

#### 10.1.1 裂纹

除非符合 9.3.10 的规定或业主同意返修,否则所有带裂纹的焊口应按有关的规定从管线上切除。当裂纹长度小于焊缝长度的 8% 时,可使用评定合格的返修焊接工艺进行返修。

#### 10.1.2 非裂纹缺陷

根焊道及填充焊道中出现的非裂纹缺陷,经业主同意后方可返修。盖面焊道中出现的非裂纹缺陷,可直接返修。若返修工艺不同于原始焊道的焊接工艺,或返修是在原来的返修位置进行时,应使用评定合格的返修焊接工艺规程。同一部位的返修不应超过两次。

### 10.2 返修规程

返修时应使用评定合格的、能够保证焊缝力学性能和韧性要求的返修焊接工艺规程。这应通过力学性能试验确定,试验项目和数量应符合业主要求。返修规程应至少包括以下内容:

- a) 缺陷的检测方法;
- b) 缺陷的清除方法;
- c) 检查返修坡口,以确认缺陷完全清除;
- d) 预热和层间温度;
- e) 焊接方法其他细节说明,见 5.3.2;
- f) 层间无损检测规定。

### 10.3 验收标准

返修区域应采用返修前使用的检测方法进行检测。业主可要求采用同样的检测方法复查包括返修区域的整个焊口(见 8.1 和 8.2)。返修焊缝应满足第 9 章的规定。

### 10.4 监督

焊缝返修应在对返修技术有经验的技术人员的监督下进行。

### 10.5 焊工

应由有资格的焊工进行返修。

## 11 无损检测

### 11.1 射线检测方法

#### 11.1.1 概述

11.1.1.1 规定了使用 X 射线或  $\gamma$  射线在胶片或其他介质上产生射线影像的要求。应按本标准制定射线检测规程。采用该规程所得到的射线底片应达到本标准要求的底片黑度(见 11.1.10)、清晰度和对比度。用其他系统得到的射线影像,应达到要求的像质计灵敏度。评定时,应达到以下标准:

- a) 底片应质量良好、无过大灰雾、无因暗室处理不当造成的在底片评定区内的影响评定的伪



缺陷；

- b) 规定的像质计和要求达到的线径；
- c) 符合要求的识别系统；
- d) 合格的检测技术和装备；
- e) 满足验收标准。

11.1.1.2 有关影像质量的要求,对 X 射线或  $\gamma$  射线均适用。应按照业主的规定,进行射线检测及确定检测的百分率。

11.1.1.3 射线检测之前,所用的射线检测规程应经业主批准。业主应要求检测承包商验证其所用的射线检测规程的适用性。

## 11.1.2 检测规程内容

### 11.1.2.1 概述

应记录每个射线检测规程细节。记录可以采用文字、图表或二者相结合的方法。每个规程应至少包括 11.1.2.2 和 11.1.2.3 中的项目。

### 11.1.2.2 射线照相检测

射线照相检测规程应至少包括下列各项：

- a) 射线源——射线源类型、有效焦点尺寸,以及 X 射线设备的额定电压；
- b) 增感屏——增感屏类型及位置；如使用铅屏,应规定其厚度；
- c) 胶片——胶片牌号、类型和暗袋中胶片数量；若采用多胶片技术,应规定底片的观片方法、胶片牌号、类型和暗袋中胶片数量；
- d) 透照几何条件——应规定采用单壁单影法(SWE/SWV)、双壁单影法(DWE/SWV)或双壁双影法(DWE/DWV),确定焦距,规定胶片、焊缝、射线源、像质计,搭接处或其他标志的相对位置,规定透照一道焊口所需的曝光次数；
- e) 曝光量——使用  $\text{mA} \cdot \text{min}$  或  $\text{Ci} \cdot \text{min}$ ,规定 X 射线的管电压、管电流及曝光时间；
- f) 处理过程——使用自动洗片或手工洗片,规定显定影液配方、显影时间、温度、停显或漂洗、定影、水洗时间以及干燥细节等；
- g) 材料——规程适用的材料类型及厚度范围；
- h) 像质计——应规定材料种类、编号以及必要的钢丝外径；
- i) 隔热垫——规定材料、厚度,以及从隔热垫的胶片侧到管子表面的距离。

### 11.1.2.3 其他成像介质检测

其他成像介质的射线检测规程应至少包括下列各项：

- a) 射线源——射线源类型、有效焦点尺寸,以及 X 射线设备的额定电压；
- b) 所用的影像采集系统；
- c) 所用的影像处理系统；
- d) 所用的观像系统；
- e) 所用的影像存贮系统；
- f) 照几何条件——应规定单壁单影法(SWE/SWV)、双壁单影法(DWE/SWV)或双壁双影法(DWE/DWV)。无论是动态成像还是静止成像,应规定动态成像的扫描速度、焦距,规定焊缝、射线源、像质计、搭接处或其他标记与成像介质之间的相对位置,几何放大倍数,用于观看的总放大率,透照一个焊口所需的曝光次数；



- g) 曝光量——使用 mA · min 或 Ci · min,规定 X 射线电压或输入电压及电流,以及曝光时间;
- h) 材料——规程适用的材料类型及厚度范围;
- i) 像质计——应规定材料种类、编号以及必要的钢丝外径;
- j) 隔热垫——如需要隔热垫,应规定材料、厚度,以及从隔热垫的成像介质侧到管子表面的距离。

11.1.3 透照几何条件

11.1.3.1 射线照相胶片布置

- 11.1.3.1.1 当射线源位于管中心(中心周向透照)时,一道完整焊口的检测需一次曝光(单壁单影法 SWE/SWV)。
- 11.1.3.1.2 当射线源位于管外,距焊缝表面不超过 13 mm 时,一道完整焊口的检测,应至少进行三次相隔 120°的曝光(双壁单影法 DWE/SWV)。
- 11.1.3.1.3 当射线源位于管外,距焊缝表面大于 13 mm 时,一道完整焊口的检测,应至少进行四次相隔 90°的曝光(双壁单影法 DWE/SWV)。
- 11.1.3.1.4 当管径小于或等于 89 mm 时,可采用双壁双影法(DWE/DWV)。采用这种方法时,应使射线束偏斜,使得靠射线源一侧和靠底片一侧的焊缝在底片评定区内不重叠,一道完整焊口检测应至少做两次间隔 90°的曝光。当射线源一侧和靠底片一侧的焊缝在底片评定区内重叠时,一道完整焊口检测应至少做三次间隔 60°的曝光。
- 11.1.3.1.5 当射线检测管径更小和壁厚较厚的管子时,宜增加曝光次数,以减少底片上焊缝影像在边缘上的畸变。

射线源或焦点与射线源一侧管表面之间的最小距离应按式(1)确定(采用恒定的计量单位):

$$L_1 = D_f \times T / K \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $L_1$ ——射线源或焦点与射线源一侧管表面之间的最小距离,单位为毫米(mm);
- $D_f$ ——有效焦点尺寸(mm);
- $T$ ——透照厚度,包括余高和胶片到胶片侧焊缝表面的距离(mm),见表 5;
- $K$ ——几何不清晰度系数(mm)。

11.1.3.1.6 当采用单壁单影法(SWE/SWV)和双壁单影法(DWE/SWV)时, $T$  为单一壁厚与焊缝余高的和;当采用双壁双影法(DWE/DWV)时, $T$  为焊口焊缝外径尺寸(即管外径加上两倍的焊缝平均余高),见表 6。

表 5 透照厚度的计算

透照方式	$T$ 值计算公式
单壁单影	$T = \text{壁厚} + \text{焊缝余高}$
双壁单影	$T = \text{壁厚} + \text{焊缝余高}$
双壁双影	$T = \text{管外径} + 2 \times \text{焊缝余高}$

- 11.1.3.1.7 当透照厚度小于或等于 50.8 mm 时,一般  $K$  为 0.5 mm,但应达到规定的像质计灵敏度。
- 11.1.3.1.8 最终透照几何尺寸应根据每张底片是否能观察到所规定的像质计钢丝外径确定。

11.1.3.2 其他成像介质

透照几何条件的基本原则:影像是否能达到所规定的像质计灵敏度。对于运动过程中的成像,应考虑运动引起的清晰度损失,且应在对全部焊缝进行射线检测期间使用最大的扫描速度来评价透照几何条件。



11.1.4 像质计类型

线型像质计应符合 JB/T 7902 的规定。像质计应使用与被检材料类似的材料制作,如图 20。



图 20 线型像质计

11.1.5 像质计型号选择

对于 JB/T 7902 线型像质计如表 6 中所示,应根据焊缝的厚度选用相应线径的像质计,见表 7。也可以采用比上述规定小的线型像质计,但必须达到规定的射线探伤灵敏度。线型像质计的编号和要求放置的字母均应在射线底片上清楚地显示出来。规定线径的影像应在整个区域内清晰。

表 6 JB/T 7902 标准规定的线型像质计线号、线径

线 号	标称线径 mm
1	3.2
2	2.5
3	2.0
4	1.6
5	1.25
6	1.0
7	0.8
8	0.63
9	0.50
10	0.40
11	0.32



表 6 (续)

线 号	标称线径 mm
12	0.25
13	0.20
14	0.15
15	0.125
16	0.100
17	0.080
18	0.063
19	0.050

表 7 像质计的选用

管壁厚或焊缝厚 mm	要求的线径 mm	线号
0~6.4	0.20	13
>6.4~9.5	0.25	12
>9.5~12.7	0.32	11
>12.7~19.1	0.40	10
>19.1~25.4	0.50	9
>25.4~50.8	0.63	8

### 11.1.6 像质计的位置

#### 11.1.6.1 射线照相

像质计的放置应贴紧管道焊缝,并应符合下列条件:

- 当源在管内一次中心曝光时,应至少使用 4 个像质计,并应垂直横跨焊缝,且应沿圆周近似相等的间隔放置。对于双壁双影工艺,一个像质计应放置在管子的源侧并垂直横跨焊缝以致要求达到的线径影像投影到焊缝影像上。对于双壁单影或单壁单影工艺,要求一个完整的焊缝分段曝光的,且底片的评定长度大于 130 mm 时,应使用 2 个像质计垂直横跨焊缝并位于胶片侧。一个应在底片评定长度末端 25 mm 之内,另一个应在底片的中间。当底片的评定长度小于等于 130 mm 时,一个像质计应放置在胶片侧,并在横跨焊缝并位于评定长度的中间。当检测返修焊缝时,应横跨每个返修区附加一个像质计。
- 当由于焊缝形状或工件大小致使像质计无法放置的时候,可把像质计放在另一个分离的金属块上,要求其材质与透照材料类似,厚度与焊缝相同。
- 隔热垫:如果在射线检测之前已证明这种像质计放置合格,则可将像质计放置在隔热垫上而不是直接放在热的管道焊缝上。



#### 11.1.6.2 其他成像介质

对于非胶片成像的其他射线检测方法,像质计放置的位置应按 11.1.6.1 的规定执行。像质计可放置在管表面上或放在管表面和成像介质之间有支撑的位置,成像介质应装在夹具上或扫描装置上。

#### 11.1.7 射线检测评定

只有Ⅱ级或Ⅲ级资格的射线检测人员可对焊缝的射线影像进行评定。评定人员应报告观察到的所有缺陷,若业主要求报告所有观察到的缺欠,应按业主要求执行。评定人员应按照第 9 章要求对焊缝做出评定结论。

#### 11.1.8 影像标记

应用铅号、铅字母、标识或其他方法进行标记,以便迅速和准确地识别良好焊缝和有缺陷的焊缝。业主可规定所采用的标记方法。

当环焊缝使用一个以上的底片时,相邻底片应有重叠,每个底片均应有标记,并不应漏检任何一段焊缝。

#### 11.1.9 胶片及其他成像介质的贮存

##### 11.1.9.1 胶片

所有未透照的胶片应储存在对感光乳胶膜无损害的清洁、干燥的地方。对储存条件有疑问时,应对每盒胶片的开头一张和最后一张,或从每一原卷胶片上取下等于周长的一段进行灰雾度试验。如果被检查的胶片灰雾度超标,则被检胶片所在的整盒或整卷胶片应报废。如经过第二次试验证明盒中或卷内剩余的胶片没有受到感光,则可继续使用。底片本底灰雾度应不大于 0.3。

##### 11.1.9.2 其他成像介质

其他成像介质的储存应严格执行生产厂家的规定。

#### 11.1.10 底片观察

##### 11.1.10.1 底片黑度

除局部小面积是由于不规则焊缝形状而造成的之外,焊缝部分的底片黑度应不小于 1.8 也不应大于 4.0。局部小面积的黑度可超过此限定值,但最小黑度不应低于 1.5,而最大黑度不应超过 4.2。

##### 11.1.10.2 观片灯

观片灯应具有可调光、高亮度的特点,并应能在 11.1.10.1 中规定的范围内观察底片黑度。观片灯应有防护装置,防止来自底片边缘或透过底片低黑度区域的光,以便评片。

##### 11.1.10.3 观片室

观片室应能提供柔和的背景光,以防止射线底片上的反射、盲区和眩目。

#### 11.1.11 底片处理与保存

射线检测底片或其他成像介质的冲洗、搬运和保存应至少七年后仍达到评定要求。当业主有要求时,按照业主要求执行。



#### 11.1.12 洗片室或影像处理室

洗片室或数字射线影像的房间及设施应保持清洁。

#### 11.1.13 辐射防护

射线检测操作人员应负责防护和监督使用或接近辐射源的每个人。防护和监督应符合政府的有关规定。

### 11.2 磁粉检测方法

11.2.1 当业主规定使用磁粉检测时,检测承包商应制定详细的书面磁粉检测规程,并应符合 SY/T 4109 的要求。检测前,磁粉检测规程应经业主同意并批准。

11.2.2 业主应要求检测承包商证明按此规程操作会得到满意的检测结果,并应按该规程进行磁粉探伤工作。

### 11.3 渗透检测方法

11.3.1 当业主规定使用渗透检测方法时,检测承包商应制定详细的渗透检测规程,并应符合 SY/T 4109 的要求。在检测前,渗透检测规程应经业主同意并批准。

11.3.2 业主应要求检测承包商证明按此规程操作将会得到满意的结果,并要求按该规程进行渗透探伤工作。

### 11.4 超声检测方法

#### 11.4.1 总则

11.4.1.1 如业主规定采用超声检测方法检查新建的或在役的对接环焊缝时,应执行本条规定。应建立和记录每个详细的超声检测工艺。超声探伤方法的使用和适用范围应符合业主的规定。在实施检测前,业主和检测承包商均应同意该超声检测规程。

11.4.1.2 业主应要求检测承包商演示其推荐的超声检测规程,以证明其检测结果满足要求,并应要求其在检测工作中执行该规程。

11.4.1.3 应用超声检测方法检测在役的对接环焊缝时,应注意母材和表面缺陷对超声检测结果的干扰。

11.4.1.4 所有要进行超声检测的表面均应无涂层。对新建工程,在管子防腐涂敷前,应在管端预留供超声扫查所必须长度的裸管,该裸管部分的制管焊缝余高应打磨至和母材平齐,并应圆滑过渡,以便进行超声检测。

#### 11.4.2 规程内容

##### 11.4.2.1 总则

应记录所有超声检测规程的细节,记录可采用文字、图表或二者相结合的方法。每个规程应至少包括 11.4.2.2 中规定的项目。

##### 11.4.2.2 超声检测规程

焊缝超声检测规程应至少包括以下内容:

- a) 被检测的焊缝形式、焊接接头尺寸和焊接方法;
- b) 管材类型(如:管道外径、壁厚、材质、制造工艺);
- c) 检测表面的条件和准备;



- d) 检测阶段的执行;
- e) 超声检测设备/系统和探头(如:制造商、类型、晶片尺寸、频率、K 值或折射角等);
- f) 自动检测或人工检测;
- g) 耦合剂;
- h) 检测技术参数;
  - 1) 角度;
  - 2) 频率(MHz);
  - 3) 温度和范围;
  - 4) 扫查方法和扫查速度;
  - 5) 距离波幅曲线和参照缺陷位置坐标(如:面、根部和环缝位置)。
- i) 参考标准试件——用实际材料制作的试件的示意图应详细标明所有缺陷的平面和立体尺寸;
- j) 校准要求——检测仪或系统要求的校准间隔时间,在焊缝检测前的调校程序,包括所用的标准试块,使用的参考缺陷,参考的评定线(如 DAC 或 TCG),以及设定的校准间隔时间;
- k) 扫查灵敏度值——在参考灵敏度基础上增加一定的 dB 值;  
 评定灵敏度值——评定过程要求的在扫查过程中发现的反射波高度或水平值,以及在对缺陷进行验收的评定前做的任何灵敏度的调整;
- l) 结果记录——记录的类型(如:绘图、记录仪、光盘等)和记录的内容(如记录所有的缺陷,或仅记录判废的缺陷);
- m) 超声检测报告——应提供正规的超声检测报告。

#### 11.4.3 超声检测人员资格要求

应由无损检测超声Ⅲ级资质的人员编制检测工艺规程。只有取得Ⅱ级或Ⅲ级资质的人员才能调校设备、评判结果并出具检测报告。超声检测人员应根据经过评定的检测规程(见 11.4.4)进行超声检测。检测人员应根据 9.6 列出的验收标准评判焊缝的检测结论。

业主有权要求检测人员证明其有执行经过评定的检测规程的能力。

#### 11.4.4 超声检测规程的评定

在签字同意前,业主应要求检测承包商演示其超声检测系统及其制定的检测规程。在实际检测前,应有书面的检测规程评定报告和评定结论。

检测规程应包括以下内容:

- a) 带有缺陷以及缺欠的实际焊缝试件(每种评定合格的焊接工艺应至少两个试件)。可使用焊工资格考试的试件;
- b) 试件应经过射线检测并具有书面的检测报告;
- c) 在允许的温度范围内,应按规程对试件进行超声检测,写出检测报告,并与射线检测报告对比;
- d) 应记录两个检测结果的差异(因超声检测和射线检测发现缺陷类型的能力不同)并形成报告。如业主要求,应通过破坏性试验验证;
- e) 超声检测规程应用于实际工程焊缝检测时,应根据以下限制条件来确定是否采用超声检测方法:
  - 1) 环向位置;
  - 2) 长度尺寸;
  - 3) 埋深;
  - 4) 轴向位置(焊缝横断面)。该规程应按 9.6 和 11.4.7 给出的验收标准进行评定。

#### 11.4.5 灵敏度对比试块

11.4.5.1 手动超声检测的灵敏度应根据对比试块确定(即:距离波幅曲线[DAC]或[TCG]时间增益校



正),该对比试块(即 N10 刻槽试块)应从被检件上平行于轴线方向截取制作,见图 21 和图 22,其材料用直探头检测时,不应有大于或等于  $\Phi 2$  mm 平底孔回波幅度 1/4 高度的缺欠。试块上的参考反射体应至少有 2 点或 3 点。

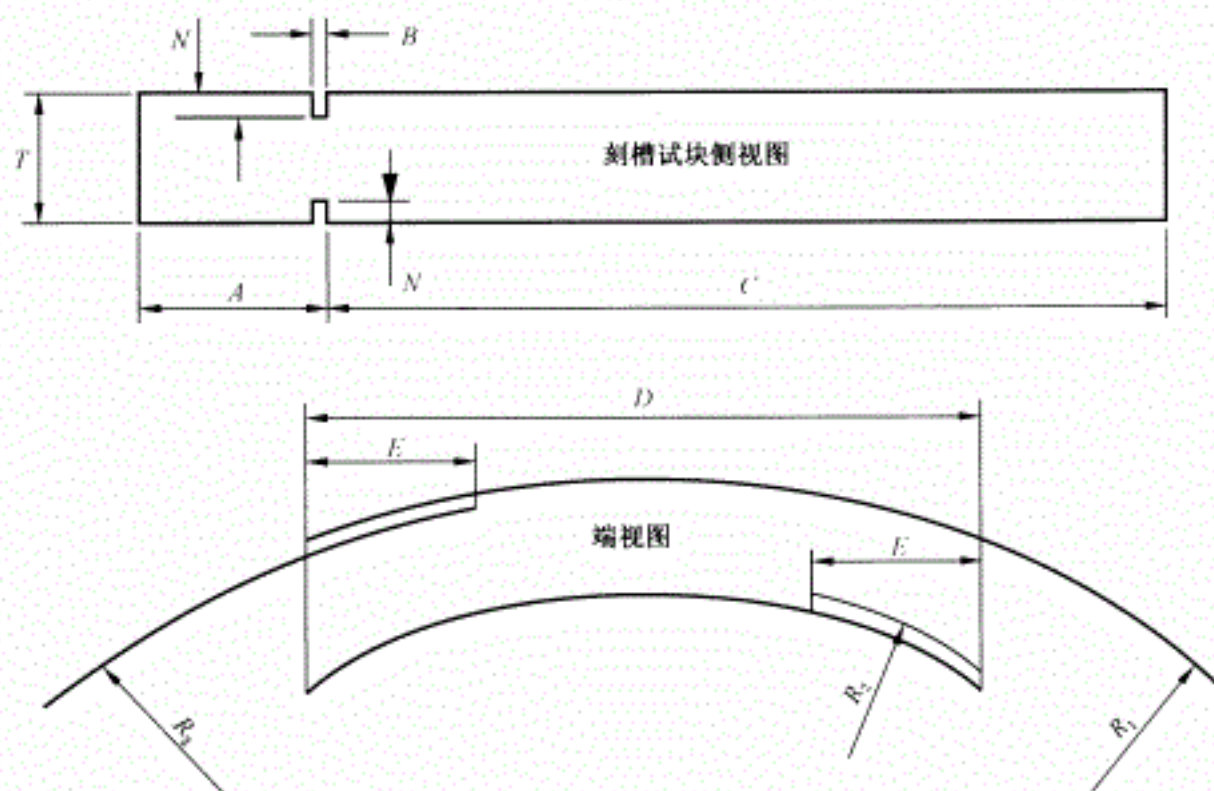
11.4.5.2 DAC/TCG 曲线的最高波应不低于满屏高的 80%。实际的声速、折射角、声程应利用对比试块测得。

11.4.5.3 当管道焊接使用不同化学材料、不同壁厚、不同外径或不同生产厂家的钢管时,应重新测定声速和折射角。并应通过两个相同角度和频率的探头对应放置测定,见图 23。当发现声速、折射角或声程不同时,应从不同的管材上截取材料制作对比试块。

11.4.5.4 DAC 曲线制作方法:在对比试块上将内壁刻槽的回波高度调到满屏高的 80%,再移动探头,找出外壁刻槽的最大回波,连接两点即为距离-波幅曲线,作为检测时的基准灵敏度。

11.4.5.5 当采用自动超声检测或手工超声检测方法时,若业主有特殊要求,应在被检管道试样上机械加工平底孔,平底孔的外径约等于焊道层厚度。各孔的反射面在焊接接头每层焊道的同一角度和位置。平底孔应制作在焊缝的中心线上,底面和焊缝垂直轴线垂直。所有平底孔均应分开,以保证在一个检测位置上不同时存在两个反射波。

11.4.5.6 对于其他新的工程,应采用与被检管道相同钢级、壁厚和外径的管件来制作对比试块。应用适当的方法来确定实际声程、实际折射角度和在被检材料中声波的衰减,确定时应使用具有相同入射角度和频率的探头见图 23。



说明:

$T$  ——管子的公称壁厚;

$N$  ——刻槽深度  $= 0.1T \pm 10\%$ ;

$A$  ——最小为 50 mm;

$B$  ——刻槽最大宽度 3.2 mm;

$C$  ——最小为  $11.35T + 50$  mm;

$D$  ——最小宽度为 80 mm;

$E$  ——刻槽最小长度 25 mm;

$R_1$  ——管子外表面半径;

$R_2$  ——内侧刻槽半径  $= R_1 - 0.9T$ ;

$R_3$  ——外表刻槽半径  $= R_1 - 0.1T$ 。

图 21 手动超声参考试块



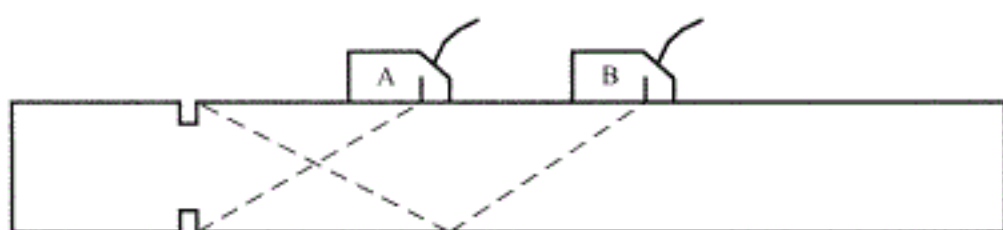


图 22 确定距离、折射角及声速

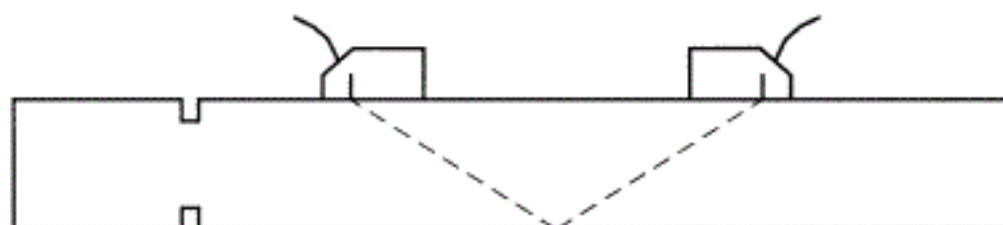


图 23 转换程序

#### 11.4.6 管材的超声检测

在对接环焊缝焊接完成后,使用超声检测前,应用直探头多次回波法对焊缝两侧母材进行超声检测(最小距离 $=1.25 \times$ 跨距)。应注明所有的缺陷回波的 dB 值(包括至焊缝边缘的距离和位置),并记录在检验报告上。

#### 11.4.7 扫查和评定

##### 11.4.7.1 管材的超声检测

11.4.7.1.1 管材的手工纵波超声检测应利用标准试块进行校准(见图 21),基准灵敏度调整到标准试块的二次反射波为满屏高度的 80%。

11.4.7.1.2 管材的自动超声检测应使用与手工超声检测相同的校核方法和评定线,或采用能证实与手工超声多次回波检测相同或更好的其他检测技术。

##### 11.4.7.2 焊缝的手工超声检测

11.4.7.2.1 手工超声检测焊缝采用的扫查灵敏度应在 DAC/TCG 基准灵敏度的基础上(根据对比试块作出的评定线)至少增加 6 dB。超过评定线屏高 50% 的反射波应进行评估。

11.4.7.2.2 手工超声检测焊缝的评定灵敏度应在 DAC/TCG 评定线的基础上增加 6 dB,所有达到 50% 屏高的 DAC/TCG 反射波均应采用该灵敏度评估。

11.4.7.2.3 在确定基准灵敏度、扫查灵敏度、评定灵敏度后进行评定,并编制最终检测规程和检测报告。

##### 11.4.7.3 焊缝的自动超声检测

11.4.7.3.1 采用脉冲反射技术进行自动超声检测,扫查灵敏度应在基准灵敏度 80% 满屏高的基础上增加 4 dB。评定灵敏度应与扫描灵敏度相同。

11.4.7.3.2 采用自动脉冲反射技术,判定线(记录阈值)应为满屏高度的 40%。

11.4.7.3.3 若证明其他自动检测技术具有与脉冲反射技术相同的检测焊缝缺陷能力,参照反射体、基准灵敏度、扫查灵敏度、评定灵敏度和评估阈值也可使用。

探头放在 A 点位置,将来自内壁刻槽的回波调至最大值(峰值),并将幅度调到全屏高度的 80%。测量从内侧刻槽(也可从外表刻槽)到探头入射点的表面距离。表面距离除以壁厚等于探头折射角的正切值(K 值)。



为校验测量的折射角和声速设定值的准确性,将探头沿直线向远离刻槽的方向从位置 A 移动到位置 B,使位置 B 的探头入射点到表面刻槽的距离为位置 A 探头入射点到表面刻槽距离的两倍,如位置 B 能发现表面刻槽的峰值,并且外表刻槽回波峰值计算的深度接近 0,证明折射角度和声速设置精确。

使用两个相同尺寸、频率和角度的探头,一个用于发射,另一个用于接收,仪器设定为一收一发方式。前后移动探头位置,找到接收波的最大回波位置。测量两个探头入射点之间的表面距离,表面距离的一半再除以测得的壁厚就是探头折射角正切值(K 值)。在不改变仪器设定值的情况下,在未知声速、折射角以及衰减值的管材上重复此过程,以确定差值。

#### 11.4.8 超声检测评定

超声检测技术人员应记录所有缺陷。若业主有要求,应记录所有缺欠。业主有权确定焊缝的最终处理方法。

#### 11.4.9 报告的内容

超声检测报告应至少包括焊口编号、基准位置、长度、距外表面深度以及缺陷的类型(线型、面积型或体积型)。

### 12 有填充金属的机动焊

#### 12.1 适用的焊接方法

机动焊应采用一种或多种下列焊接方法:

- 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。

#### 12.2 焊接工艺评定

12.2.1 在焊接生产开始之前,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。工艺评定旨在验证采用此工艺能否得到具有合格力学性能(如强度、塑性、韧性和硬度)的完好焊接接头。

12.2.2 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 9 章的要求,破坏性试验应符合 5.6 给出的要求。应依据评定合格的焊接工艺编制焊接工艺规程。

12.2.3 应严格遵守和执行焊接工艺规程,除非业主明确要求变更 12.5 中所列的基本要素。

#### 12.3 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 E.1 和表 E.2。在该焊接工艺使用期间内应妥善保存评定记录。

#### 12.4 焊接工艺规程

##### 12.4.1 概述

焊接工艺规程应包括 12.4.2 规定的正确操作、维护、调试焊接设备的各项内容。



## 12.4.2 规程内容

### 12.4.2.1 焊接方法

应指明焊接方法或其组合,包括所使用的焊接工艺和焊接设备。

### 12.4.2.2 管子及管件

应指明适用的管子和管件材料。

适用的管子和管件材料分组见 5.4.2.2,评定试验应选择该组材料中具有最高规定屈服强度的材料进行。

### 12.4.2.3 外径

应确定焊接工艺规程适用管子或管件的外径范围。

### 12.4.2.4 壁厚范围、焊道顺序及焊道数

应指明适用的管壁厚范围、对应壁厚的焊道数及各焊道使用的设备。

### 12.4.2.5 接头设计

应画出接头的简图和坡口形式(如 V 型或 U 型)。简图应指明坡口角度、钝边尺寸和根部间隙。填角焊缝应指明形状和尺寸;如使用垫板时,应指明其形式及材质。

### 12.4.2.6 填充材料

应指明填充材料的种类和规格。

### 12.4.2.7 电特性

应指明电流种类和极性,并规定使用焊条或焊丝的电弧电压和焊接电流值的范围。

### 12.4.2.8 焊接位置

应指明旋转焊或固定焊。

### 12.4.2.9 焊接方向

应指明上向焊或下向焊,此要求仅适用于固定焊。

### 12.4.2.10 焊道之间的时间间隔

应规定完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔,以及完成第二道焊之后与开始其他焊道之间的最长时间间隔。

### 12.4.2.11 对口器的类型

应规定是否使用对口器,使用内对口器或外对口器。

### 12.4.2.12 清理

应指明要求的接头或层间的清理方法。



## 12.4.2.13 预热

应规定预热的方法和宽度、开始焊接时的最低温度,以及需预热的最低环境温度。

## 12.4.2.14 焊后热处理

应规定焊后热处理的方法、宽度、最低和最高温度、保温时间及控制温度方法。

## 12.4.2.15 保护气体及流量

应规定保护气体的成份及流量范围。

## 12.4.2.16 保护焊剂

应指明保护焊剂的型号或牌号。

## 12.4.2.17 焊接速度

应规定各焊道的焊接速度范围。

## 12.4.2.18 其他参数

应规定所有保证正确操作和焊接质量的其他参数。包括埋弧焊机头的位置和角度,导电嘴与工件的距离,以及电弧摆动的宽度和频率。

## 12.4.2.19 层(道)间温度

应规定焊接时焊层(道)之间的温度范围。

## 12.5 焊接工艺规程的变更

## 12.5.1 概述

当焊接工艺规程有 12.5.2 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 12.5.2 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。

## 12.5.2 基本要素

## 12.5.2.1 焊接方法

焊接工艺规程中焊接方法的变更。

## 12.5.2.2 管材

焊接工艺规程中管材组别的变更。

本标准应将所有碳钢及低合金钢进行以下分组:

- a) 规定最小屈服强度小于或等于 290 MPa;
- b) 规定最小屈服强度高于 290 MPa,但小于 448 MPa;
- c) 对规定最小屈服强度大于等于 448 MPa 的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验。

以上分组并不表示上述每组中所有的管材可任意代用已做过焊接工艺评定的管材填充材料,还应考虑管材和填充材料在冶金特性,力学性能及对预热和焊后热处理要求的不同。

## 12.5.2.3 接头设计

接头设计的重大变更(如 V 型坡口改为 U 型坡口或反之),或坡口角度、间隙及钝边的变更超过规



定的范围。

#### 12.5.2.4 壁厚

壁厚变化超过规定的范围。

#### 12.5.2.5 管径

管径变化超过规定的范围。

#### 12.5.2.6 填充材料

填充材料的下列变更：

a) 从一组填充材料到另一组填充材料(见表 1)；

b) 对于规定最小屈服强度大于或等于 448 MPa 的管材(见 5.4.2.2)，填充材料型号的变更。

可在 12.5.2.2a) 和 b) 中规定的分组内变更填充材料，但应从力学性能的角度保持母材和填充材料的一致性。

#### 12.5.2.7 填充焊丝尺寸

填充焊丝尺寸的变化。

#### 12.5.2.8 焊道之间时间间隔

完成根焊至开始第二层焊道之间允许最大时间间隔的增加。

#### 12.5.2.9 焊接方向

从下向焊改为上向焊，或者反之。

#### 12.5.2.10 保护气体和流量

一种气体换成另一种气体，或一种混合气体换成另一种混合气体，或保护气体流量范围较大的增加或减少。

#### 12.5.2.11 保护焊剂

保护焊剂的选用见表 1。

#### 12.5.2.12 焊接速度

焊接速度范围的变更。

#### 12.5.2.13 预热和焊后热处理

预热和焊后热处理的变更。

#### 12.5.2.14 电特性

电特性的变更。

#### 12.5.2.15 压缩喷嘴孔径的变更或气体成份的变更

对于等离子弧焊，压缩喷嘴孔径的变更或气体成份的变更。



## 12.6 焊接设备和操作人员的审定

### 12.6.1 焊接操作人员资格审定程序

- a) 每名焊接操作人员应按合格的焊接工艺规程焊接一道合格的焊缝；
- b) 对该焊缝应采用破坏性试验、无损检测或同时采用前述两种方法进行检验。该焊缝性能应符合 6.4、6.5、6.6 和 6.7 的要求，但对 6.7.4 的刻槽锤断试验不做要求；
- c) 焊接生产前，每名焊机操作工应进行设备操作培训并取得相应的焊接资格；如焊接工艺规程包括不止一种焊接操作，焊机操作工应充分熟悉要在现场焊接使用的焊接设备。12.6.2 中规定的焊接基本要素若发生变更，焊接操作工应重新取得资格。

### 12.6.2 范围

焊接基本要素变更范围包括下列内容：

- a) 由一种焊接方法、熔滴过渡方式、极性变为另一种焊接方法或其他焊接方法的组合（例如：短路过渡，脉冲过渡，喷射过渡，惰性气体过渡等）；
- b) 焊接方向由上向焊变为下向焊，或反之；
- c) 填充材料类型的变化（实芯焊丝，金属粉芯焊丝，药芯焊丝）；
- d) 从一种管径变为另一种管径：
  - 1) 管径小于 323.9 mm；
  - 2) 管径大于或等于 323.9 mm。
- e) 焊机操作工考试时应采用最大壁厚；
- f) 焊接位置的变更（如从旋转焊变为固定焊，或从垂直焊接位置变为水平焊接位置）；
- g) 焊机头制造商或型号的改变；
- h) 根焊道焊接方式的改变（如采用外焊还是内焊）；
- i) 接头设计的变更（如由 V 型坡口变为 U 型坡口或 J 型坡口）或超出所规定的范围。诸如间隙、钝边、坡口角度等基本变化；
- j) 在多焊道对接焊缝中，只负责焊接特定焊道的焊工/焊机操作工，应通过焊接工艺规程相应内容的考试。

## 12.7 合格机动焊操作工的记录

合格机动焊操作工的记录表格见表 E.3（该表格可进行修改以适合业主要求，但其记录内容应满足本标准对操作工考试的要求），对每个操作工的试验（按 12.6 要求）和每次试验的详细结果应进行记录。

合格操作工的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如业主对某个操作工的能力有疑问，可要求重新进行资格考试。

## 12.8 现场焊缝的检查和试验

应按第 8 章的要求对现场焊缝进行检查和试验。

## 12.9 无损检测验收标准

无损检测验收标准应符合第 9 章的规定或业主所选其他相关标准的要求。

## 12.10 缺陷的返修和切除

缺陷的清除和返修应符合第 10 章的规定。



#### 12.11 射线检测

射线检测应符合 11.1 的规定。

#### 12.12 超声检测

超声检测应符合 11.4 的规定。



附 录 A  
(资料性附录)

本标准与 API Std 1104:2010 相比的结构变化情况

本标准与 API Std 1104:2010 相比在结构上有较多调整,具体章条号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本标准与 API Std 1104:2010 的章条号对照情况

本标准章条号	对应 API Std 1104:2010 标准章条号
1	1,1.1
2	2
3	3,3.1,3.2(3.2.1,3.2.13,3.2.18,3.2.20 删除)
3.6,3.7,3.8,3.19,3.20,3.21,3.23	无
4	4
5.1.1,5.1.2	5.1
5.3.2.17	无
5.4.2.2 d)	5.4.2.2 注(Note)
5.6.1.1~5.6.1.5	5.6.1
5.6.2.3.1~5.6.2.3.2	5.6.2.3 第一段
5.6.2.3.3	5.6.2.3 第二段
5.6.2.3.4	5.6.2.3 第三段
5.6.6	无
5.6.7	无
6.1	无
6.2	无
6.3.1	6.1 第二段~第四段
6.4	6.2
6.4.1.1,6.4.1.2	6.2.1 第一段
6.4.1.3	6.2.1 第二段
6.4.1.4	6.2.1 第三段
6.4.1.5	6.2.1 第四段
6.4.2	6.2.2
6.5	6.3
6.5.1.1	6.3.1 第一段、第二段、第三段
6.5.1.2	6.3.1 第四段
6.5.1.3	6.3.1 第五段
6.5.1.4	无
6.5.2	6.3.2



表 A.1 (续)

本标准章条号	对应 API Std 1104:2010 标准章条号
6.5.2.1、6.5.2.2	6.3.2 第一段
6.5.2.3	6.3.2 第二段
6.6	6.4
6.6.1、6.6.2、6.6.3	6.4 第一段
6.6.4	6.4 第二段
6.6.5	6.4 第三段
6.7	6.5
6.7.1	6.5.1
6.7.2	6.5.2
6.7.3	6.5.3
6.7.4	6.5.4
6.7.5	6.5.5
6.7.5.1、6.7.5.2	6.5.5 第一段
6.7.5.3	6.5.5 第二段
6.7.6	6.5.6
6.7.7	6.5.7
6.8	6.6
6.8.1	6.6.1
6.8.2	6.6.2
6.9	6.7
6.10	6.8
7	7
8	8
8.1	8.1
8.2.1、8.2.2	8.2 第一段
8.2.3、8.2.4	8.2 第二段
8.2.5	8.2 第三段
8.2.6	8.2 第四段
9	9
9.3.6(9.3.6.1~9.3.6.3)	9.3.6
9.5.1.2(9.5.1.2.1~9.5.1.2.2)	9.5.1.2
9.5.2.1	9.5.2 第 1~4 段
9.5.2.2	9.5.2 第 5 段
10	10

表 A.1 (续)

本标准章条号	对应 API Std 1104:2010 标准章条号
10.2a)~f)	10.2.1~10.2.6
10.3	10.3、10.3.1
10.4	10.4、10.4.1
10.5	10.5、10.5.1
11	11
11.1.1.1	11.1.1 第一段
11.1.1.2	11.1.1 第二段
11.1.1.3	11.1.1 第三段
11.1.3.1.1~11.1.3.1.4	11.1.3.1 第一段
11.1.3.1.5	11.1.3.1 第二段
11.1.3.1.6~11.1.3.1.8	11.1.3.1 第三段
11.2.1	11.2 第一段
11.2.2	11.2 第二段
11.3.1	11.3 第一段
11.3.2	11.3 第二段
11.4.1.1~11.4.1.4	11.4.1 第 1~4 段
11.4.5.1~11.4.5.4	11.4.5 第一段
11.4.5.5	11.4.5 第二段
11.4.5.6	11.4.5 第三段
11.4.7.1.1	11.4.7.1 第一段
11.4.7.1.2	11.4.7.1 第二段
11.4.7.2.1~11.4.7.2.3	11.4.7.2 第 1~3 段
11.4.7.3.1~11.4.7.3.3	11.4.7.3 第 1~3 段
12	12
12.2.1~12.2.3	12.2
12.4.2.19	无
12.6、12.6.1	12.6
12.6.2	12.6.1
12.12	无
无	第 13 章 无填充金属的自动焊
附录 A	无
附录 B	无
附录 C	附录 A
附录 D	附录 B
附录 E	无



**附 录 B**  
(资料性附录)

**本标准与 API Std 1104:2010 技术性差异及其原因**

表 B.1 给出了本标准与 API Std 1104:2010 的技术性差异及其原因的一览表。

**表 B.1 本标准与 API Std 1104:2010 技术性差异及其原因**

本标准的章条号	技术性差异	原 因
第 1 章	本标准适用于施工和返修焊接。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、氧乙炔气焊或闪光对接焊； 删除了“或闪光对接焊”	闪光对接焊目前我国管道工程建设中尚未使用。
第 2 章	增加了国家标准(GB/T)、石油行业标准(SY/T)、机械行业标准(JB/T)、国家质量监督检验检疫总局《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》、TSG Z6002—2010《特种设备焊接操作人员考核细则》，删除了 ISO 1027(国际标准)； 增加了“ASTM E92 金属材料维氏硬度测试方法 (Standard test method for vickers hardness of metallic materials)”； 删除了“ASNT RP SNT-TC-1A、ASNT ACCP、AWS A 3.0、AWS A 5.2、AWS A5.20”	1) 更加符合我国目前管道施工的现状和需要，以参考相关国标为基础； 2) 删除了我国现行的国标相对应的国外标准
3.1	业主(company)工程的主管单位或建设单位，或由其委派或授权的单位或代表	按国内通行理解定义
3.6	增加术语“热焊——根焊完成后立即快速进行的第二层焊道。”	按国内焊接名词术语相关定义
3.7	增加“填充焊——根焊或热焊完成后，盖面焊之前的焊道。”	按国内焊接名词术语相关定义
3.8	增加“盖面焊——最外面一层的成型焊道。”	按国内焊接名词术语相关定义
3.18	将焊工(welder)改为“合格焊工(qualified welder)”	和标准其后的焊工资格内容相对应
3.19	增加了“焊工考试 welder qualification test”的定义——焊工经过培训或一定工作时间后，按标准规定对其专业理论知识和实际操作技能进行的考试	标准的重要内容
3.21	增加了“预焊接工艺规程(PWPS)”的定义	根据工艺试验实际需要
3.22	增加了“焊接工艺评定(welding procedure qualification)”的定义	标准的重要内容
3.23	qualified welding procedure(评定合格的焊接工艺)修改为焊接工艺规程 welding procedure specification	按国内焊接名词术语相关定义



表 B.1 (续)

本标准的章条号	技术性差异	原 因
第 3 章	删除了 automatic welding(自动焊)、shall(应)和 radiographer(射线操作工)的定义	
4.2	增加了国家标准(GB/T)和石油行业标准(SY/T)部分,删除了 AWS 5.2、AWS 5.20	符合我国标准执行现状和要求
5.1	“(如强度、塑性和硬度)”改为“(如强度、塑性、韧性和硬度)” 删除了“除了业主特别通知变更 5.4 中所列的项目外,应遵守这些焊接工艺规程。”	更符合实际
5.3.2.1	“应指明是使用焊条电弧焊、半自动焊或自动焊,或它们的任意组合方法。”改为“应指明所使用的焊接方法或他们的任何组合。”	表述更完善
5.3.2.4	“简图应指明接头形式、坡口形式、坡口角度。”如使用垫板时,还需指明其形式。”改为“如使用垫板时,还需指明其尺寸和材质。”	文字表达更加全面、明确
5.3.2.8	改为“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)。”	表述更完善
5.3.2.17	增加层(道)间温度“应规定焊接时焊层(道)之间的温度范围。”	符合实际
5.4.2.4	增加“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,其他不得相互替代。”	表述更完善
表 1	增加了以下标准及对应的焊条、焊丝和焊剂型号: GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 5293、GB/T 8110、GB/T 12470、GB/T 17493	更符合我国国情
5.6.3.3	删除了原文中的“鱼眼,定义见 AWS A3.0,可以接受”	更符合我国国情
5.6.4.3	“发现的裂纹或其他缺欠尺寸应不大于 3 mm 或公称壁厚的 1/2(取二者中的较小值),则弯曲试验合格”改为“发现的任一裂纹或其他缺欠尺寸应不大于公称壁厚的 1/2,且不大于 3.0 mm。”	更符合我国国情和工程实际
5.6.6	增加了夏比冲击试验的“试样制备、方法、要求”	更加符合我国国情
5.6.7	增加了其他试验的“试样制备、方法、要求”	更加符合我国国情
5.8.3	“c)夹渣高度不大于 0.8 mm,且长度不大于公称管壁厚的 1/2 或 3.0 mm(取二者中的较小值)”改为“夹渣高度不大于 0.8 mm,长度不大于公称管壁厚的 1/2,且小于 3.0 mm” “d)相邻夹渣之间应至少有 13 mm 的无缺陷焊缝金属”增加了“无缺陷焊缝金属”	更符合我国国情和工程实际 表述更清楚



表 B.1 (续)

本标准的章条号	技术性差异	原因
6.1	增加“焊工考试分资格取证考试和上岗取证考试,焊工上岗考试前应具备国家质监部门颁发的资格证书。资格考试机构必须是国家质量监督检验检疫总局颁布的管道焊接操作人员考试机构。考试机构应严格按照国家质量监督检验检疫总局公布的考试类别、考试项目和《特种设备焊接操作人员考核细则》TSG Z6002 组织进行焊工考试。”	明确考试分为资格考试和上岗考试,对资格考试和上岗考试机构和考试范围提出了要求
6.2	增加“从事管道焊接工作的焊工必须持有质监部门颁发的《特种设备作业人员证》,且焊工上岗考试项目应在其所持的《特种设备作业人员证》合格项目范围内。”	对焊工资格考试要求按照国家相关部门要求来进行的
6.3	增加“焊工在上岗考试前应持有质监部门颁发的《特种设备作业人员证》。”焊工上岗考试的目的是检验焊工能否使用经过评定合格的焊接工艺规程焊接出合格的相应的对接或角接管焊缝。在进行管道安装焊接之前应按照 6.3.1 或 6.3.2 中的规定对焊工进行上岗考试	明确了焊工上岗考试需要的资质,先有资质,才能进行上岗考试
6.6.2	“盖面焊道的咬边深度应不大于管壁厚的 12.5%,或 0.8 mm(取二者中的较小值)。”改为“盖面焊道的咬边深度应不大于管壁厚的 12.5%,且不超过 0.8 mm”	更符合我国国情和工程实际
7.2	“对于相同标称壁厚的管口,错边量应不超过 3 mm;稍大一点的偏差也可接受,前提是该偏差是由钢管采购规格书中规定的误差允许范围内的管口尺寸偏差造成的,且该偏差基本上均匀分布于管口圆周。”改为“当壁厚小于等于 14 mm 时,错边量不大于 1.5 mm;当壁厚大于 14 mm 且小于等于 17 mm 时,错边量不大于 2.0 mm;当壁厚大于 17 mm 且小于等于 21 mm 时,错边量不大于 2.2 mm;当壁厚大于 21 mm 且小于等于 26 mm 时,错边量不大于 2.5 mm;当壁厚大于等于 26 mm 时,错边量不大于 3.0 mm。”	采用了 GB 50369,量纲更明确,更具有可操作性
7.2	“应尽量少用用锤击法校正错口。”改为“不宜直接用锤击法校正错口。”	表述更恰当
7.5	“业主应规定适于焊接的气候条件。”改为“焊接工艺规程应规定适于焊接的气候条件。”	更符合工作实际
7.7	删除“业主有要求时,在施焊前应清除焊道间的熔渣。”	表述更完善
7.8.2	“焊缝余高应不大于 1.6 mm。”改为“焊缝余高应不大于 2.0 mm,局部不大于 3.0 mm。”	满足“合于使用”的原则

表 B.1 (续)

本标准的章条号	技术性差异	原因
7.9.2	“相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面宽度应大于坡口表面宽度 3 mm。”改为“相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面宽度应约大于坡口表面宽度 0.5 mm~2.0 mm。”	满足“合于使用”的原则
8.1	“业主有对全部焊缝进行无损检测或对焊缝进行破坏性试验的权力。”改为“应对焊缝进行无损检测或对力学性能试验。”	表述更符合实际
8.2	API Std 1104 的 8.2 中“无损检测包括射线检测或业主规定的其他检测方法。”修改为“无损检测包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测或业主规定的其他检测方法。”	表述更清楚
8.3	检测人员资格审定部分将“检测人员资格应被业主认可”删除,并根据国内情况将检测人员资格审定资料减少为“学历、检测经历和资格证书” “检测人员资格审定资料至少应包括: a) 学历及检测经历 b) 培训经历 c) 所有检测考试成绩” 改为“检测人员资格审定资料至少应包括: a) 学历;b) 检测经历;c) 资格证书。”	更符合我国现状
11.1.1	“必须确定和记录射线探伤的详细过程”改为“应按本标准制定射线检测规程”	表述更符合我国国情
11.1.1.3	“工程射线检测之前,业主和射线检测承包商应共同确定要应用的射线检测规程,业主应要求承包商证明:提出的射线检测规程能获得合格的图像底片,且应要求承包商使用该规程进行现场射线检测。”改为“射线检测之前,所用的射线检测规程应经业主批准。业主应要求检测承包商验证其所用的射线检测规程的适用性。”	
11.1.3.1.4	“当管子(含焊缝)的外径小于或等于 88.9 mm 时”改为“当管径小于或等于 89 mm 时”	考虑到 API Std 1104 标准为含焊缝余高的外径,而焊缝余高会各不相同,不便于国内标准的执行;原 SY/T 4103 标准里面调整为 89 毫米,SY/T 4109 标准里面也是 89 毫米,所有本条也进行了调整
11.1.3.1.5	“应增加曝光次数”改为“宜增加曝光次数”	API Std 1104 标准里虽然用了“应”,但由于没有规定图像的失真到底多少,执行的活动余地较大
11.1.3.1.6	增加了表 5 透照厚度的计算	查找方便



表 B.1 (续)

本标准的章条号	技术性差异	原因
11.1.4	“像质计应使用符合 ASTM E1027 或 ASTM E 747 标准要求的线型像质计。”修改为“线型像质计应符合 JB/T 7902 的规定。” 删除了“业主应规定采用的像质计类型”	引用了中国像质计专门的标准； 因本标准中已经删除了平板孔型像质计，只有丝型像质计，不需要业主再规定
11.1.5	表 7 中数据，管壁厚或焊缝厚(mm)9.5~50.8 要求的线径(mm)，参考了 JB/T 7902:2006，与原来的 ASTM E747 中的数据两者不完全相等； 增加了“表 7 像质计的选用。”	考虑到本标准是引用了国内的 JB/T 7902 像质计标准，理应使用 JB/T 7902 中的数据，而且使用 JB/T 7902 中的数据比原 ASTM E747 中的数据灵敏度稍微提高，故代用； 方便像质计的选用
11.1.9.1	“不透明基胶片的反射黑度不超过 0.05”删除	考虑到实际应用几乎都是透明胶片
11.1.10.1	删除了不透明基底片相关的黑度要求	国内几乎全部使用透明基胶片
11.2、11.3	11.2 和 11.3 中磁粉和渗透检测方法中引用了 ASTM E709 和 ASTM E165，经过查证 ASTM E709:2008 和 ASTM E165:2002，没有查到对应的国标。故修改为现在常用的 SY/T 4109 标准	适合国内使用
11.3	“液体渗透检测”改为“渗透检测”	符合国内情况
11.4.2.1	删除了“记录的副本应提供给业主备案”	符合国内实际，检测记录由检测单位保存备查
11.4.2.2	增加了超声探头的“频率、K 值或折射角”	符合国内使用习惯
11.4.3	“NDT”改为“无损检测”	表述更明确
11.4.5.1	增加了对比试块取材的要求“其材料用直探头检测时，不应有大于或等于 $\Phi 2$ mm 平底孔回波幅度 1/4 高度的缺欠。”	相对严格，考虑更周全
11.4.5.4	增加了详细的 DAC 曲线制作方法；	便于实际操作
12.4.2.3	“应确定焊接工艺规程适用的外径范围。”改为“应确定焊接工艺规程适用管子或管件的外径范围。”	表述更完整
12.4.2.19	新增内容：层(道)间温度“应规定焊接时焊层(道)之间的温度范围。”	对工艺规程内容要求更全面
12.12	新增内容	符合我国工程实际情况
注：第 13 章无填充金属的自动焊(闪光对接焊)，闪光对接焊目前在我国管道工程建设中尚未使用，因此在本标准中全部删除。		



附 录 C  
(规范性附录)  
环焊缝的附加验收标准

### C.1 概述

第9章所给出的验收标准是基于工艺水平的以经验为依据的质量标准,管道焊接施工中必须严格根据质量标准判定缺陷,其判定的主要依据是缺陷的长度。多年来这种标准提供了管线运营可靠性的极佳记录。对于特定的焊接不连续性或不符合质量标准的焊接缺陷,还可以依据基于断裂力学的合于使用原则作进一步评价,即所谓合于使用评定或缺陷评定。应用断裂力学分析和合于使用原则来确定验收标准作为一种备选方法,是融合了缺陷高度和缺陷长度的评定。一般而言,合于使用原则给出了更宽容的可允许缺陷长度。要应用合于使用原则就需要进行附加的评定试验、应力分析和检测。建立在合于使用原则基础上的性能分析也称为工程临界分析(ECA)。

本附录此前版本中的“合乎使用”原则要求CTOD断裂韧性的最小值是0.127 mm或0.254 mm,高于0.254 mm的断裂韧性值按0.254 mm计算。随着焊材的改进和更精确的焊接工艺,特别是机动焊接装置使用的增加,使得多数焊缝的韧性和延展性更高也更均匀。同时,小于0.127 mm的韧性数值也出现过,特别是在比本附录此前版本要求更严格的CTOD开口试样中。当焊缝韧性低于0.127 mm是可以接受的,验收标准则调整为与低韧性一致。修改验收标准与测量的韧性和应用的负载水平相匹配。

本附录包含了确定平面缺陷验收极限的3种选择(按数字顺序)。这3种选择应用难度越来越复杂,但适用范围也越大。方法1是最简单的。方法2要求充分利用材料的韧性,给出更准确的判定,但也要求更多的计算。前2种方法是基于同一程序开发的,其应用局限于C.2.2.1中所描述的低疲劳负载或中度疲劳负载。方法3主要是用于疲劳负载已超出适用前2种选择的极限情况。方法3为非规定性的,其可操作性远低于方法1和方法2。方法3只能在必要时由专业水平高且对断裂力学和管线负载分析非常了解的操作人员进行计算分析。本附录此次修订版中提供了应用这3种选择来确定缺陷检测和验收极限的更完备的方法。

检测出第9章列出的缺陷后,应用本附录定量计算单个焊缝的验收极限值通常是不切实际的,因为需要进行破坏性试验来得到与施焊工艺一致的焊接接头力学性能。

本附录给出了确定最大可允许缺陷尺寸的程序。本附录不妨碍确定焊缝缺陷验收极限的第9章的使用。本附录的使用与否完全由业主选择。

本附录中缺陷验收极限值这一术语和其他含有缺陷一词的术语使用并非意味着暗示有缺陷的情况存在或缺乏焊缝完整性。含有特定特征的焊缝可以分别被描述为假缺陷、缺陷、不连续性或瑕疵。这些术语已被广为接受且可以相互替换使用。本附录的主要目的是在技术分析的基础上定义这些不规则的不同类型、尺寸和形状对应用于具体服役的整个焊缝匹配度的影响。

本附录的使用仅限于以下条件:

- a) 等壁厚的管之间的环焊缝;
- b) 所有焊缝均进行无损检测;
- c) 不存在严重的焊缝强度低匹配,见C.3.2.1;
- d) 最大轴向设计应力不大于规定的最小屈服强度(SMYS);
- e) 最大轴向设计应变不大于0.5%;
- f) 泵站和压气站的焊缝、返修焊缝、主线路的管件和阀门(焊接)不包括在内。



## C.2 应力分析

### C.2.1 轴向设计应力

要使用本附录,应进行应力分析以确定环焊缝在施工和运行期间可能承受的最大轴向设计应力。应力分析应包括管线安装期间的应力及运行和气候条件所引发的应力。这些应力在不同时间会达到其峰值。最大轴向设计应力是指管线在设计寿命周期内的任何时间的最大总轴向应力。

### C.2.2 循环应力

#### C.2.2.1 分析

循环应力分析应根据管道的设计使用寿命预设疲劳载荷谱。疲劳载荷谱的设计应包括但不局限于因水压试验、管道安装而产生的应力,如可能还应包括热、震动及其相关应力等。疲劳载荷谱由若干循环轴向应力水平和各自的循环次数组成。如果每次循环的应力水平不同,应采用一套适当的计数方法(如雨流计数方法)确定循环应力水平及循环次数。

(注:雨流计数方法可以见 N. E. Dowling 发表的“在复杂应力-应变曲线下疲劳破坏的预测”,材料学报,1972 年 3 月, Vol.7, No.1, pp.71~87。)

定义疲劳载荷谱强度  $S^*$  为:

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

式中:

$S^*$  ——载荷谱强度;

$N_i$  ——第  $i$  水平循环应力下的循环次数;

$\Delta\sigma_i$  ——循环应力幅度,MPa;

$k$  ——循环应力水平的总数;

$i$  ——第  $i$  次循环应力,从 1 至  $k$ 。

如  $S^*$  小于  $5 \times 10^6$ ,且应用如 BS 7910:1999 中表格 4 所定义的钢在空气中的裂纹扩展曲线,则可应用选择 1 和选择 2 中的验收标准(C.5.1.2 和 C.5.1.3),而无须做进一步的疲劳分析。如  $S^*$  大于  $5 \times 10^6$ ,且不采用钢在空气中的裂纹扩展曲线,使用选择 1 和选择 2 时要做进一步分析,或采用选择 3 中的步骤进行分析。

#### C.2.2.2 环境对疲劳的影响

影响焊接接头疲劳裂纹扩展的因素主要有应力集中、循环载荷、缺陷尺寸和裂纹尖端的环境介质。在无污染介质的环境条件下,油和碳氢化合物的影响与空气类似。但水、盐水及含  $\text{CO}_2$  或  $\text{H}_2\text{S}$  的溶液会加快疲劳裂纹的扩展速率。在正常的不抗腐蚀的管线中,应尽量减少  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  在介质中的含量。当  $\text{CO}_2$  或  $\text{H}_2\text{S}$  任一浓度超过不抗腐蚀管线的公认标准时,本附录不再适用。除非有证据表明推荐的超标浓度不会导致裂纹疲劳扩展速率的增加(或采取了充分的防腐措施)。由于采用外涂层和阴极保护措施,本附录使用时可不考虑管子外部环境对管道环焊缝疲劳扩展速率的影响。

### C.2.3 应力腐蚀开裂

当在役管道焊缝承受持久载荷时,某些环境会加速裂纹的扩展,或诱使缺陷周围的材料变脆并达到临界开裂状态。这些典型环境如含  $\text{H}_2\text{S}$ ,也指含强氢氧化物、硝酸盐及碳酸盐介质等。当管子中存在这些介质时,应确定最小临界应力。如计算应力超过了最小临界应力值,本附录不再适用。考虑到  $\text{H}_2\text{S}$  的影响,对  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境时,对管线的服役说明见 NACE MR0175。尽管有极少量的报道给出管



道表面暴露在含碳酸盐和硝酸盐土壤环境中导致应力腐蚀开裂的例子,但这种裂纹通常是承受周向应力的轴向开裂,轴向应力对其影响不大。到目前为止,未见报道由环焊缝上的应力腐蚀裂纹造成管道失效的例子。然而,环向上的应力腐蚀开裂可能出现在纵向应力超出管线服役期的位置,比如在不稳定斜坡上的大曲率半径的弯管。

采用适当的涂层和阴极保护措施可以缓解应力腐蚀开裂出现的频率和严重性。本附录适用于采用涂层技术改善环境危害的情况。

#### C.2.4 动载荷

应力分析应考虑环焊缝所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,本附录不适用。

#### C.2.5 残余应力

通过规定最低的 CTOD(裂纹尖端张开位移)韧性和夏比试验冲击功并结合选择 1 和 2(C.5.1.2 和 C.5.1.3)步骤中适合的安全要素即可看出焊接残余应力的影响。选择 1 和 2 中不考虑残余应力的影响。残余应力的影响应通过所有与时间相关的失效机制(如疲劳)来加以评估。

### C.3 焊接工艺

#### C.3.1 概述

有断裂韧性要求的焊接工艺相对于那些没有最小断裂韧性要求的焊接工艺,其变量控制更严格。应制订适宜的质量控制程序以确保焊接按照合格的焊接工艺的参数进行。本附录的焊接工艺评定应按第 5 章或第 12 章的规定进行(附加的机械性能试验按 C.3.2 进行)。

当焊接工艺规程中有以下基本要素变更时,应对焊接工艺重新进行评定:

- a) 焊接工艺方法、电弧过渡模式或操作方法的改变。
- b) 钢材等级或管材生产工艺发生变化,或化学成分发生变化。
- c) 接头设计变更(如由 U 型坡口变为 V 型坡口)。不造成热输入量范围变化的坡口角度或钝边的微小变化不属于基本要素变更。
- d) 焊接位置由旋转焊变为固定焊,或反之。固定焊应指明水平固定焊接位置(5G)、垂直焊接位置(2G)或  $45^\circ$  倾斜固定管位置(6G)。
- e) 评定合格的公称壁厚钢管其壁厚变化正负超过  $3.275 \text{ mm}$ 。
- f) 填充材料的种类和规格变化(批次),或者填充材料的型号没有变化(尽管属于同一种 AWS 标准的规格),但生产厂家发生变化。同类产品批号改变,应对该焊缝进行拉伸、夏比冲击和 CTOD 试验。
- g) 完成根焊道之后至开始第二焊道之间的时间间隔增加。
- h) 焊接方向变化(如从下向焊改为上向焊,或反之)。
- i) 一种保护气体换成另一种保护气体,或由一种混合气体换成另一种混合气体。
- j) 保护气体流量增加或减少。
- k) 保护焊剂的变化,包括生产同一 AWS 型号材料的生产厂家的变化。
- l) 改变电流种类(交流或直流)或极性。
- m) 预热温度要求的改变。
- n) 层间温度的变化。如层间温度低于焊接工艺评定试验中记录的最低层间温度,或层间温度高出焊接工艺评定试验中记录的最高层间温度  $25^\circ\text{C}$ 。
- o) 焊后热处理要求的改变,或增加或减少焊后热处理工艺。



- p) 标称管外径的变化超过工艺评定口管径的 $-0.25D$ 或 $+0.5D$ 时。
- q) 焊接工艺评定过程中所记录的每层焊道热输入量的变化超过 $\pm 10\%$ ,热输入量可按式(C.2)计算:

$$J = 60U I / V \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:  
 $J$ ——热输入量,单位为焦耳每米(J/m);  
 $U$ ——电压,单位为伏特(V);  
 $I$ ——电流,单位为安培(A);  
 $V$ ——焊接电弧速度,单位为米每分钟(m/min)。

C.3.2 力学性能试验

C.3.2.1 焊缝拉伸性能

C.3.2.1.1 试件的准备和试验

试件截面为矩形,中间部位变窄至 19 mm。试件应按图 C.1 的要求准备。无需去除焊缝余高。试件两端应足以用于夹持。

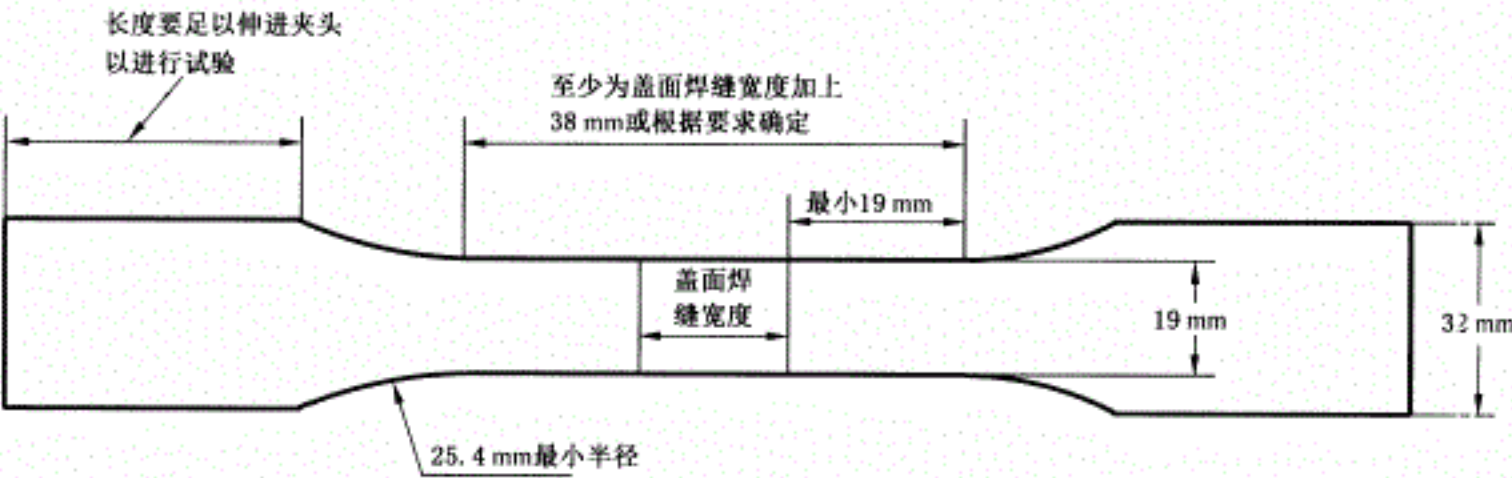


图 C.1 横向拉伸试样

C.3.2.1.2 要求

- 内容如下:
- a) 拉伸强度应大于等于钢管的规定最小抗拉强度;
  - b) 试件不能在焊缝位置失效。应避免可能造成焊缝损伤变形的焊缝强度的低匹配。

C.3.2.2 夏比冲击功

C.3.2.2.1 试样制备

夏比 V 形缺口冲击试件的长度应平行于管子的轴向。应使用管壁厚度所允许的最大尺寸试件。非全尺寸试件的厚度应至少达到壁厚的 80%。应从以下位置取 6 个试样:12 点、6 点以及 3 点(或 9 点)位置的焊缝中心和热影响区各取 1 个试样,使得 V 形坡口和熔合线在管外径 1/3 管壁处相交。夏比冲击试样在管壁的位置见图 C.2。



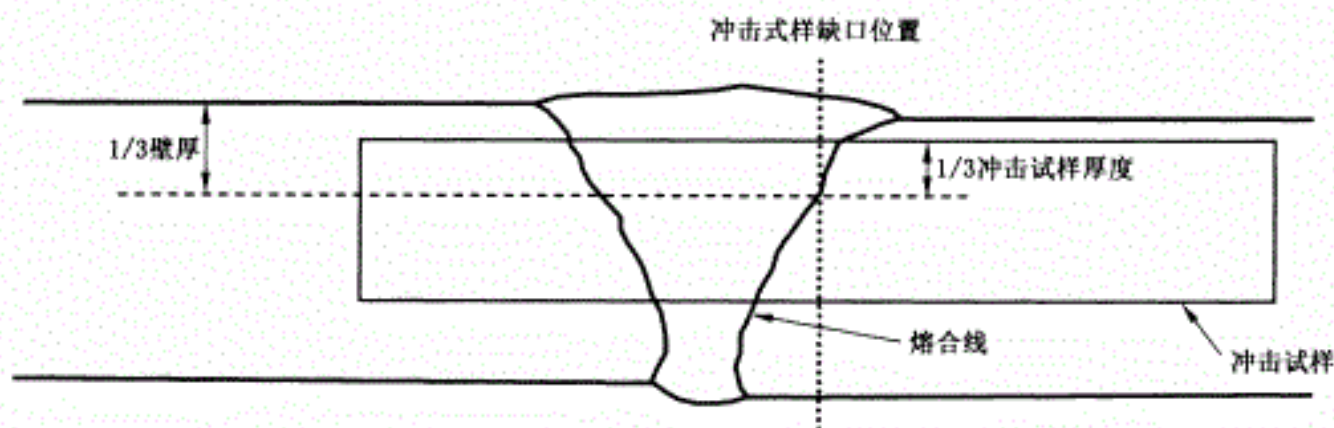


图 C.2 热影响区的夏比冲击试验取样及 V 形缺口开口位置

C.3.2.2.2 试验

试验应按 GB/T 229 的要求在最低设计温度进行。

C.3.2.2.3 要求

每个缺口位置的夏比冲击功的最小值和平均值相应地要大于 30 J 和 40 J。剪切面积应大于等于 50%。

C.3.2.3 断裂韧性试验

C.3.2.3.1 概述

要使用本附录,应按本附录中所补充的 BS 7448:Part 2 的要求通过试验确定焊缝的断裂韧性值。

C.3.2.3.2 试样制备

试件截面尺寸最好为 B×2B 规格。试样应标注方向,以保证取样时试样的长度方向平行于管轴线,宽度方向为管环形方向(如图 C.3 所示),使得裂纹尖端线贯穿于厚度方向。试样的厚度应为管壁厚减去最小磨削量(如图 C.4)。这种磨削加工能够保证试样具有规则剖面(应去除焊缝余高)。试样毛坯粗加工后进行腐蚀以显示焊缝和热影响区的几何形态。焊缝金属的 CTOD 试验,缺口及预制疲劳裂纹尖端应完全在焊缝上;在典型的管环焊缝的 CTOD 焊缝试件准备时,缺口和预制疲劳裂纹尖端应在焊缝中心处(如图 C.5)。

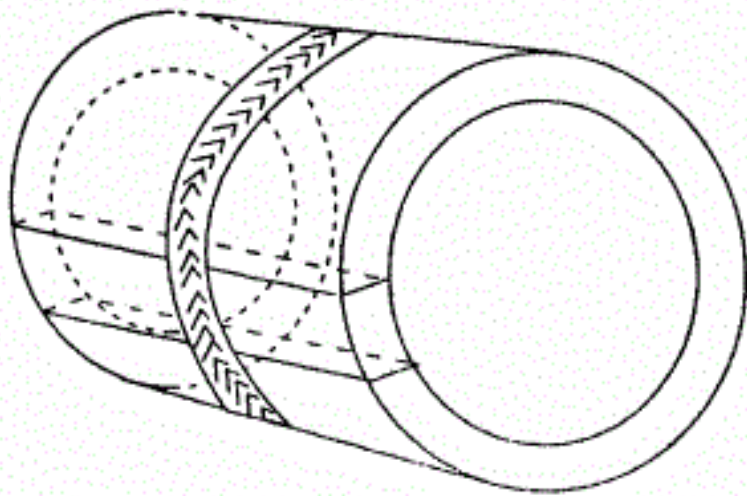


图 C.3 CTOD 试样的取样位置



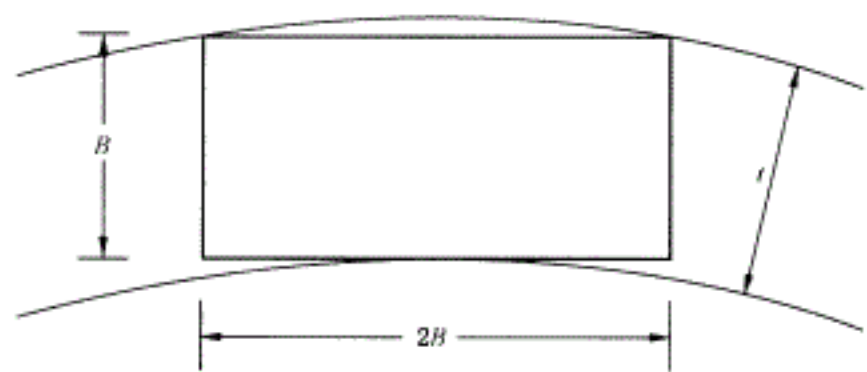


图 C.4 CTOD 试样加工与管壁厚关系示意图

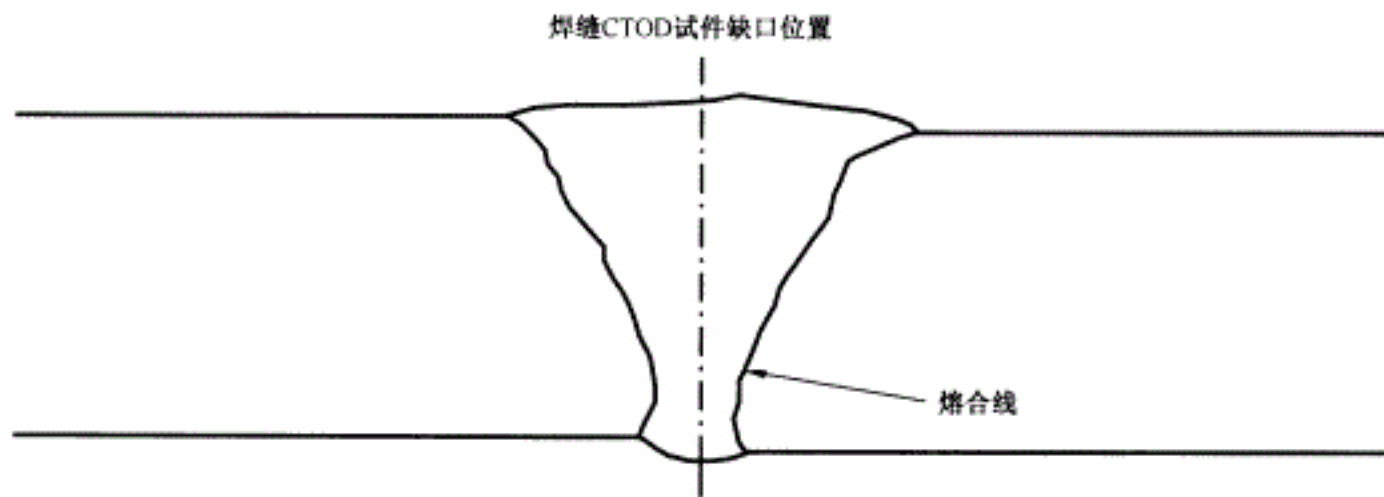


图 C.5 焊缝金属试样的开缺口位置

热影响区的 CTOD 试件准备时,应在每个试样上测量显微硬度,或在紧临该热影响区试样的焊缝剖面试样上(见图 C.6)测量显微硬度,其目的是找出最大硬度区(删除异常读数)。最大硬度区通常位于热影响区与最后一层焊道的熔合线之间。虽然疲劳裂纹最终扩展前缘通常不在热影响区,但缺口和预制疲劳裂纹尖端仍应开在热影响区,以使缺口和预制疲劳裂纹横穿最大硬度区。

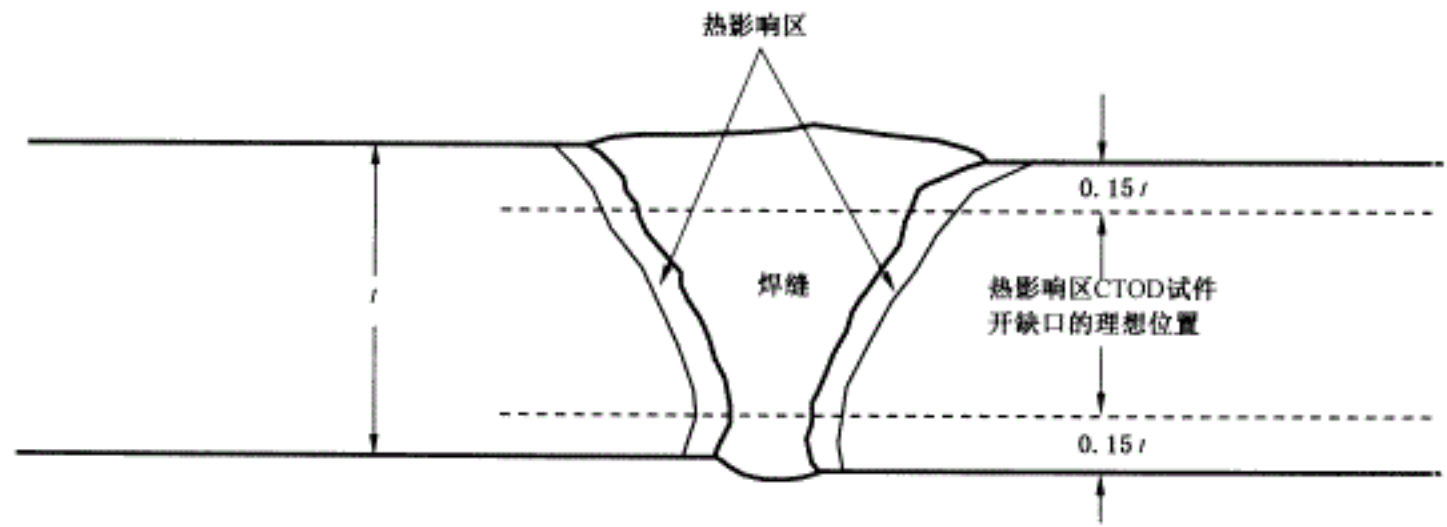


图 C.6 热影响区试样的开缺口位置

C.3.2.3.3 CTOD 试验

对于每一个焊接工艺,焊缝金属和热影响区都要进行试验。(焊缝金属和热影响区的)的每一次试验都应包括在设计温度或低于设计温度下进行的至少 3 个有效试样的试验。这 3 个试样应从试验焊缝上 12 点、3 点或 9 点、6 点钟位置上各取 1 个,并做永久性标识以识别其原始位置。

试验后,应特别注意 BS 7448 第 2 章 12.4.1 中的判据,这些判据与判断疲劳裂纹扩展尖端的几何形



态有关。本附录中使用  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$  值表示 CTOD(这三个值为在 CTOD 试验中可能描述的值,在 BS 7448 第 2 章定义为互不包含的值。 $\delta_c$  是条件启裂 CTOD 值,与本附录关系不大,不必测量)。当使用  $\delta_m$  时,应注意从最大载荷的第一到达点测量。即使出现载荷降低,也必须考虑失稳裂纹的控制。试验报告中应包括 BS 7448 第 2 部分 13 规定的各项内容,特别注明试验试样的取样位置,区分试验报告中的 CTOD 值代表  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$ 。试验报告还应包括加载记录曲线和断口表面状态记录。断口表面状态记录可以通过断口照片表示,或保留断口直接观察。

#### C.3.2.3.4 重新试验

当存在下列任何情形之一,允许按 1:1 重新进行试验:

- a) 试件的加工出错;
- b) 疲劳裂纹前端不能满足平直度要求;
- c) 试件断开后发现裂纹前端周围有大量的焊缝缺陷。

#### C.3.2.3.5 要求

所有 6 个试件的最小 CTOD 数值均应大于 0.05 mm,方可使用本附录。

### C.4 焊工资格

应按第 6 章对焊工进行考核。机动焊时,应按 12.6 对焊接设备和操作人员进行资格考核。

### C.5 检测及验收标准

#### C.5.1 平面缺陷

在评定缺陷之前,应采用适当的无损检测技术或其他方法测量缺陷的长度、高度以及至试件表面的距离。射线检测(见 11.1)可以测量缺陷的长度,但测量缺陷高度时存在不足,尤其是对于裂纹、未熔合、咬边和未焊透等平面类缺陷。可以采用超声检测法、带有黑度计的射线检测法、声波成像法、由焊道尺寸的限制决定缺陷尺寸的方法,或其他检测方法来确定缺陷高度。采用的方法应能保证测量的准确性(AUT 见 11.4.4)。当其准确性有争议时,应采用保守的值。可采用常规射线以检测缺陷并配合其他测量方法,确定其高度。

##### C.5.1.1 确定最大可接受缺陷尺寸的程序

应包括以下内容:

- a) 用来确定最大可接受的平面缺陷尺寸的方法有以下三种:
  - 1) 第一种方法是简化的图示法。它基于理论上和实验验证有效地塑性破坏标准,并在合适的时候使用第二种方法来修正;
  - 2) 第二种方法是使用失效评定图的形式。失效评定图允许同时考虑脆性断裂、塑性破坏和两种失效模式之间的影响(弹性-塑性断裂)。第一、二种方法仅适用于 C.2.2 中规定的带有有限疲劳载荷的管线;
  - 3) 第三种方法在当交变载荷超过第一、二种方法的载荷谱要求时,允许使用验证有效的合于使用评定规范。
- b) 第一种方法仅限于裂纹尖端张开位移 CTOD 韧性大于等于 0.10 mm。第二、三种方法可应用于 CTOD 韧性值大于要求的最小值 0.05 mm 时;
- c) 第一、二种方法的使用基础对管径或管径与壁厚比( $D/t$  比)无任何限制。理论上已证实当



$D/t \geq 10$  时这些评定程序是有效的:

- d) 带有极高  $Y/T$  屈服比 ( $Y/T > 0.95$ ) 的管线钢通常会有较低的均匀应变 (极限拉伸应力时的工程应变) 和较低的延展性。有必要使用附录中的验收标准来进行额外的试验和验证。

C.5.1.2 使用第一种方法确定的可接受缺陷尺寸

这里给出了两套验收标准, 取决于 CTOD 韧性值的不同, 并包括以下内容:

- a) 当 CTOD 韧性值大于等于 0.25 mm 时, 图 C.7 给出了不同载荷水平 ( $P_r$ ) 时的最大可接受缺陷尺寸。如果载荷水平不在图 C.7 范围内, 最大可接受缺陷尺寸可以通过插值临近曲线或采用次高载荷值;
- b) 当 CTOD 韧性值大于等于 0.10 mm 且小于 0.25 mm 时, 图 C.8 中给出了最大可接受缺陷尺寸;
- c) 由于图 C.7 和 C.8 中的极限值分别被校准至 CTOD 韧性为 0.25 mm 和 0.10 mm, 可接受缺陷尺寸可能比第二种工艺得到的数值更加具有限定性;
- d) 总的缺陷长度不应大于管周长的 12.5%。最大缺陷高度不应大于管壁厚的 50%;
- e) 所允许的内部缺陷高度应同所允许的表面相干涉缺陷高度一样处理;
- f) 可接受缺陷尺寸的固有的安全因子可允许一定量缺陷高度的误差, 且对焊缝的完整性不造成负面影响。假定的高度不确定值应为 1.5 mm 和管壁厚 8% 中的较小值。如果检验的允许值 (也可称为检测误差) 优于假定的高度不确定值, 则没必要减小允许的缺陷尺寸;
- g) 如果不能满足上述条件, 则可以通过检测误差与假定的高度不确定值之间的差异来减少允许的缺陷高度。

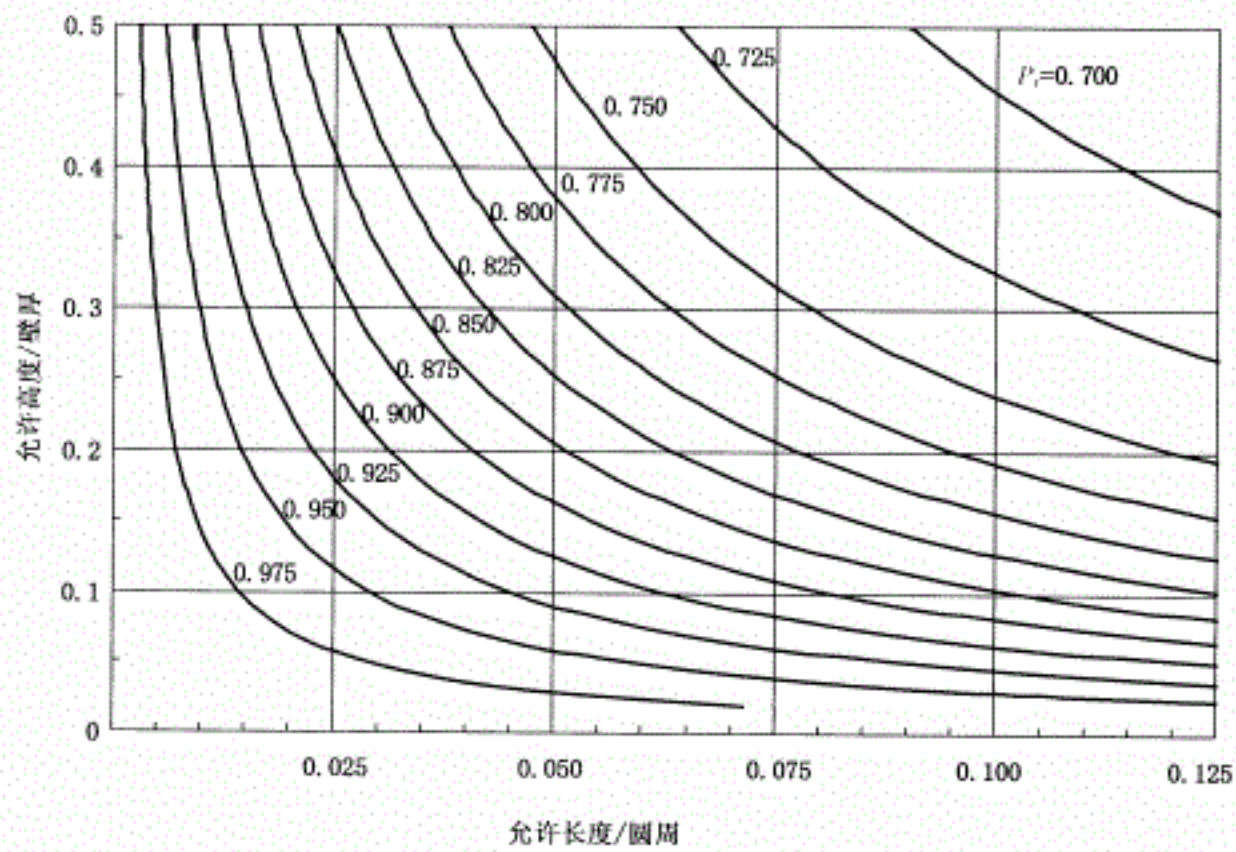
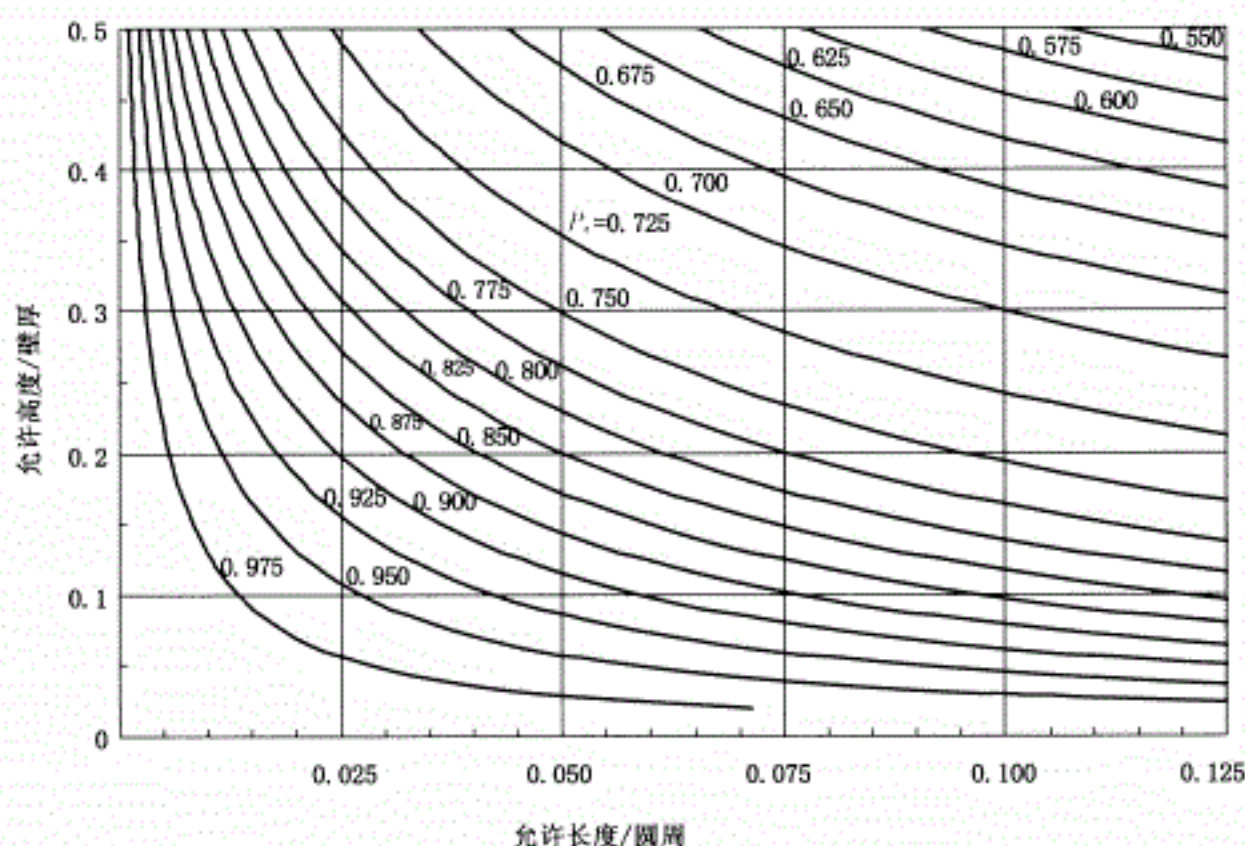


图 C.7 方法一 CTOD  $\geq 0.25$  mm 时的缺陷极限曲线



图 C.8 方法一  $0.10 \text{ mm} \leq \text{CTOD} < 0.25 \text{ mm}$  时的缺陷极限曲线C.5.1.2.1 载荷水平( $P_r$ )的计算

为了获得载荷水平,有必要确定材料的流变应力。流变应力是规定的最小屈服强度(SMYS)和规定的最小拉伸强度(SMTS)间的平均值。钢级为 API 5L X52-X80 的流变应力可以保守的估算为:

$$\sigma_r = 0.145\sigma_y \left[ 1 + \left( \frac{150}{\sigma_y} \right)^{2.30} \right] \quad \text{.....( C.3 )}$$

这里钢级  $\sigma_r$  的单位是 MPa,载荷水平( $P_r$ )为:

$$P_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_r} \quad \text{.....( C.4 )}$$

## C.5.1.2.2 第一种方法的应用实例

以下是使用第一种方法完成 ECA 评定的实例。考虑外径(OD)为 610 mm,标准壁厚(WT)为 12.7 mm,钢级为 API 5L X70 的管线。根据 C.1 和 C.2 部分,并咨询了项目经理(按要求)后,确定了最大轴向设计应力为 424.04 MPa。按附录要求进行的焊缝试验数据表明了最小的 CTOD 值为 0.279 mm。这些参数归纳如下:

管外径(OD):610 mm;

管壁厚(WT):12.7 mm;

SMYS:482.65 MPa;

SMTS:565.39 MPa;

CTOD:0.279 mm;

$\sigma_n$  轴向设计应力:424.04 MPa;

检测误差:1.27 mm。

详细的 ECA 计算过程如下:

步骤一:确定流变应力

钢级  $\sigma_r$  为 482.65 MPa 时,用式(C.3)计算流变应力。

$$\sigma_r = 0.145 \times 482.65 \times \left[ 1 + \left( \frac{150}{482.65} \right)^{2.30} \right] = 74.745 \quad \text{.....( C.5 )}$$



注意：此例中，流变应力可以确定为 SMYS 和 SMTS 间的平均值或钢级为 524.02 MPa 时为使用式 (C.3) 计算出结果的接近值。

步骤二：确定所施加的载荷水平

通过代入前面提到的  $\sigma_n$  和  $\sigma_f$  来计算载荷水平  $P_r$ 。

$$P_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_f} = \frac{0.145 \times 424.04}{74.745} = 0.823 \dots\dots\dots (C.6)$$

步骤三：确定初始的允许缺陷尺寸

利用图 C.7 来确定初始的允许缺陷尺寸 (CTOD $\geq 0.25$  mm)。使用图中载荷水平  $P_r=0.825$  的曲线来进行插值处理。表 C.1 和图 C.9 中列出了允许的缺陷尺寸。

表 C.1 的第二栏显示的允许缺陷高度值是通过允许缺陷高度/壁厚 WT 值乘以壁厚 (此例中为 12.7 mm) 得到的。同样，允许缺陷长度是通过允许缺陷长度/管周长值乘以管周长 ( $\pi \times OD$ ) 或  $3.14 \times 610$  mm 计算得到的。

表 C.1 载荷水平 = 0.825 时的初始允许缺陷尺寸

可允许的缺陷高度/管壁厚度	可允许的缺陷高度 mm	可允许的缺陷长度/周长	可允许的缺陷长度 mm
12.7	6.4	0.64	48.26
10.16	5.0	0.81	60.96
7.62	3.81	1.07	81.28
5.0	2.5	1.60	121.92
2.5	1.27	3.25	246.38

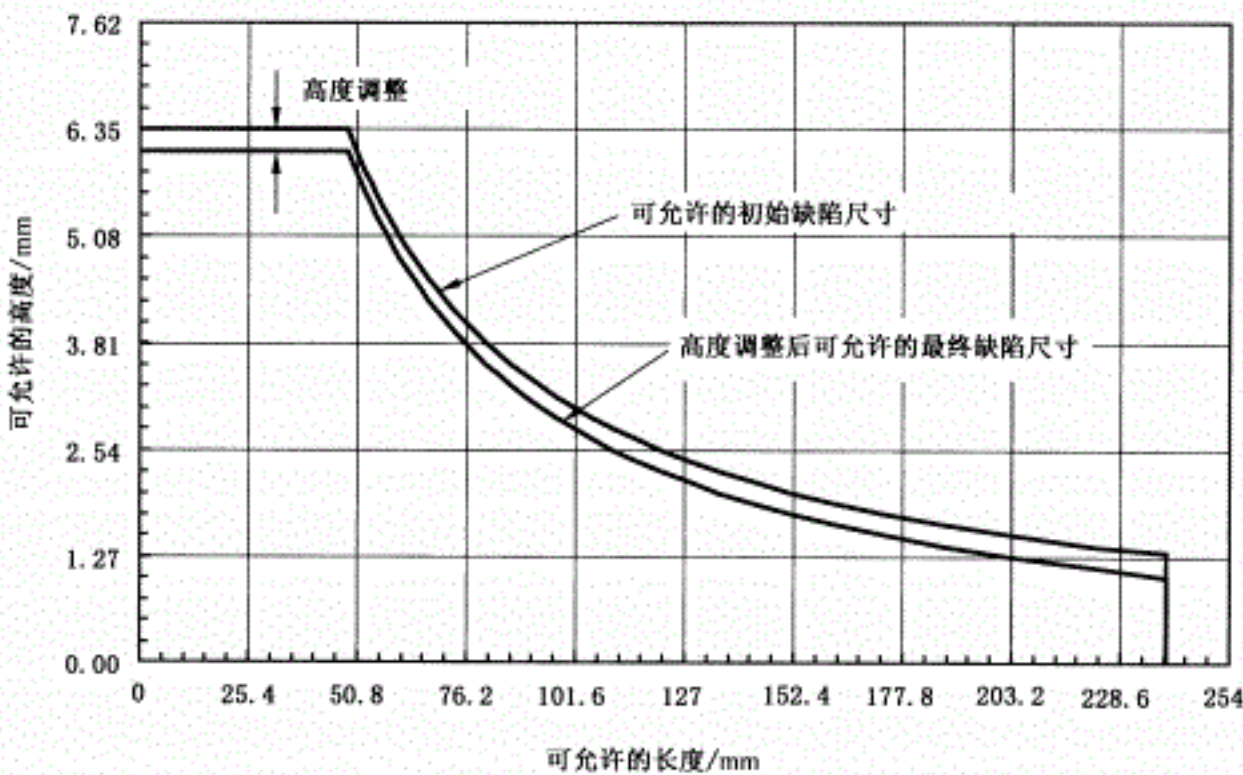


图 C.9 高度调整前后的允许缺陷尺寸曲线

步骤四：确定缺陷高度的调整

假定的缺陷高度不确定值 = 8% 壁厚 WT 和 1.524 mm 中的较小值 = 1.02 mm。

检测允许值 (即检测误差) = 1.27 mm。

缺陷高度调整 = 检测误差 - 假定的缺陷高度不确定值 = 0.25 mm。

步骤五：得出最终验收表格



ECA 评定的结果应以方便用户使用的表格列出。表 C.2 列出了易于操作者使用的 ECA 格式。但是,对于使用厚壁钢管的项目,类似表格中可能出现更多的连续值。

表 C.2 验收表格示例

可允许的缺陷高度/mm	可允许的缺陷长度/mm
0~1.27	203.2
1.27~12.7	76.2
3.81~6.10	48.26
>6.10	0.0

注: 参照 C.5.1.3.2 中的步骤 8,进行进一步的调整是可行的。

C.5.1.3 使用第二种方法确定可接受的缺陷尺寸

C.5.1.3.1 背景

这里强调的第二种方法是 FAD 失效评定图(FAD)。如图 C.10,用 FAD 方式评定的重要组成部分是:

- 1) 失效评定曲线 FAC;
- 2) 应力或载荷比,  $S_r$  或  $L_r$ ;
- 3) 韧性比,  $K_r$ 。

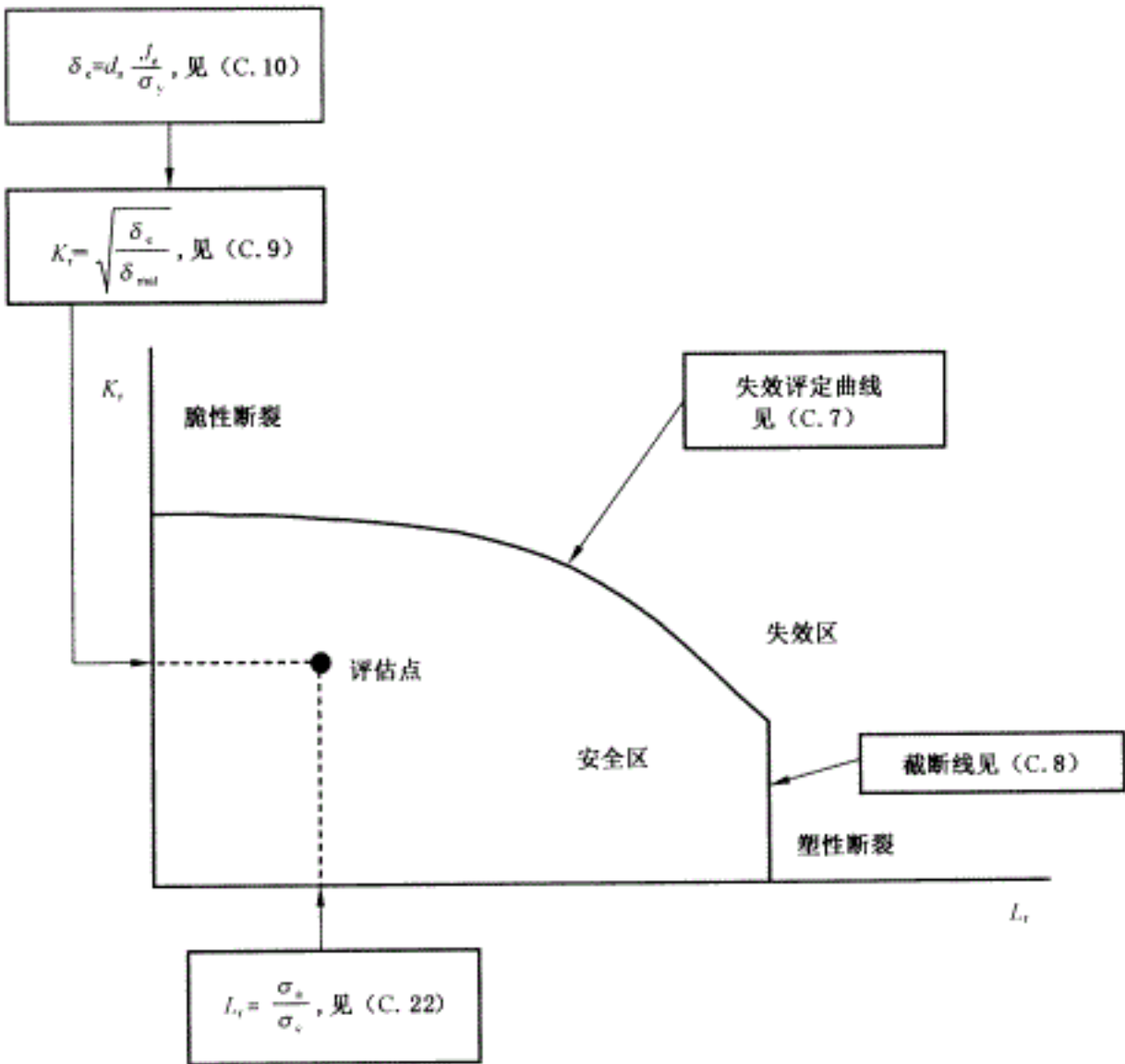


图 C.10 第二种工艺的示意图



FAC 失效评定曲线是用应力和韧性比来定义临界状态的一种轨迹。应力比定义了塑性破坏的可能性。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 方法的计算是很复杂的。有必要熟悉和理解断裂力学来确保计算过程的正确性。有效的计算程序能极大地简化计算过程。

#### C.5.1.3.2 确定临界缺陷尺寸

临界缺陷尺寸可以通过 C.5.1.3.3 提供的公式反复计算。可以按照以下步骤来进行：

- a) 选定一个缺陷尺寸作为开始点。一个合理的开始点应为带有最大允许缺陷相对高度  $\eta=0.5$  ( $\eta$ =缺陷高度/壁厚) 和较小缺陷长度(它代表了使用选定的检测方法能肯定检测到的最小缺陷长度)的缺陷；
- b) 按照 C.5.1.3.3, 用 FAD 方式来确定评定点；
- c) 如果评定点落在了安全区域以内, 则需增大缺陷长度, 并重复步骤 2；
- d) 如果评定点落在了安全区域以外, 则需减小缺陷长度, 并重复步骤 2；
- e) 如果评定点位于 FAC 上：
  - 1) 这代表了带有载荷、材料特性和缺陷尺寸的临界状态。记录下缺陷高度和长度；
  - 2) 减小缺陷高度, 假设缺陷相对高度降低幅度  $\Delta\eta$  为 0.05, 从 1) 中确定的缺陷长度开始, 并重复步骤 b)；
- f) 将临界缺陷高度和长度计入表格；
- g) 在缺陷长度中应用安全因子 1.5 来产生可允许的缺陷高度/缺陷长度的初步表格；
- h) 对初步表格进行必要的调整, 以确保所选定检测方法和合理焊接规程的可检测性。产生允许缺陷高度/缺陷长度的最终表格。

C.5.1.3.2.1 总的缺陷长度不应大于管周长的 12.5%。最大缺陷高度不应大于管壁厚的 50%。

C.5.1.3.2.2 内部缺陷的允许高度应等同表面相干涉缺陷的允许高度一样处理。

C.5.1.3.2.3 可接受缺陷尺寸的固有安全因子可以包括一定量缺陷高度的尺寸不足, 且不会负面影响焊缝的完整性。假定的高度不确定值应为 1.524 mm 和管壁厚 8% 中的较小值。如果检验的允许值(也可称为检测误差)优于假定的高度不确定值, 则没必要减小允许的缺陷尺寸。

C.5.1.3.2.4 如果不能满足上述条件, 则可以通过检测误差与假定的高度不确定值之间的差异来减少允许的缺陷高度。

#### C.5.1.3.3 确定 FAD 评定的关键要素

关键要素应包括以下内容：

- a) 失效评估曲线(FAC)；

FAC 定义为：

$$K_r = f(L_r) = (1 - 0.14L_r^2)[0.3 + 0.7\exp(-0.65L_r^6)] \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

失效评定曲线(FAC)在  $L_r$  轴向上的截断线为：

$$L_r^{\text{cutoff}} = \sigma_t / \sigma_y \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中流变应力  $\sigma_t$  是 SMYS 和 SMTS 的平均值, 或通过式(C.3)确定。

- b) 评定点韧性比  $K_r$ ；

韧性比  $K_r$  定义为：

$$K_r = \sqrt{\frac{\delta_c}{\delta_{\min}}} \quad \dots\dots\dots (C.9)$$



式中  $\delta_{\max}$  是材料的 CTOD 韧性。CTOD 驱动力的弹性部分  $\delta_e$  可按下式计算：

$$\delta_e = d_u \frac{J_e}{\sigma_y} \quad \text{.....( C.10 )}$$

式中  $J_e$  为  $J$  积分的弹性部分,  $d_u$  为  $J$  到 CTOD 的转换因子, 可按下式估算：

$$d_u = 3.69 \left( \frac{1}{n} \right)^2 - 3.19 \left( \frac{1}{n} \right) + 0.882 \quad \text{.....( C.11 )}$$

式中  $n$  是下述应力( $\sigma$ )应变( $\epsilon$ )关系中的应变硬化指数。

$$\epsilon = \frac{\delta}{E} + \left( 0.005 - \frac{\sigma_y}{E} \right) \left( \frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^n \quad \text{.....( C.12 )}$$

这里  $E$  是杨氏模量。

应变硬化指数可以通过  $Y/T$  屈强比来估算：

$$n = \frac{\ln(\epsilon_1/0.005)}{\ln\{1/(Y/T)\}} \quad \text{.....( C.13 )}$$

对于钢级为 API 5L X52-X80 的铁素体材料,  $Y/T$  屈强比可以估算为：

$$Y/T = \frac{1}{1 + 2 \left( \frac{21.75}{\sigma_y} \right)^{2.30}} \quad \text{.....( C.14 )}$$

C.13 中的均匀应变  $\epsilon_1$  估算为：

$$\epsilon_1 = -0.00175\sigma_y + 0.22 \quad \text{.....( C.15 )}$$

式 C.15 中钢级  $\sigma_y$  的单位是 MPa。弹性  $J$  积分定义为：

$$J_e = \frac{K_1^2}{E/(1-\nu^2)} \quad \text{.....( C.16 )}$$

及

$$K_1 = \sigma_a \sqrt{\pi a} F_b \quad \text{.....( C.17 )}$$

参数  $F_b$  是管径比  $\alpha$ 、相对缺陷长度  $\beta$  和相对缺陷高度  $\eta$  的函数。

$$F_b(\alpha, \beta, \eta) = \begin{cases} F_{b0}(\alpha, \beta, \eta) & \eta \geq 0.1 \text{ 且 } \beta \leq \frac{80\eta}{\pi a} \\ F_{b0}\left(\alpha, \beta = \frac{80\eta}{\pi a}\right) & \eta \geq 0.1 \text{ 且 } \beta > \frac{80\eta}{\pi a} \\ F_{b0}\left(\frac{80}{\pi}, \frac{0.1}{a}, 0.1\right) & \eta < 0.1 \end{cases} \quad \text{.....( C.18 )}$$

这里

$$F_{b0}(\alpha, \beta, \eta) = \left( 1.09 + 2.31\alpha^{0.791}\beta^{0.906}\eta^{0.983} + \frac{m_1}{\alpha\beta} + \alpha^{0.806}\beta m_2 \right) \quad \text{.....( C.19 )}$$

$$m_1 = -0.00985 - 0.163\eta - 0.345\eta^2 \quad \text{.....( C.20 )}$$

$$m_2 = -0.00416 - 2.18\eta + 0.155\eta^2 \quad \text{.....( C.21 )}$$

c) 评定点应力比  $L_r$

应力比给定为：

$$L_r = \frac{\sigma_a}{\sigma_c} \quad \text{.....( C.22 )}$$

式中塑性破坏应力  $\sigma_c$  给定为：

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



$$\text{if } \eta\beta < 0.05 \quad \dots\dots\dots (C.23)$$

$$\sigma_r = \frac{\pi}{4} \left[ \cos\left(\frac{\eta\beta\pi}{2}\right) - \frac{\eta\sin(\beta\pi)}{2} \right] \sigma_y$$

$$\text{if } \eta\beta \geq 0.05 \quad \dots\dots\dots (C.24)$$

#### C.5.1.4 使用第三种方法确定可接受缺陷尺寸

##### C.5.1.4.1 概述

在大多数近海管道和管路中,建设和运营过程中的交变载荷是存在的。当预期出现显著缺陷增长时,允许使用第三种方法。

经业主批准,可使用验证有效的安全评定规范来建立缺陷验收标准。最为广泛接受的安全评定规范之一为 BS 7910。这些评定规范应由合格的,并经过证实已掌握断裂力学、管道焊接和无损检测 NDT 原理的分析师/工程师来实施。在制定验收标准时,任何选定的评定规范都要被看成一个整体,并恰当考虑安全因子。应当认识到各种公众可接触到的评定规范的基本假定可能不同于第一和第二种方法。不鼓励将不同方法各部分混合起来使用。

##### C.5.1.4.2 疲劳缺陷扩展

应包括下列内容:

- a) 要进行恰当的疲劳缺陷分析来确定初始的缺陷验收标准。可以使用各种公众可接触的程序和软件来确定缺陷扩展(如 BS 7910:2009)。在整个疲劳载荷谱过程中,要检查所有峰值载荷时的静态抗裂性。熟练的技术人员在整个应用交变载荷的过程中可以使用现成的软件程序来进行疲劳分析和校核静态断裂条件。
- b) 使用第一种方法得到的允许缺陷尺寸可以被用作内部和表面缺陷的初始缺陷尺寸。如果在使用寿命结束前就达到了临界缺陷尺寸或出现了静态峰值载荷的失效(带有恰当的设计或安全因子),初始缺陷尺寸就需要减少。按照使用的种类,要小心选择恰当的缺陷扩展曲线( $da/dN$  曲线)。BS 7910 的表 4 和表 5 提供了选择这些曲线的指南,业主可以提供补充信息来建立管道内不同工况下的缺陷扩展曲线。对于较小的  $D/t$  比,扩展应力是不均匀的。有必要进行多个初始缺陷位置的分析。

##### C.5.1.4.3 检测误差和缺陷容限安全因子

应通过合格的检测系统/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中 NDT 评定结果中获得的检测误差来减小可允许的缺陷高度。

##### C.5.1.5 横向平面缺陷

由于不当焊接工艺或不当实施焊接工艺而产生的横向平面缺陷需要返修或清除。焊缝缺陷从开始到终止的累积缺陷高度不应超过壁厚的 50%。

#### C.5.2 体积缺陷的验收极限

高断裂韧性材料包含的内部体积缺陷,如夹渣或气孔等,其产生失效的可能性要低于平面缺陷。这些缺陷可以被处理和评定为平面缺陷,也可以使用表 C.3 的简化方法。表面相干涉缺陷和那些按照缺陷相连原则重新被归类为表面相干涉的内部缺陷,要被处理和评定为平面缺陷。无论如何评定缺陷,关



于最小 CTOD 韧性和夏比冲击功的要求都是可以应用的。

表 C.3 内部体积缺陷的验收极限

缺陷类型	高度或宽度	长 度
气孔	小于 $t/4$ 或 6.35 mm	小于 $t/4$ 或 6.35 mm
夹渣	小于 $t/4$ 或 6.35 mm	$4t$

C.5.3 电弧烧伤

电弧烧伤是由于引弧或操作不当而引起管子内外表面损伤的一种缺陷。这种缺陷肉眼可以看到一个小洞,在 X 射线照片中呈现影像致密区。这种缺陷通常存在于韧性比母材和焊缝低的热影响区中。

表 C.4 是未经返修的电弧烧伤的验收标准,其中假设热影响区的韧性值为零,且热影响区中的所有平面缺陷在边界钝化。大量数据显示电弧烧伤的深度小于宽度。

表 C.4 未经返修的电弧烧伤的验收标准

测量尺寸	验收标准
宽度	$<t$ 或 7.94 mm
长度(任一方向)	$<t$ 或 7.94 mm
深度(至弧坑底部)	1.59 mm
注:表 C.4 适用于最小 CTOD 值为 0.127 mm 或 0.254 mm 的情况。	

如果电弧烧伤中有肉眼和常规射线检测可检测到的裂纹,则本附录不适用。这类电弧烧伤应进行返修或清除。

C.5.4 缺陷干涉

应包括下列内容:

- a) 如果两个缺陷相邻很近,可看成是单个大缺陷。图 C.11 列出了缺陷干涉的评定标准。若缺陷干涉存在,则应按图 C.11 计算其有效缺陷尺寸,并按本附录评估;
- b) 如果缺陷干涉中的一种缺陷需要进行返修,则所有相干涉的缺陷都应按 C.7 的要求进行返修。



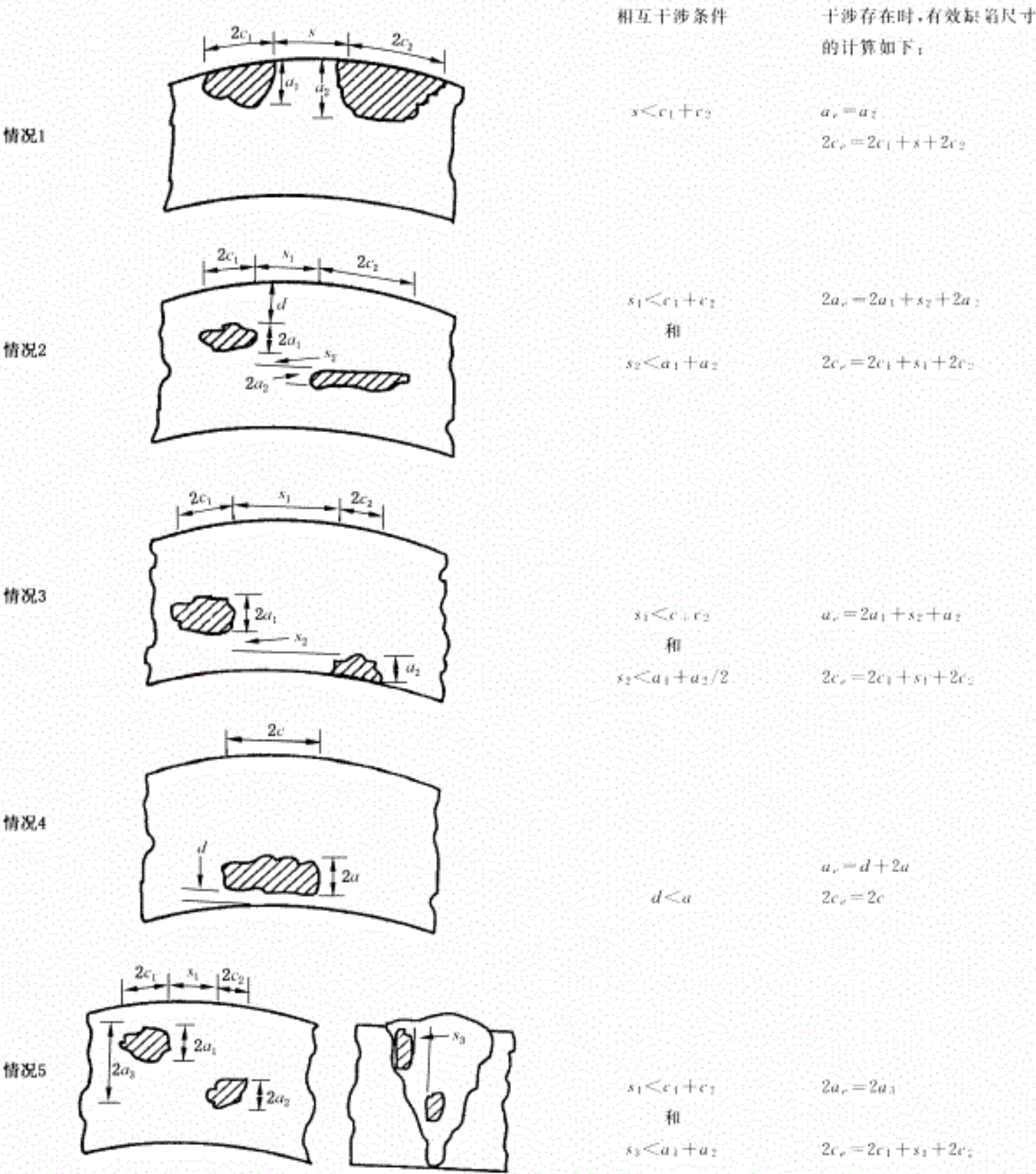


图 C.11 缺陷干涉评估准则

### C.6 记录

按附录要求,业主代表应以适当格式记录各种缺陷的类型、位置及规格等,记录中还应包括管线射线检测或其他非破坏性试验的数据。



## C.7 返修

依据本附录规定不合格的一切缺陷应按第 9 章和第 10 章的要求进行返修或切除。

## C.8 术语

- $a$  —— 缺陷高度(mm);
- $c$  —— 缺陷的一半高度(mm);
- $D$  —— 管外径(mm);
- $d_n$  —— 由 J 积分计算 CTOD 的转换因子(无单位);
- $E$  —— 杨式模量(MPa);
- $J_e$  —— J 积分的弹性部分(MPa/mm<sup>2</sup>);
- $K_I$  —— 应力强度因子(MPa/mm<sup>2</sup>);
- $K_r$  —— FAD 模式中的韧性比(无单位);
- $L_r$  —— FAD 模式中的应力比(无单位);
- $L_r^{\text{cutoff}}$  —— FAD 模式中的截断应力比(无单位);
- $n$  —— 应变硬化指数(无单位);
- $P_r$  —— 标准化的载荷应力或载荷水平,  $P_r = \sigma_n / \sigma_f$  (无单位);
- $t$  —— 管壁厚度(mm);
- $\alpha$  —— 管径和壁厚之比,  $\alpha = D/t$  (无单位);
- $\beta$  —— 缺陷长度和管周长之比,  $\beta = 2c/\pi D$ , (无单位);
- $\delta_e$  —— CTOD 的弹性部分(mm);
- $\delta_{\text{total}}$  —— CTOD 韧性(mm);
- $t$  —— 公称管壁厚;
- $\eta$  —— 缺陷高度和管壁厚之比,  $\eta = a/t$ , (无单位);
- $\nu$  —— 泊松比(无单位);
- $\sigma_s$  —— 最大轴向设计应力(MPa);
- $\sigma_r$  —— 塑性破坏应力(MPa);
- $\sigma_f$  —— 管材的流变应力(MPa);
- $\sigma_t, T$  —— 管材的最大抗拉强度或 UTS(MPa);
- $\sigma_y, Y$  —— 管材的规定最小屈服强度或 SMYS(MPa);
- $\epsilon_t$  —— 均匀应变(无单位)。



附 录 D  
(规范性附录)  
在役管道焊接技术

## D.1 概述

本附录适用于在役管道及管道系统的配件返修及安装过程中的焊接操作。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系统。本附录不适用于已经完全关闭、停产或不再运行的管道系统的焊接。

在役管道系统的焊接主要有两方面问题。一是要避免“烧穿”,也就是焊接电弧灼伤管壁造成破裂。另一方面是氢致裂纹,主要是由于流动介质增加管壁散热,使焊接冷却速度增大造成的。

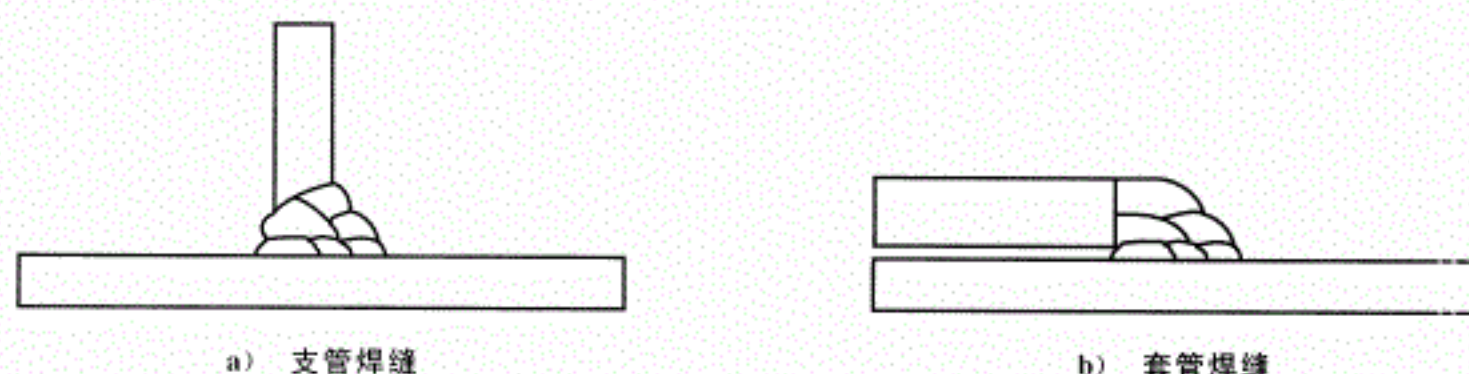
当钢管壁厚不小于 6.4 mm 时,采用低氢焊条(ExX18 型)焊接,正常情况下一般不会出现烧穿现象。而对于在役薄壁管线,通常需采取特殊措施,如控制热输入量等,以防止烧穿。

氢致裂纹的产生,应同时满足三个条件:焊缝中的含氢量、焊接接头的淬硬倾向以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。对在役管道系统进行焊接时,使用低氢焊条或低氢焊接工艺方法,以及减少淬硬组织形成的方法(当不能保证低氢水平时采用)均可有效地避免氢致裂纹。最常用的方法为采用足够的热输入量,以克服流动介质的影响。目前有多种预测热输入量的方法,其中包括计算机模拟热分析。这些方法主要是为了预测焊接生产中所需要的热输入量,不应替代焊接工艺评定(见 D.2)。采用预热或回火焊道熔敷顺序的方法也可以减少氢致裂纹的产生。对某些在役管道系统进行焊接时,由于输送介质散热,会给预热造成困难。图 D.1 为典型的回火焊道熔敷顺序。为了减少焊接应力,在安装时应注意合理装配,以减小焊缝根部的应力集中。

在役管道系统的焊接,既应保证焊缝的安全性,又应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冷却速度增大,导致氢致裂纹产生。这样就应合理调整工艺参数。如果采用防止烧穿的最大许用热输入量仍不能避免氢致裂纹时,就应采取其他预防措施(如调整回火焊道熔敷顺序)。

本附录的主要内容是防止在在役管道系统的焊缝中产生氢致裂纹。若钢管壁厚小于 6.4 mm,应考虑烧穿的可能性,并应使用计算机模拟热分析或其他方法确定热输入极限。对于在役管道系统,在焊接过程中应注意其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。其他指导见 SY 6554《石油工业带压开孔作业安全规范》及 API RP 2201《石油石化行业带压开孔安全操作规范》。

在役管道系统的焊接应遵循本标准中关于角焊缝的要求,并满足下列附加要求。



先用窄焊道堆焊熔敷金属隔离层。后续焊道采用高热输入工艺,可以细化和回火第一层焊道的热影响区。

图 D.1 典型的回火焊道熔敷顺序实例



## D.2 在役管道系统的焊接工艺评定

除本附录的规定外,第5章对角焊缝焊接工艺评定的要求也应适用于在役管道焊接。

### D.2.1 工艺规程

#### D.2.1.1 规程参数

##### D.2.1.1.1 管子和管件

在役管道系统焊接时,除了指明材料的名义屈服强度外,还应指明材料的碳当量。碳当量等级可进行分组。

焊接工艺可用于比焊接工艺评定所用材料碳当量值更高的材料,前提是热条件没有焊接工艺评定时那么严苛,且氢致开裂的风险不会增加。

##### D.2.1.1.2 管道运行条件

在役管道系统焊接时,应指明焊接工艺适用的管道运行条件(如管道输送介质、流量等)。管道运行条件可进行分组。

##### D.2.1.1.3 热输入量范围

为克服流动介质的影响采用足够高的热输入量(热输入量控制工艺)时,应规定要求的热输入量范围。

##### D.2.1.1.4 焊缝熔敷顺序

采用回火焊道熔敷顺序以改善流动介质影响时,应规定要求的焊道熔敷顺序。

### D.2.2 基本要素

#### D.2.2.1 基本要素的变更

##### D.2.2.1.1 管子和管件

对于在役管道系统的角焊缝,名义屈服强度不是基本要素。

##### D.2.2.1.2 管道运行条件

对于在役管道系统的焊接,管道运行条件变恶劣(焊缝冷却速度方面)构成基本要素。

##### D.2.2.1.3 壁厚

对于在役管道系统角焊缝的焊接,壁厚不是基本要素。

##### D.2.2.1.4 焊缝熔敷顺序

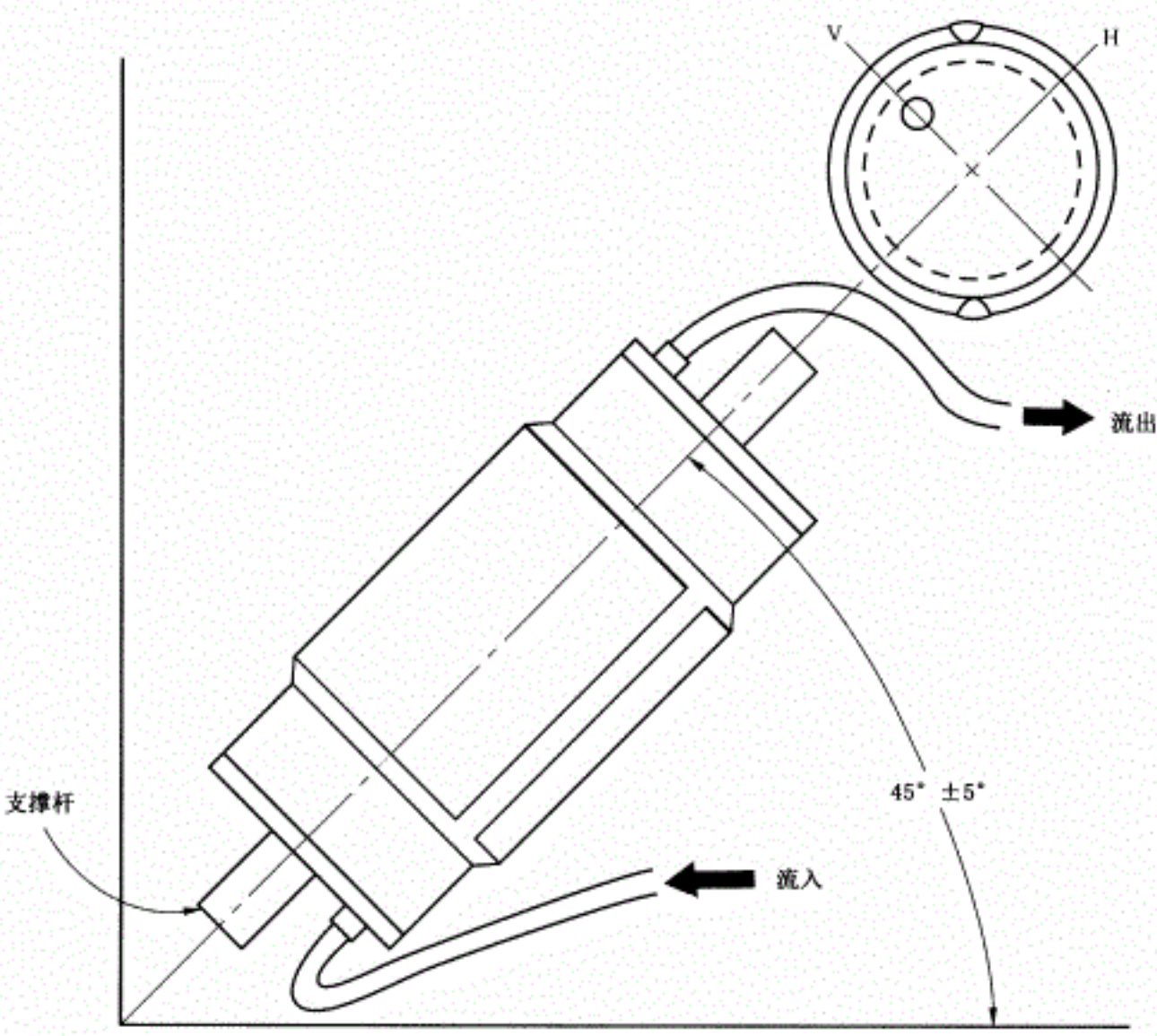
从一种回火焊道熔敷顺序变为另一种焊道熔敷顺序构成基本要素。

### D.2.3 试验接头的焊接

D.2.3.1 在役管道系统中支管和套袖的焊接应按5.7的规定进行。当进行试验接头焊接时,应模拟管道运行条件。



D.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热条件与施工现场相同或更为恶劣(见图 D.2)。只有模拟现场焊接条件的焊接工艺评定才能应用于现场。也可采用其他介质(如机油)来模拟不太恶劣的热环境。



注:这种试验条件适用于各种现场施工条件下的工艺评定。也可在另一种条件下进行试验,但这种试验仅评定该条件下的工艺。

图 D.2 推荐的焊工考试方法和装配

D.2.4 焊接接头试验

D.2.4.1 准备

在役管道系统中角焊缝的焊接应按 5.8 给出的要求进行,试样的取样应按图 D.3 给出的规定进行。试验项目和试样数量见表 D.1。

表 D.1 试验项目和试样数量

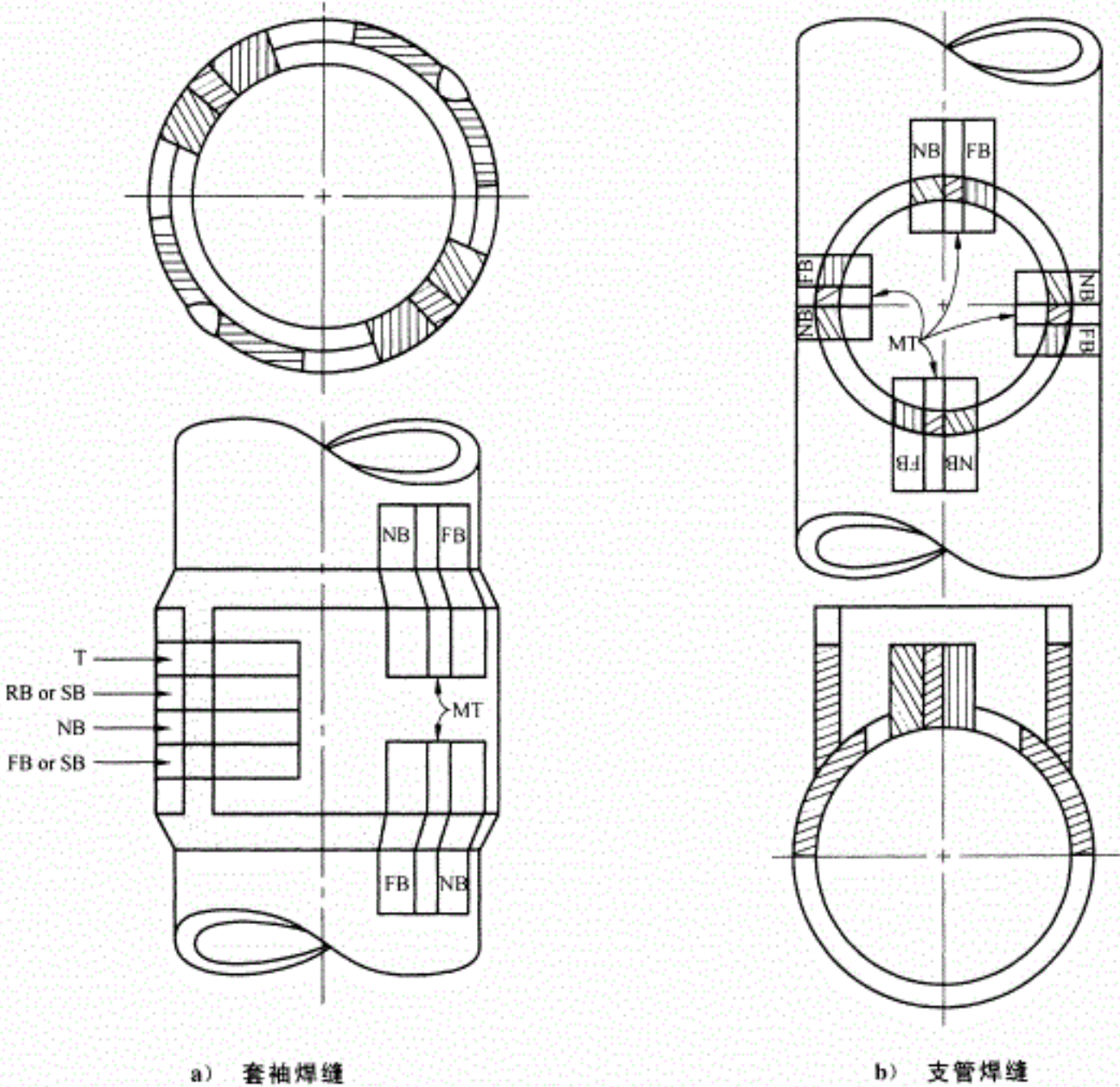
管壁厚 mm	焊接类型	试样类型 <sup>a</sup>						
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	宏观试验	总数
≤12.7	坡口	2	2	2	2			8
	套袖		4 <sup>b</sup>		4		4	12
	支管		4 <sup>b</sup>		4		4	12



表 D.1 (续)

管壁厚 mm	焊接类型	试样类型 <sup>a</sup>						
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	宏观试验	总数
>12.7	坡口	2	2			4		8
	套袖		4 <sup>b</sup>		4		4	12
	支管		4 <sup>b</sup>		4		4	12

<sup>a</sup> 外径小于或等于 114.3 mm 的管子或支管,需焊接两个试验焊缝。  
<sup>b</sup> 根据业主意见,刻槽锤断试验后,剩余部分可用来做面弯试验(见 C.2.4.5)。



说明: T 为拉伸试验;RB 为背弯试验;FB 为面弯试验;NB 为刻槽锤断试验;SB 为侧弯试验;MT 为宏观金相试验。

图 D.3 在役管道系统焊接工艺评定试验试样的取样位置

D.2.4.2 纵向焊缝

环形套袖的纵向焊缝应按 5.6 给出的规定进行试验。如果焊接时使用了背部垫板,应先去除。试验前试样可以在室温下展平。



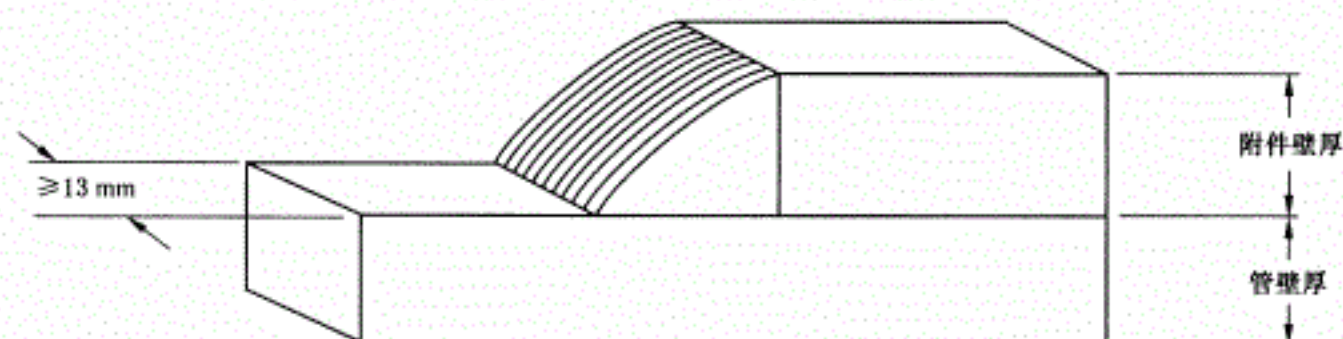
### D.2.4.3 支管和套袖焊缝

支管和套袖焊缝试验应按 5.8 给出的规定进行,并应满足 D.2.4.1 的要求。

### D.2.4.4 宏观金相试验——支管和套袖焊缝

#### D.2.4.4.1 准备

宏观金相试样应至少 13 mm 宽(如图 D.4 所示)。试样可先通过机械切割或氧气切割进行粗加工,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 或 M14(600 目)砂纸抛光。应用浸蚀液(如过硫酸铵或稀释盐酸)浸蚀试验表面,以清晰显示焊缝组织。



说明:每个焊缝试样至少有一个表面应进行磨光,并采用适当侵蚀液进行腐蚀,以清晰显示焊缝组织。

图 D.4 在役管道系统焊缝的宏观试验试样

#### D.2.4.4.2 外观检查

应采用能够充分分辨焊缝致密度的灯光对焊缝横断面进行检查,不必使用光学设备或染色渗透试验。

#### D.2.4.4.3 硬度试验

四个宏观试样中有两个应用来做硬度试验。硬度试样应按 ASTM E92 或 GB/T4340 的要求准备。硬度试验需要在每个试样焊趾处热影响区的粗晶区最少测 5 个点,用维氏硬度机压头,对每个测量点施加 10 kg 的载荷。

#### D.2.4.4.4 要求

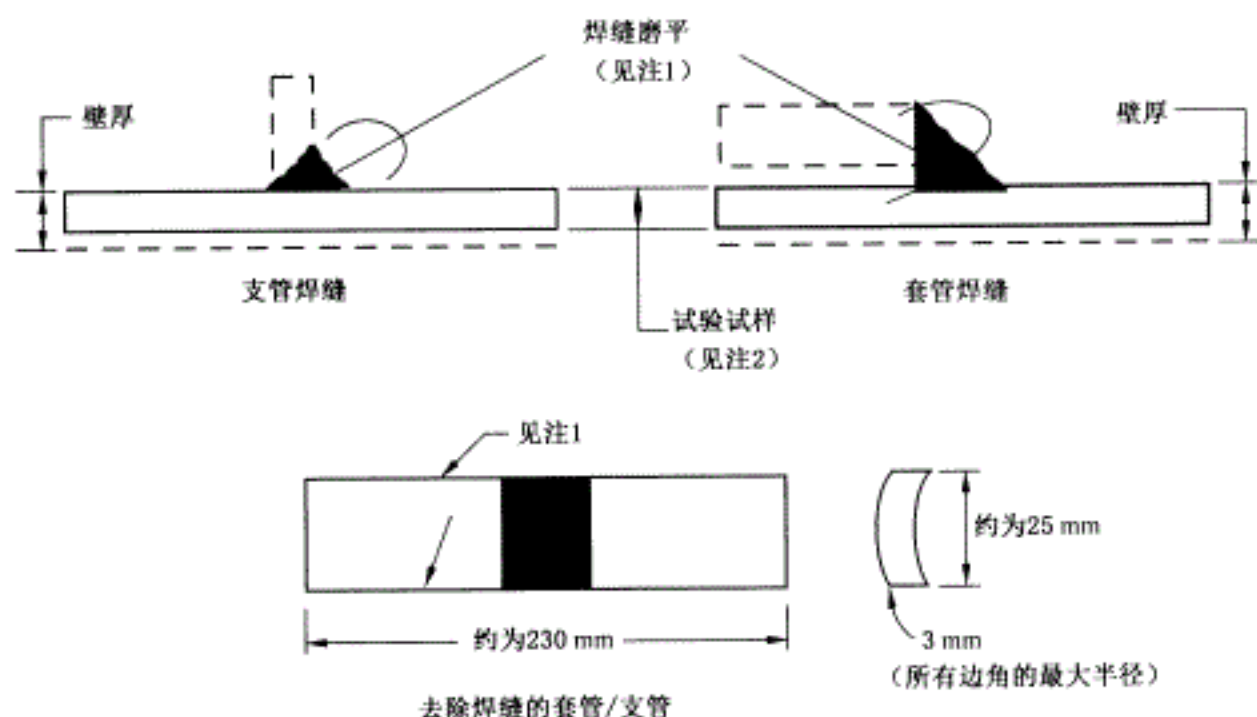
每个试样的焊缝根部应完全熔合和无裂纹。角焊缝的焊脚长度应至少等于焊接规程中规定的长度,角焊缝的曲度误差不应超过 1.6 mm,咬边深度不应超过 0.8 mm 和钢管壁厚 12.5% 两者中的最小值。若一种焊接工艺使热影响区硬度值大于 350 HV,则应对该工艺产生焊缝氢致裂纹的风险进行评估。

### D.2.4.5 面弯试验——支管和套袖焊缝

#### D.2.4.5.1 准备

面弯试样(如图 D.5 所示)约 230 mm 长,25 mm 宽。面弯试样可先通过机械切割或氧气切割的方法制成粗样,然后用机加工从试样每一表面切除 3 mm。试样各表面应光滑平行,且其长边缘应磨成圆角。套袖或支管和加强板应去除至与试样母材表面平齐。所有咬边不应清除。也可使用刻槽锤断试样的剩余部分做面弯试样。





套袖或支管焊缝的余高应去除至与试样母材表面平齐。支管焊缝试样沿轴向取样,试样另一表面是弯曲的。试样在试验前不应压平;壁厚大于 12.7 mm 时的部位,应通过内表面的机械加工切除至 12.7 mm。

注 1: 试样可先通过机械切割或氧气切割的方法制成粗样,然后再进行机加工(见 D.2.4.5.1)。

注 2: 可使用刻槽锤断试样的剩余部分做面弯试样代替直接从管子上截取。

图 D.5 面弯试样

#### D.2.4.5.2 方法

面弯试验应在焊后 24 小时后进行。面弯试验应在导向弯曲模具上弯曲,模具如图 D.5 所示。试样应以焊缝为中心放置于下模上。面弯试验应以焊缝外表面朝向下模。施给上模压力,将试样压入下模内,直到试样弯曲或近似 U 形。

#### D.2.4.5.3 要求

弯曲后,面弯试样拉伸弯曲表面上的焊缝和热影响区域所发现的任何方向上的任一裂纹或其他缺欠尺寸应不大于 3 mm 和钢管公称壁厚 1/2 两者中的最小值。除非发现明显缺欠,由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上应不大于 6 mm。

### D.3 在役焊接焊工资格

#### D.3.1 焊工资格考试

除了下面规定的附加要求外,在对在役管道系统进行焊接前,应按 6.2 的规定对焊工进行资格考试:

如焊工取得 323.9 mm 以下管径的焊接资格,则视为其具备 323.9 mm 及以下管径的焊接资格;

如焊工取得 323.9 mm 及以上管径的焊接资格,则视为其具备所有管径的焊接资格;

如焊工取得 6.3 中规定的全项资格和 D.3 中的在役焊接资格,则视为其具备所有位置、所有管径和所有壁厚的在役焊接资格,但应在 6.3 规定的基本要素范围内。

#### D.3.2 试验接头的焊接

D.3.2.1 焊接试验接头时,应模拟影响输送介质从管壁带走热量的能力的管道运行条件。模拟管道运



行条件应符合 D.2.3.2 的规定。

**D.3.2.2** 焊接试验管接头时,试验管内充满水,且水流过试验截面时的热条件与施工现场相同或更恶劣(见图 D.2)。此条件下考试合格的焊工视为具备所有在役抢修焊接操作资格。也可采用其他介质(如机油)来模拟不太恶劣的热环境。

**D.3.2.3** 焊工完成的试验接头,除应符合 D.3.2 中关于破坏性试验的规定外,还应能够按业主要求执行焊接工艺规程避免焊接出易产生裂纹的金相组织并防止烧穿;对于热输入控制工艺,应能将热输入量保持在焊接工艺规程规定的范围内;对于回火焊道工艺,应能将焊道控制在焊接工艺规程的尺寸范围内。

**D.3.3 焊缝试验**

如考试焊口经检验和试验符合 6.6 和 6.7 的要求,则焊工合格。对于纵向焊缝,试件的最小数目和试验见表 D.2。

表 D.2 纵焊缝焊工资格试验项目和试样数量

管壁厚/mm	试样类型					
	拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	总数
≤12.7	1	1	1	1		4
>12.7	1	1			2	4

**D.3.4 记录**

应明确记录焊工考核时的管道运行条件(如输送介质、流量等)。施工条件可分组。

**D.4 在役管道系统焊接的推荐操作**

**D.4.1 工程焊接**

工程焊接生产应按第 7 章进行,并执行本附录中的附加要求。

在进行在役管道系统焊接之前,焊工应综合考虑工作压力、流动状态和焊接处的壁厚等影响焊接安全可靠性的各方面因素。应检查焊接区域,以确保无缺欠,且壁厚合适。进行返修的焊工应熟悉管线(输送原油、成品油或气体燃料等介质的管线)切割和焊接的安全预防措施。其他指导见 SY 6554 或 API RP 2201。

**D.4.2 组对**

**D.4.2.1 装配**

焊接套袖和马鞍时,套袖或马鞍与输送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,可在输送管上焊接预堆层使间隙最小。

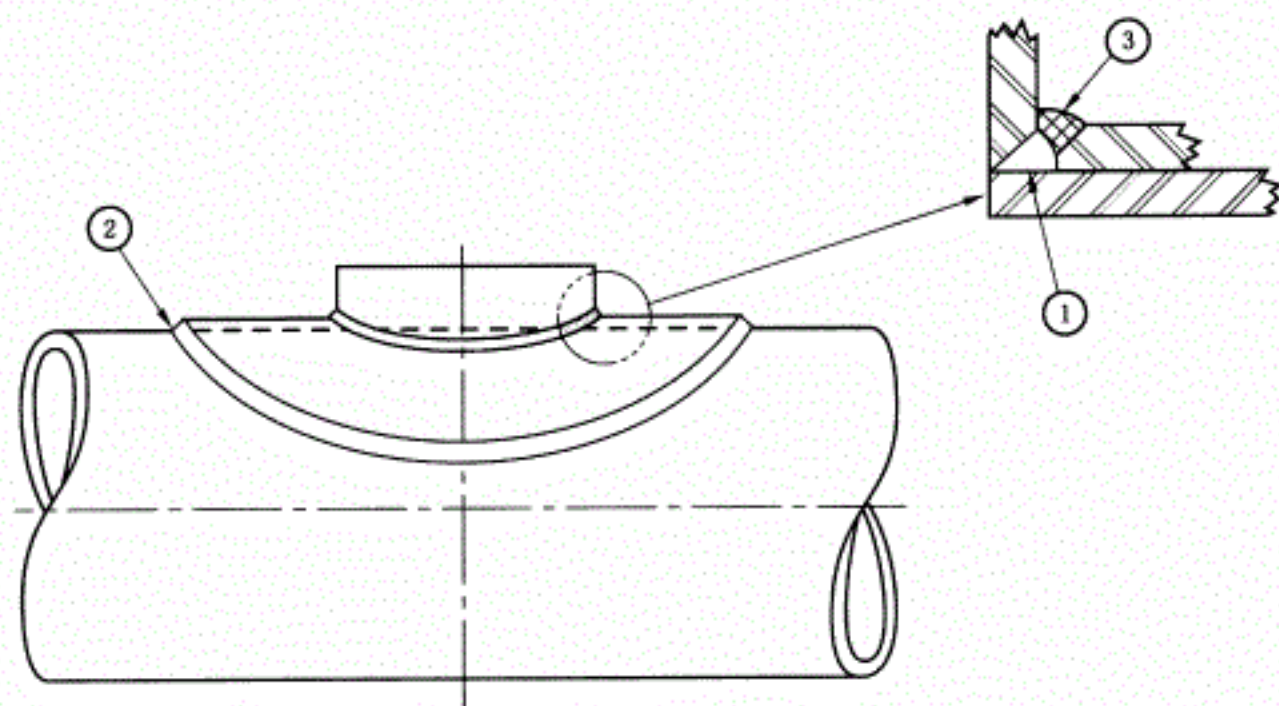
**D.4.2.2 根部间隙——纵向焊缝**

由于输送管中任何裂纹都会受到环向应力影响,纵向对接焊缝焊透至输送管上存在很大风险。当整个套袖的纵向对接焊缝需要 100% 焊透时,根部间隙(对接面的间距)应足够大。应装配低碳钢背部垫板防止焊到输送管。



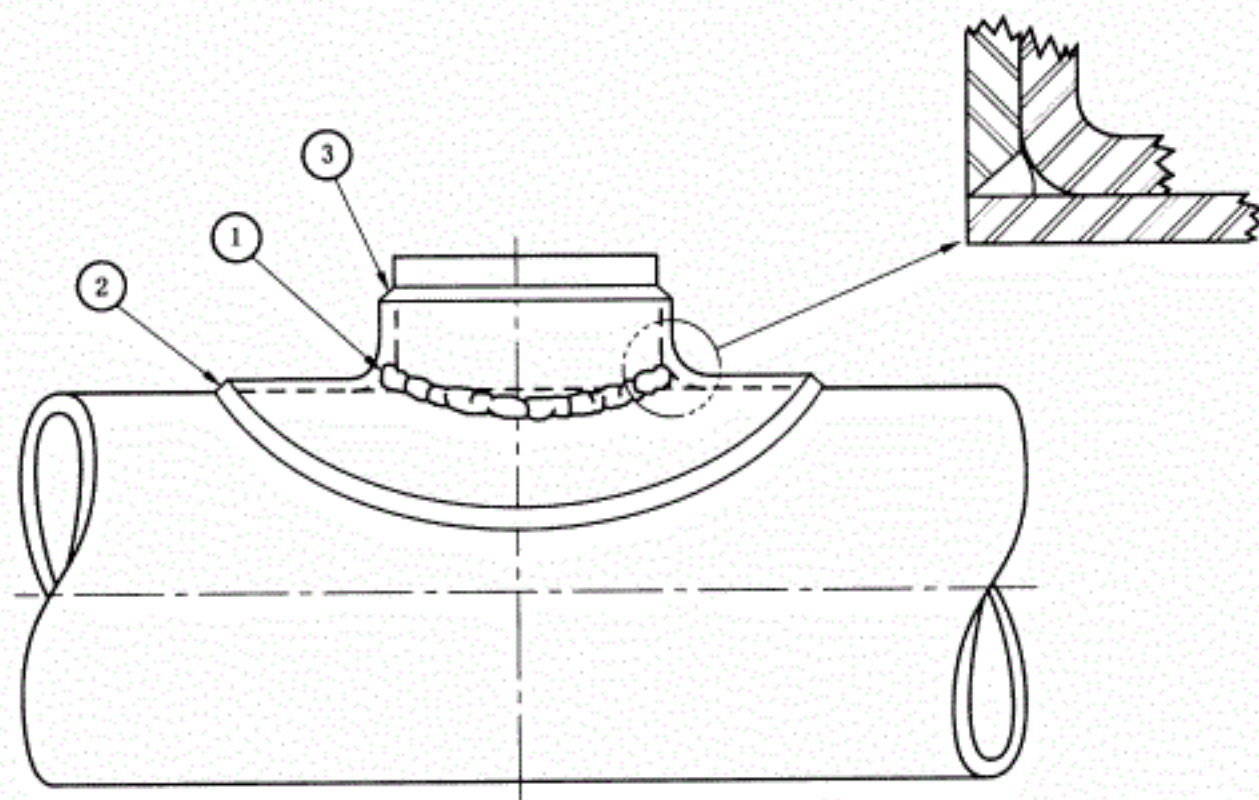
## D.4.3 焊接顺序

套袖和支管的推荐焊接顺序如图 D.6～图 D.11 所示。对于全包围管件,应先完成纵向焊缝的焊接,然后进行环焊缝的焊接。必须在完成管件一端的环焊缝焊接后,才允许进行另一端的环焊缝焊接。对于其他类型的管件,应采用使残余应力最小化的焊接顺序。



注：此为推荐焊接顺序；可按照业主的意见采用其他焊接顺序。

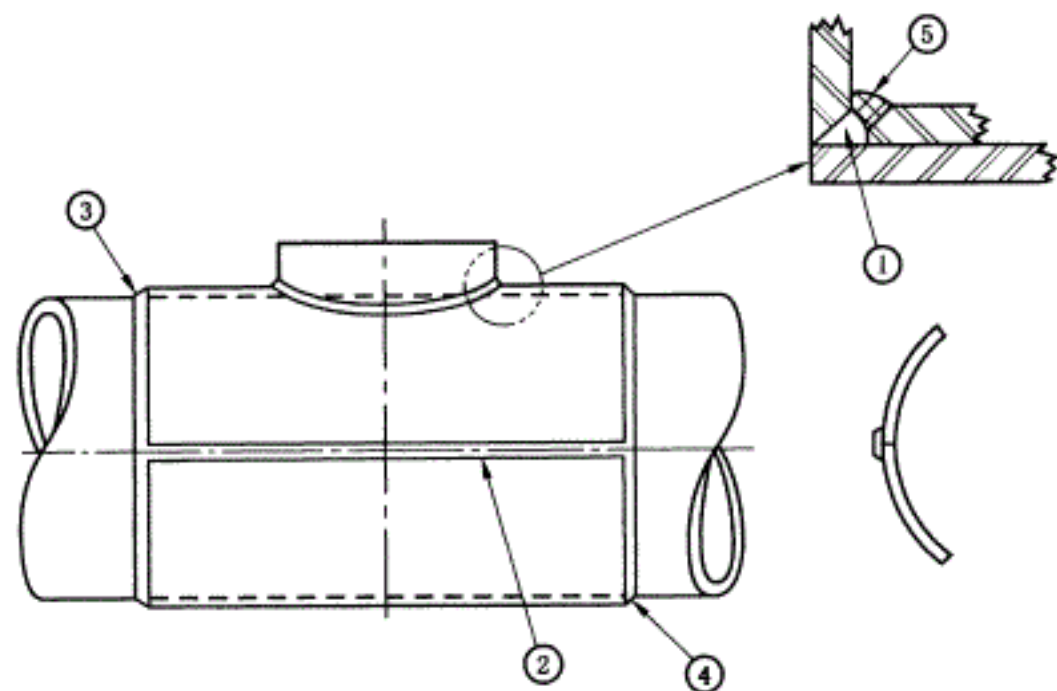
图 D.6 加强板



注：此为推荐焊接顺序；可按照业主的意见采用其他焊接顺序。

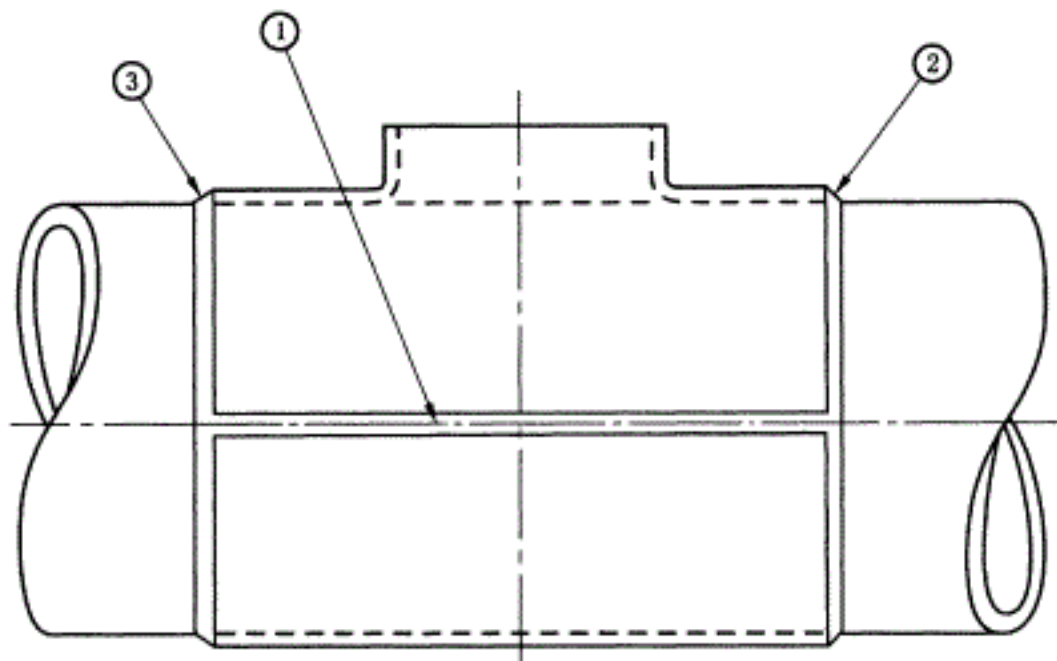
图 D.7 加强鞍板





注：此为推荐焊接顺序；可按业主的意见采用其他焊接顺序，第 3 和第 4 道环向焊缝可不焊。

图 D.8 环形套袖

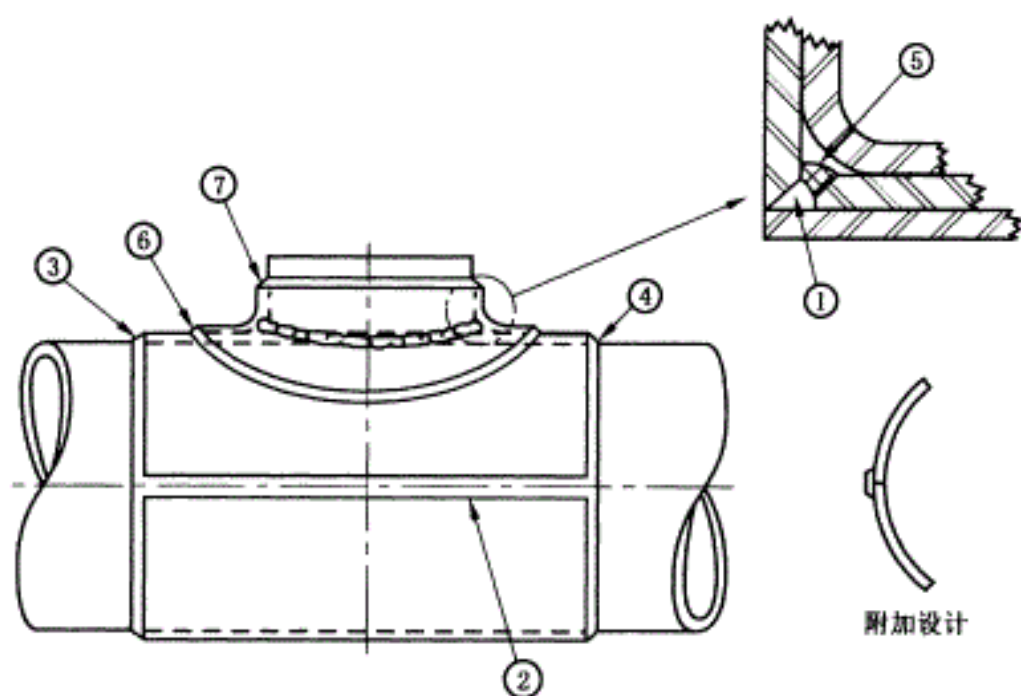


注 1：此为推荐焊接顺序；可按照业主的意见采用其他焊接顺序。

注 2：施焊时，管件承受管线工作压力。

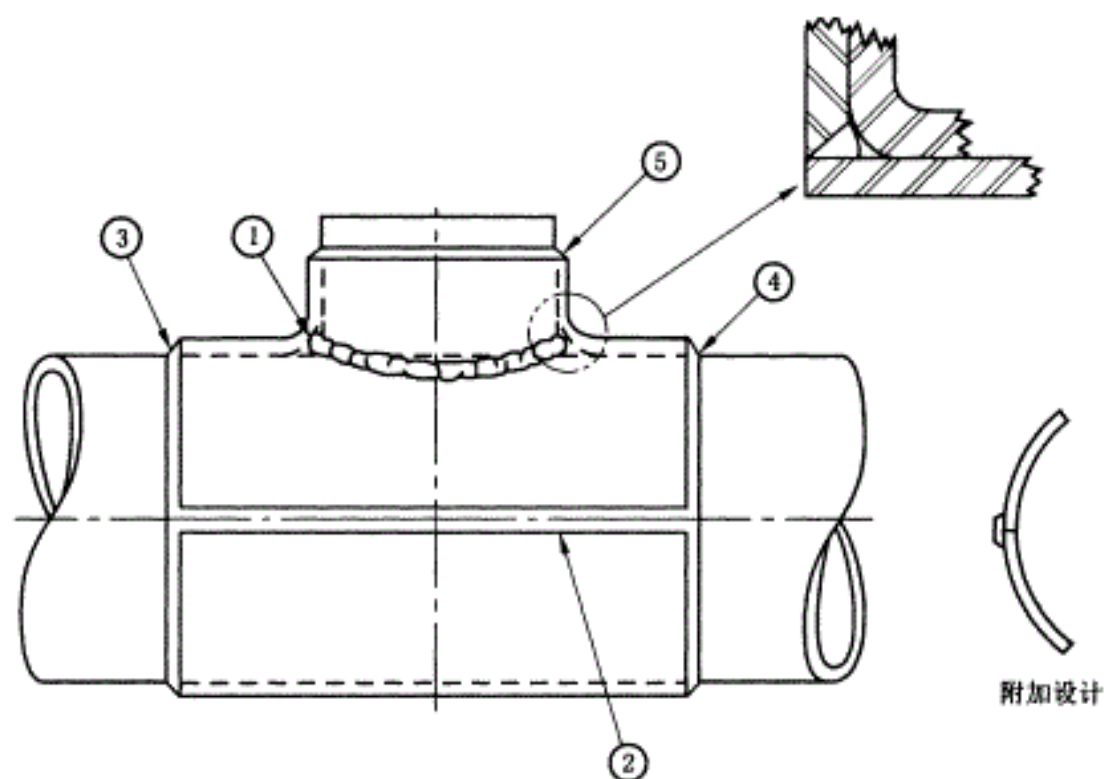
图 D.9 环形三通管





注：此为推荐焊接顺序；可按业主的意见采用其他焊接顺序，第3和第4道环向焊缝可不焊。

图 D.10 环形套袖和鞍板



注：此为推荐焊接顺序；可按照业主的意见采用其他焊接顺序。

图 D.11 环形鞍板

## D.5 在役管道焊缝的检测与试验

D.5.1 焊缝的检查和试验应按第8章的要求进行，并执行本附录的附加要求。

D.5.2 与输送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对焊缝进行检查。使用的检测方法应能检测出裂纹（尤其是输送管焊趾部位的裂纹）。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规程，能有效检测套袖、马鞍和支管与输送管焊接的焊趾部位的氢致裂纹。

D.5.3 在检查氢致裂纹前，应考虑易出现裂纹的时间与焊缝产生裂纹机率的关系，确定合适的延迟时间；较长的延迟时间，减低了裂纹在检测完成后出现的机率；采用保守的焊接工艺，可使延迟裂纹出现的



可能性达到最小。

#### D.6 无损检测验收标准(包括外观检查)

第9章缺欠的无损检测验收标准应适用于工程焊缝。

#### D.7 缺陷的清除和返修

在役管道系统焊缝中缺陷的清除和返修应符合第10章的规定。清除缺陷时,应保证壁厚不低于输送管能够承受工作压力的厚度。



附录 E  
(资料性附录)  
焊工考试记录

表 E.1 焊接工艺评定记录表格格式

参考本标准 5.2

焊接工艺评定记录

编号: \_\_\_\_\_

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: \_\_\_\_\_

填充材料、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): \_\_\_\_\_

a) 标准 V 型坡口对接接头

b) 焊道顺序

注: 尺寸仅供参考

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 E.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：			
填充材料：							
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							
<div><div><input type="checkbox"/>焊接工艺 <input type="checkbox"/>焊工考试</div><div><input type="checkbox"/>评定试验 <input type="checkbox"/>工程焊口试验</div><div><input type="checkbox"/>合格 <input type="checkbox"/>不合格</div></div>							
最大抗拉强度		最小抗拉强度			平均抗拉强度		



表 E.2 (续)

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：



表 E.3 焊工考试记录表格格式

焊工姓名： 时间编号： 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： 型 (°) 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： 电源种类： 电源型号： 清理工具：	环境温度： 环境湿度： 风 速：	预热温度： ℃ 保护气体类型： 纯度要求： 提前送气时间：	延迟停气时间： 焊后保温： 运条方式： 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 E.4 焊工考试结果表格格式

1) 非破坏性检验

外观检查 检查结论：  
报告编号： 检查标准： 报告日期：  
检查单位：

管口编号	缺陷类型和尺寸	结 论

无损检测 检验结论：  
报告编号： 执行标准： 报告日期：  
检验单位：

管口编号	缺陷类型和尺寸	结 论

2) 破坏性试验

a) 拉伸试验 实验结论：  
报告编号： 执行标准： 报告日期：  
实验单位： 关口编号： 试样尺寸：

试样区号				
拉伸强度/MPa				
断裂位置				

试验结论：  
b) 导向弯曲试验 报告日期：  
报告编号： 执行标准：  
试验单位： 管口编号：

试样区号				
面弯缺陷及检验结果				
背弯缺陷及检验结果				
侧弯缺陷及检验结果				

试验结论：  
c) 刻槽锤断试验 报告日期：  
报告编号： 执行标准：  
试验单位： 管口编号：

试样区号				
断面缺陷				
检验结果				

试验结论：



## 参 考 文 献

- [1] GB/T 3375 焊接术语
- [2] GB/T 4340 金属材料维氏硬度试验
- [3] GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- [4] GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- [5] GB/T 21143 金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法
- [6] SY/T 0452 石油天然气金属管道焊接工艺评定
- [7] SY 6554—2011 石油工业带压开孔作业安全规范
- [8] ASTM E 164 Standard practice for ultrasonic contact examination of weldments
- [9] ASTM E 165 Standard test methods for liquid penetrant examination
- [10] ASTM E 709 Standard guide for magnetic particle examination
- [11] BS 4515 Specification for welding of steel pipeliens on land and offshore



GB/T 31032—2014

版权专有 侵权必究

\*

书号:155066·1-51448

定价: 31.00 元