API1104-99 标准

（新版）

盘锦北方无损检测公司内部资料

前　言

本标准是由包括美国石油学会（API）、美国气体协会（AGA）、管道承包商协会（PLCA）、美国焊接学会（AWS）、美国无损探伤学会（ASNT）的代表以及管子制造商的代表和有关工业的个人代表组成的标准编制委员会编制的。

本标准的目的是通过控制焊工资格、焊接工艺、材料和设备，焊接出高质量的焊接接头，并通过对无损检测规程、设备和无损检测人员资格的控制，以保证对焊接质量的正确评定。

本标准是非强制性的，它适用于输送原油、成品油、天然气、二氧化碳和氮气的长输管道及泵站的安装和焊接，也可用于集输和分输管网的安装和焊接。

本标准包含了油气管道设计、制造、安装和运行等方面的许多工程师的研究成果，标准编制委员会非常感谢他们真诚和有价值的帮助。

为适应技术的发展，有必要经常对本标准进行修订。标准编制委员会始终希望收到对本标准进行改进的各种意见和建议，并将给予充分的考虑。

任何感兴趣的团体都可以对 API 的内容提出意见。

任何人都可以使用本标准。

目　　录

1.　总则
1.1　范围
2.　引用标准
3.　术语
3.1　概述
3.2　定义
4.　焊接的一般规定
4.1　设备
4.2　材料
5.　焊接工艺评定
5.1　工艺评定
5.2　记录
5.3　工艺规程
5.4　焊接工艺规程的变更
5.5　试验管接头的焊接----对接焊
5.6　焊接接头的试验----对接焊
5.7　试验管接头的焊接----角焊
5.8　焊接接头的试验----角焊
6.　焊工资格
6.1　概述
6.2　单项资格
6.3　全项资格
6.4　外观检验
6.5　破坏性试验
6.6　射线探伤---只用于对接焊
6.7　补考
6.8　记录
7.　焊接接头的设计和准备
7.1　概述
7.2　管口组对
7.3　对接焊管口组对时对口器的使用
7.4　坡口
7.5　气候条件
7.6　作业空间
7.7　层间清理
7.8　固定焊
7.9　旋转焊
7.10　标记
7.11　预热及焊后热处理
8.　焊缝的检查与试验
8.1　检验权限
8.2　检验方法

8.3 检测人员的资格审定
8.4 无损检测人员的资格证书
9. 无损检测验收标准
9.1 概述
9.2 验收权
9.3 射线探伤
9.4 磁粉探伤
9.5 渗透探伤
9.6 超声波探伤
9.7 咬边的外观检查标准
10. 缺陷的清除和返修
10.1 返修权限
10.2 返修规程
10.3 验收标准
10.4 监理
10.5 焊工
11. 无损检测规程
11.1 射线探伤方法
11.2 磁粉探伤方法
11.3 渗透探伤方法
11.4 超声波探伤方法
12. 有填充金属的自动焊接
12.1 适用的焊接方法
12.2 工艺评定
12.3 记录
12.4 工艺规程
12.5 焊接工艺规程的变更
12.6 焊接设备和操作人员的审定
12.7 记录
12.8 焊缝的检验和试验
12.9 无损检测验收标准
12.10 缺陷的清除和返修
12.11 射线探伤
13. 无填充金属的自动焊接
13.1 适用的焊接方法
13.2 工艺评定
13.3 记录
13.4 工艺规程
13.5 焊接工艺规程的变更
13.6 焊接设备和操作人员的审定
13.7 记录
13.8 工程焊接质量保证
13.9 无损检测验收标准
13.10 缺陷的清除和返修

13.11 射线探伤
附录 A 环焊缝的附加验收标准
A.1 概述
A.2 应力分析的附加要求
A.3 焊接工艺
A.4 焊工资格
A.5 检测及验收标准
A.6 记录
A.7 实例
A.8 返修
A.9 术语
附录 B 管道不停输焊接
B.1 概述
B.2 不停输管道系统的焊接工艺评定
B.3 焊工资格
B.4 不停输管道系统焊接的推荐意见
B.5 焊缝的检查与试验
B.6 无损检测验收标准（包括外观检查）
B.7 缺陷的清除和返修
图
1. 焊接工艺规程说明书表格形式
2. 试件试验报告表格格式
3. 对接接头焊接工艺评定试验的试样位置
4. 拉伸试样
5. 刻槽锤断试样
6. 背弯和面弯试样（壁厚小于或等于 12.7mm）
7. 侧弯试样（壁厚大于 13mm）
8. 缺陷尺寸的测量
9. 导向弯曲试验胎具
10. 角焊焊接工艺评定及焊工资格考试刻槽锤断试样的位置
11. 角焊焊接工艺评定及焊工资格考试(包括支管联接焊工资格考试)的刻槽锤断试样的位置
12. 对接焊焊工资格考试试验的试样位置
13. 根部未焊透
14. 错边未焊透
15. 中间未焊透
16. 表面未熔合
17. 夹层未熔合
18. 根部内凹
19. 气孔最大分布（壁厚≤12.7mm）
20. 气孔最大分布（壁厚>12.7mm）
21. API 像质计
22A 手工超探 B 型缺口
22B 确定距离，折射角和速率

22C 反射过程
23. 闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置（457mm<外径≤610mm）
24. 闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置（610mm<外径≤762mm）
25. 闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置（外径>762mm）
26. 两英寸刻槽捶断试样
A-1 CTOD 试验试样的取样位置
A-2 CTOD 试验试样加工与管壁厚关系示意图
A-3 焊缝—金属试样的开缺口位置
A-4 热影响区测试试样的开缺口位置
A-5 环形平面缺陷的附加验收标准
A-6 相干涉缺陷的评估标准
A-7 厚壁管中深度缺陷的长度验收标准
A-8 表面缺陷和内部缺陷的尺寸术语
B-1 典型的焊道顺序实例
B-2 推荐工艺和焊工评定试验部件
B-3 在役焊接工艺评定试验试样的取样位置
B-4 在役焊缝的宏观试验试样
B-5 面弯试样
B-6 加固板
B-7 加固板
B-8 环形套管
B-9 环形三通管
B-10 环形套管和板
B-11 环形板
表
1. 填充金属分类
2. 焊接工艺评定试验的试样类型及数量
3. 焊工考试的对接接头试样类型及数量
4. 咬边的最大尺寸
5. 管壁厚与 ASTM E1025 规定的像质计厚度的对比
6. 管壁厚与像质计厚度的对比
7. 管壁厚与 ASTM E747 规定的线型像质计线径的对比
8. 闪光对焊焊接工艺评定试验的试样类别及数量
A-1 内部体积缺陷的验收标准
A-2 未经返修的电弧烧伤的验收标准
A-3 缺陷长度极限值
A-4 实例的许用缺陷尺寸
A-5 实例的平面缺陷尺寸验收
A-6 管线分析实例的验收结果
B-1 试验项目和试样数量

管道及相关配件的焊接

1. 概述

1.1 范围

本标准适用于使用碳钢钢管、低合金钢钢管及管件输送原油、成品油、天然气、二氧化碳和氮气等介质的长输管道、压力站管网和泵站管网的安装焊接。适用的焊接接头型式为对接接头、角接接头和搭接接头。适用的焊接方法为电弧焊、埋弧焊、钨极氩弧焊和气电焊、药芯焊丝自保护焊等离子弧焊、氧乙炔气焊、闪光对焊，焊接方式为手工焊、半自动焊、自动焊，以及上述方法相互结合的方法。

本标准规定了对管道安装焊接接头进行射线探伤、磁粉探伤、渗透探伤、超声波探伤的验收标准。

本标准使用了英寸一磅单位和国际单位制。

上述方法以外的其它方法也可考虑收录在本标准之内,希望将其他方法收入的人员至少应提出以下内容供委员会考虑:

a. 焊接方法说明
b. 基本要素
c. 焊接工艺规程
d. 焊缝检验方法
e. 焊缝缺陷的类型及建议的验收标准
f. 返修规程

凡按本标准所完成的工作都必须达到或超过本标准所提出的要求。

2. 引用标准

本标准应用以下标准、规范及规定:

API

Spec 5L 管线管规范

ASNT

RP SNT-TC-1A 无损检测资格认定

ACCP 美国无损检测中心认证标准

ASTM

E164 焊接结构的超声波探伤方法

E165 液体渗透探伤方法

E709 磁粉探伤方法

E747 设计、生产及射线探伤用的线型像质计材料组别标准

E1025 设计、生产及射线探伤用的孔型像质计材料组别标准

AWS

A3.0 焊接、术语和定义

A5.1 碳钢药皮电弧焊焊条

A5.2 铸铁和钢质气焊焊丝

A5.5 低合金纲药皮电弧焊焊条

A5.17 埋弧焊碳钢焊丝及焊剂

A5.18 气保护电弧焊碳钢填充金属

A5.20 碳纲药芯电弧焊焊丝

A5.28 气保护电弧焊低合金钢填充金属

A5.29 低合金钢药芯电弧焊焊丝

BSI

BS7448:Part2　断裂韧性试验第二部分，焊缝金属的K_{Ic} 临界CTOD及临界J积分取值方法。
NACE
MR0175　适用于油田设备的抗硫化物应力腐蚀断裂的金属材料

3.　术语

3.1　概述

本标准中所使用的焊接术语均按 AWS A3.0 的规定并按本标准中的 3.2 予以补充和修订。

3.2　定义

3.2.1　自动焊

是指借助设备进行电弧焊，全部焊接过程无须焊工对电弧或焊条进行操作，焊工只起引导作用，因此，可不要求焊工的手工技能。

3.2.2　业主

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。

3.2.3　承包商

负责本标准中所述工程任务的承包单位和施工单位。

3.2.4　尺寸缺陷

按本标准要求，不符合尺寸要求的缺陷。

3.2.5　缺陷

按本标准中的检测方法检测出的不连续或不规则的缺陷。

3.2.6　指标 通过无损检测获得的证据

3.2.7　内凹 Incomplete concave

完成的焊缝边缘已良好熔合和焊透，但焊缝表面焊道中部比管壁表面稍低，形成的凹陷即为内凹。该凹陷的尺寸定义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。

3.2.8　固定焊

焊接时，管子或管件固定不动。

3.2.9　合格焊工

按第五章或第六章的要求考核合格的焊工。

3.2.10　焊接工艺规程

用经过评定合格的焊接工艺编制的用于工程施工的一整套详细的焊接技术规定和程序。按照此规程焊接可以保证焊缝具有合格的焊接质量和合格的机械性能。

3.2.11　射线探伤人员

进行射线探伤操作的人

3.2.12　返修

对经外观检查或无损检测发现的超标缺陷进行的修补焊接。

3.2.13　旋转焊

焊接时焊接热源位置固定，并位于或接近被焊管或管件的顶部中心，被焊管或管件旋转。

3.2.14　根焊

为管与管，管与管件，及管件与管件之间焊接时的第一层焊缝。

3.2.15　半自动焊

借助设备进行电弧焊，但设备只控制填充金属的给进，焊接速度由人工控制。

3.2.16　应

强制性的要求，或推荐性的操作。

3.2.17　焊缝

管与管、管与管件或管件之间所完成的连接焊缝。

3.2.18 焊工

从事焊接操作的人员

4. 焊接的一般规定

4.1 设备

气焊和电弧焊所用设备应能满足焊接工艺要求，具有良好的工作状态和安全性。凡不符合这些要求的焊接设备应予修复或更换。

4.2 材料

4.2.1 管子和管件

本标准适用于符合下列标准的管子和管件.

a.API Spec 5L 管线钢规范

b.适用的 ASTM 标准

本标准也适用于未按照上述规范制造，但其化学成分和机械性能满足上述标准规定的材料。

4.2.2 填充金属

4.2.2.1 类型和规格

所有填充金属应符合下列任一标准:

a AWS A5.1

b AWS A5.2

c AWS A5.5

d AWS A5.17

e AWS A5.18

f AWS A5.20

g AWS A5.28

h AWS A5.29

不符合上述标准要求的填充金属，如经过焊接工艺评定合格后也可使用。

4.2.2.2 填充金属及焊剂的保管和运输

在保管和搬运时，应避免损害填充金属和焊剂及其包装，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和焊剂不应使用。

4.2.3 保护气体

4.2.3.1 类型

保护气体有惰性气体、活性气体或两者的混合气体，这些气体的干燥度和纯度。应满足焊接工艺规程的要求。

4.2.3.2 储存和运输

保护气体应存放在容器中，并远离高温环境，其它气体不应混入容器中。若对保护气体的纯度有问题，且容器中的气体出现损坏迹象者，不应该使用。

5. 焊接工艺评定

5.1 工艺评定

在焊接生产开始之前，应制定详细的焊接工艺指导书，并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的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、塑性和硬度）的完好焊接接头。

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

除了业主特别通知变更 5.4 中所列的项目外，这些焊接工艺规程应予以遵守。

5.2　记录

应对评定合格的焊接工艺的各项细节进行详细记录，并应记录焊接工艺评定试验的各项结果。记录应使用类似于图 1 和图 2 的表格进行。在该焊接工艺规程使用期间内应保存好这些记录。

5.3　工艺规程

5.3.1　概述

工艺规程应包含 5.3.2 规程说明中的适用部分。

5.3.2 规程说明

5.3.2.1　焊接方法

应指明是使用手工焊、半自动焊或自动焊，或它们的任何组合方法。

5.3.2.2　管子及管件材料

应指明工艺规程所适用的管子和管件材料范围。API Spec 5L 标准，及 ASTM 标准中的管子和管件材料可进行分组，见 5.4.2.2。

评定试验应选择该组材料中规定最小屈服强度最高的材料进行。

5.3.2.3　直径和壁厚

应确定焊接工艺规程适用的直径和壁厚范围，其分组见 6.2.2 中的 d）和 e）。

5.3.2.4　接头设计

应画出接头的简图。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。如使用背部垫板时，还须指明其形式。

5.3.2.5　填充金属和焊道数

应指明填充金属的种类和规格，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，规定使用焊条或焊丝的电弧电压和焊接电流的范围。

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)。规定每种规格焊丝适用的焊矩喷嘴的尺寸。

5.3.2.8　焊接位置

应指明是旋转焊或是固定焊。

5.3.2.9　焊接方向

应指明是上向焊或是下向焊。

5.3.2.10　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，以及完成第二焊道之后与开始其他焊道之间的最长时间间隔。

5.3.2.11　对口器的类型和拆移

应规定是否使用对口器，使用内对口器或外对口器。如果使用对口器，在拆移对口器时应规定完成根焊道长度的最小百分数。

5.3.2.12　焊道的清理及打磨

应指明清理、打磨焊道时使用的工具（电动工具，手工工具，或二者组合）。

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，以及需预热和焊后热处理的环境温度的范围。

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。

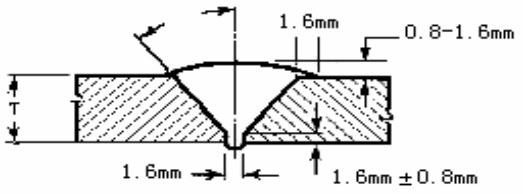
参考本标准 5.2

焊接工艺规程

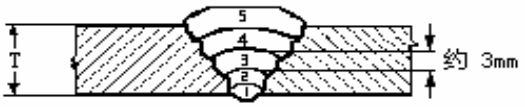
编号: _____

工程名称: _____ 业主名称: _____
焊接方法: _____
材　　料: _____
直径和壁厚: _____
接头形式: _____
填充金属和焊道层数: _____
电气或火焰特性: _____
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: _____
焊接速度: _____
混合气配比: _____ 混合气体流量: _____
喷嘴尺寸: _____
附图和附表: _____

试验: _____　　焊　　工: _____
批准: _____　　焊接主管: _____
采用: _____　　总工程师: _____



标准 V 型坡口对接接头



焊道顺序

注：尺寸仅供参考。

焊条尺寸和焊道层数

焊　道	焊条尺寸和型号	电弧电压	电流及极性	焊接速度

图 1 焊接工艺规程说明书表格形式

焊接试样试验报告

日　　期: _____　　试验编号: _____
试验地点: _____
状　　态: _____　　焊接位置: □旋转焊　□定位焊
焊工姓名:　　焊工代号: _____
焊接所需时间:　　焊接日期: _____
平均温度:　　所用风屏: _____
气候条件: _____
电弧电压: _____　　焊接电流: _____
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: _____
壁　　厚: _____　　外　　径: _____

	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							

□焊接工艺　□评定试验　□合格
□焊工考试　□工程焊口试验　□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. _____
试验单位: _____　　试验日期: _____
试验人: _____　　技术负责人: _____
注: 其他评语可写在背面。本表可用于焊接工艺评定和焊工考核试验。

图 2　试件试验报告表格格式

表 1　填充金属分类

组别	AWS 标准	焊　条	焊　剂[c]
1	A5.1 A5.5	E6010,E6011 E7010,E7011	
2	A5.5	E8010,E8011 E9010	
3	A5.1 或 A5.5 A5.5	E7015,E7016,E7018 E8015,E8016,E8018 E9018	
4[a]	A5.17	EL8 EL8K EL12 EM5K EM12K EM13K EM15K	P6XZ F6X0 F6X2 F7XZ F7X0 F7X2
5[b]	A5.18 A5.18 A5.28 A5.28	ER70S-2 ER70S-6 ER80S-D2 ER90S-G	
6	A5.2	RG60,RG65	
7	A5.20	E61T-GS[d] E71T-GS[d]	
8	A5.29	E71T8-K6	
9	A5.29	E91T8-G	

注：其他型号的焊条、填充金属和焊剂也可以使用，但需要进行单独的焊接工艺评定。

a 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-EL12 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。

b 在 5 组中的焊丝应使用保护气体（见 5.4.2.10）。

c 当焊接或焊后热处理时，焊剂牌号中的 X 可以为 A 或 P。

d 仅用于根焊焊接

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（m/min）

5.4　焊接工艺规程的变更

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

焊接工艺规程中管材组别的变更（见 5.3.2.1）。

5.4.2.2　管材

焊接工艺规程中管材组别的变更。

当被焊管材分属于两个不同组别时，工艺规程的制定应服从于强度级别较高的材料。

本标准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 290MPa;

b) 规定最小屈服强度高于 290MPa，但小于 448MPa;

c) 对最小屈服强度为 448MPa 或高于此值的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验。

注：5.4.2.2 中的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或填充材料，还应考虑管材和填充金属在冶金特性、力学性能以及对预热和焊后热处理的要求的不同。

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)。坡口角度或钝边的变更不属于基本要素。

5.4.2.4 焊接位置

由旋转焊变为固定焊，或反之。

5.4.2.5 壁厚

从一个壁厚分组到另一个壁厚分组的变更。

5.4.2.6 填充金属

填充金属的下列变更:

a) 从一组填充金属变为另一组填充金属(见表 1);

b) 对于规定最小屈服强度大于或等于 448Mpa 的管材（见 5.4.2.2），变更其填充金属 AWS 型号。

在 5.4.2.2 中规定的分组内，可按填充金属分组范围变更填充金属，但应从力学性能的角度保持母材和填充金属的一致性。

5.4.2.7 电特性

直流焊时焊条（焊丝）接正变更为接负，或反之；将直流变更为交流，或反之。

5.4.2.8 焊道之间时间间隔

完成根焊道之后开始第二焊道之间的最大时间间隔的增加。

5.4.2.9 焊接方向

从下向焊改为上向焊，或反之。

5.4.2.10 保护气体和流量

一种保护气体换成另一种保护气体，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小。

5.4.2.11 保护焊剂

保护焊剂的变更，参照表 1 脚注 a。

5.4.2.12 焊接速度

焊接速度范围的变更。

5.4.2.13 预热

降低焊接工艺规程中的最低预热温度。

5.4.2.14 焊后热处理

增加焊后热处理，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

将两个管段按照焊接工艺指导书规定的要求组对和焊接。

5.6 焊接接头的试验—对接焊

5.6.1 准备

试样取样应按图 3 指定的位置进行（参见 13 闪光对焊工艺评定试验）。试样的最少数量及试验项目见表 2，试样应按照图 4、图 5、图 6 或图 7 的要求准备。对于直径小于 60.3mm 的管子，应焊接两个试验焊口以满足所需的试样数量。试样的试验应在试样空冷至室温后进行。对于直径小于或等于 33.4mm 的管子，可用一个完整管段（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。全尺寸试样的试验应按照 5.6.2.2 规定进行，且应符合 5.6.2.3 的要求。

表 2　焊接工艺评定试验的试样类型及数量

钢管外径		试样数量					
英寸	毫米	拉伸试验	刻槽锤断试验	背弯试验	面弯试验	侧弯试验	总数
		壁厚≤0.500in.(12.7mm)					
<2.375	<60.3	0[b]	2	2	0	0	4[a]
2.375-4.500	60.3-114.3	0[b]	2	2	0	0	4
>4.500-12.750	114.3-323.9	2	2	2	2	0	8
>12.750	>323.9	4	4	4	4	0	16
		壁厚≥0.500in.(12.7mm)					
≤4.500	≤114.3	0[b]	2	0	0	2	4
>4.500-12.750	>114.3-323.9	2	2	0	0	4	8
>12.750	>323.9	4	4	0	0	8	16
a 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；对于外径等于或小于 33.4mm 的管子，应做一个全尺寸试样的拉伸试验。 b 对于标准最小屈服强度大于 290Mpa 的母材应至少做一个拉伸试验。							

5.6.2　拉伸试验

5.6.2.1　准备

拉伸试样（如图 4 所示）约 230mm 长，25mm 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，试样不要求进行其他加工。如有需要，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。使用的拉伸机应能测量出拉伸试验时的最大载荷。以拉伸试验时的最大载荷除以试样在拉伸前测定的最小截面积，就可计算出抗拉强度。

5.6.2.3　要求

每个试样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。

如果试样断在母材上，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。

如果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时，且断面缺陷符合 5.6.3.3 的要求，则该试样合格。

如果试验是在低于管材规定的最小抗拉强度下断裂，则该焊口不合格，应重新试验。

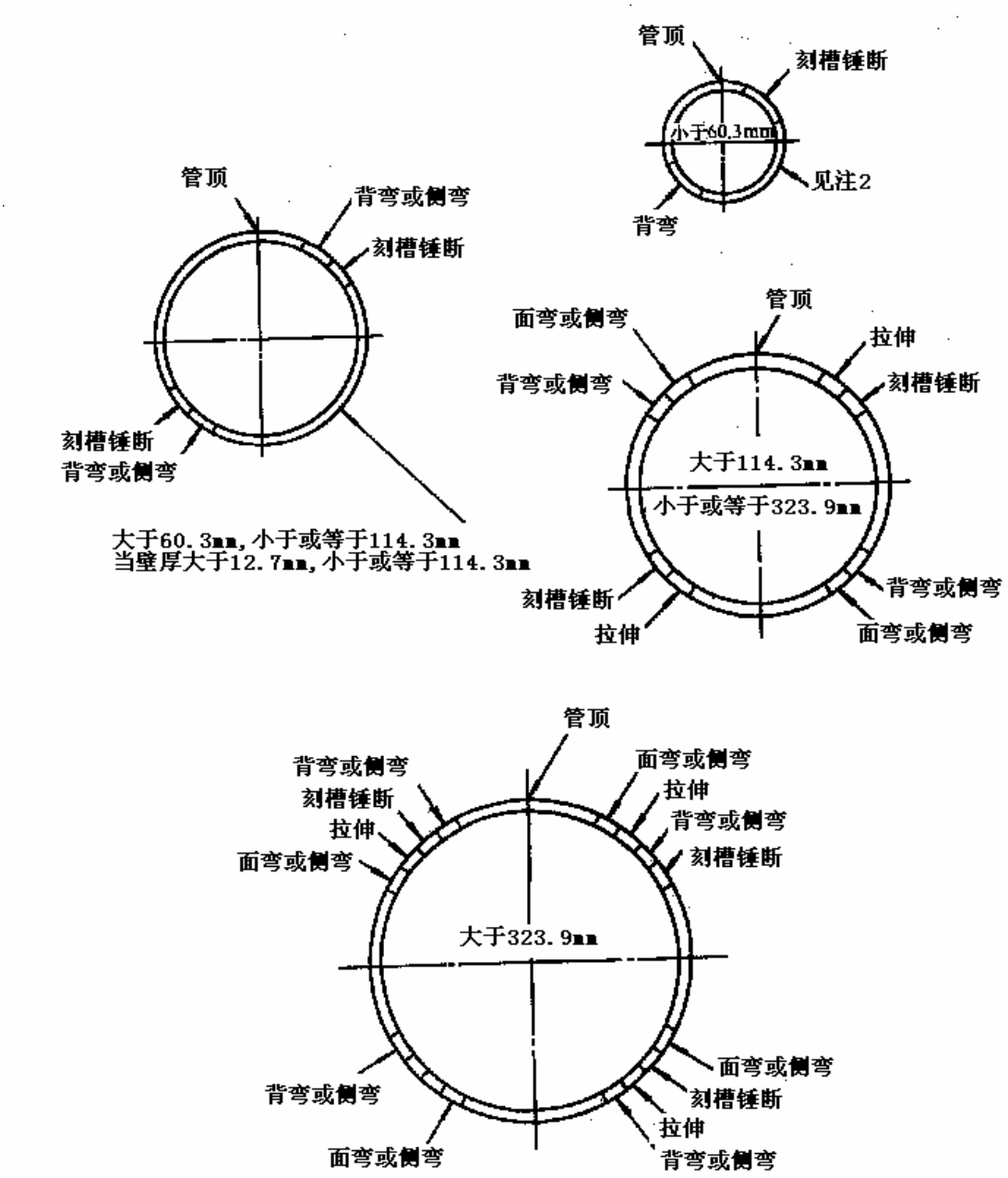
5.6.3　刻槽锤断试验

5.6.3.1　准备

刻槽锤断试样（如图 5 所示）约 230mm 长，25mm 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 3mm。

用此方法准备的某些自动焊或半自动焊（有时也包括手工焊）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，但是深度从焊缝表面算起不得超过 1.6mm。

如果业主要求的话，可以对用半自动焊或自动焊方法进行工艺评定的刻槽锤断试样在刻槽前先进行宏观腐蚀检查。



注：
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. 对于直径小于或等于33.4mm的管子，可用全尺寸拉伸试件。

图 3　对接接头焊接工艺评定试验的试样位置

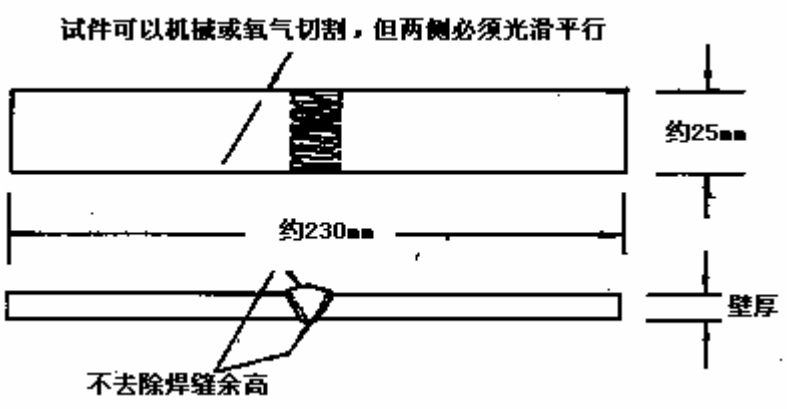


图 4　拉伸试样

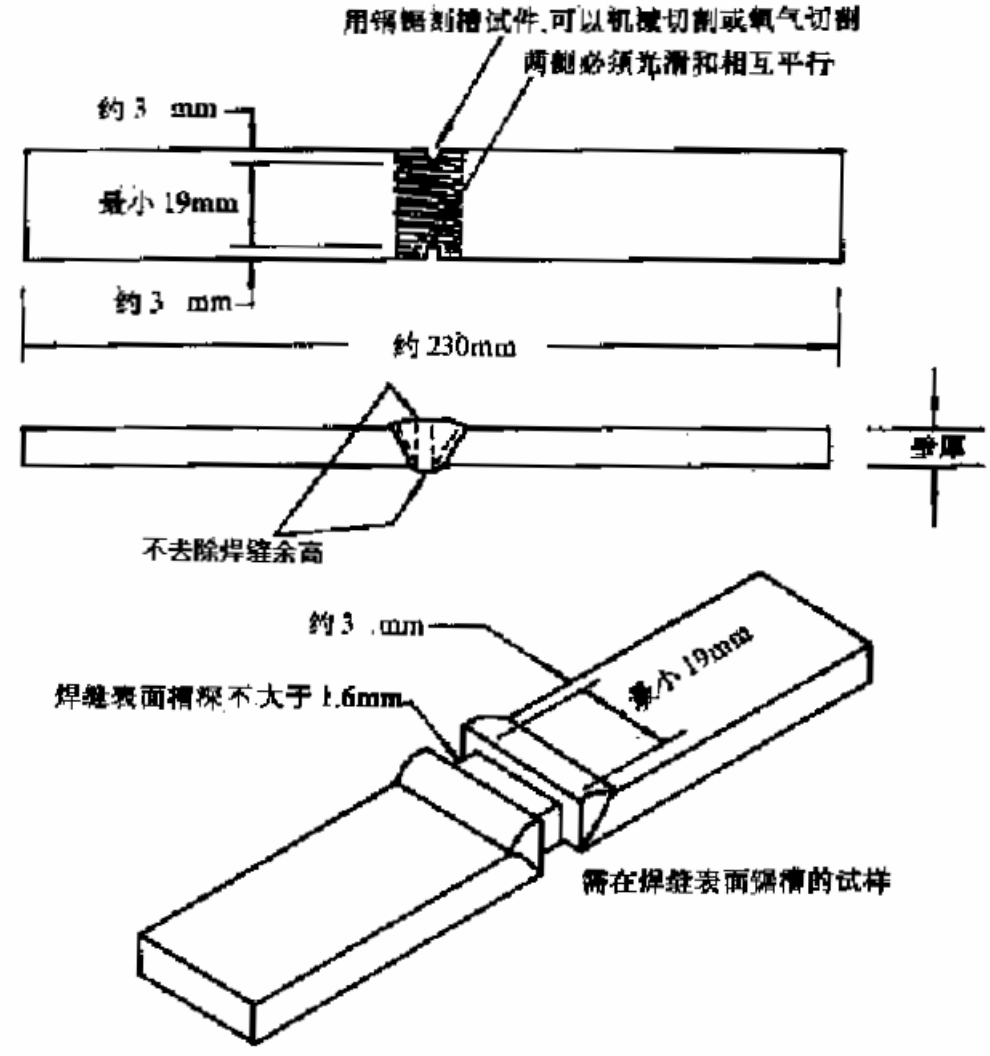


图 5　刻槽锤断试样

5.6.3.2　方法

刻槽锤断试样可在拉伸机上拉断；或支撑两端，打击中部锤断；或支撑一端，打击另一端锤断。焊缝断裂的暴露面应至少为 19mm 宽。

5.6.2.3　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 1.6mm，且所有气孔的累计面积应不大于断裂面积的 2%。夹渣深度应小于 0.8mm，长度应不大于钢管公称壁厚的 1/2，且小于 3.2mm。相邻夹渣间至少应相距 13mm。测量方法如图 8 所示。白点（参见 AWS A3.0 中的定义）不做为不合格的原因。

5.6.4　背弯和面弯试验

5.6.4.1　准备

背弯和面弯试验试样约 230mm 长，25mm 宽，且其长边缘应磨成圆角（如图 6 所示）。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，加工痕迹应轻微并垂直于焊缝轴线。

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 9 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。

5.6.4.3　要求

弯曲后，试样拉伸弯曲表面上的焊缝和熔合线区域所发现的任何方向上的任一裂纹或其他缺陷尺寸应不大于钢管公称壁厚的 1/2，且不大于 3mm。除非发现其他缺陷，由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上应不大于 6mm。弯曲试验中每个试件均应满足评定要求。

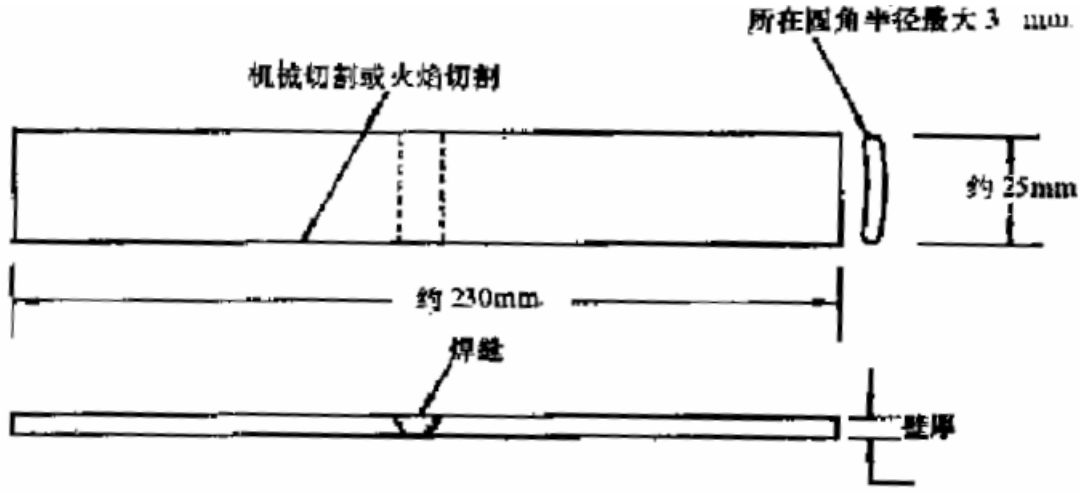


图 6　背弯和面弯试样（壁厚小于或等于 12.7mm）

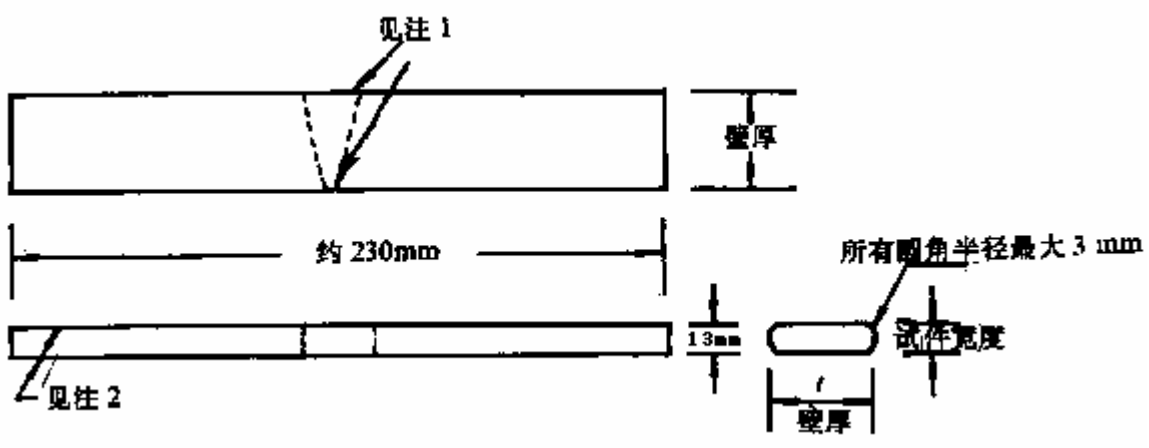
5.6.5　侧弯试验

5.6.5.1　准备

侧弯试样约 230mm 长，13mm 宽，且其长边缘应磨成圆角（如图 7 所示）。试样可先通过机械切割或氧气切割的方法制成宽度约 19mm 的粗样，然后用机加工或磨削制成 13mm 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

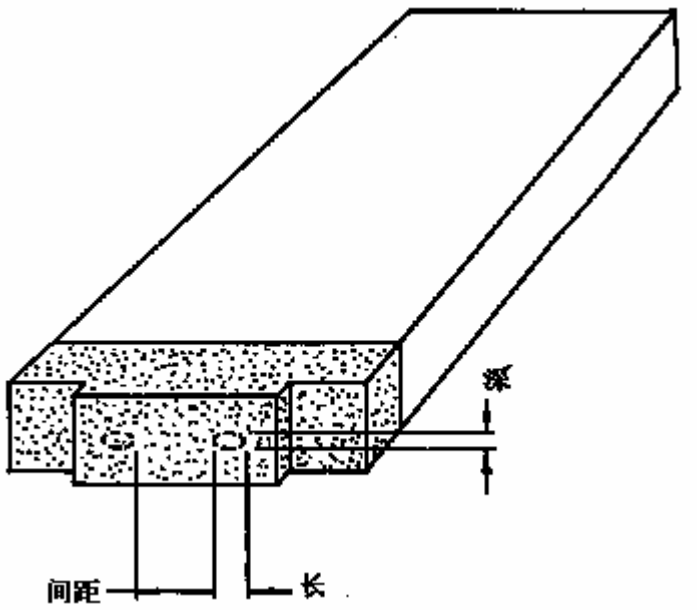
侧弯试样应在类似于图 9 所示的导向弯曲试验模具上弯曲。将试样以焊缝为中心放置在下模上,焊缝表面与模具成 90°。施给上模压力，将试样压入下模内，直到试样弯曲成近似 U形。



注：1.焊缝内外表面的余高应去除至与试样表面平齐。

2.试样应机加工 13mm 宽，或氧乙炔焰切割约 19mm 宽，然后再机加工或平滑打磨至 13mm 宽。切割表面应光滑和平行。

图 7　侧弯试样（壁厚>13mm）



注：图示为刻槽锤断试样断面；该测量方法同样适用于拉伸和角焊缝试样。

图 8　缺陷尺寸的测量

5.6.5.3　要求

每个侧弯试样应符合 5.6.4.3 的规定。

5.7　试验管接头的焊接—角焊

按照焊接工艺指导书中焊接图(如图 10 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　准备

试样取样应按图 10 指定的位置进行。试样应至少 4 件，并按图 11 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 25mm 宽，并有足够的长度使之能在焊缝

处断裂。对于直径小于 60.3mm 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。

5.8.2 方法

可用任何一种适当的方法使角焊缝试样在焊缝处断裂。

5.8.3 要求

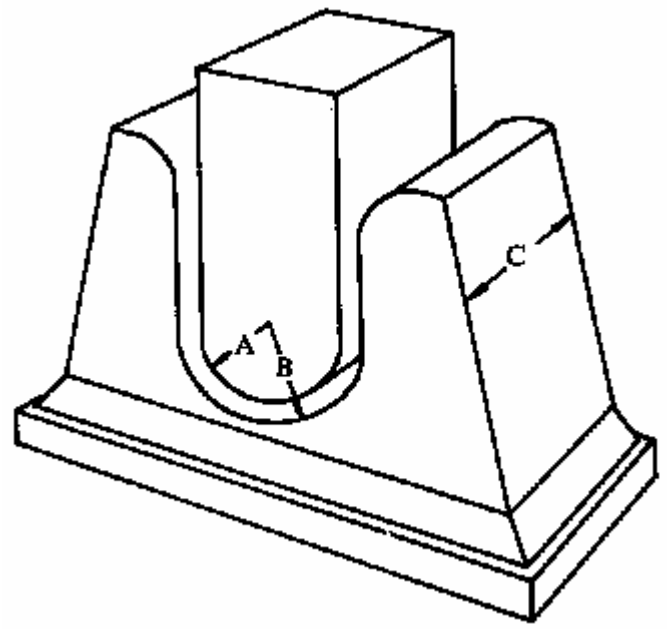
每个角焊试样的断裂表面应完全焊透和熔合，且满足以下要求:

a) 最大气孔尺寸不得超过 1.6mm;

b) 所有气孔的累计面积不大于断裂面积的 2%;

c) 夹渣深度不大于 0.8mm，长度不大于钢管公称壁厚的 1/2，且不大于 3mm;

d) 相邻夹渣之间应至少相距 12mm，测量方法如图 8 所示。



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

图 9 导向弯曲试验胎具

6 焊工资格

6.1 概述

焊工资格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对接或角接管焊缝。

在进行管道安装焊接之前，应按照 6.2 或 6.3 中的规定，对焊工进行资格考试。若焊接工艺评定是按 6.5 的规定进行取样、试验，并满足 5.6 的验收规范，则焊接试验管焊缝的焊工自然具有该焊接工艺规程的相应焊接资格。

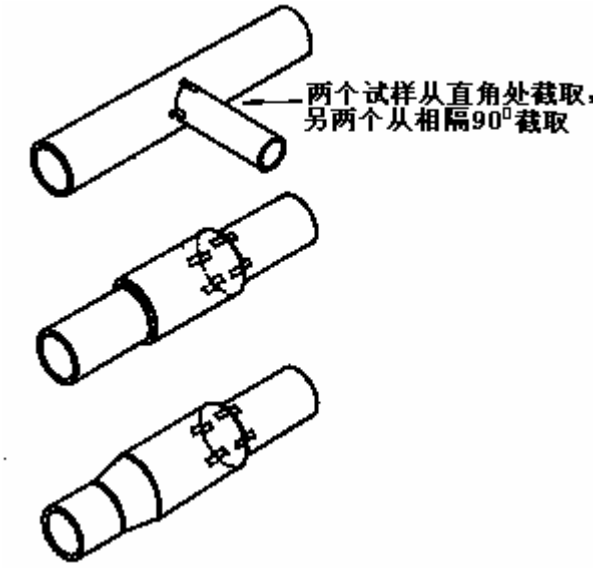
在资格考试前，应给焊工一定的时间熟悉和调整考试用焊接设备。

焊工在资格考试时应使用和管道安装焊接时相同的焊接技术和焊接速度。

焊工资格的考试工作应在业主代表在场的情况下进行。

焊工应按照 6.2.1 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，应将其支撑在具有典型的平焊、立焊和仰焊的位置。

焊工资格考试的基本要素与焊接工艺评定的基本要素不同。焊工资格考试的基本要素见 6.2.2 和 6.3.2。



注：图中显示的试样位置适用于直径大于或等于 60.3mm 的接头；对于直径小于 60.3mm 的接头，试件应从大致相同的位置截取，但应从两个试验焊口上各截取两个试样

图 10　角焊焊接工艺评定及焊工资格考试刻槽锤断试样的位置

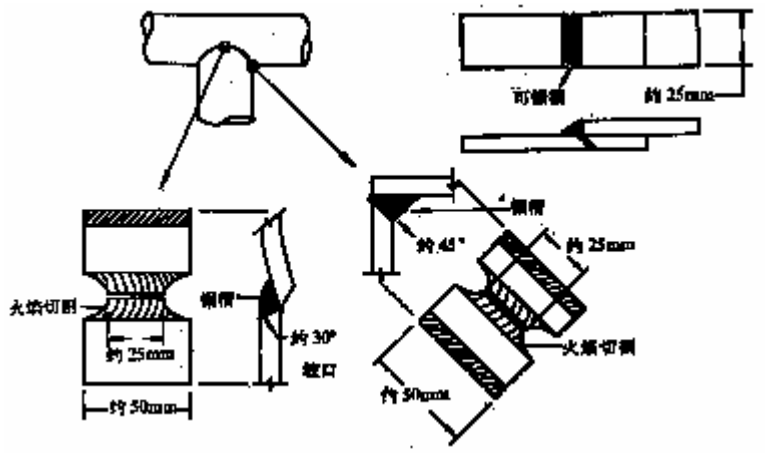


图 11　角焊焊接工艺评定及焊工资格考试（包括支管联接焊工资格考试）的刻槽锤断试样的位置

6.2　单项资格

6.2.1　概述

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做为考试焊口。

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，或垂直于水平线，或是倾斜于水平线约 45°。

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，应按照专用的焊接工艺规程进行。

当使用的焊接工艺规程有6.2.2中所述的基本要素变更时,应重新对焊工资格进行考试。

若考试焊口经检验和试验符合 6.4 和 6.5 或 6.6 的要求，则应给焊工颁发相应的单项资格证。

6.2.2 资格范围

除了焊接工艺规程有以下基本要素的变更外，按照 6.2.1 的规定取得资格的焊工可以进行规定范围的焊接工作。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，如:
   ①由一种焊接方法变更为另一种不同的焊接方法;
   ②改变焊接方法组合。若焊工具有该组合工艺中各项焊接方法的资格证，则无需重新进行资格考试。
b) 焊接方向由上向焊变为下向焊，或反之;
c) 填充金属组别从 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:
   ①外径小于 60.3mm;
   ②外径从 60.3mm 至 323.9mm;
   ③外径大于 323.9mm。
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:
   ①公称管壁厚小于 4.8mm;
   ②公称管壁厚从 4.8mm 至 19.1mm;
   ③公称管壁厚大于 19.1mm。
f) 焊接位置的变更（如从旋转焊变为固定焊，或从立焊位置变为平焊位置，或反之）。若焊工已取得倾斜 45°固定管对接焊资格,则可进行任意位置对接焊和角焊的焊接操作。
g) 接头设计的变更（如去除垫板，或由 V 型坡口变为 U 型坡口）。

6.3 全项资格

6.3.1 概述

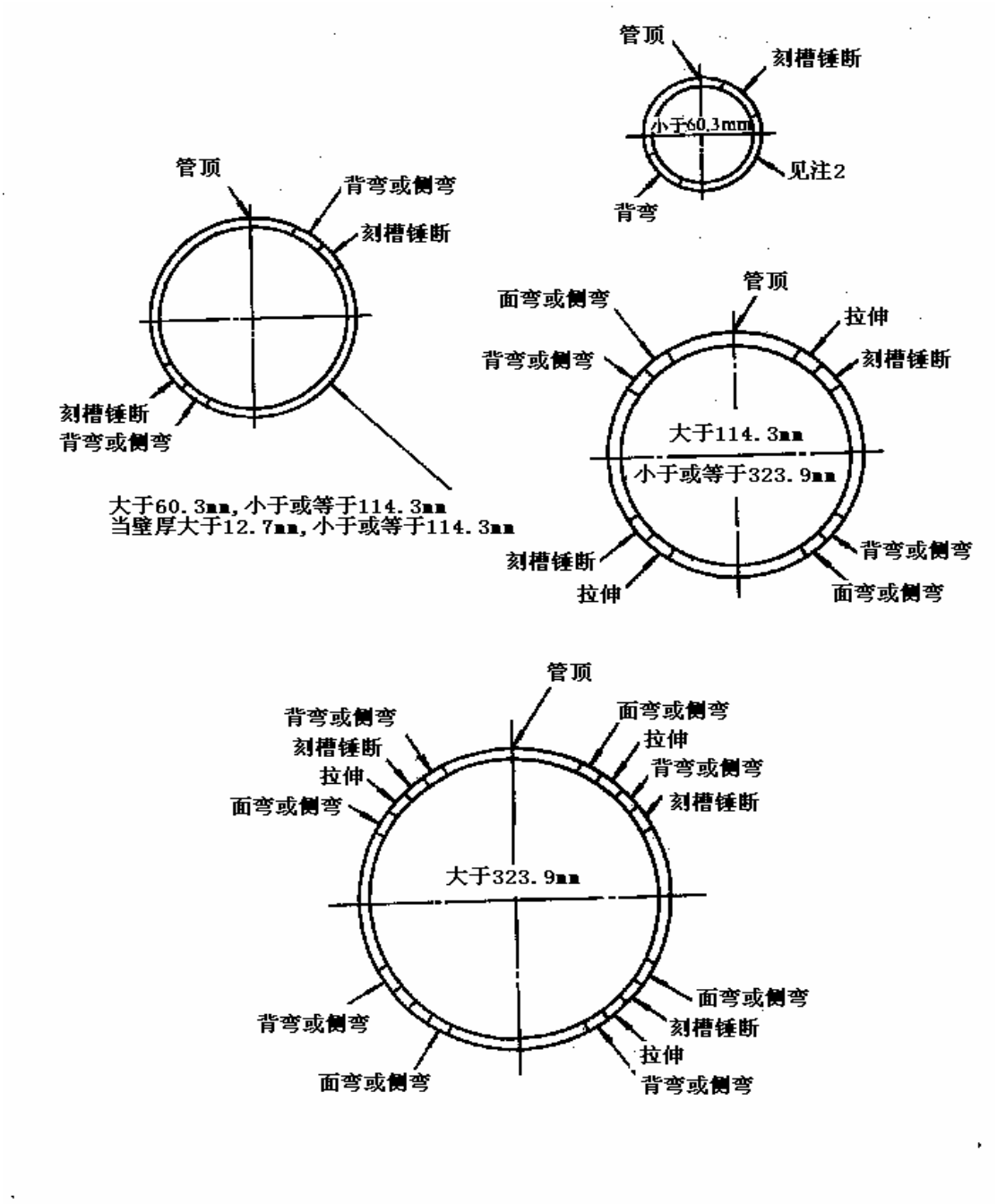
取全项资格时，焊工应使用批准的焊接工艺规程进行下述两项考试:

第一，固定焊接位置对接焊。管位置可以是水平固定，或是与水平线夹角不超过 45°的倾斜固定。管外径应不小于 168.3mm，钢管公称壁厚不小于 6.4mm，无背部垫板。考试焊口经检验和试验应符合 6.4 和 6.5 或 6.6 的要求。考试焊口的试样应从图 12 所示的位置上取样，或不考虑管顶位置按图 12 所示的顺序在相对位置上取样，或是在环焊缝上间隔等距离取样。对于各种直径的管子，相邻试样试验类型的顺序应与图 12 中所示的顺序相同。

第二，支管联接。考试的焊工应完成支管联接所需的画线、切割、组对和焊接工作。考试用管的外径应不小于 168.3mm，钢管公称壁厚应不小于 6.4mm。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。

在整个圆周上，焊缝应完全焊透。根焊道不得有任何超过 6mm 的烧穿。在焊缝任何 300mm 的连续长度中，未经修补的烧穿，其累计长度应不超过 13mm。

按照图 10 所示的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。



注：

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。试件不能包含有纵向焊缝。

2. 对于直径小于或等于 33.4mm 的管子，可用全尺寸拉伸试件。

图 12　对接焊焊工资格考试试验的试样位置

6.3.2　资格范围

如果焊工已按 6.3.1 中所述的方法通过两项考试，且考试用管的外径大于或等于 323.9mm，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、接头型式和管件的焊口。

如果焊工已按 6.3.1 中所述的方法通过两项考试，且考试用管的外径小于 323.9mm，则

该焊工取得全项资格，可以焊接所有焊接位置、管壁厚、接头型式和管件的焊口，管外径应小于或等于其考试用管的外径。

如果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)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，如:

①由一种焊接方法变更为另一种不同的焊接方法;

②改变焊接方法组合。若焊工具有该组合工艺中各项焊接方法的资格证，则无需重新进行资格考试。

b)焊接方向由上向焊变为下向焊，或反之;

c)填充金属组别从 1 组或 2 组变为 3 组，或从 3 组变为 1 组或 2 组（见表 1)。

6.4 外观检查

考试焊口的焊缝应进行外观检查。焊缝外观应整齐、均匀，无裂纹、未焊透和烧穿。盖面焊道的外咬边深度应不大于管壁厚的 12.5%，且不超过 0.8mm。在焊缝任何 300mm 的连续长度中，累计咬边长度应不大于 50mm。

采用自动焊或半自动焊时，穿丝现象应尽量减少。

如果考试焊口不符合本节要求，则该焊口不再做其他的试验和检验。

表 3 焊工考试的对接接头试样类型及数量

钢管外径		试样数量					
英寸	毫米	拉伸试验	刻槽锤断试验	背弯试验	面弯试验	侧弯试验	总数
		壁厚≤0.500in.(12.7mm)					
<2.375	<60.3	0	2	2	0	0	4
2.375-4.500	60.3-114.3	0	2	2	0	0	4
>4.500-12.750	114.3-323.9	2	2	2	0	0	6
>12.750	>323.9	4	4	2	2	0	12
		壁厚≥0.500in.(12.7mm)					
≤4.500	≤114.3	0	2	0	0	2	4
>4.500-12.750	>114.3-323.9	2	2	0	0	2	6
>12.750	>323.9	4	4	0	0	4	12

a 对于外径等于或小于 33.4mm 的管子，应焊接两个试验焊缝以制取试样，或做一个全尺寸试样的拉伸试验。

6.5 破坏性试验

6.5.1 对接焊试样

当考试焊口是完整接头时，应按照图 12 中所示的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。

当考试用管外径小于或等于 33.4mm 时，可以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。拉伸试验应按照 5.6.2.2 的要求进行，并符合 5.5.3 的要求。

6.5.2 对接焊的拉伸、刻槽锤断和弯曲试验

拉伸试样、刻槽锤断试样及弯曲试样的准备及试验应按 5.6 的规定进行。对于焊工资格考核而言，没有必要计算出抗拉强度。用于拉伸试验的试样可改作刻槽锤断试验。

6.5.3 对接焊拉伸试验验收要求

如果有拉伸试样或全尺寸管试样的拉伸断口在焊缝处或熔合线处，且不满足 5.6.3.3 的要求，则该焊工不合格。

6.5.4 对接焊的刻槽锤断试验验收要求

如果任一刻槽锤断试样断口的缺陷不符合 5.6.3.3 的要求，则该焊工不合格。

6.5.5 对接焊的弯曲试验验收要求

如果任一弯曲试样拉伸弯曲面的缺陷不符合 5.6.4.3 或 5.6.5.3 的要求,则该焊工不合格。

对高强钢管焊口的弯曲试样允许不弯曲到完全的 U 型。如果试样从裂纹处断裂，且其断面符合 5.6.3.3 的要求，则该试样合格。

如果只有一个弯曲试样因未焊透引起不合格，且业主同意该试样中的未焊透不是该焊口焊缝的典型缺陷，允许在紧靠该试样的地方再取一个替换试样试验，如果替换试样仍不合格，则该焊工不合格。

6.5.6 角焊缝试样

应从每个考试焊口上取样。

当考试焊口是一个完整的管接头时,应按照图 10 所示位置取样; 如果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。

6.5.7 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。

6.6 射线探伤—只用于对接焊

6.6.1 概述

按业主的选择，在对接管资格考试时，可以用射线探伤代替 6.5 中规定的试验。

6.6.2 探伤要求

应对每个焊工的全部考试焊口进行射线探伤，如果任何一段焊缝不符合 9.3 的要求，则该焊工不合格。

用破坏性试验考试焊工时，不得用射线探伤挑选取样位置。

6.7 补考

如果不合格的原因是焊工不能控制的条件或环境所造成的，经业主和承包者代表同意，可给该焊工一次补考机会。

其他不合格的焊工在未经业主认可的培训前，不允许补考。

6.8 记录

应使用类似于图 2 所示的表格（该表格可进行修改以适合不同业主的要求，但其记录内容应满足本标准对焊工考试的要求），将每个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。如果对某个合格焊工的能力有疑问时，可要求他重新进行资格考试。

7 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、油脂和其他影响焊接质量的物质。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

应尽量减小管口组对后的错边量。组对同一公称壁厚的管口时，其错边量应不大于 3mm。如果由于尺寸偏差造成一个较大的集中错边，应沿管口圆周均匀地将其分布。应尽量少用锤击法校正错口。

7.3 对接焊管口组对时对口器的使用

按照焊接工艺规程的要求，应使用对口器进行对接焊。当允许在根焊道焊完前撤离对口器时，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。如果撤离内对口器时，完焊的部分焊道难以制止管子位移或受力过大，则应在卸去内对口器的张力前，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，焊道累计长度不少于管周长的 50%，焊道间距近似相等。

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。经业主同意，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（但不仅限于）大气潮湿、风沙或大风。如有条件，可使用防风棚焊接。业主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大于 400mm。当在沟下焊接时，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。

采用自动焊或半自动焊时，焊接下一焊道前，应用砂轮磨除已完成焊道表面的密集气孔、引弧点高凸处。当业主有要求时，施焊前应清除焊道间的熔渣。

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

填充足够的焊层，经盖面焊后，完成焊缝的横断面应在整个焊口上均匀一致。焊缝表面任何一点不低于管外表面。焊缝余高应不大于 1.6mm。

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 3.2mm。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

按照业主的选择，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

填充足够的焊层，经盖面焊后，完成焊缝的横断面应在整个焊口上均匀一致。焊缝表面任何一点应不低于管外表面。焊缝余高应不大于 1.6mm。

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 3.2mm。应在旋转管子管顶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 标记

每个焊工应在自己完成的焊口上按业主规定的方法标记。

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 焊缝的检查与试验

8.1 检验权限

业主有权对全部焊缝进行无损检测或对焊缝进行力学性能试验。检验可以在焊口焊接中或焊完后进行。检验的比例按业主的规定执行。

8.2　检验方法

无损检测包括射线探伤或业主规定的其他检测方法。使用的检测方法应能查出焊缝缺陷，并便于对缺陷进行准确定性和定量。对焊缝质量的评定可按第 9 章，也可按业主的规定或按本标准附录 A 的要求进行。当按附录 A 进行时,需进行更多的检验以确定缺陷尺寸。

力学性能试验包括截取一个完整焊口、在该焊口上切取试样和对试样进行检验。试样的准备应符合 6.5 的要求。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或焊工组，可取消其焊接资格。

业主可以要求无损检测人员现场操作，以检验其使用检测规程的准确性，以及对设备所显示缺陷进行正确解释的能力。

不准采用穿孔试验法。

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。他们的资格应被业主认可。

业主应保存用于资格审定的文件，其应至少包括:

a）学历和检测经历;

b）培训情况;

c）资格考试的成绩和结论。

8.4　无损检测人员的资格证书

8.4.1　规定

无损检测人员应按照美国无损检测学会规定的方法考取所使用检测方法的Ⅰ，Ⅱ或Ⅲ级资格证书。对持有 No.SNT-TC-1A，ACCP 或其他有资格国家组织考取的所使用检验方法的资格证书，建议业主认同。只有 II 级或 III 级检验员有权评定检测结果。

8.4.2　记录

业主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、签证人和签证日期。如果业主对持证人员的能力有疑问，可要求其重新取证。Ⅰ级和Ⅱ级无损检测人员应至少每三年复验一次；Ⅲ级无损检测人员应至少每五年复验一次。

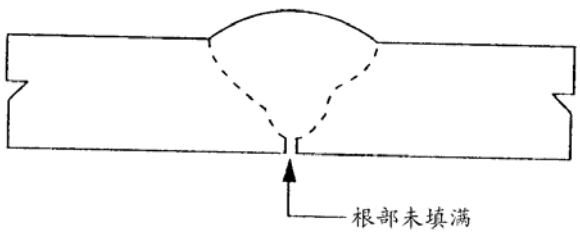
9　无损检测验收标准

9.1　概述

本章验收标准适用于射线探伤、磁粉探伤、渗透探伤和超声波探伤等检测方法发现的缺陷。本标准也可用于外观检查。不得使用无损检测方法选择焊缝进行 8.1 要求的力学性能试验。

9.2　验收权

任何无损检测均有一定的局限性。如果业主认为某一缺陷位置及深度可能对接头性能有害，可以拒绝验收，尽管该缺陷符合本验收标准。



注：在根部的一边未填满或两边未填满。

图 13　根部未焊透

9.3　射线探伤

注：9.3.1 至 9.3.13 的黑度是指射线照相底片（负片）的黑度。

9.3.1 根部未焊透

根部未焊透（IP）是指不是因错边引起的未焊透，如图 13 所示。

当根部未焊透符合下列任一条件时，则应视为超标缺陷:

a）单个长度超过 1 英寸（25mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，其累计长度超过 1 英寸（25mm）;

c）当焊缝长度小于 12 英寸（300mm）时，其累计长度超过焊缝长度的 8％。

9.3.2 错边未焊透

错边未焊透（IPD）是指由于错口引起的单边根部未焊透，如图 14 所示。

当错边未焊透符合下列任一条件时，则应视为超标缺陷:

a）单个长度超过 2 英寸（50mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，其累计长度超过 3 英寸（75mm）。

9.3.3 中间未焊透

中间未焊透（ICP）是指内焊第一层和外焊第一层焊道之间的未焊透，如图 15 所示。

当中间未焊透符合下列任一条件时，则应视为超标缺陷:

a）单个长度超过 2 英寸（50mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，其累计长度超过 2 英寸（50mm）

9.3.4 表面未熔合

表面未熔合（IF）是指焊缝与母材之间未能完全熔化结合且延续到表面，如图 16 所示。

当表面未熔合符合下列任一条件时，则应视为超标缺陷:

a）单个长度超过 1 英寸（25mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，其累计长度超过 1 英寸（25mm）;

c）当焊缝长度小于 12 英寸（300mm）时，其累计长度超过焊缝长度的 8％。

9.3.5 夹层未熔合

夹层未熔合（IFD）是指焊道之间或焊缝与母材之间未能完全熔化结合，但不延续到表面，如图 17 所示。

当夹层未熔合符合下列任一条件时，则应视为超标缺陷:

1）单个长度超过 2 英寸（50mm）;

2）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，其累计长度超过 2 英寸（50mm）;

3）其累计长度超过焊缝长度的 8％。

9.3.6 根部内凹

根部内凹（IC）的定义见 3.2.7，如图 18 所示。

当根部内凹处的射线底片黑度不超过相邻最薄母材的射线底片黑度时，任何长度均允许。当根部内凹处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度时，按烧穿（见 9.3.7）标准验收。

9.3.7 烧穿

9.3.7.1 烧穿（BT）是指部分根焊道被熔穿。

9.3.7.2 当管外径大于或等于 2.375 英寸（60.3mm）时，如果烧穿符合下列任一条，则应视为超标缺陷:

a）烧穿处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过 1/4 英寸（6mm）;

b）烧穿处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最长度超过较薄母材的公称壁厚;

c）在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中（当焊缝长度小于 12 英寸（300mm）

时，取全部焊缝长度），射线底片黑度大于相邻较薄母材射线底片黑度的烧穿的最大长度的累计超过 1/2 英寸（13mm）。

9.3.7.3　当管外径小于 2.375 英寸（60.3mm）时，如果烧穿符合下列任一条，则应视为超标缺陷：

a）烧穿处的射线底片黑度大于相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过 1/4 英寸（6mm）；

b）烧穿处的射线底片黑度大于相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过较薄母材的公称壁厚；

c）射线底片黑度大于相邻较薄母材射线底片黑度的烧穿多于一处。

9.3.8　夹渣

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。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。在评片时，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 2.375 英寸（60.3mm）时，如果夹渣符合下列任一条，则应视为超标缺陷：

a）单个细长夹渣（ESI）长度超过 2 英寸（50mm）；

注：间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣（车轨线），且其任一条宽度不大于 1/32 英寸（0.8mm），应按一个夹渣计算。当有一条宽度超过 0.8mm 时，则应分别计算。

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，细长夹渣（ESI）的累计长度超过 2 英寸（50mm）；

c）细长夹渣（ESI）的宽度超过 1/16 英寸（1.6mm）；

d）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，独立夹渣（ISI）的累计长度超过 1/2 英寸（13mm）；

e）独立夹渣（ISI）的宽度超过 1/8 英寸（3mm）；

f）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，最大宽度为 1/8 英寸（3mm）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 2.375 英寸（60.3mm）时，如果夹渣符合下列任一条，则应视为超标缺陷：

a）单个细长夹渣（ESI）长度超过相邻较薄管公称壁厚的三倍；

注：间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣，且其任一条宽度不大于 1/32 英寸（0.8mm），应按一个夹渣计算。当有一条宽度超过 0.8mm 时，则应分别计算。

b）细长夹渣（ESI）的宽度超过 1/16 英寸（1.6mm）；

c）宽度超过相邻较薄管公称壁厚一半的独立夹渣（ISI）的累计长度超过相邻较薄管公称壁厚的二倍；

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　气孔是焊缝金属凝固时残留在其中的气体形成的孔穴。气孔通常为球形，也有链状或不规则形状，如管状（条虫状）气孔。当测量射线探伤底片上气孔的尺寸时，缺陷的最大尺寸应符合 9.3.9.2 至 9.3.9.4 的规定。

9.3.9.2　单个或分散气孔（P）

单个或分散气孔符合以下任一条时，则应视为超标缺陷：

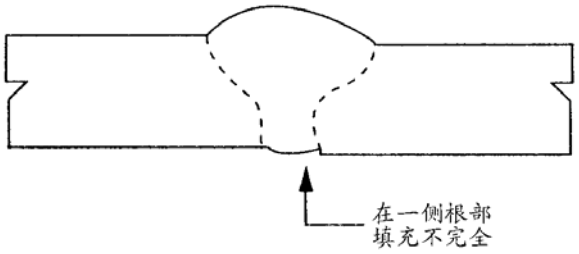


图 14　错边未焊透

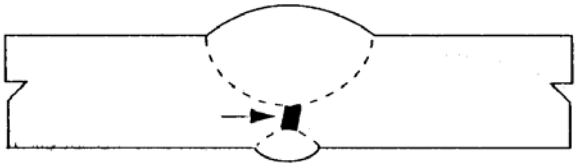


图 15　中间未焊透

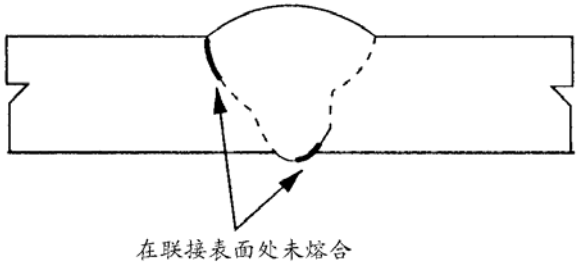


图 16　表面未熔合

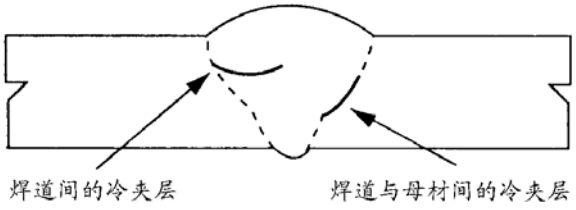


图 17　夹层未熔合

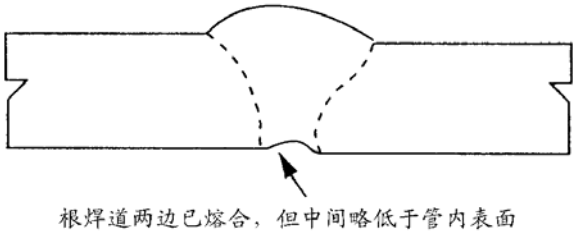


图 18　根部内凹

a）单个气孔的最大尺寸超过 1/8 英寸（3mm）;

b）单个气孔的尺寸超过相邻较薄管公称壁厚的 25％;

c）分散气孔的分布超过图 19 或图 20 允许的分布。

9.3.9.3　密集气孔

在非盖面焊道上存在的密气孔（CP）应符合 9.3.9.2 的要求。

盖面焊中的密集气孔符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）密集气孔分布区域的长径超过 1/2 英寸（13mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中，密集气孔分布区域长径的累计长度超过 1/2 英寸（13mm）;

c）密集气孔中任一个气孔的尺寸超过 1/16 英寸（2mm）;

9.3.9.4　空心焊道

空心焊道（HB）是指在根部焊道中发生的线形气孔。当其符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）单个长度超过 1/2 英寸（13mm）;

b）在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，累计长度超过 2 英寸（50mm）;

c）长度大于 1/4 英寸（6mm）的单个空心焊道（HB）之间，完好焊缝金属长度小于 2 英寸（50mm）;

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

当裂纹（C）符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）除弧坑裂纹以外的任何裂纹;

b）弧坑裂纹的长度超过 5/32 英寸（4mm）;

注：弧坑裂纹是焊道收弧时因焊缝金属收缩凝固引起的。

9.3.11　咬边

咬边是在焊趾或焊根母材处，烧熔形成的凹陷或沟槽。当外咬边（EU）或内咬边（IU）符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，任意组合的外咬边（EU）和内咬边（IU）的累计长度超过 2 英寸（50mm）;

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。

注：当用机械仪表测量检查外观时，咬边的验收标准见 9.7。

9.3.12　缺陷累计

除了咬边和错边未焊透外，当累计缺陷符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，累计缺陷长度超过 2 英寸（50mm）;

b）累计缺陷长度超过焊缝长度的 8％。

9.3.13　管子或管件缺陷

射线探伤时，如在管子或管件上发现缺陷，应向业主报告。对它们的处理应按业主的规定进行。

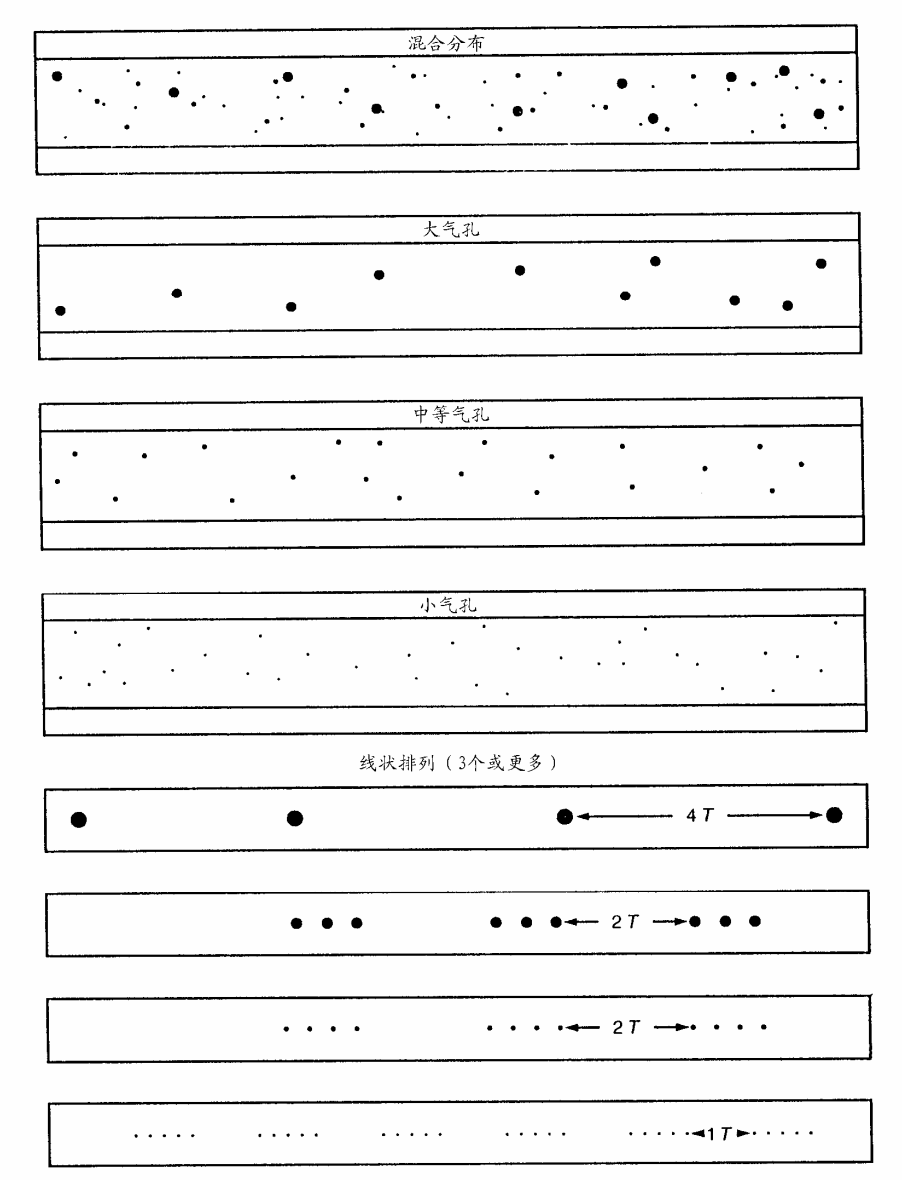
9.4　磁粉探伤

9.4.1　磁痕分类

9.4.1.1　磁粉探伤时显示的磁痕不一定是由缺陷造成的。磁导率或金相组织的变化均可产生类似于缺陷的伪磁痕，是不相关磁痕。探伤磁痕应按 9.4.1.2 和 9.4.1.3 的规定分类。

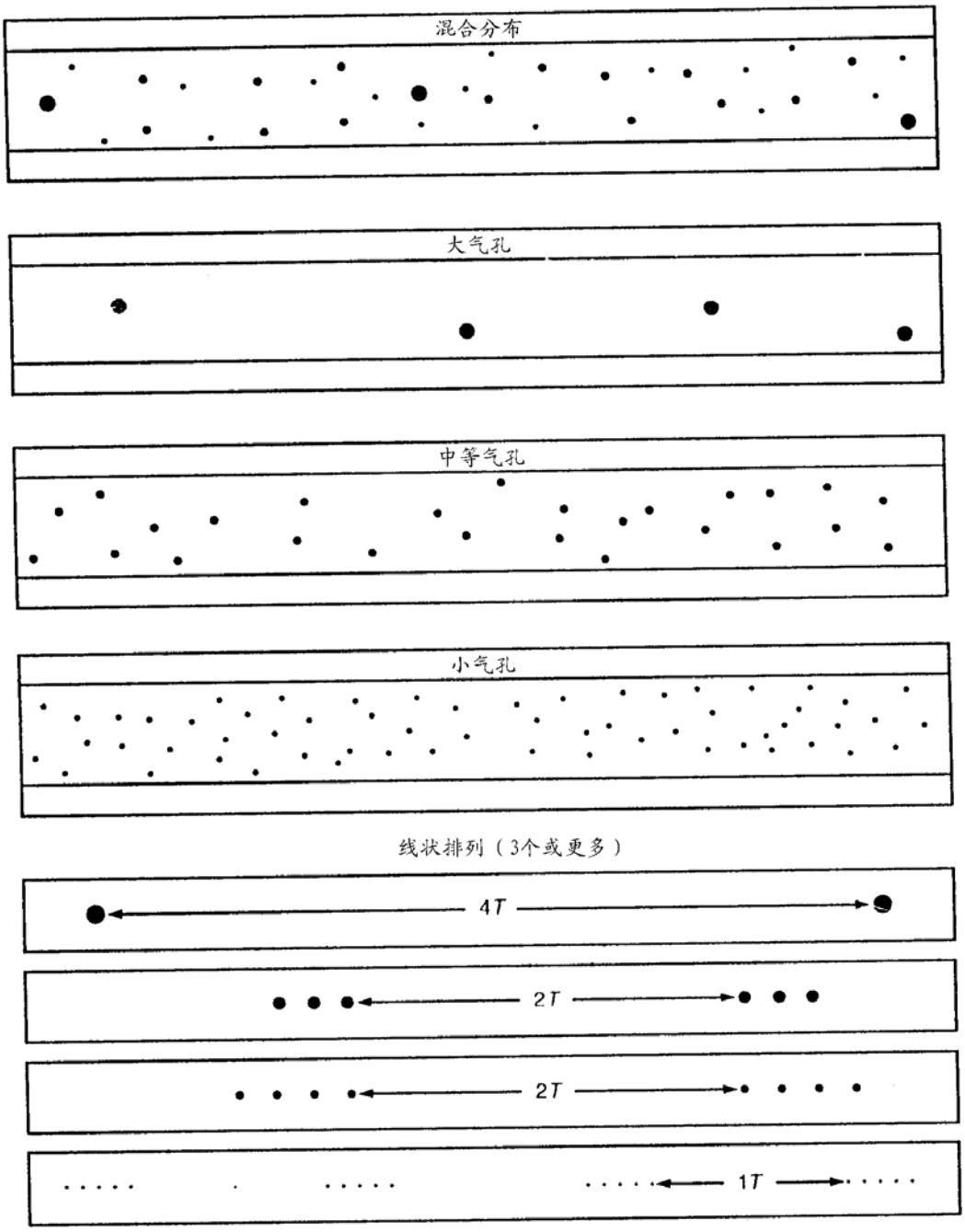
9.4.1.2　任何最大尺寸不大于 1/12 英寸（1.6mm）的磁痕为无关磁痕。任何大于 1/12 英寸（1.6mm）的磁痕，在未重新用磁粉探伤或其他无损检测方法判别其是否是缺陷前，均为相关磁痕。重新检验前，宜将检验表面磨光或进行其他处理。当一个磁痕确定为伪磁痕后，其

他相同类型的伪磁痕可直接判定，而不需重新检验。



注：此图为示意图，孔直径参见 9.3.9

图 19　气孔最大分布（壁厚≤12.7mm）



注：此图为示意图，孔直径参见 9.3.9

图 20　气孔最大分布（壁厚＞12.7mm）

9.4.1.3　由缺陷引起的磁痕为相关磁痕。磁痕长度大于宽度三倍为线性缺陷。磁痕长度小于等于宽度的三倍为圆形缺陷。

9.4.2　验收标准

当相关磁痕符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）线性缺陷评定为弧坑裂纹或星形裂纹，其长度超过 5/32 英寸（4mm）;

b）评定为非弧坑裂纹或非星形裂纹的其他裂纹的线性缺陷;

c）评定为未熔合的线性缺陷，在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，缺陷累计长度超过 1 英寸（25mm）或者超过焊缝长度的 8％。

圆形缺陷应根据 9.3.8.2 和 9.3.8.3 的规定评定。评定时，以圆形缺陷显示的最大磁痕尺寸作为评定尺寸。

注：当对显示的缺陷类型产生疑问时，应采用其他无损检测方法予以证明。

9.4.3　管子或管件缺陷

磁粉探伤时，如在管子或管件中发现缺陷，应向业主报告。对它们的处理必须按业主的规定进行。

9.5　渗透探伤

9.5.1　显示分类

9.5.1.1　渗透探伤时显示的痕迹不一定是由缺陷造成的。机加工、擦伤及工件表面状况均会产生类似于缺陷的伪痕迹，是不相关痕迹。探伤痕迹应按 9.5.1.2 和 9.5.1.3 的规定分类。

9.5.1.2　任何最大尺寸不大于 1/8 英寸（2mm）的痕迹为无关痕迹。任何大于 1/8 英寸（2mm）的痕迹，在未重新用渗透检验或其他无损检测方法判别其是否为缺陷前，均为相关痕迹。重新检验前，宜将检验表面磨光或进行其他处理。当一个痕迹确定为伪痕迹后，其他相同类型的伪痕迹可直接判定，而不需重新检验。

9.5.1.3　由缺陷引起的痕迹为相关痕迹。痕迹长度大于宽度的三倍为线性缺陷。痕迹长度小于或等于宽度的三倍为圆形缺陷。

9.5.2　验收标准

当相关痕迹符合以下任一条时，则应视为超标缺陷:

a）线性缺陷评定为弧坑裂纹或星形裂纹，其长度超过 5/32 英寸（4mm）;

b）评定为非弧坑裂纹或非星形裂纹的其他裂纹的线性缺陷;

c）评定为未熔合的线性缺陷，在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，缺陷累计长度超过 1 英寸（25mm）或者超过焊缝长度的 8％。

圆形缺陷应根据 9.3.8.2 和 9.3.8.3 的规定评定。评定时，以圆形缺陷的最大痕迹尺寸作为评定尺寸。

注：当对缺陷类型产生疑问时，应采用其他无损检测方法予以证明。

9.5.3　管子或管件缺陷

渗透探伤时，若在管子或管件中发现缺陷，应向业主报告。对它们的处理必须按业主的规定进行。

9.6　超声波探伤

9.6.1　反射波分类

9.6.1.1　超声波探伤时，出现的反射波不一定是由缺陷造成的。错边和余高均会产生类似于缺陷的反射波，但它们是不相关的反射波。

9.6.1.2　线型缺陷是指在焊缝纵向上尺寸最大的缺陷。典型的线形缺陷可能是根部未焊透（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)，夹渣(ESI)，裂纹(C)，外咬边(EU)，内咬边(IU)，或空心焊道(HB)等，当然并不限于这些。

9.6.1.3　面积型缺陷是指在焊缝横向上尺寸最大的缺陷。典型的面积型缺陷可能是裂纹，独立夹渣，引弧、熄弧时的夹层未熔合等，当然并不限于这些。

9.6.1.4　体积型缺陷是三维缺陷，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。典型的体积型缺陷可能是根部内凹（IC），烧穿(BT)，独立夹渣(ISI)，气孔(P)和密集气孔（CP）等，当然并不限于这些。

9.6.1.5　由缺陷产生的缺陷波按 11.4.7 评价，验收标准采用 9.6.2。

注：若对焊缝内部缺陷类型有疑问，可采用其它无损检测方法。

9.6.2　验收标准

9.6.2.1　缺陷波确定为裂纹（C）时，应视为超标缺陷。

9.6.2.2　表面非裂纹线型缺陷（LS）是指在焊缝内、外表面的缺陷。当缺陷波符合以下任一条件时，则应视为超标缺陷:

a）表面非裂纹线型缺陷在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，累计缺陷长度超过 2 英寸（50mm）;

b）表面非裂纹线型缺陷累计长度超过焊缝长度的 8％。

9.6.2.3　内部非裂纹线形缺陷（LB）是指在焊缝内部的缺陷。缺陷波符合以下任一条件时，则应视为超标缺陷:

a) 内部非裂纹线形缺陷在焊缝任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，累计缺陷长度超过 2 英寸（50mm）;

b) 内部非裂纹线形缺陷累计长度超过焊缝长度的 8%。

9.6.2.4　非裂纹面积型缺陷（T）应作为体积型缺陷，使用体积型缺陷验收标准进行验收。所有面积型缺陷记录用字母 T 标记。

9.6.2.5　当密集体积型缺陷（VC）的最大尺寸超过 1/2 英寸（13 mm）时，应视为超标缺陷。

9.6.2.6　当单个体积型缺陷（VI）的最大尺寸超过 1/4 英寸（6 mm）时，应视为超标缺陷。

9.6.2.7　根部体积型缺陷（VR）是指在焊缝内表面的缺陷。当符合下列任一条，则应视为超标缺陷:

a) 根部体积型缺陷最大尺寸超过 1/4 英寸（6mm）;

b) 根部体积型缺陷在任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，累计缺陷长度超过 1//2 英寸（13mm）。

9.6.2.8　当缺陷波（AR）的累计长度符合以下任一条件时，则应视为超标缺陷:

a) 在任何 12 英寸（300mm）的连续长度中，超出评价闸门的缺陷波的累计长度超过 2 英寸（50 mm）。

b) 超出评价闸门的缺陷波的累计长度超过焊缝长度的 8%。

9.6.3　管子或管件缺陷

超声波探伤时，若在管子或管件中发现缺陷，应向业主报告。对它们的处理必须按业主的规定进行。

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，不得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

当使用目视或机械方法确定咬边深度时，表面或根部咬边不应超过表 4 中的规定。当机械法和射线探伤均可使用时，应采用机械法。

表 4　咬边的最大尺寸

深　　度	长　　度
>1/32 英寸（0.8mm）或>12.5%管壁厚，取二者中的较小值	任何长度均不合格
>6%-12.5%管壁厚或>0.4mm，取二者中的较小值	在焊缝任何 12 英寸（300mm）连续长度中不超过 2 英寸（50mm）或者超过焊缝的 1/6，取二者中的较小值
≤1/64 英寸（0.4mm）或≤6%的管壁厚，取二者中的较小值	任何长度均合格

10　缺陷的清除和返修

10.1　返修权限

10.1.1　裂纹

除非业主同意返修，否则所有带裂纹的焊口必须按 9.3.10 的规定从管线上切除。

当裂纹长度小于焊缝长度的 8%时，可以使用评定合格的返修焊接规程进行返修。

10.1.2　非裂纹性缺陷

根焊道及填充焊道中出现的非裂纹性缺陷，经业主同意后方可返修。盖面焊道中出现的非裂纹性缺陷，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，必须使用评定合格的返修焊接工艺规程。

10.2　返修规程

返修时必须使用返修焊接规程。编制和评定合格的返修焊接规程应能保证焊缝的力学性能和使用性能。这应通过力学性能试验确定，试验项目和数量应由业主规定。返修规程至少应包括以下内容:

10.2.1　缺陷的检测方法

10.2.2　缺陷的清除方法

10.2.3　检查返修坡口，以证实缺陷完全清除。

10.2.4　预热和层间热处理。

10.2.5　焊接方法其它细节说明，见 5.3.2。

10.2.6　层间无损检测规定。

10.3　验收标准

10.3.1　返修处应采用原来的检测方法进行检测。业主可要求采用该检测方法复查包括返修处的整个焊口（见 8.1 和 8.2）。返修焊缝应满足第 9 章的规定。

10.4　监理

10.4.1　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

10.5.1　应由有资格的焊工进行返修。

11　无损检测规程

11.1　射线探伤方法

11.1.1　概述

11.1 中规定了使用 X 射线或 γ 射线在胶片或其他媒体上产生射线图像的要求。必须确定和记录射线探伤的详细过程。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、对比度。用其他系统得到的射线图像，应具有必要的灵敏度（清晰、合适的孔型或线型像质计）。评定时，应达到以下标准:

a)底片质量良好，无过大灰雾，无因暗室处理不当造成的影响评定的缺陷;

b)规定的像质计、孔型或线型像质计;

c)适当的识别系统;

d)合格的技术和装备;

e)满足验收标准。

有关图像质量的要求，对 X 射线或 γ 射线均适用。应按照业主的规定进行射线探伤及确定检验的百分率。

工程射线探伤之前，业主和射线探伤承包商商定所用的射线探伤规程。业主可以要求承包商证明: 提出的射线探伤规程能获得合格的图像底片; 业主可以责令承包商使用该规程进行射线探伤。

11.1.2 规程内容

11.1.2.1 概述

应记录每个射线探伤规程的细节，记录的副本应提供给业主备案，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 射线探伤底片

射线探伤底片至少应包含下列资料:

a)射线源—射线源类型，有效射线源或焦点尺寸，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; 若采用多次成像技术，应规定底片的观片方法;

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，规定透照一个焊口所需的曝光次数;

e)曝光量——使用 mA · min 或 Ci · min（居里 · 分），规定 X 射线的管电压、管电流及曝光时间

f)处理过程——使用自动洗片或手动洗片，规定显影时间、温度、停显或漂洗、定影、水洗时间及干燥细节等;

g)材料--规程适用的材料类型及厚度范围;

h)像质计——对于孔型像质计应规定类型、材质、编号、基孔，以及垫片的材料和厚度。对于线型像质计应规定材料种类、ASTM 编号以及必要的钢丝直径;

i)热防护—材料、厚度和从热防护的胶片侧到管表面的距离。

11.1.2.3 其他成像介质

其它成像介质的射线探伤规程至少包括下列各项:

a)射线源——射线源类型，有效射线源或焦点尺寸，以及 X 射线设备的额定电压;

b)所用图像收集系统;

c)所用的图像处理系统;

d)所用的观像系统;

e)所用的图像存贮系统;

f)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范围;

i) 像质计——对于孔型像质计应规定类型，材质，编号，基孔，以及垫片的材料和厚度。对于线型像质计应规定材料种类、ASTM 要求放置的字母以及必要的线径;

j)热防护—材料、厚度和从热防护的图像侧到管表面的距离。

11.1.3 透照几何条件

11.1.3.1　射线探伤贴片

当射线源位于管中心时，一个完整焊口的检测只需一次曝光（单壁单影法 SWE/SWV）。当射线源位于管外，距焊缝表面不大于 1/2 英寸（13mm）时，一个完整焊口的检测，应至少进行三次相隔 120° 的曝光（双壁单影法 DWE/SWV）。当射线源位于管外，距焊缝表面大于 1/2 英寸（13mm）时，一个完整焊口的检测，应至少进行四次相隔 90° 的曝光（双壁单影法 DWE/SWV）。当管径小于或等于 3.5 英寸（88.9mm）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，一个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，一个完整焊口检测应至少做三次间隔 60° 的曝光。

当射线探伤管径更小和壁厚较厚的管时，应增加曝光次数，以减少底片上焊缝图像在边缘上的畸变。

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

$$D=St / K$$

式中：D——射线源或焦点与射线源一侧管表面之间的最小距离;

S——有效射线源或焦点的尺寸;

t——焊缝高度，包括余高和胶片到胶片侧焊缝表面的距离;

K——与几何尺寸有关的参数。

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）。通常，对于厚度小于或等于 2 英寸（50.8mm）的材料，k 为 0.02 英寸（0.5mm）。

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和基本孔或钢丝直径确定。

11.1.3.2　其他成像介质

透照几何条件的基本原则应根据每张底片是否能观察到所规定的像质计和基本孔或钢丝直径确定。对于运动过程中的成像，应在对全部焊缝进行射线探伤期间使用最大的扫描速度来评价透照几何条件。

11.1.4　像质计的类型

应符合 ASTM E1025 或如图 21 所示的孔型像质计，或 ASTM E 747 标准中的线型像质计。业主应规定采用的类型。像质计应用与被探材料类似的材料制作。

11.1.5　像质计的选择

11.1.5.1　孔型像质计

应根据管壁厚或焊缝厚度，选用像质计的最大厚度和像质计的编号。采用 ASTM E1025 的像质计见表 5，对于图 21 的像质计见表 6。当根据焊缝厚度选择孔型像质计时，在该像质计下应放置适当的垫片，材料应和管材相近，厚度应等于平均焊缝余高。当根据管壁厚选择孔型像质计时，则不需加垫片。按照射线探伤承包商的要求，可以使用比上述薄的像质计，但必须得到所需的射线探伤灵敏度。

像质计的轮廓、像质指数及基本孔都必须在射线底片上清楚地显示出来，根据厚度选择的 ASTM E1025 像质计的基本孔和图 21 的像质计的基本孔为 2T。对于图 21 的像质计，2T 基本孔无须小于 1/16 英寸（1.6mm）。

11.1.5.2　线型像质计

应根据焊缝厚度，选用必要的线径，采用 ASTM E747 的线型像质计见表 7。按照射线

探伤承包商的要求，可以使用比规定线径小的像质计，但必须得到所需的射线探伤灵敏度。

线型像质计的数字和 ASTM 要求放置字母的射线图像应清晰，要求的线径影像应在整个区域内清晰。

11.1.6 像质计的位置

11.1.6.1 胶片

除了下列提供的 C 款外，像质计的放置应贴紧管道。

a)孔型像质计—当使用管内射线源对整个焊口一次曝光时，应至少围绕整个圆周在近似等距的位置放置 4 个像质计；当采用双壁双影法（DWE/DWV）使用孔型像质计时，应在射线源一侧放置一个像质计，其长度方向与焊缝方向垂直，影像应处于中心或邻近中心部位，但不得与焊缝图像重迭。当采用多次曝光时，若有效评片长度大于 5 英寸（130mm），在胶片侧应放置两个像质计，其中一个应放置在距有效底片区端部 1 英寸（25mm）以内，另一个放置在胶片中心位置放置一个像质计。对返修焊缝进行射线探伤时，至少应在紧靠每个返修区放置一个像质计。

b)线型像质计—除了线型像质计必须放在与焊缝长度方向相垂直的位置外，线型像质计放置的数量及位置与孔型像质计相同。

C)热防护—在工程检验之前，应提供像质计优先放置在一个热防护上而不是管道上的可接受性。

11.1.6.2 其它成像介质

不同于底片的其他成像介质，像质计放置的位置按 11.1.6.1 执行。像质计应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，成像介质装在夹具上或扫描装置上。

11.1.7 工程射线探伤

只有 II 级或 III 级资格的射线探伤人员可以对工程焊缝的射线图像进行评定。除非业主要求报告所有观察到的缺陷，否则评定人员应报告观察到的所有超标缺陷。评定人员应给出焊口是否符合第 9 章要求的结论。业主应决定对焊口的最终处理。

11.1.8 图像标记

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。业主可以规定所采用的标记方法。当环焊缝使用一个以上的图像时，相邻图像应有重迭，每个图像均应有标记，并不得漏检任何一段焊缝。

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。灰雾度标准为透明基胶片黑度不超过 0.30，不透明基胶片的反射黑度不超过 0.05。

11.1.9.2 其他成像方法

其他成像介质的储存应严格执行生产厂家的规定。

11.1.10 底片黑度

11.1.10.1 底片黑度

除了由不规则焊缝外形引起的局部小区域外，焊缝部分的透明基底片透照 H&D 黑度应小于 1.8，不透明基底片的反射透照 H&D 黑度不小于 0.5。局部小区域的透照 H&D 黑度可以超过此限制，但最小不小于 1.5，最大不大于 4.2；反射透照 H&D 黑度最小不小于 0.25，最大不大于 1.8。

11.1.10.2 观片灯

观片灯应具有可变、高亮度的特点，并且能够观察到 11.1.10.1 说明范围内底片的像质计。观片灯应有防护装置，能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　观片设备

观片设备应能为每种亮度提供柔和的背景光，以防止 X 光照片上的反射、盲区和眩目。

11.1.11　洗片

当业主有要求时，射线探伤底片或其它成像介质的冲洗、搬运和保存应至少三年后仍达到评定要求。

11.1.12　洗片室

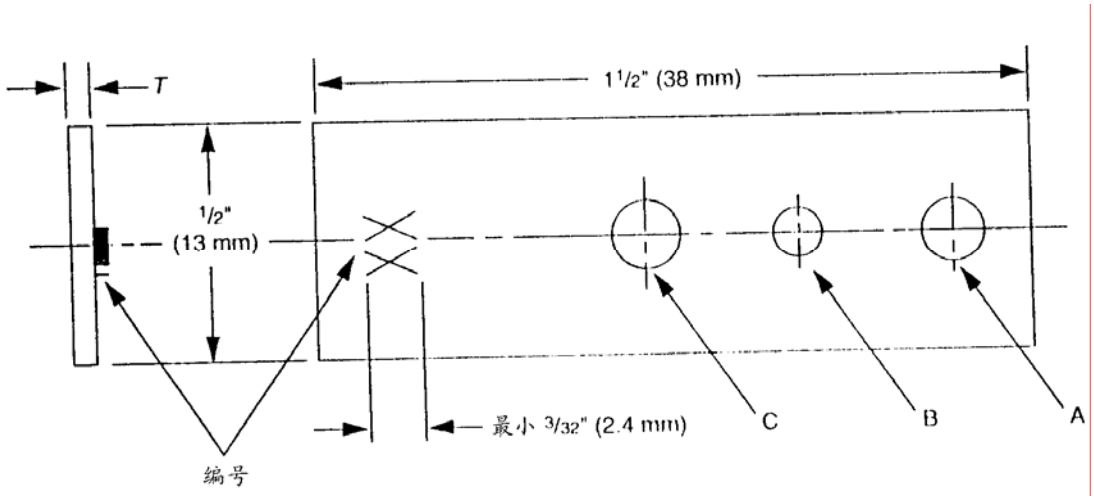
洗片室及设施应保持清洁。

11.1.13　辐射防护

射线探伤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。

表 5　管壁厚与 ASTM E1025 规定的像质计厚度的对比

管壁厚或焊缝厚度		最大像质计厚度		编号
英寸	毫米	英寸	毫米	
0-1/4	0-6.35	0.0125	0.317	12
>1/4-3/8	>6.35-9.52	0.015	0.381	15
>3/8-1/2	>9.52-12.70	0.0175	0.444	17
>1/2-3/4	>12.70-19.05	0.020	0.508	20
>3/4-1	>19.05-25.40	0.025	0.635	25
>1-2	>25.40-50.80	0.030	0.762	30



注：

1. T=像质计厚度；直径 A=2T；直径 B=T；直径 C=4T。
2. 孔直径大于 1.6mm。
3. 孔应圆，钻孔应和表面垂直。孔边缘铁屑应清理干净，但不得损坏边缘。
4. 每个像质计应带一个铅字。
5. 像质计厚度和孔直径公差 ± 10%或两个像质计壁厚差的 1/2 中较小者。

图 21　API 像质计

表 6　管壁厚与像质计厚度的对比

管壁厚或焊缝厚度		最大像质计厚度		编号
英寸	毫米	英寸	毫米	
0-1/4	0-6.35	0.005	0.127	5
>1/4-3/8	>6.35-9.52	0.0075	0.19	7
>3/8-1/2	>9.52-12.70	0.010	0.254	10
>1/2-5/8	>12.70-15.88	0.0125	0.317	12
>5/8-3/4	>15.88-19.05	0.015	0.381	15
>5/8-7/8	>19.05-22.22	0.0175	0.444	17
>7/8-1	>22.22-25.40	0.020	0.508	20
>1-1.25	>25.40-31.75	0.025	0.635	25
>1.25-1.50	>31.75-38.10	0.030	0.762	30
>1.50-2	>38.10-50.80	0.035	0.889	35

表 7　管壁厚与 ASTM E747 规定的线型像质计线径的对比

管壁厚或焊缝厚		要求的线径		ASTM 要求放置的字母
英寸	毫米	英寸	毫米	
0-1/4	0-6.35	0.008	0.20	A
>1/4-3/8	>6.35-9.52	0.010	0.25	A 或 B
>3/8-1/2	>9.52-12.70	0.013	0.33	B
>1/2-3/4	>12.70-19.05	0.016	0.41	B
>3/4-1	>19.05-25.40	0.020	0.51	B
>1-2	>25.40-50.80	0.025	0.64	B

11.2　磁粉探伤方法

当业主规定使用磁粉探伤时，应制定详细的磁粉探伤规程，并应符合 ASTM E709 的要求。探伤前，磁粉探伤规程应经业主同意。

业主可以要求承包商证明: 提出的磁粉探伤规程能获得合格的磁痕; 业主可以责令承包商使用该规程进行磁粉探伤。

11.3　渗透探伤方法

当业主规定使用渗透探伤方法时，应制定详细的渗透探伤规程，并应符合 ASTM E165 的要求。在检验前，渗透探伤规程应经业主同意。

业主可以要求承包商证明: 提出的渗透探伤规程能获得合格的痕迹; 业主可以责令承包商使用该规程进行渗透探伤。

11.4　超声波探伤方法

11.4.1　概述

当业主规定使用超声波探伤方法检测新建管道或服役运行管道的对接环焊缝时，应采用本章节的要求。应确定和记录单体超声波探伤技术使用的详细过程。超声波探伤方法的使用和适用范围应符合业主的规定。

工程超声波探伤前，业主与超声波探伤承包商应就超声波探伤规程取得一致意见。业主可以要求超声波承包商证明: 提出的超声波探伤规程能获得满意、正确的结果; 业主可以责令承包商使用该规程进行超声波探伤。

需注意，当超声波探伤方法应用于服役运行管道焊缝的检测时，由于母材及其表面可能的不完整性将对超声波探伤产生干扰。

超声波探伤的表面应是没有涂层的。对于一些新建管道，在钢管防腐前应确定管端超声波探伤所必需的裸管长度。在超声波扫描所必需的长度范围内制管焊缝应磨平至钢管表面。

11.4.2　规程内容

11.4.2.1　概述

应记录每个超声波探伤规程的细节,记录的副本应提供给业主备案,记录可以采用文字、图表或二者相结合的方法。每个超声波探伤规程至少应包括 11.4.2.2 中的项目。

11.4.2.2　超声波探伤规程

超声波探伤规程至少应包括以下内容:

a.被检焊缝的类型、预制接头尺寸和焊接方法;

b.母材类型（如：尺寸，级别，厚度，API Spec 5L 制造工艺）;

c.扫描表面的准备;

d.检测阶段的执行;

e.超声波探伤系统和探头（如：生产厂家，类型，晶片尺寸等）;

f.自动或手工;

g.耦合剂;

h.检测技术:

1.角度;

2.频率（MHZ）;

3.温度及范围;

4.扫描方式和速度;

5.数据参考和位置标记（如：根，面和圆周位置）;

i.基准—用草图表示受检材料基准区和全部基准反射波的平面图和剖面图尺寸;

j.校准要求—设备或系统隔一段时间都要校准，检测焊缝之前需按顺序进行校准，包括所有基准评定区的使用,基准反射灵敏度的使用,基准灵敏度电平的设置(如:DAC 或 TCG),间隔一段时间重新校准。

k.扫描电平—以(dB)为单位设置扫描灵敏度;

l.评估闸门—在扫描时缺陷反射波的水平和高度位移需要确定,在检测前要调整灵敏度。

m.记录结果—记录的类型（如：图，打印机，磁盘等）和记录的内容（如是全部反射波，还是缺陷波）。

n.超声波检测报告—检测报告。

11.4.3　超声波检测人员资格

探伤规程应由持有超声波Ⅲ资格证书的人员进行准备和验证。只有持有Ⅱ或Ⅲ资格证书的人员才允许进行设备操作和检测结果评价。持有Ⅱ或Ⅲ资格证书的人员应通过试验来确定评价闸门和超标缺陷尺度。

超声波探伤人员应严格执行评定合格的超声波探伤规程（见 11.4.4）。检测人员有责任按照 9.6 中的验收标准判定环焊接头合格与否。

业主有权要求检测人员证明其执行的是评定合格的规程。

11.4.4　超声波探伤规程的评定

签定合同前，业主应要求承包商论证申请的探伤规程和超声波探伤系统。焊缝实际检测前应得出评定结果。规程评定应至少包括以下内容:

a.检测试块（每种焊接工艺规程至少 2 个）应包含有超标缺陷和允许缺陷。检测试块应利用采用焊接工艺规程焊接的实际工艺管材样品来精制。

b.焊缝射线探伤和评定结果。

c.在一定的温度范围内应使用超声波探伤规程，且与射线探伤结果进行结果证明和比较。

d. 应记录结论不同的缺陷（超声波探伤和射线探伤发现缺陷类型的能力不同）。如果业主要求，应通过破坏性试验来验证。

e.使用超声波检测焊缝是基于超声波技术的特性：1）环向定位；2）长度尺寸；3）沿

直径方向距离表面的深度；4）缺陷在实际试件上的轴向定位。此外，依据 9.6 和 11.4.7 必须准确的判定合格的焊缝。

11.4.5　API 灵敏度基准

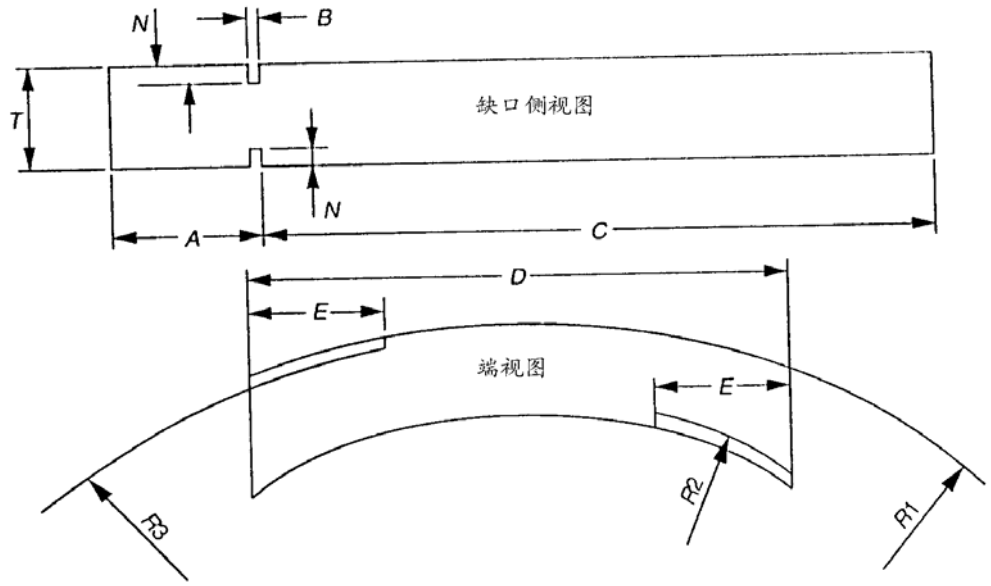
手工超声波探伤灵敏度必须基于两点或三点基准电平[如：距离修正增益（DAC）或时间修正增益(TCG)]，该基准电平来自被检管道标准缺口试样 N10（见图 22A 图 22B）。DAC/TCG 的最高点应不大于满屏高度的 80%。基准电平用来确定实际声速，反射角度和在被检钢管中传播的路径。当被检焊缝处于不同化学成分，壁厚，直径和多个管道、环形或钻孔时，应确定声速和反射角度，这可以通过两个额定角度和频率相同的相向探头来完成（见图 22C）。当声速，角度或传播路径不同时，应制作不同钢管材料的标准试块确定基准电平。

当采用自动超声波探伤以及业主同意的手工超声波探伤时，应在被检管道试样上机械加工平底孔，以校对 N10 缺口内部和表面的反射波。平底孔的直径大约等于焊道层厚度。各个孔的反射面安装在焊接接头每层焊道的同一角度和位置。此外，反射面垂直焊缝的平面反射体或平底孔被制作在焊缝中心线位置。所有反射体是分开的以致于没有一个探头同时存在两个声速在内部传播。

当检测其他与被检管道试样相同钢级、壁厚和直径的新的结构，应使用标准。一种转换技术应使用相同角度和频率的探头来确定实际扫查的路径，实际反射角度和在被检材料中衰减（见图 22C）。

11.4.6　母材的超声波检测

在对接环焊缝完成后，在使用超声波检测前，焊缝两侧母材（最小距离=125 最大扫描位移）超声波试验应被采用。所有部分和整个焊缝干扰反射体应该注明（数据位置和距离焊缝边沿）和检验报告上记录。



尺寸：

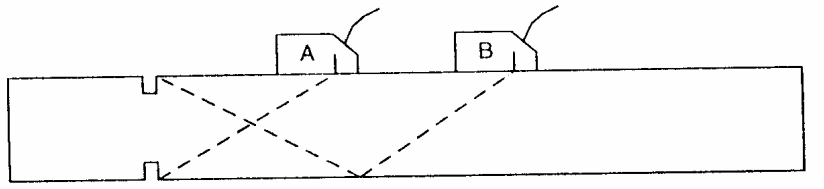
T　钢管的公称壁厚　　N　缺口深度=10% T±10%缺口深度　　A　最小长度（50mm）

B 缺口最大宽度　　C 最小长度 11.35 T+50mm　　D 最小宽度（80mm）

E 最小缺口长度　　R1 钢管外径　　R2 内缺口半径= R1 × 0.9T

R3 外缺口半径= R1 × 0.10T

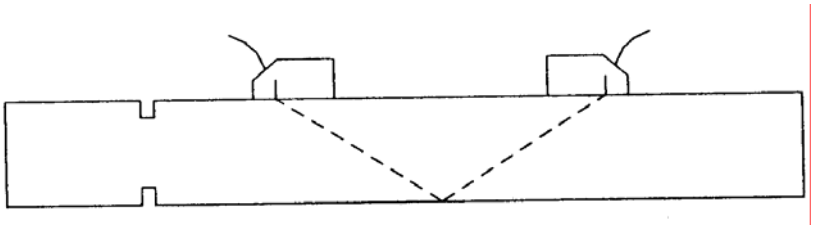
图 22A—手工超探 B 型缺口



用 A 位置的探头，从内缺口反射的最大波调整到至少满屏高度的 80%。测量从内缺口到入射点的距离。反射角的正切值等于表面距离和壁厚的比值。

位置是　外缺口是内缺口最大反射两倍的。证实外缺口表面反射点高点。这更准确地确定反射角度和速度。

图 22B—确定距离、反射角度和速度



使用两个相同角度和频率的探头，一个探头反射，另一个接受，当接收到最大反射波时测量两个入射点之间的表面距离。距离的一半和壁厚的比值等于反射角的正切值。不改变仪器设置，在未知传播速率，反射角度和衰减程度的钢管上重复以上过程确定不同。

图 22C—反射过程

11.4.7　扫描和评价标准

11.4.7.1　母材的手工超声波检测应根据标准（图 22A）至少调整到满屏刻度的 80%的二次反射波法检测。

11.4.7.2　焊缝的手工超声波检测

手工超声波检测运用的灵敏度最小应为 DAC/TCG 标准灵敏度加 6dB。超过 DAC/TCG 屏高 50%的所有波都应被评价。

手工超声波检测焊缝的评价灵敏度应为 DAC/TCG 标准灵敏度加 6dB 和超过 DAC/TCG 屏高 50%的所有波。

标准灵敏度，扫描灵敏度和测定灵敏度基准被确定以后，他们应被评定，然后编制最终检测规程和评定报告。

11.4.7.3　焊缝的自动超声波检测

当使用自动超声波脉冲反射技术检测焊缝时采用满屏刻度 80%的标准扫描灵敏度加 4 dB。评判灵敏度应同扫描灵敏度相同。

使用超声波评价闸门屏高（门限记录）应为满屏高度的 40%。

当其他自动检测技术被证实发现和评判焊接缺陷的能力同脉冲反射技术相当时，标准反射体，反射灵敏度，扫描灵敏度评判灵敏度和评价标准也许被使用。

11.4.8　工程超声波探伤

除非业主要求报告所有观察到的缺陷，否则评定人员应报告观察到的所有超标缺陷。

业主应确定焊缝最终的处理方法 。

11.4.9　需记录在案缺陷的标记

关于检测焊缝的超声波探伤报告应包括所有需记录在案缺陷所在的焊口号，基准位置，长度，距外表面深度，以及超标缺陷的类型（线型、面积型或体积型缺陷）。

12. 有填充金属的自动焊接

12.1 适用的焊接方法

自动焊接至少应采用以下一种焊接方法:

a) 埋弧焊;

b) 熔化极气体保护焊;

c) 非熔化极气体保弧焊;

d) 自保护或气保护药芯焊丝电弧焊;

e) 等离子弧焊。

12.2 工艺评定

在工程焊接开始之前，应制定详细的焊接工艺指导书，并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的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、塑性和硬度）的完好焊接接头。

应按照焊接工艺指导书焊接两根整管或两管段的管接头。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 的要求。应根据评定合格的焊接工艺编制焊接工艺规程。

除了业主特别通知变更 12.5 中所列的基本要素外，应遵守评定合格的焊接工艺规程。

12.3 记录

应对评定合格的焊接工艺的各项细节进行详细的记录，并应记录焊接工艺评定试验的各项结果。记录应采用类似于图 1 和图 2 的表格进行。在该焊接工艺使用期间应妥善保存这些记录。

12.4 工艺规程

12.4.1 概述

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

12.4.2 规程内容说明

12.4.2.1 焊接方法

应指明焊接方法或它们的任何组合方法。

12.4.2.2 管子及管件材料

应指明适用的管子及管件材料。

适合于 API Spec 5L 标准和 ASTM 标准所要求的管子及管件材料分组见 5.4.2.2，评定试验应选择该组材料中具有最高规定最小屈服强度的材料进行。

12.4.2.3 直径

应确定焊接工艺规程适用的直径范围。

12.4.2.4 壁厚范围、焊道顺序及焊道数

应指明适用的壁厚范围，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。如使用垫板时还必须指明其形式。

12.4.2.6 填充金属

应指明填充金属的种类和规格。

12.4.2.7 电特性

应指明电流种类和极性，规定使用焊丝的电弧电压和焊接电流范围。

12.4.2.8 焊接位置

应指明是旋转焊还是固定焊。

12.4.2.9 焊接方向

应指明是上向焊还是下向焊，此只适用于固定焊。

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它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，使用内对口器还是外对口器。

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、以及需预热的环境温度的范围。

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的方法。

12.4.2.15　保护气体及流量

应规定保护气体的成分及流量范围。

12.4.2.16　保护焊剂

应规定保护焊剂的类型，如可能，应指明牌号。

12.4.2.17　焊接速度

应规定各焊道的焊接速度范围（mm/min）。

12.4.2.18　其它参数

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

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。

本标准将所有碳钢及低合金钢进行分组:

a）规定最小屈服强度小于或等于 290MPa;

b）规定最小屈服强度高于 290MPa，但小于 448MPa;

c）对最小屈服强度大于或等于 448MPa 和高于此值的各级碳纲及低合金钢均应进行单独的评定试验。

注：12.5.2.2 中的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或填充材料，还应考虑管材和填充金属在冶金特性、力学性能以及对预热和焊后热处理的要求的不同。

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

壁厚变化超过规定范围。

12.5.2.5　管径

管径变化超过规定范围。

12.5.2.6　填充金属

填充金属的下列变更:

a）从一组填充金属变更为另一组填充金属（见表 1）。

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

可以在 12.5.2.2 a）和 b）中规定的分组内变更填充金属，但应从力学性能的角度考虑母材和填充金属的一致性。

12.5.2.7　焊丝直径

焊丝直径的变化。

12.5.2.8　焊道之间时间间隔

根焊至第二道焊之间允许的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

一种保护气体换成另一种保护气体，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

保护焊剂的变更，参见表 1 中的脚注 a。

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　小孔孔径或离子气体成分

对于等离子弧焊焊接，小孔孔径或离子气体名义成分的变更。

12.6　焊接设备和操作人员的审定

每台焊接设备和每个操作人员应使用焊接工艺规程焊接一合格焊缝。对该焊缝应采用破坏性试验，或无损检测，或同时采用前述两种方法进行检验。该焊缝应符合 6.4 至 6.7 的要求。在工程焊接前，操作人员应进行培训并熟悉所使用的设备。对于型号相同的焊接设备，无论是新购置还是替换的，可通过对工程焊缝的无损检测方法进行审定。如果焊接设备要求多人同时操作，则每个操作人员应在该设备上分别审定。

12.7　记录

应使用类似图 2 所示的表格（该表格可进行修改以适合不同业主的要求，但其记录内容应满足本标准对操作人员审定考试的要求）按照 12.6 的要求将每个操作人员的试验和每次实验的详细结果进行记录。

合格操作人员的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如果对某个操作人员的能力有疑问时，可要求他重新进行资格考试。

12.8　焊缝的检验和试验

应按照第 8 章的要求对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本标准第 9 章的要求或业主所选其他相关标准的要求。

12.10　缺陷的清除和返修

缺陷的清除和返修应符合第 10 章的规定。

12.11　射线探伤

射线探伤应符合 11.1 的规定。

13.　无填充金属的自动焊接

13.1　适用的焊接方法

无填充金属的自动焊接方法应为闪光对焊。

13.2　工艺评定

13.2.1　概述

在工程焊接开始之前，应制定详细的焊接工艺指导书，并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的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、塑性和硬度）的完好焊接接头。

应按照焊接工艺指导书至少焊接两道两根整管或两管段的管接头焊缝。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 13.9 的要求，破坏性试验应符合 13.2.3 的要求。应根据评定合格的焊接工艺编制焊接工艺规程。

除了业主特别通知变更 13.5 中所列的基本要素外，应遵守评定合格的焊接工艺规程。

13.2.2　射线探伤

在进行力学性能试验之前应对每个需要评定的焊缝进行射线探伤，探伤结果应符合 13.9 的要求。

13.2.3　对接焊缝的力学性能试验

13.2.3.1　概述

试样取样应按图 23、图 24 及图 25 所示从试验焊件上截取，试样的最少数量及试验项目见表 8 所示，试样的制备和试验如 13.2.3.2 至 13.2.3.4 所述。

13.2.3.2　拉伸试验

13.2.3.2.1　准备

拉伸试样应按 5.6.2.1 准备。

13.2.3.2.2　方法

拉伸试样应按照 5.6.2.2 试验。

13.2.3.2.3　要求

焊缝的拉伸强度包括每个试件的熔合区的强度，其应大于或等于管材的规定最小抗拉强度而不必大于或等于管材的实际抗拉强度。如果试件断裂在母材上且抗拉强度大于或等于管材的规定最小抗拉强度的要求，那么该焊缝合格。

如果试件断裂在焊缝上或者熔合区，其抗拉强度大于或等于管材的规定最小抗拉强度，且焊缝符合 13.2.3.3.3 的要求，那么该焊缝合格。

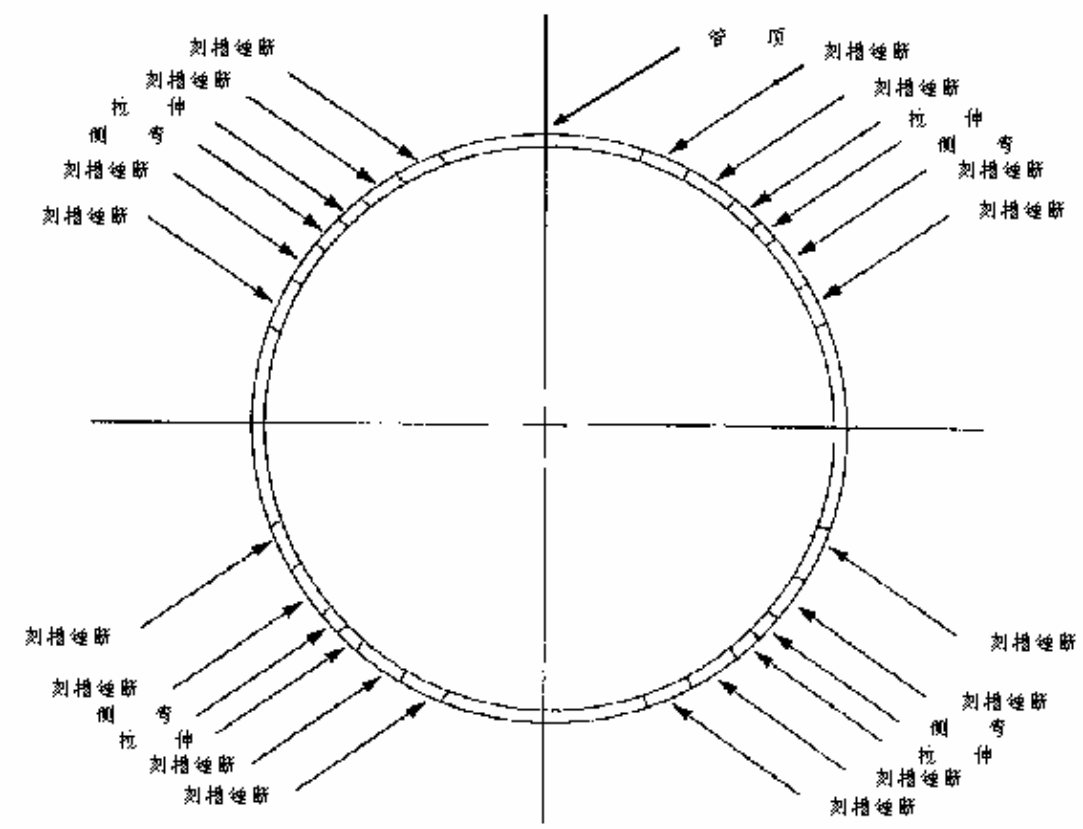
13.2.3.3　刻槽锤断试验

13.2.3.3.1　准备

刻槽锤断试样按照图 26 准备，其数量应符合表 8 的要求。试样侧边焊缝断面处应进行宏观腐蚀，然后沿熔合线用锯刻槽，槽深约为 3.0mm。另外，焊缝正反面余高处也应刻槽，槽深距焊缝表面不应超过 1.6mm。

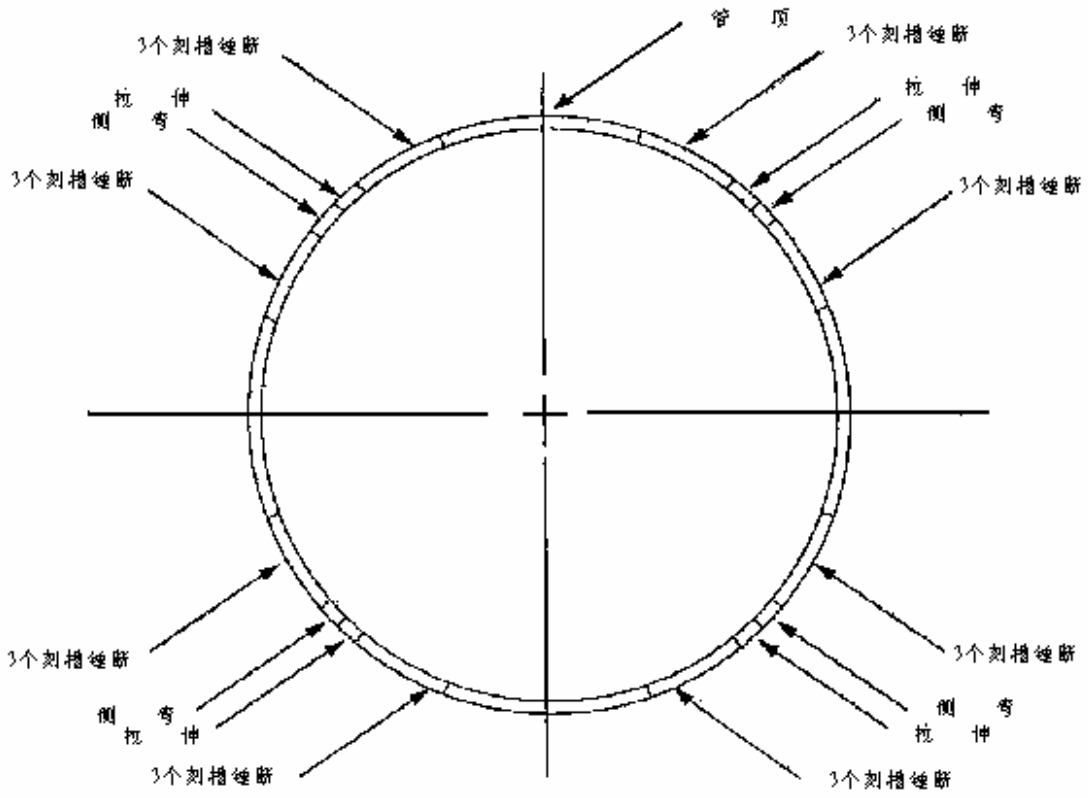
表 8—闪光对焊焊接工艺评定试验的试样类别及数量

管子外径（mm）	试样数量				
	刻槽锤断				
	拉伸	两英寸	标准	侧弯	总计
>457—610	4	16	0	4	24
>610—762	4	24	0	4	32
>762	4	32	0	4	40



注：所有刻槽锤断试样应符合图26的规定。

图 23　闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置
(457mm<外径≤610mm)



注：所有刻槽锤断试样应符合图26的规定。

图 24　闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置
(610mm<外径≤762mm)

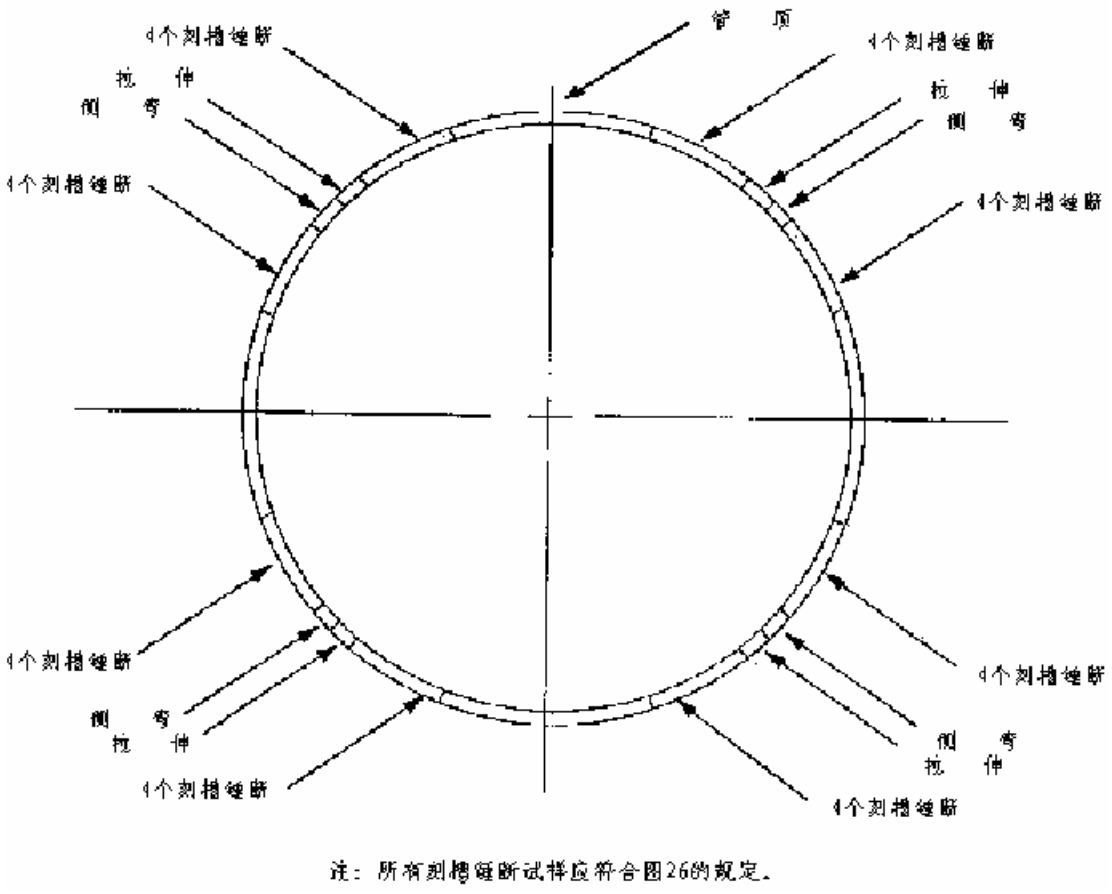


图 25　闪光对焊对接接头焊接工艺评定试验的取样位置
(外径>762mm)

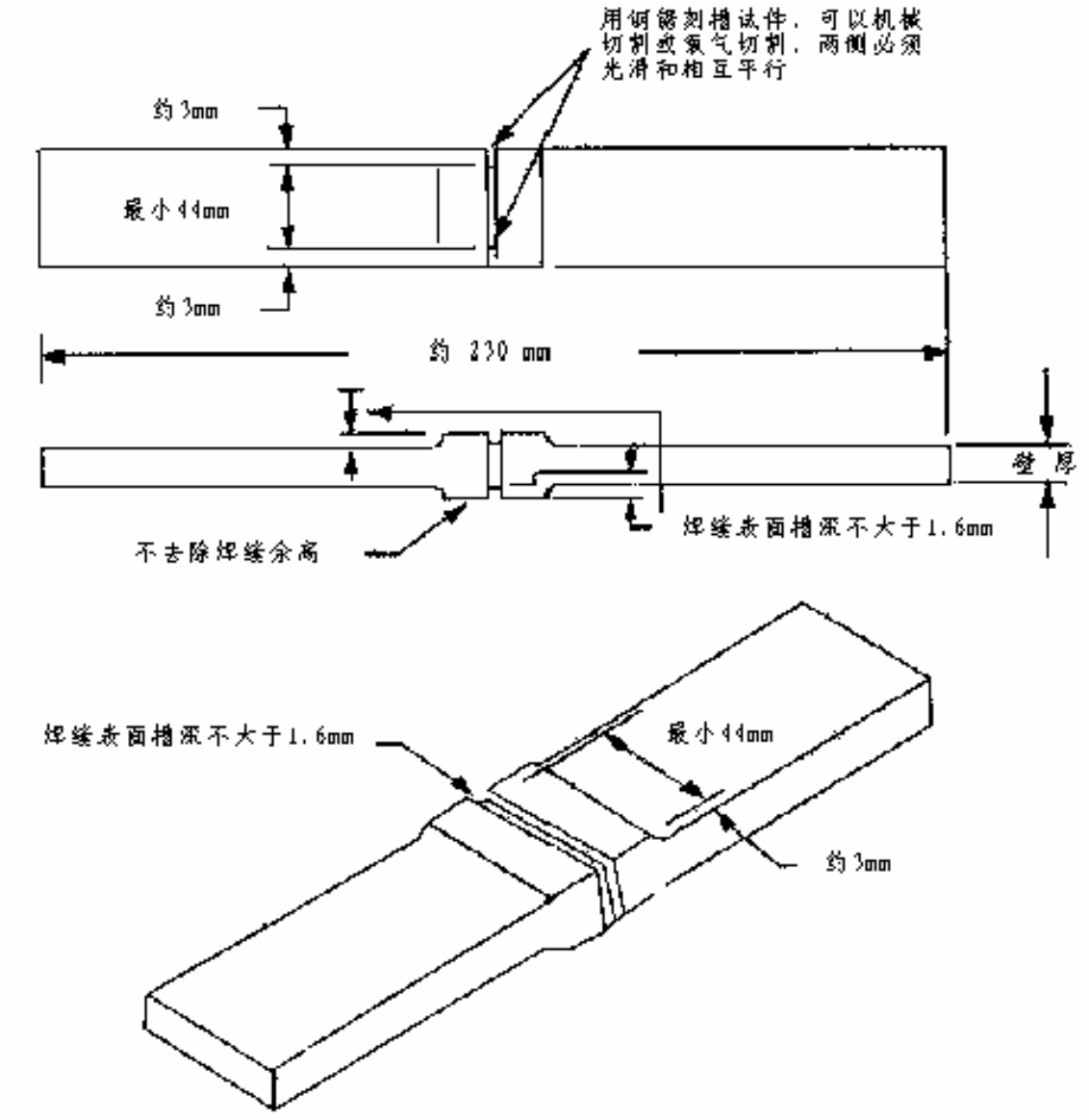


图 26　两英寸刻槽捶断试样

13.2.3.3.2　方法

刻槽锤断试样应按 5.6.3.2 试验

13.2.3.3.3　要求

每个刻槽锤断试样的表面应完全焊透和熔合。夹渣在长度或宽度上不应超过 3.0mm，相邻夹渣之间应至少相距 13.0mm。

13.2.3.4　侧弯试验

13.2.3.4.1　准备

侧弯试样应按 5.6.5.1 准备。

13.2.3.4.2　方法

侧弯试样应按 5.6.5.2 试验。

13.2.3.4.3　要求

侧弯试样应符合 5.6.4.3 的规定。

13.3　记录

应对评定合格的焊接工艺的各项细节进行详细记录，所需记录的内容见 13.4。应记录焊接工艺评定试验的各项结果。在该焊接工艺使用期间应妥善保存这些记录。

13.4　工艺规程

焊接工艺规程应包括设备的正确安装、维护和操作在内的各项内容。具体内容如下:

a）焊接方法;

b）管材;

c）壁厚和直径;

d）管端准备和直径;

e）焊前准备，包括管口处螺旋焊缝和直缝的打磨及为改善导电性而进行的管口清理;

f）焊接位置;

g）预热;

h）夹钳电极的检查及清理;

i）焊接电压范围，其应被记录在焊接工艺卡上;

j）焊接电流范围，其应被记录在焊接工艺卡上;

k）顶锻速度范围，其应被记录在焊接工艺卡上;

l）焊接循环内的时间间隔，其应被测定并记录在焊接工艺卡上;

m）顶锻压力范围，其应被记录在焊接工艺卡上;

n）对口器撤离时间;

o）去除内飞边的方法;

p）去除外飞边的方法;

q）焊后热处理，包括加热时间，最高温度，保温时间，加热的方法以及冷却速度。

13.5　焊接工艺规程的变更

13.5.1　概述

当焊接工艺规程有 13.5.2 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 13.5.2 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。

13.5.2　基本要素

基本要素如下所述:

a）管材;

b）壁厚和直径;

c）管子清理范围;

d）焊接位置;

e）预热;

f）焊接电压范围;

g）焊接电流范围;

h）顶锻速度范围;

i）焊接循环中的时间间隔;

j）顶锻压力范围;

k）焊后热处理要求。

13.6 焊接设备和操作人员的审定

每台焊接设备和每个操作人员应使用焊接工艺规程焊接一合格焊缝。对该焊缝应采用射线探伤和力学性能试验来进行检验，如 13.2 所述。在工程焊接前，操作人员应进行培训并熟悉所使用的设备。

13.7 记录

应使用类似图 2 所示的表格（该表格可进行修改以适合不同业主的要求，但其记录内容应满足本标准对操作人员审定考试的要求）按照 13.6 的要求将每个操作人员的试验和每次试验的详细结果进行记录。

合格操作人员的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如果对某个操作人员的能力有疑问时，可要求他重新进行资格考试。

13.8 工程焊接质量保证

13.8.1 检验权限

业主有权通过无损检测手段和破坏性试验来检查所有焊缝，并决定对这些焊缝是否进行冶金性能试验或力学性能试验，或者两者均进行。检验的比率由业主来决定。

13.8.2 焊接工艺卡

在自动焊接期间，操作人员应参照焊接工艺卡随时监控焊接设备的电气参数和力学参数。如果有些焊接参数超出工艺规程许可范围，那么该焊缝将视为不合格。如果在焊缝完成后发现焊接工艺卡不合适，那么这条线上所有焊缝应视为不合格。

13.8.3 无损检测试验

每道工程焊缝在去除飞边及焊后热处理结束之后应进行外观检查和射线探伤。业主也可规定其他无损检测方法。每道工程焊缝应符合 13.9 的要求。

13.8.4 焊缝余高

内焊道余高不应超过母材表面 2.0mm。外焊道余高不应超过母材表面 3.0mm。

13.8.5 焊后热处理

每次闪光对焊结束之后应将该焊缝加热至 AC3 温度以上，随后控制冷却速度和保温时间。热处理过程应符合焊接工艺卡的要求，如果热处理时间、加热最高温度或者冷却速度超出许可范围，那么应重新进行热处理。

13.9 无损检测验收标准

13.9.1 概述

验收标准见 13.9.2。其用于确定由无损检测和射线探伤检测出的缺陷的类型和尺寸。该标准也可用于外观检查中。

13.9.2 缺陷

在焊缝任何 300mm 连续长度中独立夹渣（ISI）的累计长度不应超过 13mm，单个独立夹渣（ISI）的长度不应超过 3mm。

通过无损检测检测出的裂纹、未熔合或气孔等缺陷在闪光对焊缝中不允许存在。

13.10 缺陷的清除和返修

13.10.1　允许返修

下列情况许可返修:

a）对于焊缝表面较小缺陷在不影响管子最小壁厚的前提下可用砂轮片打磨掉即可;

b）对于不允许存在的缺陷应使用砂轮片打磨、凿削、碳弧气刨或者它们的组合方法来去除。焊缝返修应符合第 10 章的要求，

焊缝返修应征得业主同意方可进行。

13.10.2　不允许返修

若在闪光对焊焊道中有气孔存在时，则不许可返修; 但在用其它焊接方法进行返修的焊道中存在气孔且符合 9.3.8.2 或 9.3.8.3 的规定时，允许返修。

13.11　射线探伤

射线探伤应符合 11.1 的规定。

附录 A——环焊缝的附加验收标准

A.1　概述

第 9 章的验收标准是以焊缝质量的经验判据为基础，把缺陷长度作为验收重点。这种验收标准多年来在管线施工中提供了良好的可靠性判据。

断裂力学分析及合于使用原则的应用可以提供另一种验收标准，这种验收标准同时把缺陷高度和缺陷长度作为评估重点。相对于原来的工艺评定试验、应力分析及缺陷检测，该判据可以提供更宽松的许用缺陷尺寸。

本附录不影响第 9 章验收标准的使用，也没有对许用应变附加任何限制条件。业主有权决定是否使用本附录评估缺陷（包括焊缝纵向裂纹）。

由于最小断裂韧性值是通过破坏性试验确定的，所以按第 9 章检测出缺陷后,通常不能用本附录对单个焊接管件进行评定。

本附录适用于公称壁厚相同管件间的环焊缝。

本附录不适用于冲、压状态下的焊缝（如主线路中的管件和阀门）及返修焊缝。也不适用于承受轴向应变大于 0.5%的焊缝。

本附录要求对环焊缝进行 100%无损检测。

本附录中，缺陷并不表示焊接不完整或焊接条件不佳。由于所有焊缝都具有不完整性、不连续性或裂纹，因此把这些具有明显特征的事物统称为缺陷。

本附录的目的是为了明确不同类型、尺寸和形状的缺陷对整个焊缝的影响。

注：本附录中使用的单位是英寸—磅，也允许采用国际单位制计算。

A.2　应力分析的附加要求

A.2.1　轴向设计应力

适用本附录时，业主必须进行应力分析，以确定管线的最大轴向设计应力。缺陷承受的轴向应力应包括焊接残余应力。焊接残余应力主要是由于焊接过程中热应力没有完全释放造成的，它有可能达到材料的屈服强度。拉伸应力和残余应力的总和超过屈服强度时，将造成变形。在本附录中将残余变形达 0.2%的应变作为屈服残余应变。管线的最大轴向许用应变应通过应力分析确定，且符合业主要求。

A.2.2　交变应力

A.2.2.1　分析

交变应力分析包括预疲劳谱的确定。这些疲劳谱并不局限于因水压试验、安装而产生的应力，还包括热、磁以及沉降应力等。疲劳谱由若干循环轴向应力等级和各自的循环计数组成。如果每次循环的应力值不同，可以采用一套计算方法（如 rainflow 方法）确定交变应力等级及循环次数。

注：rainflow 计算方法可以参见以下杂志，N.E.Dowling 的“预测疲劳破坏的复杂应力—应变曲线”金属学报，1972 年 3 月，Vol.7，No.1，pp.71-87。

谱强度S^*可以按下式计算:

$$S^*=N_1(\Delta\sigma_1)^3+N_2(\Delta\sigma_2)^3+\ldots+N_k(\Delta\sigma_k)^3 \qquad (A\text{-}1)$$

其中：　S^*——谱强度，

N_i——第i等级交变应力的循环次数，

$\Delta\sigma_i$——交变应力幅度，千磅/英寸^2，

下标 k——交变应力等级的循环次数，

下标 i——1 至 k。

图A-5 中的许用缺陷尺寸仅适用于$S^* \leqslant 4\times10^7$的情况。

A.2.2.2　环境对疲劳的影响

影响焊接疲劳裂纹扩展的因素主要有应力集中、交变载荷、缺陷尺寸和裂纹尖端的环

境介质。污染介质、油和碳氢化合物含量比较少的环境与空气类似，对疲劳裂纹的影响不大。但是水、盐及含CO_2、H_2S的水质溶液会加快疲劳裂纹的扩展速率。当环境中CO_2或H_2S的浓度超过抗蚀管线的实际承受能力时，本附录不再适用，除非有迹象表明这种环境不会导致疲劳开裂速率增快。通过外涂层和阴极保护措施，可以减轻环境对管子环焊缝疲劳开裂速率的影响。本附录适用于采用涂层技术和阴极保护措施改善环境影响的情况。

A.2.3　持久载荷断裂

当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。这些环境如:含H_2S、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，应确定最小极限应力，如果计算应力超过了管子承受的极限应力，本附录不再适用。关于H_2S腐蚀说明参见NACE MR0175。虽然土壤中的碳酸盐和硝酸盐会导致应力腐蚀开裂，但这种裂纹通常是承受周向应力的轴向开裂。由应力腐蚀造成管子环焊缝开裂的可能性极小。

采用适当的涂层和阴极保护措施可以缓解应力腐蚀开裂的危害。本附录适用于采用涂层技术改善环境危害的情况。

A.2.4　动载荷

应力分析应考虑环焊缝所承受的动载荷，如回压阀关闭时产生的载荷。当焊缝承受的应变率大于10^{-3}/秒（应力比为 30 千磅/平方英寸·秒）时，本附录不适用。

A.3　焊接工艺

A.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，在管理上更为严格，其变量控制应得到保证。本附录的焊接工艺评定应按第 5 章或第 12 章的规定进行。另外，使用本附录还有如下附加要求:

a、 应按 A.3.3 的规定进行裂纹尖端张开位移（CTOD）试验。

b、 拉伸试件不允许断裂在焊缝处。

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、 焊接方法或操作方法改变。

b、 钢材等级、生产厂家发生变化，或虽由同一厂家生产，但钢材的化学成分、加工过程发生变化。

c、 接头设计变更（如: 由 U 型坡口变为 V 型坡口）。坡口角度或钝边的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。

e、 钢管公称壁厚变化超过 3.275mm。

f、 填充金属的种类和规格变化,或者填充金属的型号没有变化(同一种 AWS 规范),但生产厂家发生变化。

g、 完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔增加。

h、 焊接方向变化（如: 从下向焊改为上向焊，或者反之）。

i、 一种保护气体换成另一种气体，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。

注: 进行焊接工艺评定试验时，应确定保护气体流量范围（上限和下限）。必须进行包括 CTOD 试验在内的机械性能试验。热影响区 CTOD 试验时，须用一种气体流量。

k、 保护焊剂的变化，包括同一 AWS 型号材料的生产厂家变化。

l、 每层焊道热输入量较大范围地增加或减少，超过了焊接工艺规程的规定范围，热输入量通常按下式计算:

$$J=60VA/S$$

其中:　　J: 热输入量（焦耳/英寸），

V: 电压，

A: 电流，

S: 速度（英寸/分）

注: 焊接工艺评定试验时，须确定热输入量的上下限。必须进行包括 CTOD 试验在内的机械性能试验，。

m、 改变电流种类（交流或直流）或极性。

n、 改变预热。

o、 进行或不进行焊后热处理，或改变焊后热处理要求。

p、 自动焊时管径变化。

A.3.2　断裂韧性试验

使用本附录前，应通过试验确定焊缝的断裂韧性值。常用的断裂韧性试验方法是 CTOD 试验。在本附录中选用两种最小断裂韧性值: 0.005 英寸或 0.010 英寸。

CTOD试验应根据BS 7448 第 2 章的规定进行（与本附录补充说明相同）。试件尺寸首选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，宽度方向沿环形（如图A-1），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A-2）。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；环焊缝的CTOD试验，缺口和预制疲劳裂纹尖端应在焊缝中心处（如图A-3）。

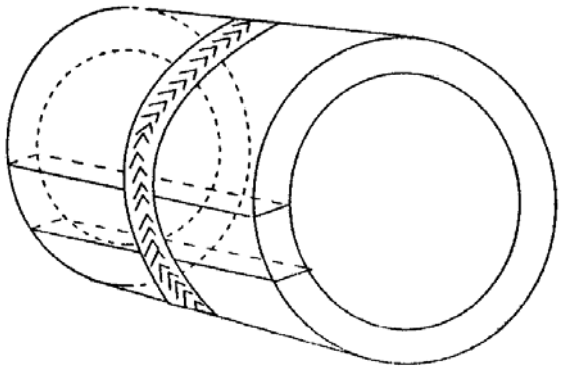


图 A-1——CTOD 试验试样的取样位置

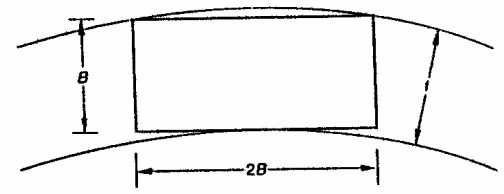


图 A-2——CTOD 试验试样加工与管壁厚关系示意图

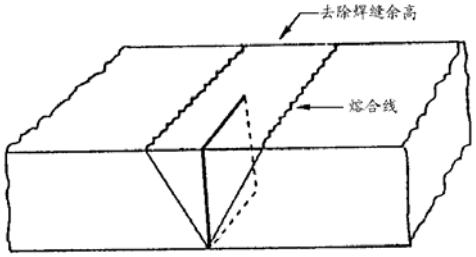


图 A-3——焊缝—金属试样的开缺口位置

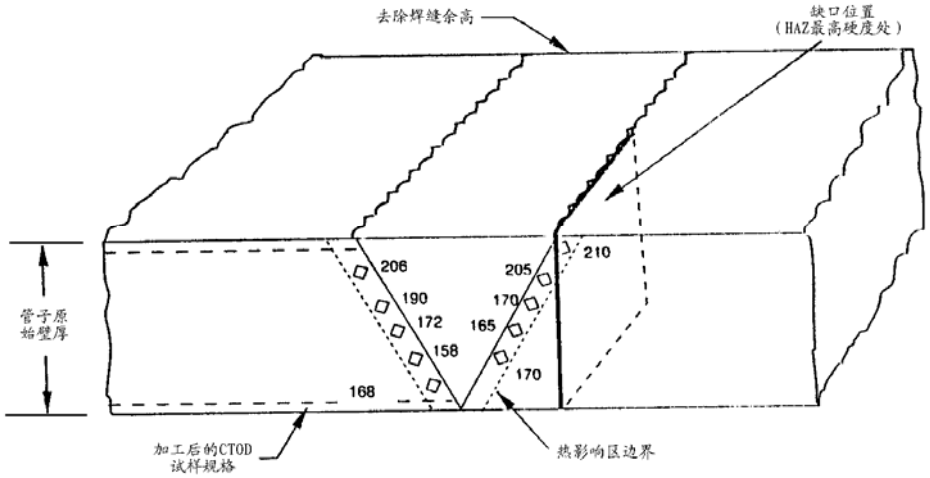


图 A-4——热影响区测试试样的开缺口位置

热影响区的 CTOD 试验时，直接在试样上或在临近热影响区的焊缝剖面试样上测量显微硬度（见图 A-1），以找出最大硬度区（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。

试验后，应特别注意BS7448 第 2 章 12.4.1 中的判据，这些判据可以判断疲劳裂纹扩展尖端的几何形态。本附录中使用 δ_c、δ_u或 δ_m值表示CTOD。（在BS7448 第 2 章介绍了这三个CTOD试验值的互斥关系。δ_i是条件启裂CTOD值，与本附录关系不大，不必测量）。测量 δ_m时，应注意记录第一个最大载荷点位置。卸载时应考虑脆性断裂问题。试验报告中应包括BS7448 第 2 部分 13 规定的各项内容，应注明试验试样的取样位置，区分试验中的CTOD值是 δ_c、δ_u或 δ_m。试验报告还应包括载荷—曲线记录和断裂面外貌记录。断裂面外貌记录可以通过断裂面照片表示，或保留断裂面直接观察。

A.3.3　焊接工艺评定的 CTOD 试验

CTOD 试验过程如下所述，并应遵循 A.3.2 的试验细则。焊接工艺评定应包括焊缝和热影响区的 CTOD 试验，并且在应用判据前各区域应满足断裂韧性要求。

焊缝和热影响区的 CTOD 试验结果必须满足本附录的断裂韧性要求。若首次试验满足要求，则不必对焊件的其它部分进行试验；若单个试样的焊缝或热影响区试验达不到 CTOD 要求，则须重新进行试验。

各区域（焊缝和热影响区）的CTOD试验应至少有三个试样进行管线服役环境温度或低

于服役环境温度下的试验。这三个试样分别从试验焊管的 12 点、3 点及 6 点处截取。如果三个试样中仅有一个不满足断裂韧性要求，则应进行第二次试验，且两次试验的六个试样中必须有 5 个试样满足断裂韧性（焊缝和热影响区）要求。

不合格试样包括：加工不符合要求，不满足疲劳裂纹尖端曲度标准，或在断裂处发现靠近裂纹尖端有明显的焊接缺陷等。不合格的试样应该报废。

本附录适用于最小断裂韧性值为 0.005 或 0.010 英寸的焊接工艺评定。焊接工艺的 CTOD 最小值达不到 0.010 英寸最小断裂韧性指标时，有可能达到 0.005 英寸最小断裂韧性指标。

A.4　焊工资格

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

A.5　检测及验收标准

A.5.1　平面缺陷

评定缺陷之前，须采用无损检测方法测量缺陷的长度、高度以及至试件表面的距离。射线探伤（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。若缺陷高度测量不准时，可以采用超声波探伤法、带有密度计的射线探伤法、声波成像法、由焊道形态决定的固有缺陷尺寸标准，或其它检测方法。也可以用常规射线探伤配合其它能测量高度的检测方法。图A-5 是焊缝纵向平面缺陷的验收标准。焊缝横向表面缺陷（如横向裂纹）必须返修或清除。

A.5.2　体积缺陷

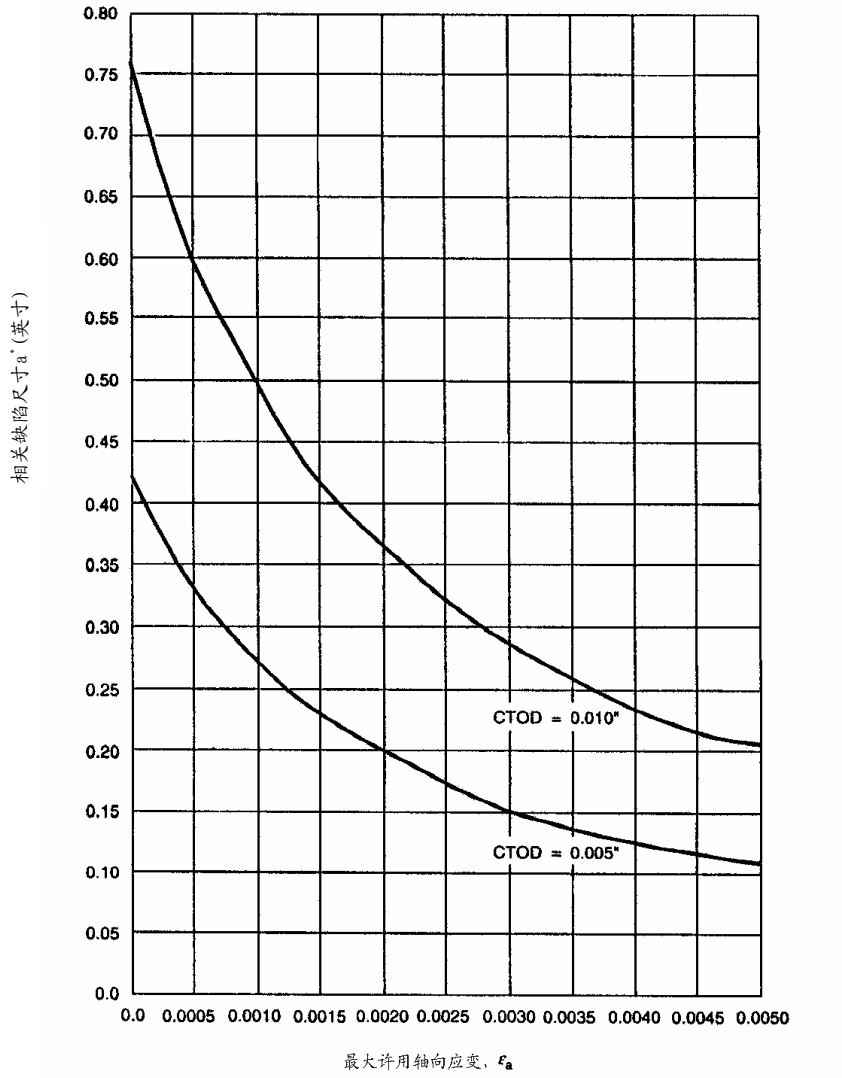
体积缺陷（三维）如夹渣、气孔等，其产生危害的可能性要低于平面缺陷。这类缺陷的评定可以采用与平面缺陷相同的方法，也可以使用表 A-1 中的验收标准。表面相连的体积缺陷可以看作是平面缺陷，这种缺陷应根据图 A-5 标准进行评定。

表 A-1　内部体积缺陷的验收标准

缺陷类型	缺陷高度或宽度	缺陷长度
气孔[a]	＜t/4 或 0.25 英寸	＜t/4 或 0.25 英寸
夹渣	＜t/4 或 0.25 英寸	4t
未经返修的烧穿	t/4	2t

注：表 A-1 的标准适用于最小 CTOD 值为 0.005 英寸或 0.010 英寸的情况。业主有权将这些缺陷处理为平面缺陷，并使用图 A-5 进行验收。该表不适用于表面相连的体积缺陷（如图 A-6 第一种情况）和表面相干涉的缺陷（图 A-6 第 3 种和第 4 种情况）.表面相连和表面相干涉的体积缺陷应该按图 A-5 评定。

a 限于 3 %的投影面积。



注:

1、 要求缺陷高度≤1/2 管壁厚。

2、 存在交互作用的缺陷，其缺陷长度和高度由图 A-6 确定。

3、 对于平面缺陷，许用缺陷高度a^*应遵循注 1 的限制。

4、 对于内部缺陷，许用缺陷高度 $2a^*$应遵循注 1 的限制。内部缺陷的形态应根据图A-6 中的第四种情况确定。

5、 表 A-3 是缺陷长度标准。

6、 最大许用轴向应变可以按其它标准和规范验收。

7、 每条曲线的残余应变均为 0.002。

图 A-5　环形平面缺陷的附加验收标准

A.5.3　电弧烧伤

电弧烧伤是指由于电弧冲击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。这种缺陷通常位于韧性比母

材和焊缝低的热影响区中。

表 A-2 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。经验验证电弧烧伤的深度小于宽度。

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

表 A-2　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/4 或 5/16 英寸
长度（任一截面）	＜t/4 或 5/16 英寸
深度（至裂口底部）	1/16 英寸

注：表 A-2 适用于最小 CTOD 值为 0.005 英寸或 0.010 英寸的情况。

A.5.4　缺陷干涉

如果两个缺陷相邻很近，可看成是单个大缺陷，称为缺陷干涉。图 A-6 列出了缺陷干涉的评定标准。若缺陷干涉存在，则应按图 A-6 计算其有效缺陷尺寸，并按本附录评估。

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须按 A.8 进行返修。

A.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探伤或其它非破坏性试验的数据。

A.7　实例

A.7.1　描述

管线工程实例分析：管材 API 5L-65，管径 36 英寸，壁厚 0.812 英寸。环焊缝焊接方法为熔化极气体保护自动焊。焊缝全部进行无损检测。按本附录进行焊接工艺评定，CTOD=0.010 英寸。通过应力分析估计最大许用轴向应变为 0.002 英寸，符合 A.2.2—A.2.4 的规定。

业主规定无损检测方法，该方法应能测出缺陷高度，并能充分证明实际缺陷尺寸不超过检验报告中缺陷尺寸的 0.050 英寸。业主有权将这种验收标准应用于第 9 章验收不合格的缺陷，并有权使用常规射线探伤评定截面性能。

A.7.2　计算和验收

平面缺陷许用尺寸的计算见 A.7.2.1 至 A.7.2.9。

A.7.2.1　步骤 1

以下是相关参数:

a) 管直径 D=36 英寸;
b) 管壁厚 t=0.812 英寸;
c) CTOD 最小值为 0.010 英寸;
d) 最大轴向应变 ε_a=0.002;
e) 许用检验误差为 0.050 英寸。

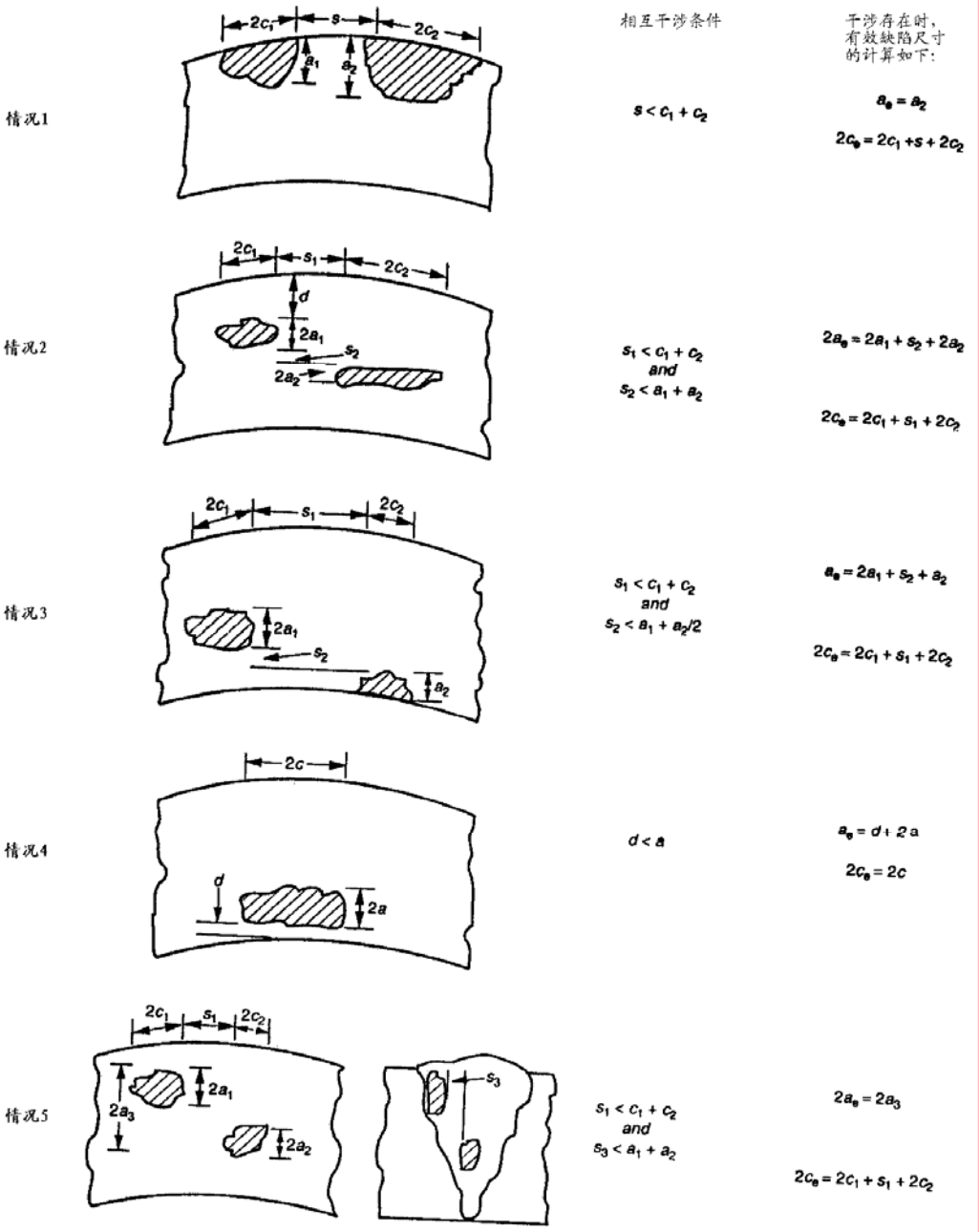


图 A-6——相干涉缺陷的评估标准

A.7.2.2　步骤 2

参考图A-5 确定a^*，由于 ε_a=0.002、CTOD=0.010 英寸，所以a^*=0.36 英寸。

A.7.2.3　步骤 3

确定临时许用表面缺陷高度（见图A-5，注 3）和临时许用内部缺陷高度（见图A-5，注 4）。

表面缺陷： $a_{all,s,t}=a^{*}=0.36$ 英寸

内部缺陷： $2a_{all,b,t}=2a^{*}=0.72$ 英寸

A.7.2.4 步骤 4

对比临时许用缺陷尺寸和图 A-5 注 1，确定最大许用缺陷尺寸:

$a_{max}=0.5t=0.406$ 英寸

对于表面缺陷： $a_{all,s,t} \leqslant a_{max}$

因此， $a_{all,s}=a_{all,s,t}=0.360$ 英寸

对于内部缺陷： $2a_{all,b,t} > a_{max}$

因此， $a_{all,b}=a_{max}=0.406$ 英寸

表 A-3 缺陷长度极限值

高度与管厚度比值	许用缺陷长度
$0 < a/t < 0.25$	0.4D
$0.25 < a/t < 0.50$	4t（见注 2）
$0.50 < a/t$	0

注：1 表 A-3 适用于最小 CTOD 值为 0.005 英寸或 0.010 英寸的情况。

2 该表适用于 $D/t > 17$ 的情况；当 $D/t \leqslant 17$ 时，按图 A-7 验收。

A.7.2.5 步骤 5

根据图 A-5 注 5，参考表 A-3 确定许用缺陷长度的极限值。按以下公式计算相关缺陷尺寸：由于 a/t=0.25,

$a_1=0.25t=0.203$ 英寸

$2c_1=0.4D=14.4$ 英寸

$2c_2=4t=3.25$ 英寸

A.7.2.6 步骤 6

计算 D/t 比值，并根据表 A-3、注 2，按下式评定:

$$D/t=36/0.812=44.3 > 17$$

因此，$2c_2$固定不变。

A.7.2.7 步骤 7

对比浅缺陷的高度极限值a_1和最大许用缺陷尺寸，判断是否允许缺陷大于管壁厚的 25%。

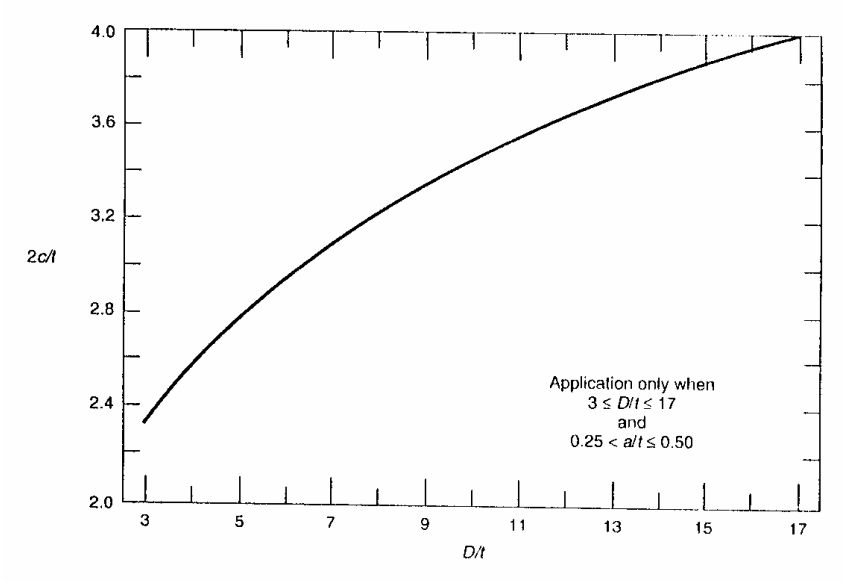
对于表面缺陷： $a_1 < a_{all,s}$， $2c_{2,s}=2c_2=3.25$ 英寸

内部缺陷： $a_1 < a_{all,b}$， $2c_{2,b}=2c_2=3.25$ 英寸

注：如果表面缺陷或内部缺陷的许用尺寸小于a_1，则 $2c_2$应等于 0，a_1应减小为A.7.2.4 中确定的相关值a_{all}。

A.7.2.8 步骤 8

根据表 A-3 建立许用缺陷尺寸表，如表 A-4。



注：该图仅适用于 3⩽D/t⩽17 且 0.25＜a/t＜0.50 的情况。

图 A-7——厚壁管中深度缺陷的长度验收标准

表 A-4　实例的许用缺陷尺寸

表面缺陷		内部缺陷	
高 度	许用长度	高 度	许用长度
$0\text{-}a_{1,s}$	$2c_1$	$0\text{-}a_{1,b}$	$2c_1$
$a_{1,s}\text{-}a_{all,s}$	$2c_{2,s}$	$a_{1,b}\text{-}2a_{all,b}$	$2c_{2,b}$
0-0.203 英寸	14.40 英寸	0-0.203 英寸	14.40 英寸
0.204-0.360 英寸	3.25 英寸	0.204-0.406 英寸	3.25 英寸

表 A-5——实例的平面缺陷尺寸验收

表面缺陷		内部缺陷	
测量高度（英寸）	验收长度（英寸）	测量高度（英寸）	验收长度（英寸）
0-0.153	14.40	0-0.153	14.40
0.154-0.310	3.25	0.154-0.356	3.25
＞0.310	0.00	＞0.356	0.00

A.7.2.9　步骤 9

平面缺陷的验收尺寸等于许用缺陷尺寸减去深度或高度的许用检验误差:

$a_{acc}=a_{all}$-（许用检验误差）

表 A-5 列出该示例中平面缺陷的验收标准。

A.7.3　缺陷评估

表 A-1 是气孔、夹渣和烧穿缺陷的验收标准。业主有权将这些缺陷作为表面缺陷处理，也有权使用表 A-1 的验收标准。此实例中，业主使用了表 A-1 的尺寸计算法，其验收结果

如表 A-6。计算过程中不必考虑检测的精确度，因为这种情况下许用缺陷尺寸已经小于平面缺陷的许用临界断裂缺陷尺寸。

表 A-6 也包括电弧烧伤的验收标准。

探伤人员可以根据表 A-6 和图 A-6，按以下步骤对射线底片中每一种缺陷进行评定。

a、 确定缺陷类型和长度。

b、 对照第 9 章关于缺陷类型和长度的验收标准。若缺陷在允许范围内，则不必进行返修或清除。

c、 若缺陷不满足第 9 章的验收标准，需使用辅助检测工具测量缺陷高度（如果辅助检测设备能够测量缺陷长度，业主可以要求改进缺陷长度的评估）。

d、 对照图 A-6，判断是否存在缺陷干涉，以及名义内部缺陷是否能作为内部缺陷或表面缺陷。如果存在缺陷干涉，应根据图 A-6 重新计算有效缺陷尺寸。

e、 对照表 A-6，判断缺陷尺寸是否合格。若缺陷合格，则不必返修或清除，但必须详细记录缺陷的类型、位置和尺寸；若缺陷不合格，则必须返修或清除。

表 A-6　管线分析实例的验收结果

缺陷类型	高度范围（英寸）	验收长度（英寸）
平面表面缺陷	0-0.153	14.400
	0.154-0.310	3.250
平面内部缺陷	0-0.153	14.400
	0.154-0.310	3.250
气孔	0.203[a]	0.203[a]
夹渣	0.203[b]	3.250
未经返修的烧穿	0.203[b]	1.620
电弧烧伤	1/16[b]	5/16[c]

a: 任一尺寸的验收值

b: 高度的验收值

c: 宽度和长度的验收值

A.8　返修

按本附录验收不合格的所有缺陷都应该按第 9 章和第 10 章进行返修或清除。

A.9　术语

a: 射线探伤中表面缺陷的最大高度，或径向内部缺陷的 1/2 高度（见图 A-8），

a^*: 相关缺陷尺寸（见图A-5），

a_{acc}: 平面缺陷的验收尺寸=许用缺陷尺寸-许用检测误差，

a_{all}: 许用缺陷尺寸，

a_{max}: 最大许用缺陷尺寸，

a_e: 有效缺陷尺寸（见图A-6），

a_b: 内部缺陷尺寸，

a_s: 表面缺陷尺寸，

a_t: 临时缺陷尺寸，

a_1: 浅缺陷的高度极限值，

B: CTOD 试样的厚度，

$2c_1$: 浅缺陷的最大长度，

$2c_2$: 深缺陷的最大长度，

D: 管外径，

d: 内部缺陷至管表面的最近距离（见图 A-6 和图 A-8），

J: 热输入，

S^*: 疲劳谱强度，

t: 公称管厚度，

δ: 裂纹张开位移（CTOD），

δ_c: 脆性启裂CTOD值，

δ_u: 脆性失稳CTOD值，

δ_m: 最大载荷CTOD值。

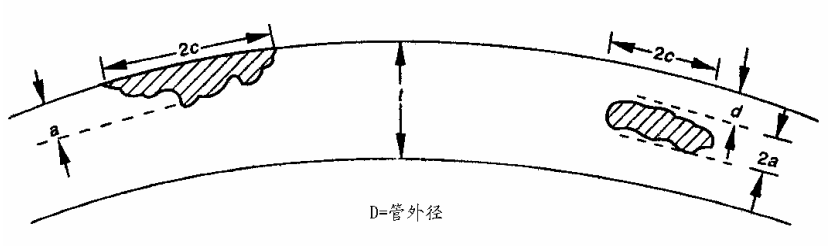


图 A-8——表面缺陷和内部缺陷的尺寸术语

附录 B　　管道不停输焊接

B.1　概述

本附录适用于不停输管线、管道系统的配件返修及安装中的焊接操作。为便于分析，本附录将输送原油、成品油或天然气的长输管线称为不停输管道系统。本附录不涉及已经完全关闭、停产或不再运行的管道系统的焊接。

不停输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。

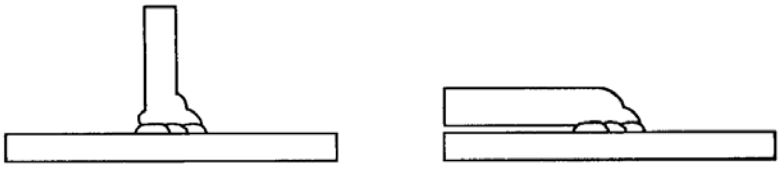
当钢管壁厚≥6.4mm 时，采用低氢焊条（EXX18 型）焊接，正常情况下一般不会出现烧穿现象。而对于薄壁管线，通常需采取特别措施，如控制热输入量等，以防止烧穿。

氢致裂纹的产生，必须同时满足三个条件：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。对不停输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都可以有效地避免氢致裂纹。最常用的方法就是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[1]。这些方法主要是为了预测焊接生产中所需要的热输入量，不能替代焊接工艺评定（B.2 节）。预热，以及采用合理的焊道顺序也可以减少氢致裂纹的产生。对某些不停输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B-1 是典型的焊道顺序。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。

不停输管道系统的焊接，既要保证焊缝的安全性，又要具有可靠的使用性能。例如，如果管壁比较薄[小于 0.250 英寸（6.4mm）]，就必须限制热输入量以防止烧穿，但是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。这样就必须合理调整工艺参数。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，就必须采取其它预防措施（如调整焊道顺序）。

本附录的主要内容是防止在不停输管道系统的焊缝中产生氢致裂纹。若钢管壁厚小于 0.250 英寸（6.4mm），考虑烧穿的可能性，应使用计算机模拟热分析或其它方法确定热输入极量。对于不停输管道系统，其内部流动介质在热作用下可能会引起爆炸，或影响管材性能，使其产生应力腐蚀开裂或脆性断裂等，这些问题在焊接过程中应引起注意。其它焊接指导参见 API 推荐操作 2201。

除了下列附加要求，API 1104 标准中关于角焊缝的要求同样适用于不停输管道系统的焊接。



注：

1、使用窄焊道，先进行焊缝金属隔离层堆焊。

2、后继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 B-1　典型的焊道顺序实例

B.2　不停输管道系统的焊接工艺评定

除了下面的附加要求外，应按第 5 章对不停输管道系统的角焊缝进行焊接工艺评定。

B.2.1　工艺规程

B.2.1.1　规范参数

B.2.1.1.1　管子和管件材料

不停输管道系统焊接时，除了指明材料的最小屈服强度外，还应指明材料的碳当量[2]。碳当量等级可以进行分组。

B.2.1.1.2　管线施工条件

不停输管道系统焊接时，应指明焊接工艺适用的管线施工条件（如管子输送介质、流量等）。施工条件可以分组。

B.2.1.1.3　热输入范围

采用足够高的热输入量[3]来克服流动介质影响时（热输入量控制工艺），应规定要求的热输入量范围。

B.2.1.1.4　焊道顺序

采用合理的焊道顺序以改善流动介质影响时(焊道顺序工艺)，应规定要求的焊道顺序。

B.2.2　基本要素

B.2.2.1　焊接工艺规程基本要素的变更

B.2.2.1.1　管子和管件材料

对于不停输管道系统的角焊缝，规定的最小屈服强度不是基本要素。

B.2.2.1.2　管线施工条件

对于不停输管道系统的焊接，从一种管线施工条件分组变为另一种恶劣的管线施工条件（焊接冷却速度方面）分组。

B.2.2.1.3　壁厚

对于不停输管道系统的焊接，壁厚不是基本要素。

B.2.2.1.4　焊道顺序

从一种焊道顺序变为另一种焊道顺序。

B.2.3　试验管接头的焊接

不停输管道系统中支管和套管的焊接应按 5.7 进行。焊接时，应先模拟管线施工条件。

注：焊接试验管接头时，试验管内应充满水，且水流过试验截面时的热条件应与施工现场相同或更恶劣（见图 B-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。也可以采用其它介质（如机油）来模拟不太恶劣的热环境。

B.2.4　焊接接头试验

B.2.4.1　准备

焊接接头试验应按 5.8 进行。试样取样应按图 B-3 进行。试验项目和试样数量见表 B-1。

表 B-1　试验项目和试样数量

管壁厚（mm）	焊接类型	试样类型[a]						
		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
	套管		4[b]		4		4	12
	支管		4[b]		4		4	12
>12.7	坡口	2	2			4		8
	套管		4[b]		4		4	12
	支管		4[b]		4		4	12

a 外径小于或等于 4.500 英寸（114.3mm）的管子或支管，需焊接两个试验焊缝。

b 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 B.2.4.5）。

B.2.4.2　纵向焊缝

环形套管的纵向焊缝应按 5.6 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。

B.2.4.3　支管和套管焊缝

除了 B.2.4.1 规定的试验外，还应按 5.8 进行支管和套管焊缝试验。

B.2.4.4　宏观金相试验——支管和套管焊缝

B.2.4.4.1　准备

宏观金相试样至少 1/2 英寸（13mm）宽（如图 B-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 1/4 英寸（6mm）。宏观金相试样应至少有一个表面经 600 目砂纸抛光。用侵蚀液（如过硫酸铵或稀释盐酸）腐蚀试验表面，以清晰显示焊缝组织。

B.2.4.4.2　外观检查

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。

B.2.4.4.3　硬度试验

四个宏观试样中有两个用来做硬度试验。硬度试样应按照 ASTM E92 的要求准备。硬度试验需要在每个试样的粗晶热影响区测 5 个点，用维氏硬度机压头，对每个测量点施加 10kg 的载荷，最后从五个压痕中确定最小硬度值。

B.2.4.4.4　要求

每个试样的焊缝根部应完全熔合和无裂纹。角焊缝的焊脚长度至少应等于焊接规程中规定的长度，角焊缝的曲度误差不应超过 1/16 英寸（1.6mm），咬边厚度不应超过 1/32 英寸（0.8mm）或钢管壁厚的 12.5%。若一种焊接工艺使热影响区硬度值大于 350HV，则应对这种工艺的焊缝产生氢致裂纹的可能性进行评估。

B.2.4.5 面弯试验——支管和套管焊缝

B.2.4.5.1　准备

面弯试样约 9 英寸（230mm）长，1 英寸（25mm）宽（如图 B-5 所示）。面弯试样可以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 1/8 英寸（3mm）。试样各表面应光滑平行，且其长边缘应磨成圆角。焊缝余高应去除至与试样母材表面平齐。所有咬边都应清除。

注：可以使用刻槽锤断试样的剩余部分做面弯试样。

B.2.4.5.2　方法

面弯试验应在焊后 24 小时内进行。面弯试验应在导向弯曲模具上弯曲，模具如图 9 所示。试样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。

B.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它缺陷尺寸应不大于 1/8 英寸（3mm）或钢管公称壁厚的 1/2。除非发现其它缺陷，由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上可不大于 1/4 英寸（6mm）。

B.3　焊工资格

除了下面规定的附加要求外，在对不停输管道系统进行焊接前，应按 6.2 的规定对焊工进行具体工艺的资格考试。

B.3.1　试验管件的焊接

焊接试验管件时，应先模拟管线施工条件。这些施工条件会影响管壁散热的能力。

注：焊接试验管接头时，试验管内应充满水，且水流过试验截面时的热条件应与施工现场相同或更恶劣（见图 B-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。也可以采用其它介质（如机油）来

模拟不太恶劣的热环境。

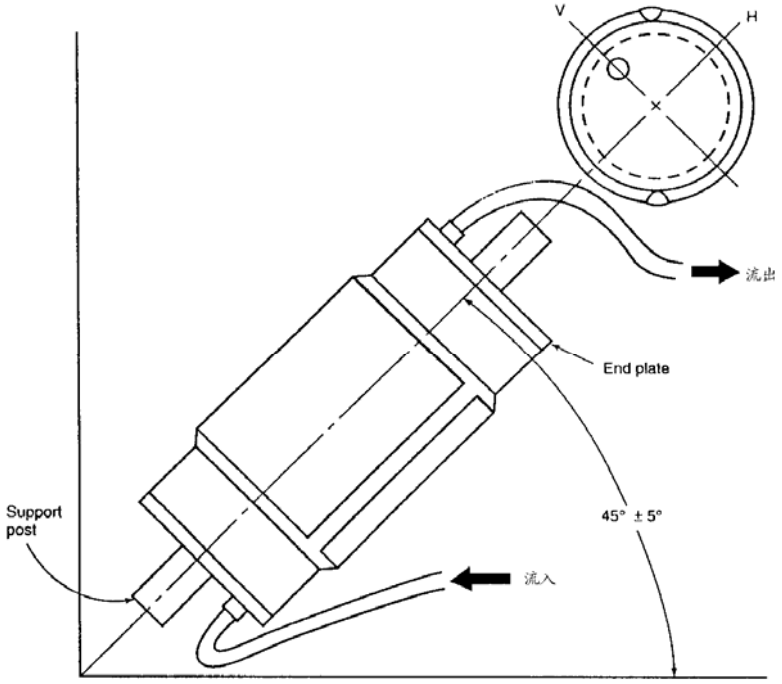
采用热输入控制工艺时，焊工应能保持热输入量在焊接工艺规程范围内。采用焊道顺序工艺时，焊工应能使用合理的焊道顺序。

B.3.2　焊缝试验

如果考试焊口经检验和试验符合 6.4 和 6.5 的要求，则焊口合格。

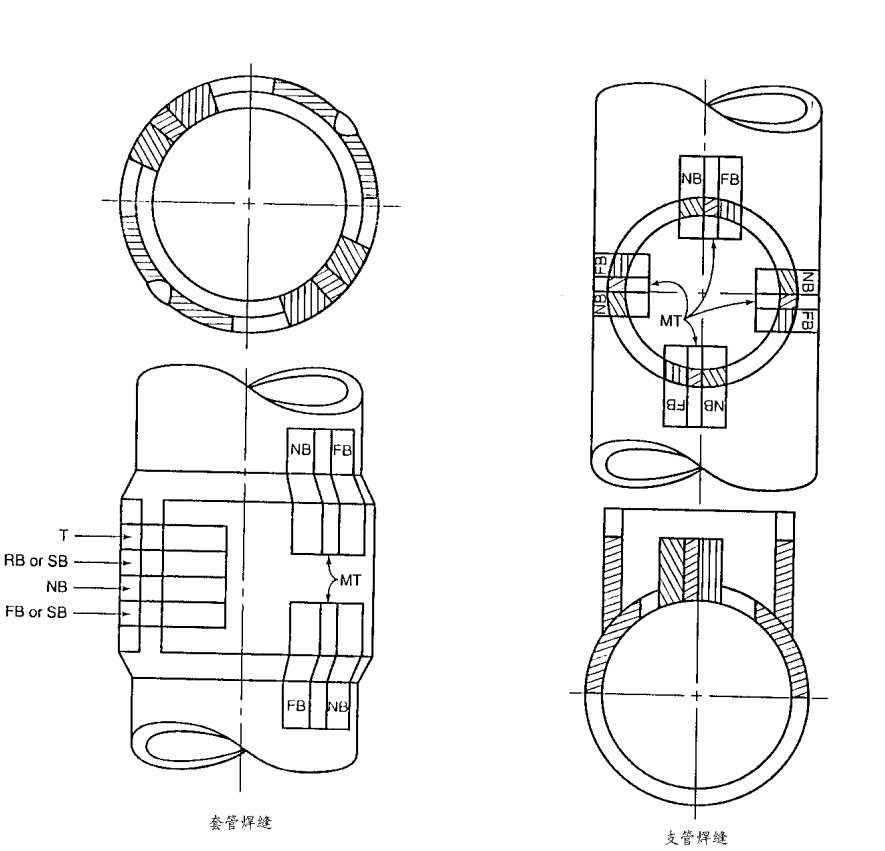
B.3.3　记录

应该明确记录焊工考核时的管线施工条件（如管子输送介质、流量等）。施工条件可以宁分组。



注：这种试验条件适用于各种现场施工条件下的工艺评定。也可以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 B-2　推荐工艺和焊工评定试验部件



注：T：拉伸试验；RB：背弯试验；FB：面弯试验；
NB：刻槽锤断试验；SB：侧弯试验；MT：宏观磨片试验

图 B-3　在役焊接工艺评定试验试样的取样位置

B.4　不停输管道系统焊接的推荐意见

除了下面的增补要求，第 7 章中焊接生产的要求也适用于工程焊接。

在进行不停输管道系统的焊接之前，焊工应综合考虑影响焊接安全可靠性的各方面因素，如工作压力、流动状态和焊接处的壁厚等。应检查焊接区域，以确保没有缺陷，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。其它指导参见 API 推荐操作 2201。

B.4.1　定位

B.4.1.1　装配

焊接套管和轴时，套管或轴与输送管之间的间隙不应太大。应使用压紧装置合理装配。如有必要可在输送管上堆焊一层焊缝使间隙最小。

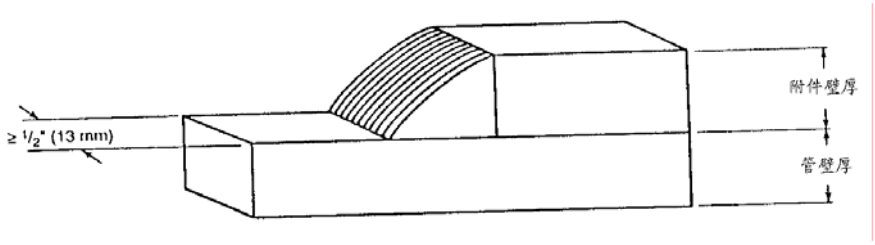
B.4.1.2　根部间隙—纵向焊缝

当整个套管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。

注：不允许纵向对接焊缝焊透至输送管上，因为在输送管中任何裂纹都会受到环向应力影响。

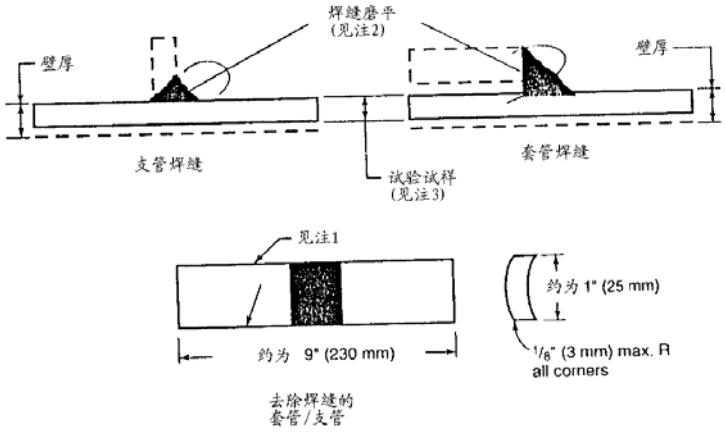
B.4.2　焊接顺序

套管和支管的推荐焊接顺序如图 B-6 至图 B-11 所示。



注：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 B-4　在役焊缝的宏观试验试样



注：

1、试样可以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 B.2.4.5.1）。

2、套管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。

3、壁厚大于 0.500 英寸（12.7mm）时的部位，应通过内表面的机械加工切除至 0.500 英寸（12.7mm）。

4、可以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 B-5　面弯试样

B.5　焊缝的检查与试验

除了以下附加要求外，应按照第 8 章的要求对焊缝进行检查和试验。

由于与输送管相连的焊缝常产生焊道下裂纹或延迟裂纹，因此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探出这些裂纹（尤其是在输送管焊趾部位的裂纹）。

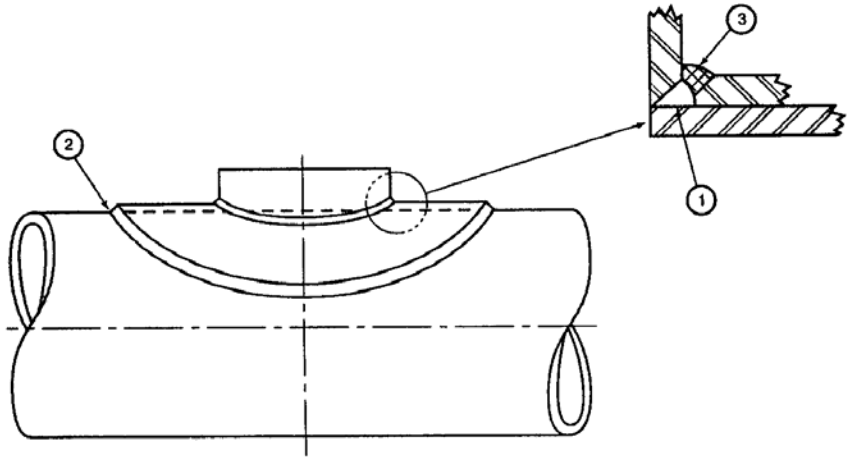
注：磁粉探伤、超声波探伤，或两者共用的探伤方法以及一些评定、验证合格的工艺，对于检测套管、轴和支管与输送管焊接的焊趾部位的氢致裂纹是非常有效的。

B.6　无损检测验收标准（包括外观检查）

第 9 章缺陷的无损检测验收标准应适用于工程焊缝。

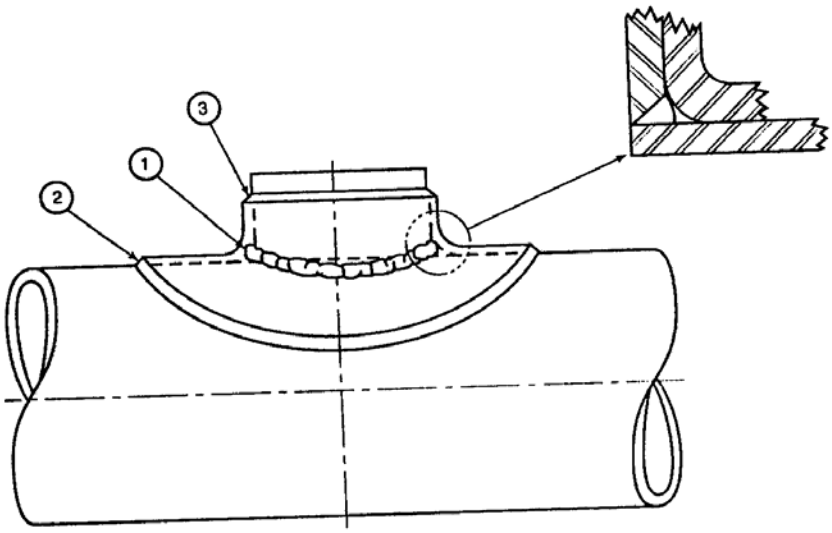
B.7　缺陷的清除和返修

不停输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。



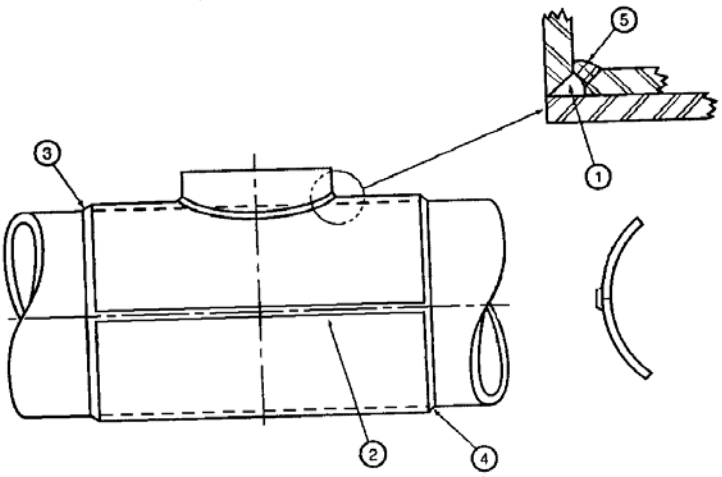
注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其它焊接顺序。

图 B-6　加固板



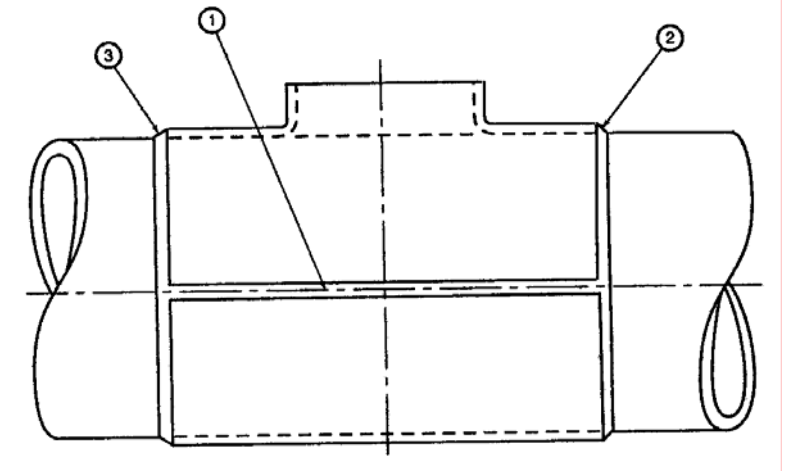
注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其它焊接顺序。

图 B-7　加固板



注：这是一种推荐焊接顺序；根据业主的意见，可以采用其它焊接顺序，第 3 和第 4 道环向焊缝可以不焊。

图 B-8　环形套管

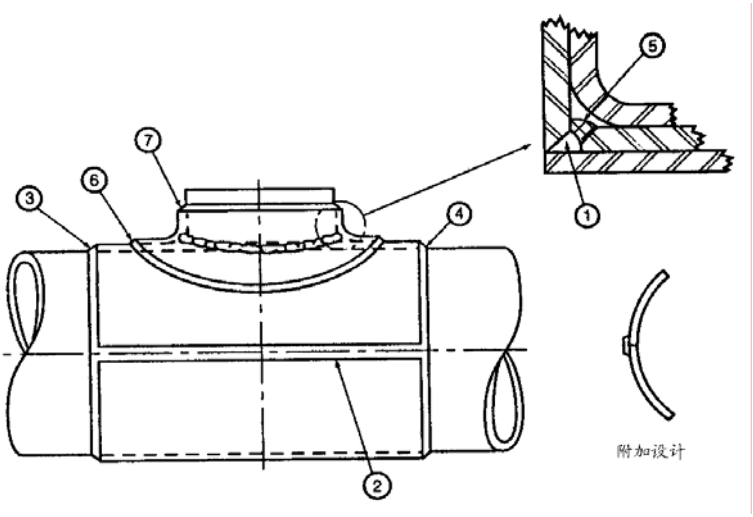


注：

1、这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其它焊接顺序。

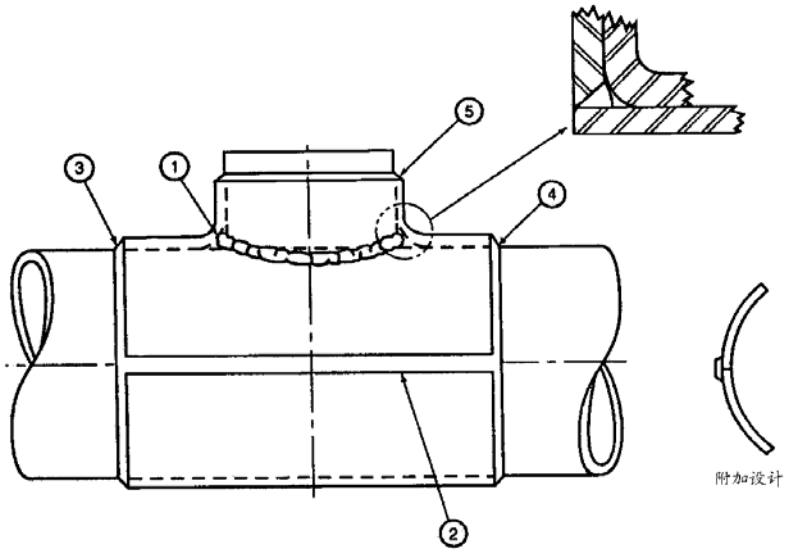
2、施焊时，管件承受管线工作压力。

图 B-9　环形三通管



注：这是一种推荐焊接顺序；根据业主的意见，可以采用其它焊接顺序，第 3 和第 4 道环向焊缝可以不焊。

图 B-10　环形套管和板



注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其它焊接顺序。

图 B-11　环形板

1 参见“管线维修焊时冷却速度的预测和关于 Battelle 的高温分接热分析模型的用户手册”，API 序列号为 D12750。

2 碳当量：CEIIW=%C+%Mn/6+（%Cu%Ni）/15+（%Cr+%Mo+%V）/5。

3 热输入（千焦/英寸）=（电流 × 电压 × 60）/（速度[英寸/分] × 1000）

或 热输入（千焦/毫米）=（电流 × 电压）/（速度[毫米/秒] × 1000）