

工业管道的焊接

第一节 材料要求

第 1.1.1 条 管道组成件必须具有制造厂的合格证明书，否则应补所缺项目的检验。

第 1.1.2 条 焊接工程中所用的母材和焊接材料应具备出厂质量合格证明书或质量复验报告。

第 1.1.3 条 焊接工程中应优先选用已列入国家标准或部颁标准的母材和焊接材料。

第 1.1.4 条 如设计选用未列入标准的母材和焊接材料，应说明该材料的可焊性，并提出满足设计要求的焊接工艺试验资料。

第二节 主要机具

第 1.2.1 条 焊接设备：包括交流电焊机、直流电焊机、氩弧焊机。

第 1.2.2 条 机具包括：坡口加工机、切割机、角向磨光机、台式钻床、等离子弧切割机、焊矩。

第 1.2.3 条 计量器具包括：柜式水平仪、焊接检验尺，内外径千分尺、内外径卡尺、深度游标尺、高度游标尺、万能角度尺、光学水准仪、光学经纬仪。

第 1.2.4 条 液压千斤顶、液压式万能材料试验机、热处理设备、微机电子式拉力试验机、便携式数显里氏硬度计、光谱分析仪。

第 1.2.5 条 探伤设备及其它：X 射线探伤机、超声波探伤仪、梯粉探伤机、智能化 X 射线探伤机、远红外线干燥机。

第三节 作业条件

第 1.3.1 条 与管道有关的土建工程、金属结构工程检验合格，满足管道安装要求。

第 1.3.2 条 与管道连接的机械设备，容器已找正固定，或已确定管口方位及标高。

第 1.3.3 条 管道组成件已清理完毕，并满足设计规定的特殊清理要求。

第 1.3.4 条 管道加工及预制完成，并编号。

第 1.3.5 条 焊接平台按工程要求制作完成。

第四节 操作工艺

第 1.4.1 条 工艺流程：



第 1.4.2 条 焊工

1. 压力管道所用焊工必须取得由长沙市技术监督局批准颁发的《锅炉压力容器焊工合格证》，且只限于焊接《合格证》内规定的项目。

2. “压力容器焊工合格证”有效期为三年，超过有效期后必须重新办理，否则视为无效。

3. 焊工累计合格项目满足 GB235-82 中表 4.4.1 规定的所有材质的焊接。

4. 焊工操作评定：焊工操作评定考试的技术要求，由技术人员制订，要求符合有关规范、标准、管理法令及用户的技术条件。每一焊工都应有鉴别的编号，且对焊工应不断观察其操作状况与重新评定的需要。

第 1.4.3 条 焊接材料

1. 施工前，必须复查受压零件的材料质保书、制造厂的化验单，从元素含量、机械机能等方面衡量其性能是否符合要求，对可疑的部件，必要时进行抽样复验。

2. 购进的焊条、焊丝要带有焊条制造厂的合格证书，并标明焊芯金属的元素含量、机械性能、药皮材料等。用于受压元件上的焊条、焊丝，每购进一批，要做试样并进行复验。

3. 焊接材料保管必须存放干燥、通风良好的仓库内，做到防潮、防雨、防霜及油类侵蚀，距墙 300mm，离地 300mm，室内温度 5℃ 以上，相对湿度 60% 以下。按牌号、规格制造厂家分类并做好标识。

4. 焊条在使用前应按要求烘干，低氢型焊条烘干温度为 350-400℃，恒温时间为 1h；超低氢型焊条烘干温度为 400-450℃，恒温时间为 1h；纤维素型下向焊条烘干温度为 70-80℃，不得超过 100℃，恒温时间为 0.5-1h。

5. 经烘干的低氢型焊条，应放入温度为 100-150℃ 的恒温箱内，随用随取，现场用的焊条，应放在保温筒内。

6. 经烘干的低氢型焊条（不包括恒温箱内存放的焊条），次日使用时应重新烘干，重新烘干次数不超过两次。

7. 焊条若有药皮裂纹和脱皮现象，不得用于管道焊接。纤维素型下向焊条施焊时，一旦发现焊条药皮严重发红，该段焊条应予作废。

第 1.4.4 条 坡口加工及接头组对

1. 坡口加工宜采用机械法，如坡口机加工，也可采用等离子弧、氧乙炔焰加工，热加工的坡口，应除去坡口表面的氧化皮，熔渣及影响焊接的表面层，并将凹凸不平处打磨平整。

管子、管件的坡口形式和尺寸，当设计无规定时，可按以下标准选用：

壁厚 $S < 3\text{mm}$ 时，I 型坡口，间隙 C 为 $0 \sim 1\text{mm}$ ，采用单面焊；

壁厚 $3 \leq S < 6\text{mm}$ 时，I 型坡口，间隙 $C = 0 \sim 1.5\text{mm}$ ，采用双面焊；

壁厚 $6 \leq S < 26\text{mm}$ 时，V 型坡口，坡口角度为 60° 左右，间隙 $C = 1 \sim 3\text{mm}$ ，钝边 $P = 1 \sim 3\text{mm}$ 。

壁厚 $6 \leq S < 26\text{mm}$ 时，也可采用带垫板 V 型坡口， $C = 3 \sim 6\text{mm}$ ， $\alpha = 50^\circ$ ， $P = 1 \sim 2\text{mm}$ ，垫板宽 $d = 20 \sim 40\text{mm}$ ，垫板厚 $t = 4 \sim 6\text{mm}$ 。

$12 \leq S < 60\text{mm}$ 时，也可开 X 型坡口， $C = 0 \sim 3\text{mm}$ ， $P = 0 \sim 3\text{mm}$ ， $\alpha = 60^\circ$ 。

$S \geq 20\text{mm}$ 时，U 型坡口， $C = 0 \sim 3\text{mm}$ ， $P = 1 \sim 3\text{mm}$ ， $\alpha = 12^\circ$ 。

2. 组对时，应对坡口及附近管内、外表面进行清理，清理合格后应及时焊接，为防止焊接裂纹和减少应力，不得强行组对，与设备连接的焊口更应防止强行组对。组对后，根据情况进行垫置或支撑。

管子、管件定位焊，应由合格焊工采用与正式焊接要求相同的焊接材料和工艺进行焊接。

定位焊缝的尺寸可按下表选用：

钢 号	焊前预热壁厚 (mm)	温度 ()	焊后热处理壁厚 (mm)	温度 ()
10.20 ZG25	26	100-200	>36	600 - 650
16Mn (15MnV)	15	150 - 200	>20	600 - 650 (520-570)

第 1.4.5 条 预热及热处理

当管道焊接环境温度低于 0°C 时，所有钢种在始焊处 100mm 范围内应预热 150°C 以上。

预热时的加热范围，以对口中心线为基准，每侧不应小于焊件厚度的 3 倍，热处理的加热范围，每侧不应小于焊缝宽度的 3 倍。

对容易产生焊后延迟裂纹的管道，应在焊后立即加热至 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ ，然后保温缓冷。

第 1.4.6 条 焊接方法：

手工电弧焊，适用于各种钢材、厚度、结构形状和位置。

惰性气体保护焊：常用氩弧焊。适用于管道打底焊。公称直径小于 80mm，小口径管和 4mm 以下薄壁的铝、镁等焊接。

氩弧焊打底和手弧焊盖面结合法。适用于石油化工装置的 I、II 类管道，刷通、易燃、可燃介质的 A、B 类管道的打底焊。

第 1.4.7 条 碳钢管道的焊接

管道用碳钢因焊接工艺性能的要求，一般均选择含碳量不超过 0.25% 的碳钢，即低碳钢。

（一）管道用低碳钢种类

B₃F、Q235 - AF、Q235 - A、10 及 20 钢为配管常用材质，其中因 20 钢综合机械性能较好，焊接工艺性能也很好，所以在管道工程中应用最多、最广。

（二）管道用低碳钢的焊接

对于碳素钢管道，手工电弧焊是用得最普遍、最广泛的一种焊接方法，除了工作条件苛刻的低碳钢管道的打底焊及小口径管、薄壁管等采用惰性气体保护焊外，一般情况下，低碳钢管道从打底焊到盖面层均可全部采用手工电弧焊焊接。

1. 手工电弧焊焊接材料

主要采用 E43 型电焊条，有时也选 E50 型电焊条，具体选用如下表所示。

配管用低碳钢焊条选用表

钢 号	焊 条 选 用		
	焊接一般工作条件的管道	焊接工作条件较苛刻的管道（如承受动荷载、工艺参数变动较大、壁厚较大、低温下工作及受复杂应力作用）	
B ₃ F Q235 - A.F Q235 - A	E4303		一般不预热
10 20	E4303	E4316、E4315 或 E5016 E5015	壁厚>26mm 预热 100 ~ 200

2. 手工电弧焊焊接规范

焊接规范通常是指焊条牌号、焊条直径、焊接电流和焊接层数（或焊接速度）。手工电弧焊焊接规范，根据施焊管道工作条件、壁厚、焊接位置和焊工习惯等有一定的变化范围。但一般应注意将焊接线能量限制在 $21000 \sim 29000 \text{ J/cm}$ ，防止线能量过大造成焊缝一次结晶粗大，产生区域偏析和扩大热影响区，将会导致焊接接头冲击韧性下降。对于工作在低温情况下的管道，尤其应严格控制线能量，应采用小线能量施焊，以防接头冲击韧性的下降。

电源种类及极性

管道焊接，一般均采用直流焊机，并反接施焊（焊条接正极），其优点是用直流焊机施焊时电弧燃烧稳定，焊缝不容易产生气孔等。但对于 B_3F 、Q235 - AF、Q235 - A 等普通钢材，一般均可采用交流焊机焊接。

焊条直径和焊接电流

表 4 根据管壁厚选用焊条直径表

管壁厚 (mm)	2	3	4 ~ 5	6 ~ 12	>13
焊条直径 (mm)	2	3.2	3.2 ~ 4	4 ~ 5	4 ~ 6

在进行多层焊的第一层焊缝（即打底焊）的焊接时，一般采用 3.2mm 的焊条。

平焊时，焊条直径可比其它位置大一些；立焊时，焊条直径最大不超过 5mm；仰焊、横焊时，焊条直径不超过 4mm。这主要是为了形成较小的熔池，减少熔化金属下流和便于操作。

焊接电流的选取一般应按下式进行初略计算。

$$I = (35 \sim 55) d$$

式中：I - 焊接电流，A；

d - 焊条直径，mm。

注意：根据上式计算得出的焊接电流仅供参考，实际施焊时应按具体情况灵活掌握。如平焊时，由于运条和控制熔池中的熔化金属都比较容易，因此，可选用较大的电流进行焊接。但在横焊、立焊、仰焊时，为避免熔化金属从熔池溢出，应选用偏小的电流焊接。

焊接层数

在管道壁厚大于 6mm 时，往往采用多层多道焊，虽焊接层数的多少对质量的影响有时不太明显，但应将单层厚度限制在 4 ~ 5mm 以下。否则，将会对焊缝的塑性、韧性造成不利影响。

第 1.4.8 条 管道用普通低合金钢及耐热钢的焊接

(一) 管道用普通低合金钢及耐热钢的种类

主要有强度钢 (16MnR) 和珠光体耐热钢 (12CrMo、15CrMo、15CrMoV、15CrMoIV、20CrMo、12Cr3MoA 和 Cr5Mo) 两类。

(二) 管道用低合金钢的焊接性

一般低合金钢的焊接性是比较好的,但随着合金含量的提高,焊接时容易出现以下问题:

1. 冷裂纹 (延迟裂纹)

这是焊接低合金钢时最容易出现的问题,冷裂纹一般均产生于焊接接头的热影响区。产生原因如下:

焊缝和热影响区的含氢量偏高

由于熔池金属在冷却过程中析出大量的氢原子,其中一部分在热影响区聚集成氢分子造成很大的压力,导致产生裂纹。

热影响区的淬硬程度

低合金钢有较明显的淬硬性,如果焊接工艺不当,容易在近缝区出现马氏体组织,使性能变坏 (塑性、韧性下降),导致焊接接头对裂纹的敏感性增强。

焊接接头的刚度

接头刚度越大 (如管子壁厚较大、施焊时进行强制对口等),造成的局部应力也越大,产生冷裂纹的倾向随之增大。

综上所述,氢、马氏体和焊接应力是产生冷裂纹的主因。

因氢的扩散需一定时间,所以冷裂纹要在焊后经过一段时间才会出现,所以它又称为延迟裂纹。

2. 热裂纹

如采用较大的焊接线能量焊接低合金钢时,也可能产生热裂纹,其原因如下:

焊缝中含硫、磷,这是两种促使产生热裂纹的主要元素。

焊缝的形状系数 (即熔宽与熔深的比值) 越小 (小于 1),热裂倾向越大。手工电弧焊的焊缝形状系数在 1.3~2.0 之间变动。

焊接接头的拘束条件。拘束应力越大,热裂倾向越大。

(三) 管道用低合金钢的焊接工艺特点

针对低合金钢焊接时易出现的问题,其焊接工艺特点如下:

严格焊接材料的管理和坡口的清理、控制焊材含氢量,这对防止冷

裂纹至关重要。为此焊前焊条应严格按照规定烘干、保存、发放和使用，焊前将坡口油污、铁锈、脏物和氧化皮等清除干净。

选用低氢型焊条施焊。

采取焊前预热，焊接中保持层间温度和焊后热处理等措施防止接头出现淬硬组织、消除焊接应力和氢等，防止冷裂纹产生。

禁止强制对口，以减少焊接接头承受的压力，这对防止冷裂纹的发生有利。

低合金钢焊接时，可采取较低碳钢大的焊接线能量，这可减小近缝区的淬硬倾向，起到预热的效果。但注意焊接线能量不可过大，以防焊接接头晶粒粗化，使接头性能变坏。

低合金钢一般均采用直流电焊机焊接，打底层一般多用氩弧焊，焊条直径和焊接电流的选用原则同低碳钢，焊接材料的选用见下表。

焊 接 材 料

钢 号	焊 条	焊 丝	预热温度	热处理温度
16MnR	E5015	H08MnA	一般不预热	一般不做热处理
12CrMo	E5515-B1	H13CrMo	150 ~ 200	650 ~ 700
15CrMo	E5515-B2	H13CrMo	150 ~ 250	680 ~ 720
20CrMo	E5515-B2	H13CrMo	150 ~ 250	680 ~ 720
15CrMoV	E5515-B2-V	H08CrMoV	250 ~ 350	720 ~ 750
15CrMoIV	E5515-B2-VW	H08CrMoV	250 ~ 350	720 ~ 750
12Cr3MoA	E5515-B2-VWB	H08Cr ₂ MoVNO	250 ~ 350	750 ~ 780
Cr5Mo	E1-5MoV-15	H1Cr5Mo	250 ~ 350	750 ~ 780

第五节 质量标准

管道焊接检验的目的是为了发现焊接接头的超标缺陷，并及时予以消除，以保证管道的正常使用和安全运行。

（一）焊接缺陷

焊接缺陷按其在接头中的位置，可分为外部缺陷和内部缺陷两大类。

外部缺陷位于焊接接头的外表面，用肉眼或低倍数放大镜就可以看到。它又分为以下几类：

a. 焊缝尺寸不符合要求。

焊缝外表形状高低不平，焊缝宽度宽窄不等以及表面存在不允许的超标缺陷。

b.咬边。基本金属和焊缝交界处的凹下沟槽称为咬边。咬边是除裂纹外的很危险的缺陷。它不但削弱了基本金属的工作截面，并在咬边外造成应力集中，对于承受动荷载的管道，它还会成为产生疲劳裂纹的发源地。

c.焊瘤。熔化金属溢流到加热不足未能熔化的母材上，这种未能和母材熔合在一起的堆积金属叫焊瘤。

d.弧坑未填满。

e.未焊透。

f.气孔。

g.裂纹。分冷裂纹和热裂纹两大类。裂纹是焊接接头中最危险的缺陷，一般不允许在宏观裂纹存在于接头中。

h.未熔合。

内部缺陷位于焊接接头的内部，这类缺陷只能用破坏性试验或探伤方法才能发现。内部缺陷有未焊透、未熔合气孔、裂纹和夹渣等。

（二）焊接检验

这里所指的焊接检验是指焊接后的成品检验。按检验性质可分为非破坏性检验和破坏性检验两大类。

非破坏性检验

外观检验。目视或用 10 倍以上放大镜检查，对于低合金钢管道的焊接接头的外观检查应进行两次，即焊后的立刻检查和 15～30 天之后的第二次检查。第二次检查的原因是低合金钢中冷裂纹的产生需要一定时间，立刻检查时可能没有裂纹，但在焊后经过一定时间就可能出现。各级焊缝表面质量标准见表 5.1 所示。

表 5.1 对接接头焊缝表面质量标准（mm）

编号	项 目	焊缝等级			
1	1．表面裂缝 2．表面气孔 3．表面夹渣 4、熔合性飞溅	不 允 许		不 允 许	
2	咬 边	深度： $e_1<0.5$ 长度小于或等于焊缝全长的 10%，且小于 100			
3	表面加强高	$e_1+0.01b_1$ ，但最大为 3		$e_2+0.20b_1$ ，但最大为 5	
4	表面凹陷	不 允 许		深度 $e_1 \leq 0.5$ 长度小于或等于焊缝全长的 10%，且小于 100	
5	接头坡口错位	$e_1<0.15s$ ，但最大为 3		$e_2<0.25s$ ，但最大为 5	

致密性试验和水压强度试验。致密性试验包括气压试验、煤油试验和水压试验，其目的主要是检查焊缝的致密性。

水压强度试验的目的是检验焊接接头的强度。

焊接接头的 X 射线探伤法和超声波探伤法。

各级焊缝在进行外部检查合格后，应根据表 5.2 的规定进行无损探伤，以检查焊缝的内部质量，根据《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》(GBJ236-82) 的规定焊接接头内部质量标准应符合表 5.3 的要求。

表 5.2 管道焊缝射线探伤数量

焊缝等级		探伤数量 (%)	适 应 范 围
I		100	高于 II 级焊缝质量要求的焊缝
	A	100	I 类管道及 II 类管道固定焊口
	B	15	类管道及 类管道转动口(类管道固定焊口探伤数量为 40%)
	A	10	类管道固定焊口
	B	5	类管道转动焊口
	A	5	类铝及铝合金管道焊口 (其中固定焊口为 15%)
	B	由检验员提出时 做但不多于 1%	类管道焊口

表 5.3 对接接头焊缝内的质量标准

编号	项 目		等 级			
1	裂 纹		不允许	不允许	不允许	不允许
2	未熔合		不允许	不允许	不允许	不允许
3	未焊透	双面或加热单面焊	不允许	不允许	不允许	不允许
		单面焊	不允许	深度 10% s , 最大 2mm, 长度 夹渣总长	深度 15% s , 最大 2mm, 长度 夹渣总长	深度 20% s , 最大 3mm, 长度 夹渣总长
4	气孔和点夹渣	壁厚 (mm)	点 数	点 数	点 数	点 数
		2~5	0~2	2~4	3~6	4~8
		5~10	2~3	4~6	6~9	8~12
		10~20	3~4	6~8	9~12	12~16
		20~50	4~6	8~12	12~18	16~24
		50~100	6~8	12~16	18~24	24~32
		100~200	8~12	16~24	24~36	32~48
5	条状夹渣 (mm)	单个条状夹渣长	不允许	1/3 s , 但最小可为 4, 最大 20	2/3 s , 但最小可为 6, 最大 30	s , 但最小可为 8, 最大 40
		条状夹渣总长	不允许	在 12 s 长度内 s 或在任何长度内 单个条状夹渣长度	在 6 s 长度内 s 或在任何长度内 单个条状夹渣长度	在 4 s 长度内 s 或在任何长度内 单个条状夹渣长度
		条状夹渣间距		6 L , 间距小于 6 L 时, 夹渣总长 单个条状夹渣长度	3 L , 间距小于 3 L 时, 夹渣总长 单个条状夹渣长度	2 L , 间距小于 2 L 时, 夹渣总长 单个条状夹渣长度

管道的探伤方法：对Ⅰ级焊缝必须100%的进行射线探伤；对Ⅱ、Ⅲ级焊缝射线探伤和超声波探伤任选一种方法或两种方法分主次同时使用，超声波探伤数量与射线探伤数量相同。当选用超声波探伤时，应经施工技术总负责人批准，并应对超声波探伤部位进行复验，数量为规定探伤数量的20%，且不少于300mm或一个焊口。

磁粉探伤。此法常用来检查铁磁性材料表面或近表面的裂纹、夹渣等缺陷。由于非铁磁粉材料（如奥氏体不锈钢）不能磁化，因此不能用磁粉探伤法检查。

荧光探伤的着色探伤。对于奥氏体不锈钢、铜和铝等无磁性材料，因不能用磁场探伤，故常用荧光探伤或着色探伤来检查表面缺陷（主要指表面裂纹）。

管道通球试验。此法用来检查管道环焊缝单面对接焊后内壁成型质量。若球能通过焊口，说明成型质量良好；否则，说明内壁成形不良，存在焊瘤。

2. 破坏性试验

焊缝的化学成分分析。目的是检查焊缝金属的化学成分、化学成分的偏差将影响焊缝的物理性能、化学性能和机械性能。经常被分析的元素有C、Mn、Si、S和P等。对一些合金钢或不锈钢焊缝，尚需分析其Cu、V、Mo、Ti、Cr、Ni和Al等的含量。

金相组织检验。目的是分析焊缝金属及热影响区的金相组织，测定晶粒的大小及焊缝金属中各种显微氧化夹杂物、氢白点的分布情况，以鉴定对该金属所选择的焊接工艺的正确性及热处理工艺和其它因素，对焊接接头机械性能的影响。

机械性能试验。焊缝金属焊接接头的机械性能试验一般包括拉伸、冲击、弯曲、压扁和疲劳试验等。其目的是为了测定焊缝金属和焊接接头的强度、韧性、塑性和疲劳强度等各项机械性能指标。

硬度试验。目的是通过测定焊接接头各部分（指焊缝金属、热影响区和母材金属）的硬度。以判断接头有无淬硬组织和是否需要通过热处理来改善淬火组织。对于易淬火的低合金钢焊接接头，硬度试验尤为重要。当仅在焊接接头外表面打硬度时，此法也可作为无损检验法使用。

晶间腐蚀试验。对于不锈钢管道，有时需作此试验以验证焊接接头的抗晶间腐蚀能力。因为通过焊接及热处理等各项工艺后，接头的抗晶间腐蚀能力会有所变化。

第六节 成品保护

第 1.6.1 条 焊接时应注意不要在管道外壁面起弧，应在坡口内起弧。以免擦伤，影响外观。

第 1.6.2 条 不在现场组装的管段在运输过程中应防止擦伤，在现场组装的管段，组装后应堆放在有防护或遮盖的场地，以防锈蚀。

第 1.6.3 条 焊后应按要求做防锈及保温处理。

第七节 应注意的质量问题

第 1.7.1 条 管道连接焊缝应注意：

- a. 直管段两环缝间距不上于 100mm。
- b. 焊缝距弯管起弯点不小于 100mm，且不小于管道外径。
- c. 卷管的纵向焊缝不应放置在管道底部，应置于易检查的位置。
- d. 环焊缝距支、吊架净距不小于 50mm。
- e. 在管道焊缝上不得开孔，如必须开孔，焊缝应无损检测。
- f. 对管内清洁要求高，且焊后不易清理的焊缝，宜用氩弧焊打底。
- g. 管道焊缝不得置于穿越建筑物的套管内。

第 1.7.2 条 焊接必须严格按照工艺文件，进行焊接工艺评定及焊工评定，焊接作业过程应进行严密的监控，作好记录。