

ICS 25.160.01 ; 75.200

CCS P 94

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

P

SY/T 4125—2023

代替 SY/T 4125—2013

钢质管道焊接规程

Welding specification for steel pipelines

2023-05-26 发布

2023-11-26 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国石油天然气行业标准

钢质管道焊接规程

Welding specification for steel pipelines

SY/T 4125—2023

主编部门：中国石油天然气集团有限公司

批准部门：国家能源局

施行日期：2023年11月26日

石油工业出版社

2023 北京

国家能源局

公告

2023年 第4号

根据《中华人民共和国标准化法》《能源标准化管理办法》，国家能源局批准《新能源基地送电配置新型储能规划技术导则》等310项能源行业标准（附件1）、《Code for Seismic Design of Hydropower Projects》等19项能源行业标准外文版（附件2），现予以发布。

附件：能源行业标准目录（节选）

国家能源局
2023年5月26日

附件

能源行业标准目录（节选）

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
267	SY/T 0069—2023	原油稳定设计规范	SY/T 0069—2008		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
268	SY/T 0071—2023	油气集输管道组成件选用规范	SY/T 0071—2010		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
269	SY/T 0076—2023	天然气脱水设计规范	SY/T 0076—2008		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
270	SY/T 0081—2023	原油热化学沉降脱水设计规范	SY/T 0081—2010		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
271	SY/T 0523—2023	油田水处理过滤器	SY/T 0523—2008		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
272	SY/T 0610—2023	地下水封洞库岩土工程勘察规范	SY/T 0610—2008		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
273	SY/T 4113.10—2023	管道防腐层性能试验方法 第10部分：冲击强度测试	SY/T 0067—1999 SY/T 0040—2013		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
274	SY/T 4113.11—2023	管道防腐层性能试验方法 第11部分：漏点检测	SY/T 0063—1999		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
275	SY/T 4113.12—2023	管道防腐层性能试验方法 第12部分：耐水浸泡	SY/T 0064—2000		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
276	SY/T 4125—2023	钢质管道焊接规程	SY/T 4125—2013		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
277	SY/T 5333—2023	钻井工程设计规范	SY/T 5333—2012		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
278	SY/T 5374.2—2023	固井作业规程 第2部分：特殊固井	SY/T 5374.2—2006		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
279	SY/T 5412—2023	下套管作业规程	SY/T 5412—2016		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
280	SY/T 5585—2023	地震勘探电缆	SY/T 5585—2014		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
281	SY/T 6374—2023	油气田生产系统经济运行规范 机械采油系统	SY/T 6374—2016		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
282	SY/T 6804—2023	海洋平台钻机设施布置要求	SY/T 6804—2010		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
283	SY/T 6841—2023	电法勘探时频电磁仪	SY/T 6841—2011		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
284	SY/T 6848—2023	地下储气库设计规范	SY/T 6848—2012		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
285	SY/T 6966—2023	输气管道工程安全仪表系统设计规范	SY/T 6966—2013		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
286	SY/T 6967—2023	输气管道数字化系统设计规范	SY/T 6967—2013		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
287	SY/T 7022—2023	油气输送管道工程顶管法隧道穿越设计规范	SY/T 7022—2014		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
288	SY/T 7023—2023	油气输送管道工程盾构法隧道穿越设计规范	SY/T 7023—2014		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
289	SY/T 7319—2023	气田生产系统节能监测规范	SY/T 7319—2016		石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
290	SY/T 7675.1—2023	注入气—地层流体相态物性测试方法 第1部分：注气膨胀实验			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
291	SY/T 7676—2023	石油天然气钢质管道全自动超声检测			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
292	SY/T 7677—2023	湿陷性黄土地区石油天然气工程设计规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
293	SY/T 7678—2023	二氧化碳驱油田站内工艺管道施工技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
294	SY/T 7679—2023	二氧化碳驱油田集输管道施工技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
295	SY/T 7680—2023	石油类污染场地岩土工程勘察与修复技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
296	SY/T 7681—2023	油气田生产系统经济运行规范 注汽系统			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
297	SY/T 7682—2023	高含水油泥脱水干化及污染控制技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
298	SY/T 7683—2023	液化天然气带压密封技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
299	SY/T 7684—2023	大型立式圆筒形钢制焊接储罐检测技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
300	SY/T 7685—2023	陆地节点地震仪			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
301	SY/T 7686—2023	储气库库容评价技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
302	SY/T 7687—2023	气藏型储气库动态分析技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
303	SY/T 7688—2023	气藏型储气库老井封堵技术规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
304	SY/T 7689—2023	盐穴储气库腔体设计技术要求			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
305	SY/T 7690—2023	盐穴储气库造腔工程技术要求			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
306	SY/T 7691—2023	盐穴型储气库地面工程设计规范			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
307	SY/T 7692—2023	石油天然气钻采设备海洋钻井隔水管检验、修理与再制造			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
308	SY/T 7693—2023	石油天然气钻采设备 防喷器胶芯			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
309	SY/T 7694—2023	石油天然气钻采设备 井口装置和采油树的修理和再制造			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26
310	SY/T 7695—2023	石油工业标准化文件的俄文译本通用表述			石油工业出版社	2023-05-26	2023-11-26

前 言

根据《国家能源局综合司关于下达 2020 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》（国能综通科技[2020] 106 号）的要求，本规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规范。

本规范共分 4 章 3 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、通用规程、专项规程等。

本次修订的主要技术内容是：

1. 对术语进行精简，删除焊工、焊接工艺评定、手工焊等国家标准已进行规定的术语，补充完善热焊道、定位焊缝、低温环境焊接等术语。
2. 对通用规程结构进行了调整，增加、完善了焊缝位置、焊前准备、施焊、焊缝返修、焊缝检验等技术规定。
3. 对专项规程结构进行了调整，增加、完善了焊接工艺选择、焊接材料选择、定位焊缝、自动焊应用、不等壁厚管口焊接等技术规定。
4. 依据新颁布的国家标准，对焊条、实心焊丝、药芯焊丝、焊接和切割用保护气体等焊接材料质量要求进行规定，给出新标准的焊接材料型号。

本规范由国家能源局负责管理，由石油工业标准化技术委员会石油工程建设专业标准化委员会负责日常管理，由中国石油天然气管道科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国石油天然气管道科学研究院有限公司（地址：河北省廊坊市金光道 44 号，邮编：065000），以供今后修订时参考。

本规范主编单位：中国石油天然气管道科学研究院有限公司

本规范参编单位：石油天然气长庆工程质量监督站

中国石油集团工程技术研究有限公司

本规范主要起草人员：隋永莉 靳海成 闫新宇 崔成武

常 亮 夏培培 吴林恩 赵忠刚

樊宁军 文 莉 闫 臣 杨 叠

汪 凤 石晓松 李曾珍 孙 晶

张书丽 邓 俊 冯大勇 于麟川

本规范主要审查人员：刘家发 张洪元 王学军 代炳涛

郑玉刚 汤日光 邓 军 高安翔

庞鑫峰 杨 燕 刘照元 牛虎理

张 琴 李明勇

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 通用规程	4
3.1 一般规定	4
3.2 焊接材料	4
3.3 焊缝位置	5
3.4 焊接工艺评定和焊工（焊机操作工）	6
3.5 焊接设备	6
3.6 焊前准备	6
3.7 施焊	8
3.8 焊缝返修	9
3.9 焊缝检验	10
4 专项规程	11
4.1 焊接方法	11
4.2 焊接材料选择	12
4.3 焊前准备	13
4.4 管口组对	14
4.5 预热、道间温度	15
4.6 施焊	16
4.7 焊接工艺	17
4.8 对口器撤离	23
4.9 焊缝返修	24
附录 A 低温环境管道焊接施工技术措施	25
附录 B 焊接材料选用	27
附录 C 坡口图	33

标准用词说明.....	40
引用标准名录.....	41
附：条文说明.....	42

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	The general rules of welding procedure specification	4
3.1	Specifications	4
3.2	Welding material	4
3.3	Welding position	5
3.4	Welding procedure qualification and welder	6
3.5	Welding equipment	6
3.6	Preparation	6
3.7	Welding	8
3.8	Repair welding	9
3.9	Inspection of welds	10
4	The specific rules of welding procedure specification	11
4.1	Welding method	11
4.2	Welding material	12
4.3	Preparation	13
4.4	Fitting-up	14
4.5	Preheating and temperature control of interpass	15
4.6	Welding	16
4.7	Welding procedure	17
4.8	Remove of line-up clamp	23
4.9	Repair Welding	24
Appendix A	Technical measures for pipeline welding construction in low temperature environment	25
Appendix B	Selection of welding material	27

Appendix C Figure of groove	33
Explanation of wording in this code	40
List of quoted standards	41
Addition ; Explanation of provisions	42

1 总 则

1.0.1 为使钢质管道现场焊接施工做到技术先进、质量可靠，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于输送介质为气体、液体和浆体的长输管道及油气田集输管道的焊接，管道材质为低碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢、耐蚀合金双金属复合管（奥氏体不锈钢复合管、镍基复合管等），焊接方法为钨极氩弧焊、焊条电弧焊、熔化极气体保护电弧焊（包括自保护药芯焊丝电弧焊、气保护药芯焊丝电弧焊或实心焊丝电弧焊等）、等离子弧焊、埋弧焊，以及上述焊接方法相互组合的方法。

1.0.3 钢质管道焊接施工除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 焊接工艺规程 welding procedure specification (WPS)

根据合格的焊接工艺评定报告编制的，用于工程焊接施工的工艺文件。

2.0.2 焊道 bead

每一次熔敷所形成的一条单道焊缝（图 2.0.2）。

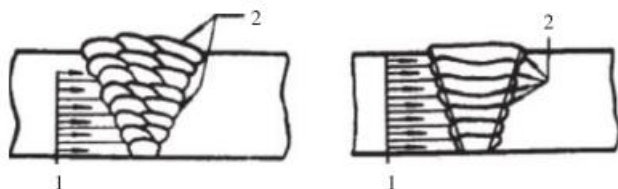


图 2.0.2 焊道和焊层示意图

1——焊层；2——焊道

2.0.3 焊层 layer

多层焊时的每一个分层。每个焊层可由一条焊道或几条并排相搭的焊道所组成（图 2.0.2）。

2.0.4 根焊道 root bead

管与管、管与管件或管件与管件之间多层焊接时，在焊接接头的底部焊接的第一道焊缝，通常为单面焊双面成型的焊道。

2.0.5 热焊道 hot bead

根焊采用下向焊方法时，为避免焊缝扩散氢含量过高或焊道厚度过薄导致裂纹而在完成根焊焊接后快速进行的第二层焊道，通常需要在规定的时间内开始施焊。

2.0.6 填充焊道 filler bead

在根焊或热焊完成后，盖面焊之前的焊道。

2.0.7 立填焊道 **stripper bead**

采用下向焊方法焊接时，为弥补立焊位置焊层厚度不足而进行的一次或多次补填焊道。

2.0.8 盖面焊道 **cap bead**

多层焊时，最外面一层的成型焊道。

2.0.9 补强覆盖焊接法 **welds with overbuild**

由于焊接热影响区软化而导致焊接接头强度降低时，采用增加盖面焊缝宽度和余高来实现焊接接头的整体强度高于母材的焊缝成型方法（图 2.0.9）。

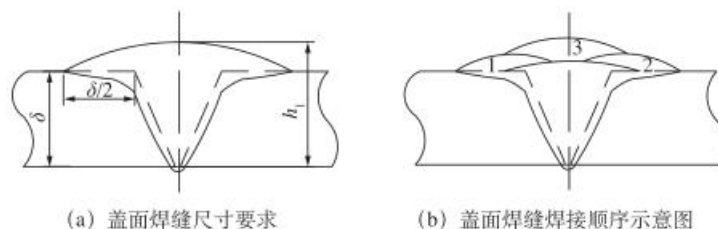


图 2.0.9 补强覆盖焊接法示意图

注：1 图中 δ 为钢管壁厚，单位为毫米（mm）。

2 图中 h_1 为焊缝金属高度，单位为毫米（mm）。

3 图中 1、2、3 为焊道顺序。

2.0.10 连头焊 **tie-in welding**

将两个相邻固定管道连接在一起的最后一道或两道焊口的焊接作业。

2.0.11 返修焊 **repair welding**

无损检测后，为修补焊口缺陷而进行的打磨、焊接等作业。

2.0.12 定位焊缝 **tack weld**

焊接前为装配和固定构件接缝的位置而焊接的短焊缝。

2.0.13 低温环境焊接 **low temperature welding**

特指管道施工时，焊接环境温度范围为 $-5^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 的焊接作业。

3 通用规程

3.1 一般规定

- 3.1.1 焊接工艺规程应依据合格的焊接工艺评定报告编制。
- 3.1.2 焊接工艺规程应经建设方批准，承包商在施工期间应按照焊接工艺规程的要求进行焊接作业。
- 3.1.3 耐腐蚀双金属复合管的焊接应符合现行行业标准《耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准》SY/T 7464 的规定。
- 3.1.4 当环境温度低于 -5°C 时，管道焊接应采取低温环境焊接施工技术。焊接作业时，应按规定填写有关原始记录。

3.2 焊接材料

- 3.2.1 焊接材料包括焊条、实心焊丝、药芯焊丝、金属粉芯焊丝、焊带、焊剂、保护气体、电极和衬垫等，应有产品质量证明书，并应符合相应标准的规定。使用单位应根据质量管理体系规定按相关标准或技术规格书的要求进行验收或复验，合格后方可使用。
- 3.2.2 焊接材料的储存应按照生产厂家产品说明书的要求执行。凡有受潮、生锈、变质等迹象的焊接材料不应用于工程焊接。
- 3.2.3 纤维素焊条、药芯焊丝和金属粉芯焊丝不应进行烘干。
- 3.2.4 低碳钢和低合金钢的保护气体应符合下列规定：
 - 1 保护气体类型有惰性气体、活性气体或两者的混合气体。使用的保护气体类型、混合气体成分比例和气体流量应在焊接工艺规程中进行规定。
 - 2 二氧化碳气体纯度不应低于 99.5%，含水量不应超过 120×10^{-6} (体积分数)，使用前应预热干燥。

3 氩气纯度不应低于 99.96%，含水量不应超过 40×10^{-6} (体积分数)。

4 75% ~ 85% 氩气与 25% ~ 15% 二氧化碳的混合气体 (M21 气体)，其体积分数偏差不应大于 10%，含水量不应超过 80×10^{-6} (体积分数)。

3.3 焊缝位置

3.3.1 焊缝位置分为管对接水平固定位置 (5G)、管对接斜 45° 固定位置 (6G)、管对接垂直固定位置 (2G)，当焊接作业超出焊接工艺评定所适用的位置范围时，应重新进行评定。

3.3.2 焊缝位置 (图 3.3.2) 的适用范围应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 管对接的焊缝位置范围

焊缝位置	位置代号	图 3.3.2 中代号	钢管轴线与水平面夹角 ($^\circ$)
管对接水平固定位置	5G	A	-15 ~ 15
管对接垂直固定位置	2G	B	80 ~ 100
管对接斜 45° 固定位置	6G	C	—

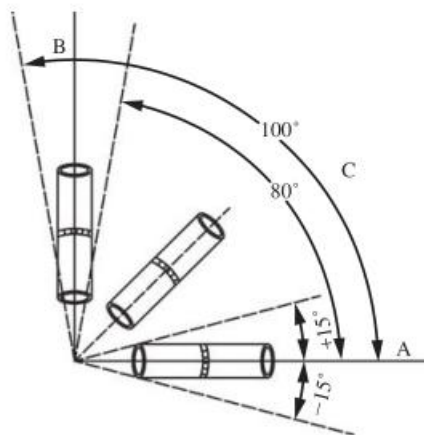


图 3.3.2 钢管对接焊缝位置

3.3.3 管道自动焊时，焊接工艺规程中规定的钢管轴线与水平面之间的最大夹角宜依据合格焊接工艺评定报告确定。

3.4 焊接工艺评定和焊工（焊机操作工）

3.4.1 焊工应具有特种设备焊接操作人员资格证和相应工程项目的上岗证。

3.4.2 对于管道纵向坡度为 5G 和 2G 焊缝位置的管道自动焊，焊机操作工应分别持有 5G 和 2G 位置特种设备焊接操作人员资格证。对于管道纵向坡度超出 5G 和 2G 焊缝位置的管道自动焊，焊机操作工除具有相应焊接工艺的 5G 位置特种设备焊接操作人员资格证外，还应通过焊接工艺规程所规定的最大坡度的上岗考试。

3.5 焊接设备

3.5.1 焊接设备、加热设备及辅助装备应确保工作状态正常，安全可靠。焊接电源应有次级电压保护装置。仪表应定期校准、检定或比对检验。

3.5.2 当有数据传输要求时，焊接设备应具备主要焊接工艺参数实时采集和远程传输的能力。

3.5.3 焊接设备应能在相对湿度小于或等于 90%，环境温度 $-30^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 的条件下稳定工作。

3.5.4 焊接电缆直径应符合电焊机出厂说明书的要求。若无要求，则焊接电缆标称截面宜大于或等于 70mm^2 ，电缆长度不宜超过 50m。若电缆长度超过 50m，应增加焊接电缆直径。

3.5.5 焊接设备启动前，应检查设备、指示仪表、开关位置和电源极性。在正式焊接前，应在试件上进行焊接工艺参数调试。

3.6 焊前准备

3.6.1 制备坡口前应对钢管管端的内、外制管焊缝进行修磨。

焊缝的修磨长度和高度，应依据具体的焊接工艺和无损检测方法确定。

3.6.2 焊接坡口应根据工艺要求选用标准坡口或自行设计。坡口形式和尺寸应考虑焊接方法、母材种类与壁厚、有利于焊接操作、节约焊材、避免缺陷产生、减少焊接变形与残余应力等因素。

3.6.3 制备坡口可采用冷加工法或热加工法，应确保坡口尺寸和坡口面质量符合要求。含不锈钢管材的切割宜采用机械冷切割方法或等离子切割方法。

3.6.4 坡口两侧的内外表面不应有影响焊接质量和无损检测质量的杂质。坡口两侧的清理工宽度和清洁度要求，应依据具体的焊接工艺和无损检测方法确定。

3.6.5 不应强力组装，应依据焊接工艺规程的规定选择组对定位方式及所使用的对口器类型。

3.6.6 组对定位过程中，内焊机或内对口器不应在钢管内表面留下刻痕、磨痕和油污。自动焊时应使用轨道定位器辅助进行轨道安装，确保在整个管周上焊炬均能够对准坡口中心。

3.6.7 定位焊缝不应有裂纹，否则应清除重焊。存在气孔、夹渣的定位焊缝应去除。熔入永久焊缝内的定位焊缝两端应便于接弧，否则应进行修磨。

3.6.8 组对定位后，坡口间隙应符合焊接工艺规程的要求。

3.6.9 组对错边量宜沿钢管圆周均匀分布，且应符合焊接工艺规程要求。

3.6.10 不锈钢焊件坡口两侧各 100mm 范围内，在施焊前应采取防止焊接飞溅物沾污焊件表面的措施。

3.6.11 预热及预热温度应根据母材交货状态、化学成分、力学性能、焊接性、厚度及焊件拘束程度、施焊环境温度等因素确定。预热时不应破坏钢管的防腐层，预热后应清除表面污垢。

3.6.12 预热宽度应符合焊接工艺要求。预热温度可采用红外测温仪、接触式测温仪或测温笔等工具进行测量。

3.6.13 施焊前，应核对用于焊接施工的焊材和母材。

3.7 施 焊

3.7.1 在下列任一种自然环境下，若无有效的防护措施，不应施焊：

- 1 雨雪天气。
- 2 大气相对湿度大于 90%。
- 3 自然环境温度低于焊接工艺规程中规定的温度。
- 4 低氢型焊条电弧焊，风速大于 5m/s。
- 5 纤维素型焊条电弧焊，风速大于 8m/s。
- 6 自保护药芯焊丝半自动焊和埋弧自动焊，风速大于 8m/s。
- 7 气保护电弧焊，风速大于 2m/s。

3.7.2 宜用卡具将地线与被焊管牢固接触，不应在坡口以外的钢管表面上起弧，应避免电弧灼伤母材。

3.7.3 根焊过程中应对管道两侧的管端或焊接设备的前后端进行封挡，防止管内空气流动过快产生气孔。

3.7.4 根焊道与第二层焊道之间的时间间隔应在规定的时间范围内。

3.7.5 拆除包装的焊丝宜连续用完，当日未用完的焊丝应采取防雨、防潮措施。

3.7.6 低氢焊条在使用过程中应存放在保温桶内，随用随取。超过 4h 的低氢焊条应重新烘干后使用，重新烘干次数不应超过 2 次。

3.7.7 自动焊或半自动焊过程中发生导电嘴烧熔时，应更换导电嘴，并打磨去除焊缝中、坡口壁的铜污染。

3.7.8 需要对焊口进行切割时，切割宽度应至少比盖面焊道每侧宽 5mm，以去除原焊缝热影响区。如果切割后所形成的新焊口是连头焊口，应使用连头焊口的焊接工艺规程进行焊接操作。

3.7.9 奥氏体不锈钢焊接及奥氏体不锈钢与非奥氏体钢异种钢焊接时，宜采用小电流、短电弧、快焊速和多层多道焊工艺，

并应控制道间温度。

3.7.10 焊接接头的焊后热处理应符合设计规定，并应满足热处理工艺要求。

3.7.11 中断焊接后重新开始焊接时的焊缝温度不应低于预热温度，如果焊缝温度低于焊接工艺规程规定的预热温度，应重新预热焊口。

3.7.12 应在前一焊道全部完成后再开始下一焊道的焊接。坡口和每层焊道上的锈皮及焊渣，在下一步焊接前应清理干净。焊接下一焊道前，应用砂轮磨除已完成焊道表面的熔渣、密集气孔、引弧点高凸处。焊口完成后，应将接头表面的熔渣、飞溅物等清理干净。

3.7.13 在焊接过程中发现的层（道）间焊接缺陷，应采用打磨、焊接等方式立即进行修补。进行修补焊接时，应将缺陷完全去除，并采用原焊接工艺进行修补作业。

3.7.14 低温环境焊接施工应符合本规范附录 A 的规定。

3.8 焊缝返修

3.8.1 焊缝返修应经建设方或监理书面认可，返修部位和返修焊接的过程信息应有记录。

3.8.2 除弧坑裂纹外，存在裂纹的焊接接头应从管线上割除。

3.8.3 弧坑裂纹及通过无损检测方法发现的焊缝金属中的非裂纹性缺陷应进行返修。

3.8.4 返修前应将缺陷完全清除，必要时可采用表面无损检测的方法确认。

3.8.5 待返修部位应通过打磨方法制备出坡口，坡口形状与尺寸应有利于焊工操作。

3.8.6 返修焊接应采用评定合格的焊接工艺规程。返修焊缝的力学性能和质量要求应与原焊缝相同。

3.8.7 返修焊接分为全壁厚返修和非全壁厚返修两种。有预热要求时，全壁厚返修应对整个焊口进行预热，非全壁厚返修应

对返修部位及其两端至少 100mm 范围内的焊道进行局部预热。

3.8.8 对需要焊接返修的缺陷宜分析产生原因，提出改进措施。

3.8.9 返修过程中应控制道间温度。

3.9 焊缝检验

3.9.1 管口焊接或返修完成后，应清除表面熔渣、飞溅和其他杂物。焊缝外观检查合格后，应按要求进行无损检测。

3.9.2 焊缝外观尺寸，如宽度、余高应均匀一致，焊缝应与母材圆滑过渡，错边量应满足本规范第 3.6.9 条的要求。基于应变设计的环焊接头，当存在不可接受的热影响区软化倾向时，应对盖面焊缝采用补强覆盖焊接法。

3.9.3 焊缝及其附近外表面上不应有裂纹、未熔合、气孔、夹渣、引弧痕迹、焊瘤、凹坑及夹具焊点等缺陷。

3.9.4 焊缝表面不应低于母材表面。当存在焊瘤、余高超高、焊道成型不均匀等外观缺陷时应对焊缝表面进行打磨修复，打磨时不应伤及母材，并应与母材圆滑过渡。

3.9.5 盖面焊缝为多道焊时，相邻焊道间的沟槽底部不应低于母材，且焊道间的沟槽深度（焊道余高与相邻沟槽的高度差）不应超过 1.0mm。焊缝表面的鱼鳞纹宜细密、均匀，鱼鳞纹的高度或深度应符合多道焊的沟槽要求。

3.9.6 焊接接头无损检测方法、检测比例、执行标准和合格级别应符合设计文件规定。

4 专项规程

4.1 焊接方法

4.1.1 依据钢管管径、强度等级和壁厚的不同，具体的焊接工艺选择宜符合表 4.1.1 的规定。

4.1.2 线路工程和站场工艺管道的预制可采用手工钨极氩弧焊、半自动钨极氩弧焊、自动钨极氩弧焊、焊条电弧焊（低氢型焊条）、熔化极气保护自动焊（实心焊丝、金属粉芯焊丝或气保护药芯焊丝、埋弧焊等方法）。

表 4.1.1 推荐的焊接工艺

管径 D (mm)	壁厚 (mm)	钢管 屈服强度 (MPa)	根焊方法	填充、盖面焊方法
≤ 114	≤ 8	450 以下	钨极氩弧焊 焊条电弧焊	钨极氩弧焊 焊条电弧焊
$114 < D \leq 219$	≤ 16	450 以下	钨极氩弧焊 焊条电弧焊	钨极氩弧焊 焊条电弧焊
$219 < D < 323.9$	≤ 16	450 以下	钨极氩弧焊 焊条电弧焊	钨极氩弧焊 焊条电弧焊
$323.9 \leq D < 813$	—	450 及 450 以下	1. 焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护半自动焊（STT、RMD）； 3. 熔化极气体保护自动焊（单焊炬外根焊）； 4. 钨极氩弧焊	1. 焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护焊（自保护药芯焊丝半自动焊）； 3. 熔化极气体保护焊（气保护药芯焊丝半自动焊）； 4. 熔化极气体保护自动焊（实心焊丝、药芯焊丝单焊炬）

续表 4.1.1

管径 D (mm)	壁厚 (mm)	钢管 屈服强度 (MPa)	根焊方法	填充、盖面焊方法
$813 \leq D < 1016$	—	485、450 及 450 以 下	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护半自动焊 (STT、RMD)； 3. 熔化极气体保护自动焊 (单焊炬外根焊)； 4. 熔化极气体保护自动焊 (内焊机根焊)； 5. 钨极氩弧焊 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低氢焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护焊 (自保护药芯焊丝半自动焊)； 3. 熔化极气体保护焊 (气保护药芯焊丝半自动焊)； 4. 熔化极气体保护自动焊 (单焊炬实心焊丝或药芯焊丝)； 5. 熔化极气体保护自动焊 (双焊炬实心焊丝)
≥ 1016	—	555、485 及 450	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低氢焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护半自动焊 (STT、RMD)； 3. 熔化极气体保护自动焊 (单焊炬外根焊)； 4. 熔化极气体保护自动焊 (内焊机根焊)； 5. 钨极氩弧焊 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低氢焊条电弧焊； 2. 熔化极气体保护焊 (气保护药芯焊丝半自动焊)； 3. 熔化极气体保护自动焊 (单焊炬实心焊丝或药芯焊丝)； 4. 熔化极气体保护自动焊 (双焊炬实心焊丝)

4.2 焊接材料选择

4.2.1 焊接材料选用原则应符合下列要求：

1 对于低碳钢和低合金钢，主要考虑熔敷金属强度应与母材相匹配，淬硬倾向较大的钢管，根焊焊缝可以选用熔敷金属强度略低于母材的焊接材料。另外，焊缝金属的韧性、硬度、弯曲性能等其他力学性能也应满足设计文件规定的技术要求。

2 不锈钢应考虑熔敷金属的化学成分与母材接近。

3 合适的焊接材料应与合理的焊接工艺相配合，以保证焊接接头性能在经历制造工艺过程后，仍满足设计文件规定和服役要求。

4.2.2 同强度等级钢管焊接时，焊接方法及焊材选用应符合本规范表 B 的规定，且应符合下列规定：

1 应保证焊缝金属的力学性能，若选择的根焊焊接材料熔敷金属强度较低，则填充焊和盖面焊时宜选择熔敷金属强度较高的焊接材料；若选择的根焊焊接材料熔敷金属强度较高，填充焊和盖面焊时可选择熔敷金属强度相当的焊接材料。

2 热煨弯管、三通、汇管等管件钢管的焊接不应使用纤维素焊条、酸性焊条等高含氢量的焊接材料。

3 输气管道和设计压力 4.0MPa 及以上压力的输油管道的现场焊接，除根焊外不应使用非低氢型焊接材料。

4 屈服强度 555MPa 及以上强度等级钢管的焊接不应使用纤维素焊条。

5 连头焊、返修焊或钢管自重较大的情况下，应采用低氢型、高韧性的焊接材料施焊。

4.2.3 异种钢焊接时，应符合下列规定：

1 低碳钢、低合金钢之间的焊缝金属应保证力学性能。选用焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材抗拉强度规定值，且不应超过强度较高一侧母材规定抗拉强度的上限值。

2 低碳钢、低合金钢与奥氏体不锈钢之间的焊缝金属应保证耐腐蚀性能、抗裂性能和力学性能。

4.3 焊前准备

4.3.1 钢管非防腐层外表面的划痕、刻痕和电弧烧伤等缺欠，可采用打磨方法去除，打磨深度不应超过管壁标准厚度的 5%。不对钢管管体表面的破损进行焊接修补。

4.3.2 自动焊的坡口应在施工现场采用坡口机加工，半自动焊

和手工焊的坡口可在管厂加工完成。管端坡口不符合要求或钢管坡口损伤时，应重新加工焊接坡口，且应对加工的坡口表面进行外观检查，不应有分层、裂纹等缺欠。焊接坡口形式应符合本规范附录 C 的规定。

4.3.3 坡口两侧的管内外表面不应有起鳞、磨损、铁锈、渣垢、油脂、油漆等杂质，全自动超声波检测或相控阵超声波检测时，坡口两侧清理范围应为 150mm，其他无损检测方法时坡口两侧清理范围应为 25mm。

4.3.4 现场钢管切割时，可采用机械式的氧乙炔火焰热切割或机加工切削的冷切割方法，当采用热切割时，切割面应采用角向磨光机或机械切削的方法去除大于或等于 0.5mm 的厚度。可能引起失火或爆炸的危险区域，应采用冷切割方法。

4.3.5 管道上不应焊接无关附属物。阴极引出线的焊接应按设计要求进行。

4.4 管口组对

4.4.1 自动焊时，钢管的管端内、外制管焊缝修磨长度应大于或等于 150mm，修磨高度应为 0mm ~ 0.3mm。半自动焊和手工焊时制管焊缝的修磨长度可为 25mm，修磨高度为宜与母材平齐。

4.4.2 公称管径大于 500mm 的钢管应优先采用内对口器组对，对口器不应在钢管内表面留下刻痕、磨痕和油污。无法采用内对口器时，可采用外对口器进行组对。公称管径小于或等于 500mm 的钢管可使用定位焊缝进行组对。

4.4.3 定位焊缝长度和点数应符合表 4.4.3 的规定，同一钢管上有两处及以上定位焊缝时，其位置宜对称。定位焊缝的焊接工艺应与正式焊接工艺相同，并应由合格焊工施焊。

4.4.4 组对时，两相邻钢管的制管焊缝（直焊缝、螺旋焊缝）在管口组对处应相互错开大于或等于 100mm 的距离。相邻环焊缝间的距离应大于 1 倍的钢管直径，且不应小于 0.5m。

表 4.4.3 钢管对接的定位焊缝长度和点数

公称管径 (mm)	定位焊缝长度 (mm)	定位焊缝点数 (个)
DN ≤ 50	10	2
50 < DN ≤ 150	10 ~ 15	2 ~ 3
150 < DN ≤ 300	15 ~ 30	3 ~ 5
300 < DN ≤ 500	15 ~ 30	4 ~ 6

4.5 预热、道间温度

4.5.1 热煨弯管、三通、汇管等管件钢管对接焊时，推荐的预热温度应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 推荐的预热温度及道间温度

屈服强度 (MPa)	预热温度 (°C)		道间温度 (°C)	
	$t < 25\text{mm}$	$t \geq 25\text{mm}$	$t < 25\text{mm}$	$t \geq 25\text{mm}$
< 448	≥ 80	≥ 100	80 ~ 150	100 ~ 150
448 ~ 555	≥ 100	≥ 100	100 ~ 150	100 ~ 150

注：t 代表钢管壁厚。

4.5.2 线路工程、站场工艺管道等管线钢管，推荐的预热温度和道间温度应符合表 4.5.2 的规定。

4.5.3 环境温度在 5℃ 以上时，预热宽度宜为坡口两侧各 50mm。环境温度低于 5℃ 时，宜采用感应加热或电加热的方法进行管口预热，预热宽度宜为坡口两侧各 75mm，并应采取措施保证道间温度。

4.5.4 感应加热或电加热预热设备应具有预热温度实时显示、存储及上传功能。

4.5.5 预热温度的测量宜在距管口 25mm 处的圆周上进行，宜均匀测量 4 点。层（道）间温度的测量宜在焊接方向前端距施焊点约 200mm 处的焊缝金属上进行。

表 4.5.2 推荐的预热温度及道间温度

屈服强度 (MPa)	预热温度 (°C)		道间温度 (°C)	
	$t < 25\text{mm}$	$t \geq 25\text{mm}$	$t < 25\text{mm}$	$t \geq 25\text{mm}$
< 290	不要求	≥ 80	不要求	60 ~ 150
290 ~ < 360	不要求	≥ 80	不要求	60 ~ 150
360 ~ < 448	≥ 60	≥ 80	60 ~ 150	60 ~ 150
448 ~ < 555	≥ 80	≥ 100	80 ~ 150	80 ~ 150
≥ 555	≥ 100	≥ 100	80 ~ 150	80 ~ 150
奥氏体不锈钢	不要求	不要求	≤ 150	≤ 150

注：1 t 代表钢管壁厚。

2 无防腐层的碳素钢和低合金钢最高道间温度应小于或等于 200°C。

3 环境湿度较大时，没有预热要求的材料宜采用火焰预热的方式将坡口烘干。

4.6 施 焊

4.6.1 气保护电弧焊时，引弧前宜将焊丝端部去除约 10mm，引弧时宜采用较短的焊丝伸出长度。

4.6.2 两个或两个以上焊工焊接同一道焊缝，当焊接到收弧处时，先到达的焊工（操作工）应多焊部分焊道，便于后焊焊工（操作工）的收弧。不同焊层相邻的不同焊道的起弧或收弧处宜相互错开 30mm 以上。

4.6.3 焊工和焊机操作工应对所焊的焊道进行自检和修补工作。焊接过程中发现的缺陷应立即清理修补，修补过程中应保证控制道间温度。每处修补长度应大于 50mm。若相邻两修补处的距离小于 50mm 时，按 1 处缺陷进行修补。长输管道内焊机根焊时，对根焊漏焊或成型不良部位，应在热焊前利用内焊机自带的气体保护焊枪采用半自动的方法从钢管内部进行修补焊接。

4.6.4 焊接时，焊条或焊丝不宜摆动过大，对较宽焊道宜采用多道焊方法。焊接时发现偏吹、粘条、表面气孔或其他不正常现象时应立即停止焊接，修磨接头后方可继续施焊。自动焊过

程中，应注意观察电弧在坡口两侧的熔合情况，随时微调整焊炬位置、摆动宽度和边缘停留时间等参数。

4.6.5 填充焊道宜填充（或修磨）至距坡口外表面 1mm ~ 2mm 处。可根据填充情况在立焊部位增加立填焊道。盖面焊缝为多道焊时，后续焊道应至少覆盖前一焊道 1/3 宽。

4.6.6 当日不能完成的焊口应完成 50% 钢管壁厚且不少于 3 层焊道。未完成的焊口应采用干燥、防水、隔热的材料覆盖好。次日焊接前，应预热至要求的最低预热温度。不等壁厚焊口、连头焊口、返修焊口应连续焊接完成。

4.6.7 不等壁厚对接焊，应将较厚侧焊件按照本规范表 C 中图 C.0.7 至图 C.0.14 进行处理后，方可焊接。

4.7 焊接工艺

4.7.1 纤维素型焊条电弧焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 焊接环境温度不低于 -20°C ，并符合预热温度和道间温度的要求。

2 钢管屈服强度小于或等于 360MPa，且设计压力小于 4MPa 的液体管道、浆体管道的环焊缝焊接。

3 钢管屈服强度大于 360MPa，且小于或等于 485MPa 的液体管道、浆体管道和气体管道的环焊缝根焊层及热焊层的焊接。

4 纤维素型焊条焊接工艺参数，宜符合表 4.7.1-1 和表 4.7.1-2 的规定。

表 4.7.1-1 纤维素焊条下向焊的工艺参数

焊道	焊条直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	焊接速度 (cm/min)
根焊	3.2	直流正接	55 ~ 100	7 ~ 15
	4.0		70 ~ 130	10 ~ 20
热焊	3.2	直流反接	80 ~ 120	12 ~ 20
	4.0		90 ~ 130	12 ~ 25
填充及盖面	4.0	直流反接	90 ~ 130	10 ~ 20

表 4.7.1-2 纤维素焊条上向焊的工艺参数

焊道	焊条直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	焊接速度 (cm/min)
根焊	3.2	直流正接	55 ~ 90	6 ~ 12
	4.0		70 ~ 120	8 ~ 15

4.7.2 低氢型焊条电弧焊工艺的使用宜符合下列规定：

- 1 所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的焊接。
- 2 低氢焊条下向焊焊条适用于填充层和盖面层的焊接，低氢焊条上向焊焊条适用于根焊层、填充层和盖面层的焊接。
- 3 低氢型焊条电弧焊工艺参数，宜符合表 4.7.2-1 和表 4.7.2-2 的规定。

表 4.7.2-1 低氢焊条下向焊的工艺参数

焊道	焊条直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	焊接速度 (cm/min)
填充	3.2	直流反接	110 ~ 140	10 ~ 20
	4.0		150 ~ 210	12 ~ 25
盖面	3.2	直流反接	120 ~ 160	8 ~ 18
	4.0		150 ~ 200	10 ~ 20

表 4.7.2-2 低氢焊条上向焊的工艺参数

焊道	焊条直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	焊接速度 (cm/min)
根焊	3.2	直流反接	80 ~ 120	6 ~ 13
	3.2	直流正接	80 ~ 120	6 ~ 13
填充	3.2	直流反接	80 ~ 130	6 ~ 13
	4.0		90 ~ 160	7 ~ 15
盖面	3.2	直流反接	80 ~ 130	6 ~ 12
	4.0		90 ~ 160	7 ~ 14

4.7.3 STT 半自动焊接工艺的使用宜符合下列规定：

1 STT 半自动焊适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的根焊层焊接，不适用于变壁厚或错边量较大焊口的根焊层焊接。

2 保护气体为 100%CO₂ 气体。

3 焊丝伸出长度 10mm ~ 18mm。

4 STT 半自动焊的焊接工艺参数宜符合表 4.7.3 的规定。

表 4.7.3 STT 半自动焊的工艺参数

焊道	尺寸 (mm)	电流及 极性	峰值电流 (A)	基值电流 (A)	电压 (V)	送丝速度 (m/min)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (L/min)
根焊	1.2	直流反接	340 ~ 460	45 ~ 65	14 ~ 18	3.2 ~ 4.5	18 ~ 35	20 ~ 30

4.7.4 RMD 半自动焊接工艺的使用宜符合下列规定：

1 RMD 半自动焊接适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的根焊层焊接，不适用于变壁厚或错边量较大焊口的根焊层焊接。

2 保护气体为 (75% ~ 85%) Ar 与 (25% ~ 15%) CO₂ 的混合气体。

3 焊丝伸出长度 12mm ~ 18mm。

4 RMD 半自动焊的焊接工艺参数宜符合表 4.7.4 的规定。

表 4.7.4 RMD 半自动焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	送丝速度 (m/min)	气体流量 (L/min)
根焊	1.2	直流反接	140 ~ 220	14 ~ 18	20 ~ 25	3.5 ~ 5	20 ~ 35

4.7.5 气保护药芯焊丝半自动焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 气保护药芯焊丝半自动焊适用于所有强度等级的液体管道及气体管道的热焊层、填充层和盖面层的焊接。

2 保护气体为 (75% ~ 85%) Ar 与 (25% ~ 15%) CO₂ 的

混合气体。

3 焊丝伸出长度 8mm ~ 18mm。

4 气保护药芯焊丝半自动焊工艺参数焊接，宜符合表 4.7.5 的规定。

表 4.7.5 气保护药芯焊丝上向半自动焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及 极性	送丝速度 (m/min)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (L/min)
热焊	1.2	直流反接	3.5 ~ 5	20 ~ 25	8 ~ 15	10 ~ 20
填充		直流反接	4.5 ~ 5.5	22 ~ 27	10 ~ 18	10 ~ 20
盖面		直流反接	4 ~ 5	20 ~ 26	8 ~ 15	10 ~ 20

4.7.6 气保护药芯焊丝自动焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 气保护药芯焊丝自动焊适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的热焊层、填充层和盖面层的焊接。

2 保护气体为 (75% ~ 85%) Ar 与 (25% ~ 15%) CO₂ 的混合气体或 100%CO₂ 气体。

3 焊丝伸出长度 8mm ~ 18mm。

4 气保护药芯焊丝自动焊工艺参数焊接，宜符合表 4.7.6 的规定。

表 4.7.6 气保护药芯焊丝上向自动焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及 极性	焊接方向	送丝速度 (m/min)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (L/min)
热焊	1.2	直流反接	上向	5 ~ 8	20 ~ 26	18 ~ 25	20 ~ 30
填充	1.2	直流反接	上向	5 ~ 9	20 ~ 26	22 ~ 28	20 ~ 30
盖面	1.2	直流反接	上向	5 ~ 8	20 ~ 26	18 ~ 25	20 ~ 30

4.7.7 内焊机根焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 内焊机根焊适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的根焊层焊接。

2 保护气体为 (75% ~ 85%) Ar 与 (25% ~ 15%) CO₂ 的混合气体。

3 焊丝伸出长度 8mm ~ 15mm。

4 内焊机根焊工艺参数焊接, 宜符合表 4.7.7 的规定。

表 4.7.7 内焊机根焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及极性	送丝速度 (in/min)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	单炬气体流量 (L/min)
根焊	0.9	直流反接	330 ~ 400	18 ~ 25	65 ~ 85	20 ~ 30

4.7.8 气保护实心焊丝自动焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 气保护实心焊丝自动焊适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的根焊、热焊层、填充层和盖面层的焊接。

2 保护气体为 (75% ~ 85%) Ar 与 (25% ~ 15%) CO₂ 的混合气体。

3 实心焊丝自动焊工艺参数焊接, 宜符合表 4.7.8 的规定。

表 4.7.8 单焊炬实心焊丝下向自动焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及极性	送丝速度 (in/min)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (L/min)
热焊层	1.0	直流反接	450 ~ 560	19 ~ 25	65 ~ 80	20 ~ 30
填充	1.0	直流反接	340 ~ 480	19 ~ 25	35 ~ 55	20 ~ 30
盖面	1.0	直流反接	340 ~ 480	19 ~ 25	40 ~ 65	20 ~ 30

4.7.9 自保护药芯焊丝半自动焊工艺的使用宜符合下列规定：

1 自保护药芯焊丝半自动焊适用于管道的热焊层、填充层和盖面层的焊接。

2 焊丝伸出长度 18mm ~ 24mm。

3 自保护药芯焊丝半自动焊工艺参数, 宜符合表 4.7.9 的规定。

表 4.7.9 自保护药芯焊丝下向半自动焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	电压 (V)	送丝速度 (in/min)	焊接速度 (cm/min)
热焊	2.0	直流正接	160 ~ 240	18 ~ 22	70 ~ 90	15 ~ 28
填充	2.0	直流正接	160 ~ 250	18 ~ 22	70 ~ 110	14 ~ 28
盖面	2.0	直流正接	160 ~ 250	18 ~ 22	70 ~ 110	12 ~ 26

4.7.10 埋弧自动焊工艺应的使用宜符合下列规定：

1 仅用于旋转焊，分为单面埋弧焊和双面埋弧焊，适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体的管道预制焊接。

2 焊剂烘干应按照厂家说明书进行。

3 埋弧焊工艺参数，宜符合表 4.7.10-1 和表 4.7.10-2 的规定。

表 4.7.10-1 单面埋弧焊的工艺参数

焊道	焊丝直径 (mm)	电流及极性	焊接位置	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)
填充、盖面焊	2.5	直流正接或交流	水平转动	260 ~ 380	28 ~ 33	30 ~ 45
	3.2			320 ~ 450	30 ~ 40	30 ~ 45
	3.2			320 ~ 450	30 ~ 40	30 ~ 45

表 4.7.10-2 双面埋弧焊的工艺参数

焊道	直径 (mm)	电流及极性	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (cm/min)
内焊	ϕ 4.0	直流正接或交流	650 ~ 720	32 ~ 34	62 ~ 65
	ϕ 3.2		380 ~ 400	33 ~ 36	
外焊	ϕ 4.0	直流正接或交流	650 ~ 720	32 ~ 34	62 ~ 65
	ϕ 3.2		380 ~ 400	33 ~ 36	

4.7.11 手工钨极氩弧焊工艺的使用应符合下列规定：

- 1 钨极氩弧焊适用于所有强度等级的液体管道、浆体管道及气体管道的根焊、填充层和盖面层的焊接。
- 2 采用钨钨极，直径 2.0mm ~ 3.2mm。
- 3 保护气体通常为 100% 氩气，双相不锈钢保护气体可为 95% ~ 98% 氩气加 2% ~ 5% 氮气。
- 4 气体流量为 10L/min ~ 16L/min。
- 5 钨极端部磨成 30° ~ 40° 锥角。
- 6 奥氏体不锈钢钨极氩弧焊根焊时，焊缝内侧应充纯氩或其他保护气体，或采取其他防止内侧焊缝金属氧化过度的措施；背面无法采用充氩保护时，宜采用背面自保护焊丝。
- 7 钨极氩弧焊工艺参数，宜符合表 4.7.11 的规定。

表 4.7.11 手工钨极氩弧焊的工艺参数

项目	焊丝直径 (mm)	电流及极性	电流 (A)	电压 (V)	气体流量 (L/min)	焊接速度 (cm/min)
根焊	2.0/2.4/2.5	直流正接	70 ~ 160	8 ~ 16	8 ~ 20	5 ~ 10
填充	2.0/2.4/2.5	直流正接	80 ~ 160	10 ~ 16	8 ~ 20	5 ~ 10
盖面	2.0/2.4/2.5	直流正接	80 ~ 160	10 ~ 16	8 ~ 20	5 ~ 10

4.8 对口器撤离

4.8.1 正在施焊的钢管应处于稳定的状态。

4.8.2 使用内对口器或内焊机时，应在根焊道全部完成后撤离。当根焊焊缝承受应力较大时，宜在热焊焊缝完成后撤离内对口器或内焊机。

4.8.3 使用外对口器时，应在根焊道均匀对称完成 50% 以上且单焊道长度大于或等于 50mm 后撤离，对口吊具则应在根焊道全部完成后方可撤除。

4.8.4 对口器、对口支撑和吊具撤离过程中对钢管造成的振动和冲击不应影响焊缝质量。

4.9 焊缝返修

4.9.1 全壁厚焊缝返修时，根焊焊接可采用焊条电弧焊、钨极氩弧焊的焊接方法，焊接方向宜为上向；填充、盖面焊接可采用低氢型焊条电弧焊、气保护药芯焊丝半自动焊或钨极氩弧焊等焊接方法，不应使用自保护药芯焊丝半自动焊方法；焊接方向可为上向或下向。

4.9.2 非全壁厚焊缝返修时，不应使用返修工艺规程中的根焊焊接方法和焊接材料，应使用返修工艺规程中的填充焊和盖面焊焊接方法和焊接材料。

4.9.3 手工焊和半自动焊时，每处返修长度宜大于 50mm，若相邻两返修处的距离小于 50mm 时按 1 处缺陷进行返修。自动焊时，每处返修长度宜大于 50mm，若相邻两返修处的距离小于 50mm 时按 1 处缺陷进行返修。

4.9.4 有焊后热处理要求的焊口，焊缝返修后应重新进行焊后热处理。

附录 A 低温环境管道焊接施工技术措施

A.1 一般规定

A.1.1 当自然环境温度低于 -5°C 时，管道焊接应采取低温环境焊接施工技术措施。

A.1.2 本措施适用于 $-5^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 焊接环境温度条件下的现场焊接作业。本措施不应替代焊接工艺规程，焊接作业应遵循业主批准的焊接工艺规程。

A.1.3 焊接施工前，应根据设计和相关标准的要求，进行焊接工艺评定，并根据合格的评定结果编制用于指导现场焊接作业的焊接工艺规程。焊接工艺评定过程应能反映全部的焊接工艺类型和现场实际的环境温度水平。

A.1.4 用于管道焊接的机具及设备，如吊管机、焊接工程车、对口器、焊接电源等，应具有良好的工作状态和安全性能，可满足焊接工艺和低温环境野外工作条件的要求。

A.2 焊接施工

A.2.1 焊件温度低于 -5°C 时，所有钢材的焊缝应在始焊处 100mm 范围内至少预热至 15°C 。

A.2.2 有预热要求的焊口，低温环境施工宜采用中频感应加热、电加热或上述方法的组合方式进行焊口预热。局部加热可采用火焰加热器。选择的预热方法宜能够确保焊口在 10min 内达到预热温度，且整个焊口温度均匀。钢管壁厚大于 20mm 时，宜采用中频感应加热方法。

A.2.3 预热应符合下列规定：

- 1 宜对管端进行提前预热，使钢管内外壁的水汽完全烤

干。提前预热不应破坏钢管的内涂层和外防腐层。

2 施焊前应对管端两侧各 75mm 的范围进行预热。预热过程中应监测测量焊口温度是否均匀且达到预热温度的要求。

3 根焊开始前，若焊口温度低于规定的最低预热温度应重新对焊口进行预热。

A.2.4 道间温度控制应符合下列规定：

1 当环境温度低于 -10°C 时，屈服强度大于或等于 450MPa 的钢管宜在整个焊接过程中采用伴随加热的方式。

2 组对、焊接过程中宜在管端采取临时封堵措施。

A.2.5 焊接作业应符合下列规定：

1 焊接作业应在全封闭的防风保温棚内进行，防风保温棚内圈应与管子密实接合。

2 宜采取小流水或单兵作业的方式，保证道间温度。

3 半自动焊的送丝机、保护气体的气瓶等装置宜放置在防风保温棚内。

4 自动焊用保护气体应进行保温处理，以提高气瓶内保护气体的利用率。

5 焊接过程中和当天焊接工作完成后，应注意封堵管端，防止冰雪吹入管腔。

6 当自然环境温度低于 -30°C 时，应在焊缝表面温度低于 150°C 后方可移动或撤离防风保温棚。

A.2.6 焊缝返修焊接应符合下列规定：

1 返修焊接前应进行整体预热。

2 缺陷清除后，应检查打磨部位及其附近的焊缝金属和母材，确认没有因打磨引起的扩展裂纹。

3 全壁厚返修焊接时，应使用低氢型焊条上向焊完成根部焊接。不宜采用纤维素型焊条方法进行根部焊接。

4 返修焊接宜使用低氢型焊接材料。

附录 B 焊接材料选用

表 B 焊接材料选用推荐表

钢号	焊接方法	根焊		填充 / 盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
Q235A、Q235B、 Q235C、Q235D、 10、20、20R、 20G、20g、L175、 L210、L245、 L290、 API 5L B、X42、 ASTM A106A、 ASTM A106B、 ASTM A234 WPB、 ASTM A420 WPL6	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E4310、E4910、 E5016-XX	GB/T 5117—2012	E4303、E4310、 E4315、E5015、 E5018
	钨极氩弧焊	GB/T 39280— 2020	W49AYU10、 W49A36	GB/T 39280— 2020	W49AYU10、 W49A36
	自保护药芯焊 丝半自动焊	—	—	GB/T 10045— 2018	T493T8— INA-N1、 T493T8— INA-N2
25、16MnR、 16Mng、16Mn、 L320、L360、 API 5L X42、X46、 X52、 ASTM A694 F52	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E4310、E5016— XX	GB/T 5117—2012	E5010、E5015、 E5018、E5515、 E5545
	钨极氩弧焊	GB/T 39280— 2020	W49AYU10、 W49A36	GB/T 39280— 2020	W49AYU10、 W49A36
	熔化极气保 护半自动焊 (STT、RMD)	GB/T 8110—2020 GB/T 10045— 2018	G49A3C1S6、 T55XT15— 1M21A-N2	—	—

续表 B

钢号	焊接方法	根焊		填充 / 盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
25、16MnR、 16Mng、16Mn、 L320、L360、 API 5L X42、 X46、X52、 ASTM A694 F52	自保护药芯焊丝 半自动焊	—	—	GB/T 10045—2018	T493T8-1NA-N1、 T493T8-1NA-N2
	气保护实芯焊丝 自动焊（外焊机）	GB/T 8110—2020	G49A3C1S6、 G49A3M21S6	GB/T 8110—2020	G49A3M21S6、 G49A5M21S6
	气保护药芯焊丝自动 焊（单焊炬外焊机）	—	—	GB/T 10045—2018	T493T1-1M21A-N3
	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E4310、E5016-XX	GB/T 5117—2012	E5010、E5015、 E5018、E5510、 E5515、E5545
L390、L415、 15MnVR、 15MnNbR、 API 5L X56、 X60、 ASTM A105、 ASTM A106 C、 MSS SP75、 WPHY 60	钨极氩弧焊	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36
	熔化极气保护半自动 焊（STT、RMD）	GB/T 8110—2020、 GB/T 10045—2018	G49A3C1S6、 T55XT15- 1M21A-N2	—	—
	自保护药芯焊丝 半自动焊	—	—	GB/T 10045—2018	T493T8-1NA-N1、 T493T8-1NA-N2
	熔化极气保护自动焊 （外焊机）	GB/T 8110—2020	G49A3C1S6、 G49A3M21S6	GB/T 8110—2020	G49A3M21S6、 G49A5M21S6
	气保护药芯焊丝自动 焊（单焊炬外焊机）	—	—	GB/T 10045—2018	T493T1-1M21A-N3
	—	—	—	—	—

续表 B

钢号	焊接方法	根焊		填充 / 盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
L450、15MnVN、 15MnVNR、 API 5L X65、 MSS SP75、 WPHY 65、 ASTM A694 F65	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E4310、E5016—XX	GB/T 5117—2012	E5015、E5018、 E5518、E5515、 E5545
	钨极氩弧焊	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36	—	—
	熔化极气保护半自动 焊 (STT、RMD)	GB/T 8110—2020、 GB/T 10045—2018	G49A3C1S6、 T55XT15— IM21A—N2	—	—
L450、15MnVN、 15MnVNR、 API 5L X65、 MSS SP75、 WPHY 65、 ASTM A694 F65	自保护药芯焊丝 半自动焊	—	—	GB/T 10045—2018	T493T8—1NA—N1、 T493T8—1NA—N2、 T553T8—1NA—N2、 T553T8—1NA—N3
	熔化极气保护自动焊 (外焊机)	GB/T 8110—2020	G49A3C1S6、 G49A3M21S6	GB/T 8110—2020	G49A3M21S6、 G49A5M21S6
	气保护药芯焊丝自动 焊 (单焊炬外焊机)	—	—	GB/T 10045—2018	T553T1—1M21A—N3、 T554T1—1M21A—N3
	埋弧焊	—	—	GB/T 5293—2018	S55A3AB—SU45 H5

续表 B

钢号	焊接方法	根焊		填充/盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
L485、 API 5L X70、 MSS SP75、 WPHY 70	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E4310、E4910、 E5016	GB/T 32533—2016	E5915、E5918、 E5945、E6215、 E6218、E6245、 E6915、E6918、 E6945
	钨极氩弧焊	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36
	熔化极气保护半自动 焊 (STT、RMD)	GB/T 8110—2020、 GB/T 10045—2018	G49A3C1S6、 T55XT15— 1M21A-N2	—	—
L485、 API 5L X70、 MSS SP75、 WPHY 70	自保护药芯焊丝 半自动焊	—	—	GB/T 10045—2018	T553T8-1NA-N2、 T553T8-1NA-N3
	熔化极气保护自动焊 (内焊机、双焊机外 焊机)	GB/T 8110—2020	G49A3C1S6、 G49A3M21S6	GB/T 8110—2020	G49A3M21S6、 G55A5M21S6
	气体保护药芯焊丝自 动焊 (单焊机外焊机)	—	—	GB/T 10045—2018 GB/T 36233 —2018	T553T1-1M21A-N3、 T554T1-1M21A-N3、 T62×T1-1M21A-×
	埋弧焊	—	—	GB/T 5293—2018	S55A3AB-SU45 H5

续表 B

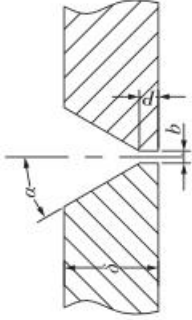
钢号	焊接方法	根焊		填充 / 盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
L555, API 5L X80	焊条电弧焊	GB/T 5117—2012	E5016-XX E6216-XX	GB/T 32533—2016	E6215、E6218、 E6245、E6915、 E6918、E6945
	钨极氩弧焊	GB/T 39280—2020	W49AYU10、 W49A36	—	—
	熔化极气保护半自动 焊 (STT、RMD)	GB/T 8110—2020、 GB/T 10045—2018	G49A3C1S6、 T55XT15— 1M21A-N2	—	—
	自保护药芯焊丝 半自动焊	—	—	GB/T 36233—2018	T623T8-INA-N3、 T623T8-INA-G
L555、 API 5L X80	熔化极气保护自动焊 (内焊机、双焊炬外 焊机)	GB/T 8110—2020	G49A3C1S6、 G49A3M21S6	GB/T 8110—2020 GB/T 39281—2020	G55A5M21S6、 G57A5M21S6、 G59A5M21S6
	气保护药芯焊丝自动 焊 (单焊炬外焊机)	—	—	GB/T 36233—2018	T623T1-1M21A-N2、 T694T1-1M21A-N3
	埋弧焊	—	—	GB/T 5293—2018 GB/T 36034—2018	S57A4AB— SUM31 H5、 S62A4AB—SUM31 H5
06Cr19Ni10、 ASTM A304、 A304L	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E308-15、 E308-16	GB/T 983—2012	E308-15、 E308-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S308	GB/T 29713—2013	S308

续表 B

钢号	焊接方法	根焊		填充 / 盖面	
		执行标准	焊材选用	执行标准	焊材选用
06Cr18Ni11Ti	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E347-15、 E347-16	GB/T 983—2012	E347-15、 E347-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S321	GB/T 29713—2013	S321
06Cr17Ni12Mo2、 ASTM A316、 A316	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E316-16、 E318-16	GB/T 983—2012	E316-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S316	GB/T 29713—2013	S316
06Cr17Ni12Mo2Ti	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E316L-16、 E318L-16	GB/T 983—2012	E316L-16、 E318L-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S316L	GB/T 29713—2013	S316L
06Cr19Ni13Mo3	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E317-16	GB/T 983—2012	E317-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S317	GB/T 29713—2013	S317
022Cr19Ni10	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E308L-16	GB/T 983—2012	E308L-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S308L	GB/T 29713—2013	S308L
022Cr17Ni12Mo2	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E316L-16	GB/T 983—2012	E316L-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S316L	GB/T 29713—2013	S316L
022Cr19Ni13Mo3	焊条电弧焊	GB/T 983—2012	E317L-16	GB/T 983—2012	E317L-16
	钨极氩弧焊	GB/T 29713—2013	S317L	GB/T 29713—2013	S317L

附录 C 坡口图

表 C 低碳钢、低合金钢和不锈钢对接、角接坡口形式及尺寸

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.1		<p>α—坡口面角度, 22.5° ~ 30° ; P—钝边高度, 1.0mm ~ 1.8mm ; b—对口间隙, 2.0mm ~ 4.0mm ; δ—钢管壁厚 (mm)</p>	<p>(1) 焊条电弧焊根焊、填充和盖面 ; (2) 钨极氩弧焊根焊、填充和盖面 ; (3) 钨极氩弧焊根焊 + 焊条电弧焊填充和盖面 ; (4) 钨极氩弧焊根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 ; (5) 焊条电弧焊根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 ; (6) 焊条电弧焊根焊 + 埋弧焊填充盖面 ; (7) STT 根焊 + 埋弧焊填充盖面</p>

续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺												
C.0.2		<p>α——下坡口面角度, $25^\circ \sim 30^\circ$;</p> <p>β——上坡口面角度, $5^\circ \sim 15^\circ$;</p> <p>P——钝边高度, $1.5\text{mm} \sim 1.8\text{mm}$;</p> <p>b——对口间隙, $1.5\text{mm} \sim 3.5\text{mm}$;</p> <p>δ——钢管壁厚 (mm) ;</p> <p>H——取决于壁厚 δ (mm)</p> <table border="1"> <tr> <td>δ (mm)</td> <td>15 ~ 19</td> <td>19 ~ 21.5</td> </tr> <tr> <td>H (mm)</td> <td>7 ± 0.5</td> <td>8.0 ± 0.5</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>δ (mm)</td> <td>21.5 ~ 26</td> <td>26.0 ~ 32.0</td> </tr> <tr> <td>H (mm)</td> <td>10 ± 0.5</td> <td>12.0 ± 0.5</td> </tr> </table>	δ (mm)	15 ~ 19	19 ~ 21.5	H (mm)	7 ± 0.5	8.0 ± 0.5	δ (mm)	21.5 ~ 26	26.0 ~ 32.0	H (mm)	10 ± 0.5	12.0 ± 0.5	<p>(1) 焊条电弧焊根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 ;</p> <p>(2) STT 根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 ;</p> <p>(3) RMD 根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 ;</p> <p>(4) STT 根焊 + 气保护药芯焊丝自动焊填充盖面 ;</p> <p>(5) RMD 根焊 + 气保护药芯焊丝自动焊填充盖面</p>
δ (mm)	15 ~ 19	19 ~ 21.5													
H (mm)	7 ± 0.5	8.0 ± 0.5													
δ (mm)	21.5 ~ 26	26.0 ~ 32.0													
H (mm)	10 ± 0.5	12.0 ± 0.5													
C.0.3		<p>α——下坡口面角度, 45° ;</p> <p>β——上坡口面角度, $5^\circ \sim 15^\circ$;</p> <p>γ——内坡口面角度, 37.5° ;</p> <p>h——内坡口高度, $1.2\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$;</p> <p>H——变坡口拐点距内壁的高度, $4.3\text{mm} \sim 4.5\text{mm}$;</p> <p>P——钝边高度, $0.8\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$;</p> <p>b——对口间隙, 0mm ;</p> <p>δ——钢管壁厚 (mm)</p>	<p>内焊机根焊 + 气保护实心焊丝自动焊填充盖面</p>												

续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.4		<p>α——上坡口面角度, $5^\circ \sim 15^\circ$; R——下坡口 $1/4$ 圆弧的半径, 2.4mm ; H——变坡口拐点距内壁的高度, $3.7\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$; p——钝边高度, 1.2mm ~ 1.5mm ; b——对口间隙, 0mm ; δ——钢管壁厚 (mm)</p>	<p>外焊机根焊 + 气保护实心焊丝 自动填充、盖面</p>
C.0.5		<p>α——上坡口面角度, $10^\circ \sim 16^\circ$; γ——内坡口面角度, 37.5° ; h——内坡口高度, 1.2mm ~ 1.5mm ; H——变坡口拐点距内壁的高度, $5.2\text{mm} \sim 5.7\text{mm}$; p——钝边高度, 0.8mm ~ 1.0mm ; b——对口间隙, 0mm ~ 0.5mm ; δ——钢管壁厚 (mm)</p>	<p>内焊机根焊 + 自保护药芯焊丝半 自动填充盖面</p>
C.0.6		<p>p——钝边高度, 0.8mm ~ 1.0mm ; b——对口间隙, 0mm ~ 0.5mm ; δ——钢管壁厚 (mm)</p>	<p>双联管埋弧焊</p>

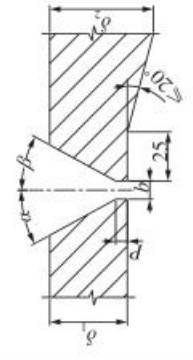
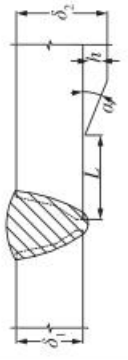
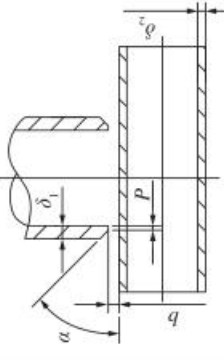
续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.7		δ_1 ——较薄侧钢管壁厚 (mm) ; δ_2 ——较厚侧钢管壁厚 (mm)	—
C.0.8		δ ——钢管壁厚 (mm)	—
C.0.9		δ ——钢管壁厚 (mm) ; L ——削薄长度, 1.5δ (mm) ; α ——坡口面角度 $44^\circ \sim 60^\circ$; P ——钝边高度, $1.0\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$; b ——对口间隙, $2.5\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$	—

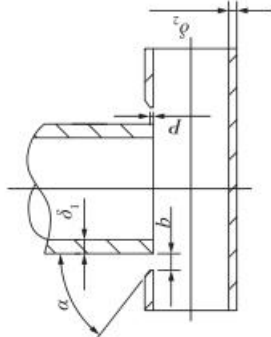
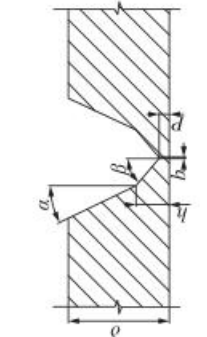
续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.10		<p>δ—钢管壁厚 (mm) ; L—削薄长度, 1.5δ (mm) ; α—坡口面角度, $44^\circ \sim 60^\circ$; P—钝边高度, $1.0\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$; b—对口间隙, $2.5\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$</p>	—
C.0.11		<p>δ—钢管壁厚 (mm) ; α—坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (钢管) ; β—坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (管件) ; P—钝边高度, $1.0\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$; b—对口间隙, $2.5\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$</p>	钨极氩弧焊
C.0.12		<p>δ_1—较薄侧钢管壁厚 (mm) ; δ_2—较厚侧钢管壁厚 (mm) ; α—坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (钢管) ; β—坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (管件) ; P—钝边高度, $1.0\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$; b—对口间隙, $2.5\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$</p>	钨极氩弧焊

续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.13		δ_1 ——较薄侧钢管壁厚 (mm) ; δ_2 ——较厚侧钢管壁厚 (mm) ; α ——坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (钢管) ; β ——坡口面角度, $22^\circ \sim 25^\circ$ (管件) ; P ——钝边高度, 1.0mm ~ 2.0mm ; b ——对口间隙, 2.5mm ~ 4.0mm	钨极氩弧焊
C.0.14		δ_1 ——较薄侧钢管壁厚 (mm) ; δ_2 ——较厚侧钢管壁厚 (mm) ; h ——壁厚差, $\leq 5\text{mm}$; α ——内坡角度, $\leq 15^\circ$; L ——内削薄坡口长度	自动焊根焊
C.0.15		δ_1 ——支管钢管壁厚 (mm) ; δ_2 ——主管钢管壁厚 (mm) ; α ——坡口面角度, $45^\circ \sim 50^\circ$; P ——钝边高度, 1.0mm ~ 2.0mm ; b ——对口间隙, 1.5mm ~ 3.5mm	—

续表 C

图号	坡口图	坡口尺寸	适用工艺
C.0.16		δ_1 ——支管钢管壁厚 (mm) ; δ_2 ——主管钢管壁厚 (mm) ; α ——坡口面角度, $45^\circ \sim 50^\circ$; P ——钝边高度, 1.0mm ~ 2.0mm ; b ——对口间隙, 1.5mm ~ 3.5mm	—
C.0.17		δ ——钢管壁厚 (mm) ; α ——上坡口面角度, $25^\circ \pm 1^\circ$; β ——上坡口面角度, $50^\circ \pm 1^\circ$; P ——钝边高度, 0.8mm ~ 1.2mm ; h ——拐点至内壁高度, $3.1\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$; b ——对口间隙, 0mm ~ 0.5mm ; 背垫: 铜衬垫	—

注: 当厚度差小于或等于 2.0mm 的不等壁厚钢管对接焊时, 可直接进行焊接。当厚度差大于 2.0mm 且 δ_2/δ_1 小于或等于 1.5 的不等壁厚钢管对接焊时, 可在厚度大的部件上进行削薄处理。当 δ_2/δ_1 大于 1.5 的不等壁厚钢管对接焊时, 可对较厚侧进行内削边处

理或采用壁厚过渡短节。

标准用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《不锈钢焊条》GB/T 983—2012
《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117—2012
《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 5293—2018
《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110—2020
《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045—2018
《不锈钢焊丝和焊带》GB/T 29713—2013
《高强度焊条》GB/T 32533—2016
《埋弧焊用高强度实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 36034—2018
《高强度药芯焊丝》GB/T 36233—2018
《钨极惰性气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 39280—2020
《气体保护电弧焊用高强度实心焊丝》GB/T 39281—2020
《耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准》SY/T 7464

中华人民共和国石油天然气行业标准

钢质管道焊接规程

SY/T 4125—2023

条文说明

修 订 说 明

《钢质管道焊接规程》SY/T 4125—2023 经国家能源局于 2023 年 5 月 26 日以第 4 号公告批准发布，自 2023 年 11 月 26 日起实施。

本规范修订过程中，编写组先后多次深入国内大型工程施工现场进行广泛现场调研，总结了我国钢质管道焊接工程建设的实践经验，同时参考了国外相关的先进技术法规和技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，本规范编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总则	45
2 术语	46
3 通用规程	48
3.1 一般规定	48
3.2 焊接材料	48
3.3 焊缝位置	49
3.4 焊接工艺评定和焊工（焊机操作工）	49
3.5 焊接设备	50
3.6 焊前准备	50
3.7 施焊	52
3.8 焊缝返修	53
3.9 焊缝检验	54
4 专项规程	56
4.1 焊接方法	56
4.2 焊接材料选择	56
4.3 焊前准备	57
4.4 管口组对	58
4.5 预热、道间温度	58
4.6 施焊	59
4.7 焊接工艺	60
4.8 对口器撤离	61
4.9 焊缝返修	61
附录 A 低温环境管道焊接施工技术措施	63
附录 B 焊接材料选用	65
附录 C 坡口图	66

1 总 则

1.0.1 本条说明了编制本规范的目的。

1.0.2 本条界定了本规范在输送介质、母材、焊接方法等方面的适用范围。

1.0.3 本规范用于指导设计、施工和质量管理人员进行焊接方法及焊接材料选择、焊接工艺预规程编制、现场焊接施工质量管控等。考虑到不同输送介质、材料及焊接方法都有一定的特殊性，本规范只对各种焊接方法及前期准备等共性内容提出了具体要求。由于本规范为行业标准，因此还应符合相关现行国家标准的规定。

2 术 语

2.0.1 本条术语参照了《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014—2011 中关于焊接工艺规程的定义。

2.0.2、2.0.3 参照了《焊接术语》GB/T 3375—1994 中的定义。

2.0.4 管道工程界又称为打底焊，手工、半自动和部分外根焊自动焊时，第一层打底焊道通常为单面焊双面成型焊道，对焊接材料工艺性能和焊工操作技能的要求高。

2.0.5 本条术语是针对下向焊的根焊工艺而规定的，需要在规定的时间内尽早开始、尽快完成的焊接操作，用以维持根焊道温度、补充根焊层焊缝厚度，以避免产生焊接冷裂纹的措施。热焊层焊接时，通常采用较大的焊接电流和较快的焊接速度，得到的焊层厚度较薄。

2.0.7 本条术语是针对下向焊的填充焊、盖面焊工艺而规定的。由于地球引力的作用，立焊位置的焊接速度相对较快，相同焊接层数下得到的熔覆金属厚度比平焊和仰焊位置相对较薄，因此盖面焊接前，需要在立焊位置多焊一层或几层焊道才能保证盖面焊道的焊缝余高不低于母材。

2.0.9 本条术语是针对基于应变设计抗大变形钢管的环焊接头而规定的。由于焊接热影响区软化或现有焊接材料强度不足，不能满足环焊接头横向拉伸试验断裂在母材上的要求时，通过加宽、加高焊缝余高的几何补强方法，提高焊缝承载能力，并改变热影响区的形状，避免拉伸试验断在焊缝或热影响区。

2.0.10 连头焊口是指焊接过程中焊缝两侧的钢管不能自由收缩，而使得焊缝金属受到很大拘束应力作用的焊口。若两段已完成管道之间的连接采用的是加装钢管短节的方式，则短节两侧的两道环焊缝均为连头焊口；若连接采用的是长管道截断的

方式，则截断处的一道环焊缝为连头焊口。

2.0.12 定位焊是指仅采用短焊缝完成管口组对的方法。使用内对口器、外对口器或焊卡等对口机具，并辅以短焊缝完成管口组对方式不属于定位焊组对，但这些短焊缝应按定位焊缝进行管理。

2.0.13 从气象学角度，连续 5d 日平均气温低于 10℃ 的首日即为进入冬季的日子，人的身体能够明显感觉到天气的寒冷；从建筑施工角度，连续 5d 平均气温低于 5℃ 或日最低气温低于 -3℃ 时，就要采取冬季施工措施。冬季我国很多地区温度在 0℃ 以下，土壤、混凝土、砂浆等所含水分冻结，建筑材料容易脆裂，给施工带来许多困难；从焊接施工角度，自然环境温度低于 -5℃ 时，需要采取有效的防护措施以建立起适宜的焊接环境温度，避免由于自然环境温度低、环境风速大而影响钢管加热效果和焊缝温度的保持，从而导致焊缝金属冷却速度过快、恶化焊缝金属韧性，甚至由于焊缝冷却速度过快产生裂纹等。

3 通用规程

3.1 一般规定

3.1.1 编制焊接工艺规程时，应以焊接工艺评定报告为基础，严格遵循焊接工艺评定标准所规定的重要变素、补加变素等所规定的覆盖范围。

3.1.2 建设方应对焊接工艺方案、焊接工艺评定报告和焊接工艺规程进行审核并批准。新工艺、新技术、新设备也可用于油气管道的环焊缝焊接，前提是通过试验研究和实践证明有效，且经相关各方认可并列入企业标准或管理规定。

3.1.3 不锈钢复合管、镍基复合管等焊接时，焊接材料、焊接方法的选择应按《耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准》SY/T 7464 执行。奥氏体不锈钢覆层的钢管焊接时，如使用奥氏体不锈钢焊材时，需注意正确的焊接顺序应为先使用碳钢焊材焊接基层，再使用过渡层焊材完成过渡层，最后使用奥氏体不锈钢焊条焊接覆层。不允许采用相反的焊接顺序。

3.1.4 本规范适用的低温环境是指进行焊接作业的小环境，如防风保温棚内、预制厂或暖房内等。当焊接环境温度范围为 $-5^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 时，可依据本规范附录 A 执行。当焊接环境温度范围低于 -30°C 时，应模拟现场施焊环境单独进行焊接工艺评定。

3.2 焊接材料

3.2.1 焊接材料是指焊接时所消耗材料的通称，如焊条、实心焊丝、药芯焊丝、金属粉芯焊丝、焊带、焊剂、保护气体、电极和衬垫等。填充金属是指参与冶金反应、形成熔敷金属的焊

接材料，如焊条、实心焊丝、药芯焊丝、金属粉芯焊丝、焊带、焊剂、金属粉末等。

3.2.3 纤维素焊条的药皮，以及药芯焊丝、金属粉芯焊丝的芯料，加热至 100℃左右时就会开始分解，影响其操作性能和焊缝金属力学性能，故不应对其进行加热、烘干。

3.2.4 参考《焊接与切割用保护气体》GB/T 39255—2020，对碳钢和低合金钢焊接用保护气体的类型、纯度、混合气体比例和体积分数偏差、含水量等进行规定。

3.3 焊缝位置

3.3.1、3.3.2 参考《压力容器焊接规程》NB/T 47015—2011，规定了管道环焊缝的焊缝位置、角度范围和位置代号。

3.3.3 管道自动焊通常是处于水平固定位置（5G）的，但在坡地、山区等地形复杂地段，管道有时不可避免地存在着超出 5G 范围的较大纵向坡度，如 15° 甚至 25°。此时应模拟工程实际地形条件的最大坡度，进行环焊缝自动焊的焊接工艺评定。焊接工艺评定过程需重点考核自动焊的坡地操作适应性和焊接合格率。焊接工艺评定合格后，方可据此在焊接工艺规程中给出允许的最大管道纵向坡度。

3.4 焊接工艺评定和焊工（焊机操作工）

3.4.1 由于不同构件焊接的特殊性，焊工（焊机操作工）取得特种设备焊接操作人员资格证后，并不能完全满足管道工程的焊接作业需求。为保证管道工程焊接质量，焊工（焊机操作工）还需结合管道工程所使用的焊接工艺规程，通过上岗考试。

3.4.2 考虑特种设备焊接操作人员考试的宗旨，是只解决焊工（焊接操作工）具备基本的焊接操作技能问题，而更多特殊、具体的焊接操作技能由工程项目上岗考试解决，故给出了本条规定。按特种设备焊接操作人员考试细则的规定，考试位置 6G 的

角度范围为斜 $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，取得 6G 位置资格证后可覆盖其他焊接位置的环焊缝焊接。而管道自动焊在斜 45° 位置的焊接操作难度极大，且工程实际中并不存在如此大的管道纵向坡度还要求进行自动焊的工况，因此，规定管道自动焊的焊机操作工需具有相应焊接工艺的 5G 位置资格证和焊接工艺规程所规定的最大坡度焊接上岗证。

3.5 焊接设备

3.5.1 对工程施工用焊接设备和机具进行要求，以保证质量及施工安全。由于电焊机上显示电流、电压、送丝速度的表头不方便拆卸下来进行计量检定，因此规定可进行比对检定，并在工程有效期内保存比对检定记录。

3.5.2 某些工程需要采集、传输焊接工艺参数等数据，当有此需求时，焊接设备应具有焊接工艺参数实时采集和远程传输的能力。

3.5.3 本条对焊接设备的环境适应性进行了要求，应能在各种环境下稳定工作。

3.5.4 本条是从焊接过程安全、焊接电缆压降影响焊接质量方面规定的，是长期施工经验的总结。

3.6 焊前准备

3.6.1 修磨管端内外制管焊缝的目的是确保焊接质量和无损检测效果。手工焊、半自动焊时，如采用射线检测，对管端内部的制管焊缝进行简单修磨即可；如采用 PAUT 检测，则管端内外的制管焊缝需按规定的长度、余高和表面精度完成修磨。自动焊时，采用 AUT 或 PAUT 检测，对管端内外制管焊缝的修磨长度、余高和表面精度均应有具体规定，以保证超声波检测效果和质量。

3.6.2 应根据工艺要求采用合理的坡口形式。

3.6.3 本条规定了坡口的加工方法，其中机械冷切割法是指用机加工方法完成的坡口加工。带有导轨的自动或半自动化的火焰切割属于机械式的热切割，不属于冷切割。等离子切割法通常适用于板材的切割，对管材进行切割的效果较差。

3.6.4 本条从影响焊接质量和无损检测的角度来考虑，为了确保焊接和无损检测质量，应尽量保证坡口两侧的清洁度。

3.6.5 强力组装不包括管道弹性敷设段的焊口、两侧具有足够长度的未回填管段的焊口等。强力组装是指在局部受限空间内，采用吊管机、挖掘机或其他辅助设备、机具，将两段轴线不一致的管道强行组对到一起的行为。此时的环焊缝由于在焊接热过程中不能自由伸缩，承受了很大的额外载荷，易在根焊缝的焊接过程中就产生裂纹，也会使得该处环焊接头的承载能力降低而在后续水压试验或管道运行过程中发生开裂，给管道安全带来风险。

3.6.6 自动焊轨道与环焊缝的平行精度影响焊接操作难度和缺陷率。轨道与环焊缝的平行度越好，焊接过程中需要进行人工干预调整的行为越少，越容易保证焊接质量。

3.6.7 本条对定位焊的质量做了明确规定。由于定位焊缝是焊接接头的一部分，其质量必须符合工程项目的质量要求。

3.6.11 本条说明预热及预热温度受多种因素的影响。规定的预热温度下限值是以不产生根焊缝冷裂纹为目的，上限值是以不破坏钢管防腐层为目的。最小预热温度与钢管材质、壁厚、施焊环境温度、根焊焊接材料、焊缝拘束度等直接相关，是通过冷裂纹敏感性试验确定的。通常情况下，含碳量和（或）碳当量较高的管件钢、返修和连头焊缝及冬季环境等条件下的焊口预热温度宜比正常水平高。

3.6.12 本条明确了预热宽度应符合焊接工艺的要求及预热温度的测温方法。

3.7 施 焊

3.7.1 本条依据《压力容器焊接规程》NB/T 47015—2011 中第 3.6.3.1 条和《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369—2014 中第 10.1.5 条的规定，主要是对焊接施工的环境做了明确要求。

3.7.2 地线与被焊管牢固接触是为了防止产生电火花烧伤母材。在实际工程中发现有部分焊工在钢管表面引弧或熄弧，对钢管表面造成了灼伤。电弧灼伤的钢管表面易产生大量微裂纹，具有安全隐患。

3.7.3 手工焊或半自动焊时，通常是在管段的两侧管端进行封挡。对根焊质量有特殊要求时，也可在内对口器的前后端进行封挡。内焊机自动焊时，通常是在内焊机涨靴的前后端进行封挡。

3.7.4 见本规范第 2.0.5 条的说明。

3.7.5 拆开包装后的药芯焊丝具有较强的吸潮性，高温、潮湿的天气情况下宜将未用完的焊丝从送丝机取下单独保存，或用防水布将送丝机包裹好，避免后续焊接出现气孔。实心焊丝的耐锈、抗潮性相对较好，可进行简单的防水、防潮包裹。

3.7.6 本条说明了低氢焊条在使用过程中保持干燥的要求。有些厂家供货的低氢焊条采用了真空密封包装，首次使用时可不烘干直接焊接；有些厂家供货的低氢焊条采用的塑料包装，使用前须按厂家要求进行烘干。不管哪类低氢焊条，都需要注意拆开包装后焊条的干燥保持。

3.7.7 自动焊或半自动焊过程中发生的导电嘴烧熔现象，若不认真处理将会造成焊缝金属铜污染而导致热裂纹，且由于裂纹较为细小而易被射线检测、相控阵超声波检测等漏检，给工程项目留下安全隐患。自动焊过程中，若完全清除铜污染不易操作或可能对后续焊接质量造成较大影响，则应将环焊缝切除并重新采用坡口机加工坡口。

3.7.8 现场切割焊口后，质量管理人员需要依据新焊口的拘束

应力状态选择适合的焊接工艺规程。如果新焊口在焊接过程中不能够自由伸缩，则应使用连头焊接工艺规程。如果新焊口在焊接过程中可自由伸缩，则可使用线路焊接工艺规程或连头焊接工艺规程。

3.7.9 较高的焊接热输入量会导致奥氏体不锈钢的焊接接头耐腐蚀性能降低，因此应控制焊接热输入，并采取不预热、减小道间温度，甚至道间水冷等措施。

3.7.10 交货状态为形变热处理态（M）的管线钢管，通常不应进行焊后热处理。交货状态为正火态（N）和调质态（Q）的管件钢、管线钢可进行焊后热处理。有焊后热处理要求的焊口，设计文件应经强度校核后给出明确规定。

3.7.11 当日未完成的留口焊缝、焊接设备和机具故障、长时间打磨去除缺陷或铜污染等原因导致的焊接中断，重新开始焊接时需注意控制预热温度。常温环境下，如果连续焊接过程中或打磨清理层间熔渣时，焊缝起始段的温度低于预热温度或道间温度，不宜停止焊接操作进行重新预热。低温环境下，可根据焊缝温度的降低程度考虑使用电伴热措施。

3.7.13 修补包括打磨修补和焊接修补，是指焊工对焊接过程中发现的烧穿、气孔、夹渣等缺陷所进行的主动修复。修补过程需使用原焊接工艺，并注意控制道间温度。

3.7.14 见本规范第 2.0.13 条和第 3.1.4 条的说明。

3.8 焊缝返修

3.8.1 管控返修过程、留存返修记录，是有效保证焊接质量和安全的措施。应杜绝私返、私割、信息资料缺失或不全等工程行为。

3.8.2 冷裂纹、热裂纹属于危害性缺陷，打磨、返修焊动作中因拘束应力作用可能会导致原有裂纹的进一步扩展，越修越裂，因此原则上需进行割除处理。管件、设备等特殊工况条件不具有割除条件的裂纹焊口，建设方应对返修方案充分论证，并严格管控。

3.8.3 弧坑裂纹通常浅且短，局限于弧坑内或弧坑附近，可通过打磨去除。

3.8.4 返修前确认缺陷已被完全打磨清除是质量管控的关键环节之一。通常可在打磨过程中采用目视检查的方法进行检查和确认，即是否在无损检测给定的位置打磨出缺陷、打磨出的缺陷长度和深度是否与无损检测检测结果一致。对于未熔合、未焊透、裂纹等不宜目视发现的缺陷，可增加磁粉检测或渗透检测方法辅助确认。

3.8.5 返修焊大多采用低氢焊条电弧焊方法，因此修磨出的坡口形状需适宜于焊条电弧焊操作，即焊条可以伸到坡口的底部且利于微摆焊接、坡口宽度利于熔渣浮出和道间打磨清除熔渣等。自动焊采用本规范图 C.0.2 ~ 图 C.0.5 的坡口时，坡口宽度相对较窄，如需进行返修焊接，宜修磨出具有一定深宽比的坡口形状，以利于手工操作。

3.8.7 本条对根焊层缺陷和填充 / 盖面层缺陷的预热做了要求。因存在根部缺陷而需要将焊接接头完全打透的焊口，焊接时存在更大的拘束度，整管预热的方法可降低根焊冷裂纹的产生概率。而针对填充层、盖面层的焊接缺陷进行返修焊时，可依据钢管壁厚和强度等级所产生的拘束应力来决定是进行局部预热还是进行整口预热。

3.8.8 定期统计分析焊接缺陷的产生位置、类型，以及与焊工、焊接设备的相关性，有利于焊接质量提升。尤其是管道自动焊时，根据无损检测机组反馈的检测结果及时进行缺陷产生原因的统计分析，有利于避免同类型缺陷的连续产生，也有利于提升自动焊机组的能力。

3.8.9 控制返程焊接过程的道间温度，其作用与焊前预热相同，有利降低焊接残余应力，避免焊接裂纹产生。

3.9 焊缝检验

3.9.1 本条规定强调外观检查不合格的焊口，不应进入无损检

测环节。

3.9.2 ~ 3.9.4 这三条对焊缝的外观包括表面缺陷、余高、焊道整齐程度等进行了规定。焊缝外观尺寸整齐、均匀的前提下，宽度超宽、余高超高对于焊接质量本身并无特别影响，但对后续的防腐补口质量有影响，因此强调的是焊缝外观需均匀一致且与母材圆滑过渡，而不需要特别强调焊缝宽度、余高等的具体要求数值。

3.9.5 盖面层为多道焊时，由于焊道与焊道间有高度差，易产生因几何形状差异导致的应力集中，故规定了焊道间和鱼鳞纹间的沟槽深度差。

3.9.6 设计文件应对焊接接头无损检测方法、检测比例、执行标准和合格级别做出规定。由于返修焊接常采用与原焊接工艺不同的焊接方法，尤其需对返修焊缝的无损检测方法进行详细规定。

焊条电弧焊、药芯焊丝电弧焊、钨极氩弧焊等焊接方法，其主要的焊接缺陷类型为夹渣、气孔、夹钨等，宜采用的焊缝无损检测方法为射线检测。

实心焊丝的熔化极气体保护自动焊等焊接方法，主要的焊接缺陷类型为坡口壁未熔合、气孔等，宜采用的焊缝无损检测方法为全自动焊超声波检测。

STT 和 RMD 等根焊的焊接方法，主要的焊接缺陷类型为未熔合、未焊透等，宜采用的焊缝无损检测方法为射线检测和相控阵超声波检测等。

4 专项规程

4.1 焊接方法

4.1.1 本条根据钢管的管径、强度等级和壁厚不同，给出了推荐的焊接工艺选择，包括根焊方法、填充盖面方法等。截至2020年12月，我国已有油气管道工程总里程达 16.5×10^4 km，其中L485钢级的管道里程约 1.5×10^4 km，L555钢级的管道里程约 1.4×10^4 km。1999年及以后建设的油气管道中，超过90%采用的是自保护药芯焊丝半自动焊进行的填充、盖面焊。借鉴已有的管道工程建设和运行经验，认为自保护药芯焊丝半自动焊用于管径1016mm以下、钢级L485及以下的环焊缝焊接，具有足够的安全性和可靠性。管径1016mm及以上的高钢级管道，和强度等级L555及以上的管道不推荐使用该工艺，如使用需采取更为谨慎的焊接工艺方案和焊接质量管控措施。

4.1.2 本条给出了线路工程和站场工艺管道预制可采用的焊接方法。管道预制通常是指在施工现场或附近工厂中设置的预制场内进行的，可完成双联管、三联管、设备或管件加装短节、橇装等构件的提前焊接，以减少现场焊接工作量的施工方法。这些预制件的焊接工艺评定宜按长输管道的相关标准进行管理，但不包括已纳入压力容器管控范畴的工厂内预制。

4.2 焊接材料选择

4.2.1 熔敷金属强度应与母材相匹配是指焊接材料的熔覆金属抗拉强度应与母材的抗拉强度相当，两者之间的强度差宜在 $\pm 15\%$ 的范围内。而对于含碳量或碳当量较高、冷裂倾向较大的母材，根焊时宜选择比母材强度低、塑韧性好、延展性好的

焊材。

4.2.2 钢管根焊和填充、盖面用焊接材料选择可参考本规范附录 B 的表格进行，但对于具体焊接材料的使用还应参考焊接工艺评定结果和该牌号焊材的实际熔敷金属力学试验结果，例如高强度钢管 L450、L485、L555 等。选择焊条、药芯焊丝时熔敷金属强度宜比母材高一个强度级别，而选择自动焊用实心焊丝时熔敷金属强度则宜比母材低一个强度级别，这是由于窄间隙坡口条件下，一些实心焊丝所形成的焊接接头强度可比其熔敷金属强度高出 100 ~ 120MPa。

热煨弯管、三通、汇管等管件钢管的交货状态为调质态，比形变热处理态交货的管线钢管通常具有更高的含碳量和碳当量，更强的冷裂纹敏感性，因此不建议使用扩散氢含量较高的酸性焊条、纤维素焊条进行焊接，尤其是不能用于根焊焊接。

为避免输气管道气体及高压输油管道泄漏的安全风险，环焊接头应具有一定的韧性，因此除根焊外不建议使用纤维素焊条或酸性焊条进行环焊缝填充和盖面焊。屈服强度 555MPa 及以上钢管、连头焊、返修焊或钢管自重较大的管道禁止使用纤维素焊条是为了避免冷裂纹。

4.2.3 本条依据《压力容器焊接规程》NB/T 47015—2011 中第 4.1 条的规定，规定了异种钢对接焊时的焊接材料选用原则。

4.3 焊前准备

4.3.1 本条主要是针对钢管在运输、吊装过程中可能会产生的划痕和刻痕，以及焊接过程中由于焊工不当操作而在管体上产生的电弧烧伤规定的。如果损伤位于钢管浅表面，可通过机械打磨方式进行修复，但打磨深度不应超过钢管公称壁厚的 5%。该方式不仅确保了管道的安全，而且也减少了经济损失。钢管管体表面的破损不允许在施工现场进行焊接修补。

4.3.2 自动焊工艺对于坡口尺寸精度的要求极为严格，管厂加工好的复合坡口经过防腐、运输、堆管站存放等环节后，易在

坡口表面产生锈蚀、麻坑，不能满足自动焊的坡口尺寸精度和坡口表面清洁度要求，影响自动焊合格率。

4.3.3 全自动超声波检测或相控阵超声波检测对环焊接头两侧一定范围内的钢管清洁度有严格要求，否则易造成信号丢失、盲区、漏检等。

4.3.4 碳钢、低合金钢、低合金高强度钢的钢管均可采用氧乙炔火焰进行切割，为保证切割面平整、均匀，推荐使用机械式的切割机，并需去除表面氧化层。不锈钢钢管、不锈钢复合钢管，由于其氧化物熔点高于它本身，产生后呈固态覆盖在切口表面无法吹走，使得切割进行不下去，因此应采用冷加工的切割方法。

4.4 管口组对

4.4.1 全自动超声波检测或相控阵超声波检测对环焊接头两侧一定范围内的钢管表面平整度有严格要求，若钢管焊缝余高修磨不够，易在其附近造成信号丢失、盲区、漏检等。

4.4.2 在管口组对过程中，内对口器的对口质量相对较好，如条件允许宜优先采用内对口器，其次是外对口器，最后是定位焊缝。

4.4.3 本条对定位焊缝进行了详细要求。由于定位焊缝的厚度测量不具有可执行性，为确保管口组对稳定、可靠，规定了定位焊缝的长度和点数。定位焊缝的长度是根据钢管管径确定的，管径较大时每处定位焊缝的长度通常为2根焊条的焊接长度。定位焊缝的点数应在钢管的圆周上均匀、对称分布。

4.4.4 本条对制管焊缝之间的距离及相邻环焊缝之间的距离进行要求，主要是避免焊缝之间距离较近时引起的应力集中叠加。

4.5 预热、道间温度

4.5.1 热煨弯管、三通、汇管等管件钢管的交货状态为调质态，

比形变热处理态交货的管线钢管通常具有更高的含碳量和碳当量，以及更强的冷裂纹敏感性。在相同强度等级条件下，管件钢管的预热要求控制应更为严格。

4.5.2 本条参照了《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236—2011 中第 7.4.2 条，并总结了近年来的科研成果、焊接工艺评定和现场焊接经验，给出了管线钢管的预热温度和道间温度建议。其中需特别注意无缝管、高频电阻焊管及一些低钢级钢管的含碳量和碳当量，必要时宜参考本规范表 4.5.1 的预热和道间温度要求。

4.5.3 ~ 4.5.5 预热是降低根焊冷裂纹的有效手段，这三条规定了预热温度的管控方法。

4.6 施 焊

4.6.1 气保护自动焊端部 10mm 在前一次焊接过程中可能氧化及化学成分烧损，并且有收弧球，造成引弧困难，也可能在焊缝中产生缺陷。引弧采用较短的伸出长度，可以减少焊缝产生气孔，也可以使保护气体保护好焊缝。

4.6.2 起弧和收弧位置错开，可避免在接头位置出现跨层、跨区的自身高度较大的缺陷。

4.6.3 本条对焊接过程中的缺陷去除方法进行要求，以保证焊接质量。

4.6.4 描述自动焊的操作技巧，保证合格率。

4.6.5 考虑盖面焊缝余高及盖面焊缝的成型，建议填充焊道宜填充（或修磨）至距坡口外表面 1mm ~ 2mm 处。立焊部位由于铁水向下流动，使得每次焊层较薄，故需要比其他位置多焊一层或几层方能满足盖面焊的余高要求。盖面焊缝为多道焊时，为了避免排焊焊缝沟槽间的高低差超标，建议后续焊道至少宜覆盖前一焊道 1/3 宽。

4.6.6 未完全焊满的焊缝承载能力有限。为避免产生冷裂纹，

要求完成 50% 钢管壁厚且不少于 3 层焊道。不等壁厚焊口、连头焊口、返修焊口承受的拘束应力相对较大，应连续焊完。

4.6.7 不等壁厚焊口推荐使用孔锥型坡口。如不具备孔锥型坡口加工条件，可在厚壁侧钢管端进行削薄处理，此时宜在现场或管件厂加装过渡短接，并对变壁厚位置的焊缝进行补焊或打磨，保证根焊缝与母材的圆滑过渡。

4.7 焊接工艺

4.7.1 纤维素焊条具有扩散氢含量高、夏比冲击韧性相对较低，但易于操作（可上向焊，也可下向焊）等特点，本条详细规定了纤维素焊条焊接的适用范围。

4.7.2 低氢焊条具有扩散氢含量低、夏比冲击韧性相对较好等特点，适用于韧性要求高的焊接接头，本条也详细规定了其适用范围。

4.7.3 STT 是一种以表面张力熔滴过渡为主的熔化极气体保护电弧焊，焊接电源能够自动调节焊接电流和电弧电压以达到熔滴过渡所需要的电弧瞬时热量。它焊接热输入量小，特别适合于单面焊双面成型的根焊焊接，不适合用于填充焊和盖面焊。同样，由于焊接热输入量小，变壁厚或错边量大时，单面焊双面成型的背面焊缝成型质量较难保证。

4.7.4 RMD 是一种通过检测短路电流发生时间来及时改变焊接电流和电压的精确动态控制技术，属于熔化极气体保护电弧焊。其焊接热输入量小，特别适合于单面焊双面成型的根焊焊接，不适合用于填充焊和盖面焊。同样，由于焊接热输入量小，变壁厚或错边量大时，单面焊双面成型的背面焊缝成型质量较难保证。

4.7.5、4.7.6 气保护药芯焊丝半自动焊、自动焊目前获得了广泛的认可，其优点是能提供很高的熔覆效率，熔深大，熔合性缺陷少，操作技能要求低于手工焊。该工艺不能进行单面焊双面成型的根焊焊接，只能进行填充焊、盖面焊。

4.7.7 根据管径不同，内焊机可有 4 个、6 个、8 个或 10 个焊炬，从钢管内部进行根焊焊接。其焊接速度很快，一个完整的根焊焊缝通常需要 90s ~ 100s 即可完成，是地势平坦段的大口径油气管道主选工艺。目前，内焊机可适用的最小管径为 813mm。

4.7.8 气保护实心焊丝自动焊的焊缝性能稳定、人为因素影响小、焊缝可靠性高，是当前高钢级管道焊接的主选工艺。但由于该工艺特点为熔池浅而窄，所面临的最大问题是坡口壁的未熔合和坡地焊接（管道纵向坡度 $> 15^\circ$ ）。采用数字化的脉冲电源可降低未熔合发生概率。

4.7.9 自保护药芯焊丝半自动焊具有焊接效率高、全位置焊接成型好、焊接质量好、操作方便和具有优良的抗风性能等优点，非常适合野外施工。通过优选焊接材料，并限定钢管中淬透性元素的冶金成分含量，可在较低强度等级、较小管径的管道中应用。

4.7.10 埋弧自动焊常用来预制双联管、三联管，以减少现场工作量。通常采用 STT、RMD、钨极氩弧焊或焊条电弧焊完成根焊，再采用埋弧自动焊工艺进行填充、盖面。

4.7.11 钨极氩弧焊的焊接质量好，焊缝可靠性高，但焊接速度慢，焊接效率低。适用低碳钢、低合金钢、不锈钢、难熔金属铝及铝镁合金、铜及铜合金、钛及钛合金，以及超薄板 0.1mm，同时能进行全位置焊接。

4.8 对口器撤离

4.8.1 ~ 4.8.4 主要是从影响根焊焊缝质量方面考虑，避免由于管体振动而造成焊接过程中的根焊缝开裂。

4.9 焊缝返修

4.9.1 本条规定了针对根焊缝进行返修的焊接方法和技术要求。

由于返修焊缝通常较短，自保护药芯焊丝半自动焊方法难以建立起连续的电弧保护气氛，使得焊缝金属中氮含量增加，从而降低焊缝金属的韧性。

4.9.2 本条规定了针对填充层、盖面层焊缝进行返修的焊接方法和技术要求。为避免返修焊缝的接头强度低于母材，不应使用返修焊接工艺规程中的根焊焊材（如果有的话）。

4.9.3 本条规定的目的是降低拘束应力影响，避免应力集中叠加。

4.9.4 本条规定的目的是降低特殊材料焊口的焊后残余应力，避免出现冷裂纹。

附录 A 低温环境管道焊接施工技术措施

本附录的相关内容依据中俄原油二线管道工程、俄罗斯西西伯利亚管道工程、西部原油成品油管道工程、中俄东线天然气管道工程等的低温环境施工经验，以及《西气东输二线管道工程西段低温环境施工技术方案》编写的。

A.1 一般规定

A.1.1 本条规定了本附录的应用前提，是在环境温度低于 -5°C 时应用。

A.1.2 本条规定管道焊接施工的低温环境范围为 $-5^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。在 -5°C 及以下时，钢管的加热方法、可达到的加热温度和焊缝温度的保持受周围环境温度、风速影响较大。

A.1.3 本附录只是低温环境管道焊接施工的管理要求，不能代表焊接工艺评定。焊接工艺评定应模拟工程的最恶劣自然环境条件，评定结果合格的焊接工艺及措施才能用于指导工程项目焊接施工。

A.1.4 低温环境焊接施工对管道焊接的机具及设备，如吊管机、焊接工程车、对口器、焊接电源等，也提出了更高的要求，主要是低温条件下，大多数电子设备、仪器仪表不能正常工作，常温使用的燃油、润滑油等不适应低温环境。

A.2 焊接施工

A.2.1 焊缝温度低时，初始焊缝易开裂。对于没有预热要求的母材需在始焊位置加热至常温状态。

A.2.2 环境温度较低、环境风速较大时，火焰加热效率极低，

且只能够加热钢管的表面，不能达到芯部。因此，低温环境、较大风速下宜采用中频感应加热、电加热或上述方法的组合方式进行焊口预热。烤把、环形火焰加热器只能作为辅助机具。

A.2.3 预热是避免冷裂纹的有效措施之一，应认真对待。

A.2.4 道间温度也是避免冷裂纹的措施之一，且有利于保证焊缝金属力学性能。

A.2.5 本条对焊接作业过程做了详细规定来降低焊缝的冷却速度，如对防风棚的要求、流水作业方式、保护气体等做了规定。

A.2.6 低温环境环焊缝的返修焊接与普通焊缝返修相比，出现冷裂纹的敏感性更大。因此，本条对预热、焊缝清理、焊接材料的选择做了规定。

附录 B 焊接材料选用

焊接材料的选择主要以材料等级、焊接方法、焊接效率为前提，考虑了焊接接头使用性能的要求、焊接工艺性能的要求和经济性。

使用性能：包括强度、弯曲性能、冲击韧性、硬度、化学成分等，以及一些技术标准和设计图纸中对接头性能的特殊要求，诸如抗腐蚀性能等。

焊接工艺性能：焊接接头具有一定的塑性变形能力和切削性能、高温综合性能等。焊接工艺则根据母材的焊接性差异，要求焊接材料的工艺性能良好，并具有相应的抗裂纹等缺陷的能力。

经济性：在满足上述各种使用性能和工艺性能的基础上，应选择价格便宜的焊接材料，以降低制造成本，提高经济效益。例如，重要部件的低碳钢焊条电弧焊时，应优先选用碱性药皮焊条，因为碱性焊条脱氧、脱硫充分，且氢含量低，具有良好的焊缝金属抗裂性能及冲击韧性。而对于一些非重要部件，可选用酸性焊条，因为酸性焊条具有良好的工艺。

本规范表 B 中焊接材料的选用已被西气东输、西气东输二线等油气管道工程实践证明，目的在于确保用于焊接施工的材料正确。

本附录中对于部分高强度等级钢管所给出的焊接材料推荐方案，焊条、药芯焊丝和实心焊丝的熔敷金属强度选择原则不相同，具体解释参考条文说明第 4.2.2 条。

附录 C 坡口图

坡口形式和尺寸的设计原则是保证焊接质量、减少填充金属量、改善劳动条件、便于操作、减少焊接应力和变形，适应探伤等。本规范表 C 是经工程实践证明的。

中华人民共和国
石油天然气行业标准
钢质管道焊接规程
SY/T 4125—2023

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

850 × 1168 毫米 32 开本 2.625 印张 80 千字 印 1—600

2023 年 7 月北京第 1 版 2023 年 7 月北京第 1 次印刷

书号：155021 · 8503 定价：52.00 元

版权专有 不得翻印