

ICS 75.200

P 94

**SY**

中华人民共和国石油天然气行业标准

P

**SY/T 7464—2020**

# 耐腐蚀合金双金属复合管焊接及 无损检测技术标准

**Internal lined or clad corrosion resistant  
alloy pipeline welding and inspection specification**

2020-10-23 发布

2021-02-01 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

耐腐蚀合金双金属复合管焊接及  
无损检测技术标准

Internal lined or clad corrosion resistant  
alloy pipeline welding and inspection specification

**SY/T 7464—2020**

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

石油工业出版社

2020 北京

国家能源局

# 公 告

2020 年 第 5 号

国家能源局批准《水电工程生态流量实时监测系统技术规范》等 502 项能源行业标准（附件 1）、《Series Parameters for Horizontal Hydraulic Hoist (Cylinder)》等 35 项能源行业标准英文版（附件 2），现予以发布。

附件：1. 行业标准目录（节选）  
2. 行业标准英文版目录（略）

国家能源局  
2020 年 10 月 23 日

## 附件

### 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
126	SY/T 0033—2020	油气田变配电设计规范	SY/T 0033—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
127	SY/T 0043—2020	石油天然气工程管道和设备涂色规范	SY/T 0043—2006		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
128	SY/T 0086—2020	阴极保护管道的电绝缘标准	SY/T 0086—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
129	SY/T 0087.2—2020	钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第2部分：埋地钢质管道内腐蚀直接评价	SY/T 0087.2—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
130	SY/T 0604—2020	工厂焊接液体储罐规范	SY/T 0604—2005		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
131	SY/T 4089—2020	渤海石油工程电气设计规范	SY/T 4089—1995		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
132	SY/T 4109—2020	石油天然气钢管管道无损检测	SY/T 4109—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
133	SY/T 4113.7—2020	管道防腐层性能试验方法 第7部分：厚度测试	SY/T 0066—1999 SY/T 4107—2005		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
134	SY/T 4113.8—2020	管道防腐层性能试验方法 第8部分：耐磨性能测试	SY/T 0065—2000		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
135	SY/T 4113.9—2020	管道防腐层性能试验方法 第9部分：耐液体介质浸泡	SY/T 0039—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
136	SY/T 4122—2020	油田注水工程施工技术规范	SY/T 4122—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
137	SY/T 4124—2020	油气输送管道工程竣工验收规范	SY/T 4124—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
138	SY/T 5030—2020	石油天然气钻采设备 柴油机	SY/T 5030—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
139	SY/T 5053.2—2020	石油天然气钻采设备 钻井口控制设备及分流设备控制系统	SY/T 5053.2—2007		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
140	SY/T 5061—2020	钻井液用石灰石粉	SY/T 5061—1993		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
141	SY/T 5066—2020	石油天然气钻采设备 地层测试器	SY/T 5066—2008		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
142	SY/T 5139—2020	石油天然气钻采设备 放井架车	SY/T 5139—2008		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
143	SY/T 5158—2020	石油勘探成像测井系统 通用技术条件	SY/T 5158—2008		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
144	SY/T 5166—2020	石油抽油机井测试仪	SY/T 5166—2007		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
145	SY/T 5171—2020	海上石油物探测量规范	SY/T 5171—2011		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
146	SY/T 5198—1920	钻具螺纹脂	SY/T 5198—1996		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
147	SY/T 5226—2020	石油天然气钻采设备 抽油机节能拖动装置	SY/T 5226—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
148	SY/T 5340—2020	砾石充填防砂方法	SY/T 5340—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
149	SY/T 5360—2020	裸眼井单井测井数据处理流程	SY/T 5360—2004		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
150	SY/T 5363—2020	含油气层系划分	SY/T 5363—1997		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
151	SY/T 5373—2020	钻井井下工具与作业用图形符号	SY/T 5373—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
152	SY/T 5525—2020	石油天然气钻采设备 旋转钻井设备 上部和下部方钻杆旋塞阀	SY/T 5525—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
153	SY/T 5660—2020	钻井液用包被絮凝剂 聚丙烯酰胺类	SY/T 5660—1995		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
154	SY/T 5673—2020	油田用防垢剂通用技术 条件	SY/T 5673—1993		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
155	SY/T 5727—2020	井下作业安全规程	SY 5727—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
156	SY/T 5748—2020	岩石气体突破压力测定方法	SY/T 5748—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
157	SY/T 5796—2020	油田用絮凝剂评价方法	SY/T 5796—1993		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
158	SY/T 5820—2020	天然源电磁法采集技术 规程	SY/T 5820—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
159	SY/T 5846—2020	套管补贴工艺作法	SY/T 5846—2011		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
160	SY/T 5862—2020	驱油用聚合物技术要求	SY/T 5862—2008		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
161	SY/T 5974—2020	钻井井场设备作业安全技术规程	SY 5974—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
162	SY/T 5980—2020	探井试油设计规范	SY/T 5980—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
163	SY/T 5984—2020	油(气)田容器、管道和装卸设施接地装置安全规范	SY 5984—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
164	SY/T 5985—2020	液化石油气充装厂(站)安全规程	SY 5985—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
165	SY/T 6028—2020	探井地质实验分析项目及取样要求	SY/T 6028—1994		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
166	SY/T 6069—2020	油气管道仪表及自动化系统运行技术规范	SY/T 6069—2011		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
167	SY/T 6106—2020	气田开发方案编制技术要求	SY/T 6106—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
168	SY/T 6107—2020	油藏热物性参数的测定方法	SY/T 6107—2010		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
169	SY/T 6177—2020	气田开发方案及调整方案经济评价技术要求	SY/T 6177—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
170	SY/T 6186—2020	石油天然气管道安全规范	SY 6186—2007		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
171	SY/T 6306—2020	钢质原油储罐运行安全规范	SY 6306—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
172	SY/T 6367—2020	石油天然气钻采设备钻井设备的检验、维护、修理和再制造	SY/T 6367—2009		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
173	SY/T 6415—2020	油气井录井资料质量评定规范	SY/T 6415—2010		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
174	SY/T 6450—2020	气举阀测试、调定和修理推荐作法	SY/T 6450—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
175	SY/T 6489—2020	水平井测井资料处理与解释规范	SY/T 6489—2000		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
176	SY/T 6492—2020	声速测井仪核技术规范	SY/T 6492—2000 SY/T 5880.4—1995		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
177	SY/T 6536—2020	钢质储罐、容器内壁阴极保护技术规范	SY/T 6536—2012 SY/T 0047—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
178	SY/T 6586—2020	石油天然气钻采设备 钻机现场安装及检验	SY/T 6586—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
179	SY/T 6600—2020	石油天然气钻采设备 承荷探测电缆	SY/T 6600—2004		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
180	SY/T 6608—2020	海洋石油作业人员安全培训要求	SY 6608—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
181	SY/T 6662.2—2020	石油天然气工业用非金属复合管 第2部分：柔性复合高压输送管	SY/T 6662.2—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
182	SY/T 6714—2020	油气管道基于风险的检测方法	SY/T 6714—2008		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
183	SY/T 6727—2020	石油天然气钻采设备 液压盘式刹车	SY/T 6727—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
184	SY/T 6732—2020	陆上多波多分量地震资料处理技术规程	SY/T 6732—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
185	SY/T 6773—2020	海上结构热机械控轧 (TMCP) 钢板规范	SY/T 6773—2010		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
186	SY/T 6788—2020	水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法	SY/T 6788—2010		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
187	SY/T 6797—2020	注水井分层流量实时测调仪	SY/T 6797—2010		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
188	SY/T 6827—2020	油气管道安全预警系统技术规范	SY/T 6827—2011		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
189	SY/T 6852—2020	油田采出水生物处理工程设计规范	SY/T 6852—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
190	SY/T 6859—2020	油气输送管道风险评价导则	SY/T 6859—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
191	SY/T 6864—2020	钻井液黏度计校准方法	SY/T 6978—2014 SY/T 6864—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
192	SY/T 6871—2020	石油天然气钻采设备 钻井液固相控制设备安装、使用、维护和保养	SY/T 6871—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
193	SY/T 6885—2020	油气田及管道工程雷电防护设计规范	SY/T 6885—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
194	SY/T 6890—2020	流量计运行维护规程	SY/T 6890.1—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
195	SY/T 6891.2—2020	油气管道风险评价方法 第2部分：定量评价法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
196	SY/T 6900—2020	Sercel 400 系列地震数据采集系统检验项目及技术指标	SY/T 6900—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
197	SY/T 6915.4—2020	石油天然气钻采设备 心工作筒流量控制系统 第4部分：偏心工作筒及相关设备操作规程		ISO 17078—4:2010, MOD	石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
198	SY/T 6919—2020	石油天然气钻采设备 钻机和修井机涂装规范	SY/T 6919—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
199	SY/T 6940—2020	页岩含气量测定方法	SY/T 6940—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
200	SY/T 6954—2020	原油氧化动力学参数测定方法	SY/T 6954—2013		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
201	SY/T 6994—2020	页岩气测井资料处理与解释规范	SY/T 6994—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
202	SY/T 7002—2020	储层地球物理预测技术规范	SY/T 7002—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
203	SY/T 7015—2020	石油天然气钻采设备固井压裂柱塞泵	SY/T 7015—2014		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
204	SY/T 7410.2—2020	岩石三维孔隙结构测定方法 第2部分:聚焦离子束切片法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
205	SY/T 7464—2020	耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
206	SY/T 7465—2020	陆上石油开采区土壤环境调查技术指南			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
207	SY/T 7466—2020	陆上石油天然气开采水基钻井废弃物处理处置及资源化利用技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
208	SY/T 7467—2020	钻井液环保性能评价技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
209	SY/T 7468—2020	油气生产物联网系统技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
210	SY/T 7469—2020	砂岩溶蚀模拟实验方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
211	SY/T 7470—2020	原油中金刚烷类化合物的定量分析方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
212	SY/T 7471—2020	近地表油气指示微生物检测方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
213	SY/T 7472—2020	油气管道完整性管理等级评估规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
214	SY/T 7473—2020	油气输送管道通信系统设计规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
215	SY/T 7474—2020	油气田空氮站设计规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
216	SY/T 7475—2020	石油天然气建设工程施工质量验收规范 地下水封石洞油库工程			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
217	SY/T 7476—2020	油气输送管道地质灾害防治工程施工规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
218	SY/T 7477—2020	埋地钢质管道机械化补口技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
219	SY/T 7479—2020	石油工程监督劳动定额			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
220	SY/T 7480—2020	对船加注液化天然气作业安全检查			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
221	SY/T 7481—2020	非常规油气开采含油污泥处理处置技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
222	SY/T 7482—2020	非常规油气开采污染控制技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
223	SY/T 7483—2020	用在线气相色谱法测定天然气中硫化合物含量			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
224	SY/T 7484—2020	天然气 烃露点的测定 冷却镜面自动检測法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
225	SY/T 7485—2020	岩石物理频谱激电测试 技术规程			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
226	SY/T 7486—2020	地下水封洞库工程物探 规程			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
227	SY/T 7487—2020	海洋高温高压井钻井作 业要求			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
228	SY/T 7488—2020	海洋丛式井组防碰及碰后处理要求			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
229	SY/T 7489—2020	连通井钻井技术要求			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
230	SY/T 7490—2020	平行水平井钻井作业规程			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
231	SY/T 7491.1—2020	油气藏岩石力学性质测试技术规范 第1部分：砾岩			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
232	SY/T 7492—2020	抽油机井示功图法产液量计算技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
233	SY/T 7493—2020	浅海油井压裂设计、施工规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
234	SY/T 7494—2020	油气田用起泡剂实验评价方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
235	SY/T 7495—2020	连续油管的维护与检测			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
236	SY/T 7496—2020	套管磨损试验方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
237	SY/T 7497—2020	OBNEM 海洋电磁采集站			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
238	SY/T 7498—2020	随钻测控井下仪器一体化平台技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
239	SY/T 7499—2020	海上离心泵在线监测系统设计与安装推荐作法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
240	SY/T 7552—2020	天然气贸易计量用流量计选用指南			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
241	SY/T 7600—2020	外浮顶油罐雷电流分流分路安全技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
242	SY/T 7601.1—2020	石油天然气工业能源审计 第1部分：油气生产			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
243	SY/T 7602—2020	液化天然气码头卸料臂检修规程			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
244	SY/T 7603—2020	石油天然气钻采设备 井口安全控制系统			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
245	SY/T 7604—2020	石油天然气钻采设备 井设备使用及维护			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
246	SY/T 7605—2020	石油天然气钻采设备 海洋立管全尺寸疲劳试验方法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
247	SY/T 7606—2020	石油天然气钻采设备 碳钢和合金钢螺栓连接			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
248	SY/T 7607—2020	带微型热导的气相色谱法快速测定天然气中硫化氢、四氢噻吩			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
249	SY/T 7608—2020	地下水封洞库水幕给水技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
250	SY/T 7609—2020	砂岩油藏化学复合驱开发方案设计技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
251	SY/T 7610—2020	石油天然气钻采设备 压管汇的在线检测与监测技术规范			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

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
252	SY/T 7611—2020	海底管道管土相互作用的推荐作法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
253	SY/T 7612—2020	水下设备性能鉴定 标准化流程文件推荐做法			石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
254	SY/T 10010—2020	非分类区域和Ⅰ级1类及2类区域的固定及浮式海上石油设施的电气系统设计、安装与维护推荐作法	SY/T 10010—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
255	SY/T 10023.1—2020	海上油(气)田开发项目经济评价方法 第1部分：自营油(气)田	SY/T 10023.1—2012		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01
256	SY/T 10034—2020	敞开式海上生产平台防火与消防的推荐作法	SY/T 10034—2000		石油工业出版社	2020-10-23	2021-02-01

## 前　　言

根据国家能源局综合司《关于印发 2017 年能源领域行业标准制（修）订计划及英文版翻译出版计划的通知》（国能综通科技〔2017〕52 号）的要求，本规范编制组经广泛调查研究，总结了内衬或内覆层双金属复合管及其支管在油气输送耐腐蚀性能研究、产品与工程设计、产品制造、工程施工与加工装置安装及维护过程中的工程实践经验，系统参考了国内外主要双金属复合管应用工程的相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范共分为 12 章和 4 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、焊接工艺评定、焊接工艺规程、焊工考试、生产焊接、目视检测、相控阵超声检测、自动超声检测、其他检测方法和质量验收。

本规范由国家能源局负责管理，由石油工程建设专业标准化委员会负责日常管理，由四川石油天然气建设工程有限责任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，请寄送四川石油天然气建设工程有限责任公司工程质量控制部（地址：四川省成都市高新区升华路 6 号，邮编：610041），以供今后修订时参考。

本规范主编单位：四川石油天然气建设工程有限责任公司

本规范参编单位：中国石油国际勘探开发有限公司

武汉中科创新技术股份有限公司

四川佳诚油气管道质量检测有限公司

昆山京群焊材科技有限公司

中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司

本规范主要起草人员：吴立斌 李 阳 罗泽松 段 翊  
林光辉 李羽可 杨 燕 刘有超  
王子成 左义锋 吴 勇 周 炎  
张 圆 童天旺 杨国晖 冯 泉  
本规范主要审查人员：王鲁君 曹 健 龚 华 张 琴  
霍祥华 王玉雷 赵桂敏 刘觉非  
王学东 樊宁军 高彦伟 李 科  
姜 放 孟庆鹏

## 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
3.1	焊接及无损检测	4
3.2	设备、工具	9
3.3	材料	12
4	焊接工艺评定	15
4.1	一般规定	15
4.2	检验、试验与评定	21
4.3	基本要素	36
5	焊接工艺规程	41
5.1	一般规定	41
5.2	规程内容	41
6	焊工考试	45
6.1	一般规定	45
6.2	上岗考试	45
6.3	基本要素	45
7	生产焊接	47
7.1	一般规定	47
7.2	管子切割与坡口加工	47
7.3	管口组对	48
7.4	预热与焊后热处理	49
7.5	焊接	49

7.6 焊缝检测 .....	52
7.7 焊缝返修 .....	53
8 目视检测 .....	55
8.1 一般规定 .....	55
8.2 设备和工具 .....	55
8.3 检测准备 .....	56
8.4 直接目视检测 .....	56
8.5 间接目视检测 .....	56
8.6 检测记录报告 .....	57
9 相控阵超声检测 .....	58
9.1 检测设备和器材 .....	58
9.2 检测工艺文件 .....	62
9.3 检测准备 .....	64
9.4 系统设置的验证 .....	66
9.5 检测 .....	67
9.6 检测结果评价 .....	67
9.7 检测记录和报告 .....	68
10 自动超声检测 .....	69
10.1 检测设备和器材 .....	69
10.2 检测工艺文件 .....	72
10.3 检测准备 .....	73
10.4 系统性能校验和检测 .....	75
10.5 数据解释 .....	75
10.6 检测记录和报告 .....	76
11 其他检测方法 .....	77
12 质量验收 .....	78
12.1 目视检测 .....	78
12.2 相控阵超声和自动超声检测 .....	79
12.3 磁粉检测和渗透检测 .....	80
12.4 射线检测 .....	80

附录 A 检测报告.....	82
附录 B 相控阵超声检测模拟试块制作.....	92
附录 C 材料声速的测定.....	94
附录 D 声束扩散修正方法.....	96
标准用词说明.....	97
引用标准名录.....	98
附：条文说明.....	100
参考文献.....	125

# Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic regulations .....	4
3.1	Welding & NDT .....	4
3.2	Equipment .....	9
3.3	Materials .....	12
4	Welding procedure record .....	15
4.1	General requirements .....	15
4.2	Test and evaluation .....	21
4.3	Essential variables .....	36
5	Welding procedure specification .....	41
5.1	General requirements .....	41
5.2	Contents .....	41
6	Welders qualification .....	45
6.1	General requirements .....	45
6.2	Qualification .....	45
6.5	Essential variables .....	45
7	Production welding .....	47
7.1	General requirements .....	47
7.2	Cutting & beveling .....	47
7.3	Alignment .....	48
7.4	Preheating & post heat treatment .....	49
7.5	Welding .....	49

7.6 NDT .....	52
7.7 Repair .....	53
8 Visual test.....	55
8.1 General requirements .....	55
8.2 Equipment .....	55
8.3 Preparing .....	56
8.4 Direct visual test .....	56
8.5 Indirect visual test .....	56
8.6 Records .....	57
9 Phased array ultrasonic testing .....	58
9.1 Equipments.....	58
9.2 Specification .....	62
9.3 Preparing .....	64
9.4 Setting .....	66
9.5 Testing .....	67
9.6 Evaluation of inspection results .....	67
9.7 Records .....	68
10 Automatic ultrasonic testing .....	69
10.1 Equipments .....	69
10.2 Specification .....	72
10.3 Preparing .....	73
10.4 Calibration & testing.....	75
10.5 Data analysis .....	75
10.6 Records .....	76
11 Other test process .....	77
12 Quality acceptance.....	78
12.1 Visual testing .....	78
12.2 Phased array & automatic ultrasonic testing .....	79
12.3 Magnetic & penetration particle testing .....	80
12.4 Radiographic testing .....	80

Appendix A	Records	82
Appendix B	Phased array ultrasonic testing simulation test block	92
Appendix C	Determination of sound velocity of materials	94
Appendix D	Sound beam diffusion correction method	96
	Explanation of wording in this code	97
	List of quoted standards	98
	Addition : Explanation of provisions	100
	References	125

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范油气田内衬或内覆耐腐蚀合金（CRA）双金属复合管（以下简称“复合管”）的焊接及无损检测，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于壁厚在 6mm ~ 70mm，外径大于 DN50 的复合管与复合管、复合管与纯材管、复合管与管件（纯材或复合）、复合管主管与纯材管支管（管径、壁厚不限）或复合管支管（骑座式或承插式）角焊缝的焊接与无损检测（以下简称“复合管的焊接与无损检测”），同样适用于 CRA 纯材管的焊接。本规范不适用于在役管线的带压焊接作业。

**1.0.3** 复合管的焊接和无损检测除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 内返修 repair welds from internal CRA surface

从内部对耐腐蚀合金焊缝进行的返修。

#### 2.1.2 过渡层 interface layer

位于耐蚀合金与碳钢界面处的焊道。

#### 2.1.3 道间温度 interpass temperature

焊道间、焊道与相邻母材间、下一层第一条焊道与上一层焊缝间在焊接开始前的最高温度。

#### 2.1.4 低镍合金 low nickel alloy

合金含镍量小于或等于 30% 的含镍合金。

#### 2.1.5 高镍合金 high nickel alloy

合金含镍量大于 30% 的含镍合金。

#### 2.1.6 生产焊接 production welding

在野外或固定车间完成的焊接工作，完成的焊缝成为产品的一部分。

#### 2.1.7 冷焊 cold welding

根焊完成后，使焊缝冷却到环境温度后进行的下一层焊接。

#### 2.1.8 热焊 hot welding

根焊完成后立即快速进行的下一层焊接。

#### 2.1.9 流变强度 flow stress

复合管的基层金属实际抗拉强度与实际屈服强度的平均值。

#### 2.1.10 支管 branch

从总管上分出的或向总管汇合的管道。

#### 2.1.11 对比试块 reference block

与被检件材料化学成分相近，含有尺寸、类型确定的参考

反射体，用于检测校准的试块。

#### **2.1.12 根焊区      root welding area**

焊缝内表面往上 4.5mm 以内的焊缝。

#### **2.1.13 填充区      filling area**

焊缝去除盖面区、根焊区后剩余的焊缝。

#### **2.1.14 盖面区      cap area**

从焊缝外表面往下 3.5mm ~ 6.5mm 的厚度范围内的焊缝。

## **2.2 符    号**

AUT——自动超声检测；

AVC——电弧电压的自动控制；

CRA——耐腐蚀合金；

CTOD——裂纹尖端扩展位移；

DDC——失延性裂纹；

ECA——工程临界性评估；

MT——磁粉检测；

NDT——无损检测；

P-GMAW——脉冲熔化极气体保护焊；

P-GTAW——脉冲氩弧焊；

PAUT——相控阵超声检测；

PQR——焊接工艺评定；

PREN——耐点蚀当量；

PT——渗透检测；

pWPS——预焊接工艺规程；

RT——射线检测；

UT——超声检测；

VT——目视检测；

WPS——焊接工艺规程。

## 3 基本规定

### 3.1 焊接及无损检测

**3.1.1** 焊工应持有市场监督管理局颁发的“特种设备作业人员证”并按本标准要求通过上岗考试。

**3.1.2** 无损检测人员应按照现行国家标准《无损检测 人员资格鉴定与认证》GB/T 9445 的相关规定取得相应检测方法的资格证书，并应符合下列规定：

1 无损检测人员应具有不少于 3 年的检测工作经验，并应对所检测复合管工程进行专门的技能培训并考试合格。

2 超声检测 (UT) 检测人员应取得无损检测 UT- II 级资质，审核人员应取得无损检测 UT- III 级资质。

3 自动超声检测 (AUT)、相控阵超声检测 (PAUT) 的检测人员应经过专项理论知识的培训，并应取得相应操作、调试与图谱研判培训证书。

4 无损检测人员应取得业主认可的机构颁发的资质证书。

5 当业主有要求的情况下，应对无损检测人员进行复合管焊缝检测能力评价。

**3.1.3** 不同工程应单独进行焊接工艺评定并据此编制焊接工艺规程。当业主书面要求引用其他工程的焊接工艺评定时，应符合下列规定：

1 焊接工艺评定应符合本规范的规定。

2 引用焊接工艺评定所适用工程的硫化氢、二氧化碳、氯离子含量、压力和服役温度不应高于工程的相关参数。编制的焊接工艺规程应反映所用工程特点。

**3.1.4** 焊接工艺评定和焊工考试试件的无损检测，应由担任生

产焊接无损检测的承包商用同样的设备、同样的工艺完成，否则应获得业主或业主代表批准，但检测工艺应与生产焊接检测一致。

**3.1.5** 焊接理化性能试验应由具有中国计量认证/认可委员会（CMA）或中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的第三方实验室进行。

**3.1.6** 焊接方法应为焊条电弧焊（SMAW）、钨极氩弧焊（GTAW）、熔化极气体保护焊（GMAW）、埋弧焊（SAW）或其组合，并应符合下列规定：

- 1 根焊和过渡层焊接不应使用 SMAW。
- 2 不少于 6mm 厚的包括根焊、过渡层在内的复合管的环焊缝或角焊缝的焊接，应使用 GTAW、P-GMAW 或其组合进行低热输入焊接。对于高镍合金，宜使用 P-GTAW、P-GMAW 或其组合进行焊接。
- 3 所有接头形式的焊接不应使用单层焊，根焊不应熔入基层材料，且根焊应是纯 CRA 与 CRA 间的焊接。复合管可采用“V”型、“U”型或“X”型坡口。采用“U”型坡口时，在坡口加工时应去除 0.5mm ~ 1.5mm 的过渡层。
- 4 复合管对接接头形式宜符合图 3.1.6-1 的规定。

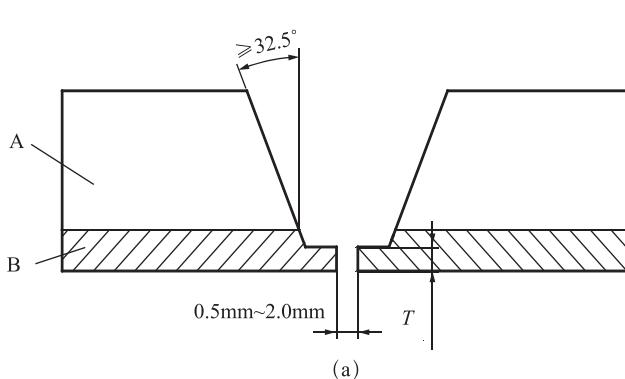
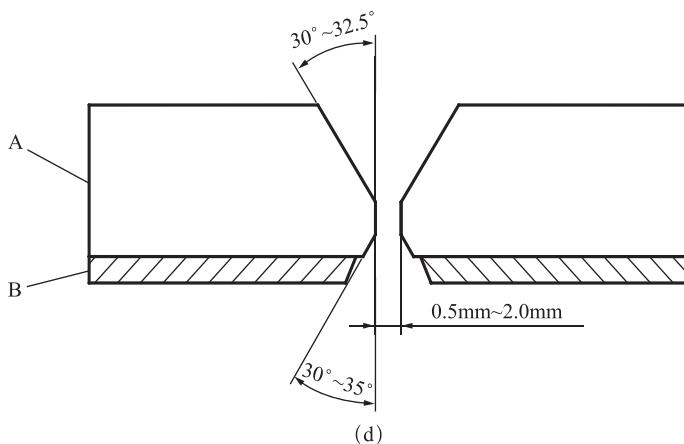
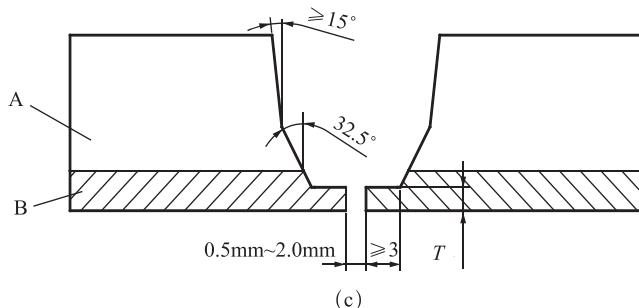
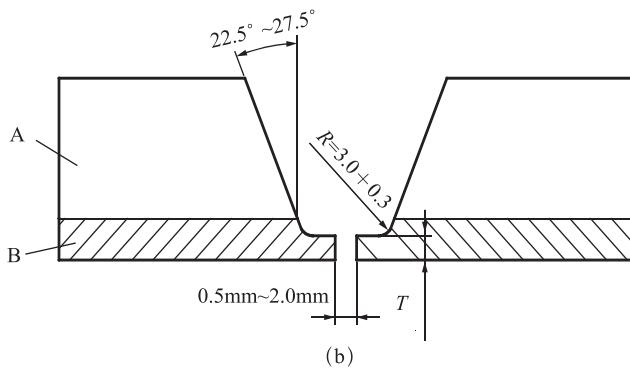


图 3.1.6-1 复合管对接接头形式



续图 3.1.6-1

A—基层材料；B—CRA 层；T—坡口加工后的 CRA 层厚度，不应小于 1.4mm

5 CRA 纯材管和复合管承插式接头宜符合图 3.1.6-2 的规定。

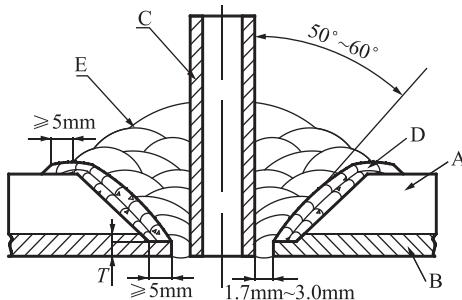


图 3.1.6-2 复合管与纯材支管承插式接头形式

A—基层材料；B—CRA 层；C—CRA 纯材支管；  
D—CRA 堆焊层，堆焊层不应少于 2 层，且堆焊最上一层焊缝厚度不应少于 1.5mm；  
E—CRA 填充层；T—坡口加工后的 CRA 层厚度，不应小于 1.4mm

6 CRA 纯材管与复合管骑座式接头宜符合图 3.1.6-3 的规定。

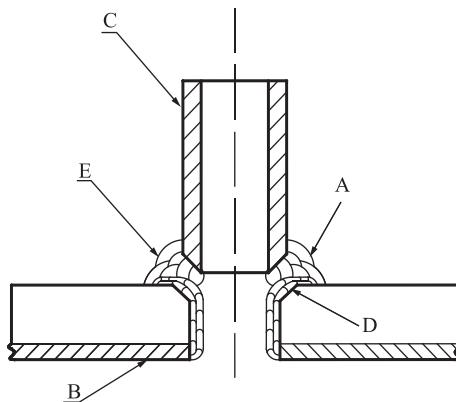


图 3.1.6-3 复合管与纯材支管骑座式接头形式

A—基层材料；B—CRA 层；C—CRA 纯材支管；  
D—CRA 堆焊层，堆焊层不应少于 2 层，且堆焊最上一层焊缝厚度  
不应少于 1.5mm；E—CRA 填充层

7 复合管支管与复合管主管骑座式接头宜符合图 3.1.6-4 的规定。

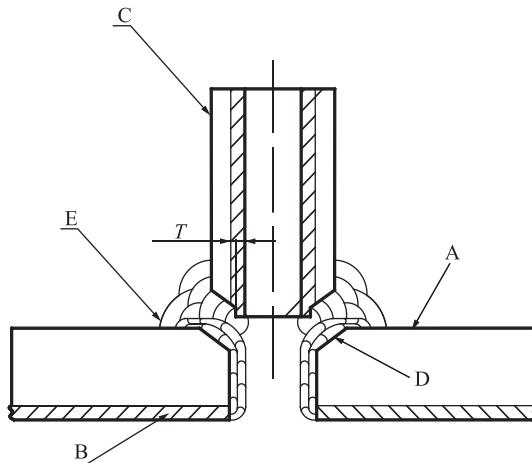


图 3.1.6-4 复合管与复合支管骑座式接头形式

A—基层材料；B—CRA 层；C—复合支管；

T—坡口加工后的复合支管 CRA 层厚度，不应小于 1.4mm；

D—CRA 堆焊层，堆焊层不应少于 2 层，且堆焊最上一层焊缝厚度不应少于 1.5mm；E—CRA 填充层

8 复合管的根焊厚度应为 CRA 层厚度的  $1/2 \sim 4/5$ ，且根焊时不应熔入碳钢或低合金钢成分。

9 复合管过渡层的焊接对根焊的熔深不应超过根焊厚度的  $1/2$ 。

10 任何焊道成形，焊道中间不应低于焊道两侧，对于高镍合金，焊道中间应高于焊道两侧。

### 3.1.7 焊前预热、道间温度控制和焊后热处理应符合下列规定：

1 基层材料为 L485 及以上钢级，施工环境温度低于  $5^{\circ}\text{C}$ ，应进行预热和道间温度控制。

2 预热和道间温度控制应使用中频或远红外辐射电阻加热

的设备进行，不应采用火焰加热。

3 壁厚小于 6mm 的 CRA 管焊接时不应进行预热，且应使用不含氯离子的无害溶剂对坡口及管口内外表面宽度不小于 50mm 的范围进行清洗。

4 当工艺需要时可进行焊后热处理。消除应力热处理的最高温度应比内衬里、内覆层或根焊 CRA 焊缝金属的最低敏化温度低 50℃。

**3.1.8** 复合管的焊接不应使用点焊方式进行管口组对。

**3.1.9** 使用外对口器时，应配合间隙桥块进行管口组对。完成组对的管口方可进行根焊，且应在焊缝厚度通过焊接工艺评定确定且不小于 6mm 后方可停止背衬气保护。

**3.1.10** 使用内对口器时，应在过渡层 100% 完成且焊缝金属厚度通过焊接工艺评定确定且不小于 6mm 时方可拆卸和移动对口器及停止背衬气保护。

**3.1.11** 根焊焊道最短长度不应少于 50mm。

**3.1.12** 起弧和收弧位置应错开且不应小于 20mm，且起弧和收弧位置应修磨去除弧坑裂纹，具备弧坑自动填充功能的自动焊接系统除外。起弧与收弧位置应与制管焊缝错开不少于 30mm。

**3.1.13** 返修焊应符合下列规定：

1 除弧坑裂纹外的所有裂纹焊口应切除包括热影响区在内的整个焊缝。弧坑裂纹应通过修磨去除。

2 当根焊与过渡层在内的 6mm 厚度范围内存在缺陷时，应切除包括热影响区在内的整个焊缝。

3 返修焊缝的总长度不应超过焊缝总长的 40%，且单个允许返修的焊缝长度不应超过焊缝总长的 30%。

## 3.2 设备、工具

**3.2.1** 氧含量测定仪等计量器具应经计量检定合格并在有效期内方可使用，其量程应满足焊接工艺评定要求。使用多组分焊接保

护气或背衬保护气时应配备覆盖全部组分的气体成分分析仪。

**3.2.2** 焊接工艺评定、焊工考试所用设备、工具应与生产焊接一致。

**3.2.3** 设备、工具和测量仪器使用环境应满足工程所在地极限气候。

**3.2.4** 钨极氩弧焊设备宜具有高频引弧和弧坑填充缓降功能。使用提升引弧功能的焊接设备时，应进行不少于 10 次的起弧性能评定，且应符合下列规定：

1 起弧前试件温度应为环境温度。

2 焊接长度不应小于 200mm。

3 每个起弧点应单独进行夹钨检测，出现任何一次夹钨缺陷则该型号设备不应用于焊接。

**3.2.5** 自动焊接设备应具备与焊接参数记录系统连接的功能，焊接参数记录系统应具有记录与热输入相关焊接参数的能力。

**3.2.6** 宜使用连续多层不停弧自动 P-GTAW 焊接系统进行焊接，自动 GTAW（包括 P-GTAW）焊接系统应具备电弧电压的自动控制（AVC）功能。

**3.2.7** 搬运、加工、组对、检测和测量所用工具与管材 CRA 层接触部分应为不锈钢材质，内对口器涨靴应使用不锈钢垫层或者包覆。不锈钢垫层硬度应小于 CRA 层的硬度，且不应在 CRA 层表面留下压痕。

**3.2.8** 根焊层与过渡层、填充层、盖面层打磨工具不应混用，根焊用角磨机应具有不同颜色或其他明显标识，区别于其他焊层所用角磨机。

**3.2.9** 背面空气置换用水溶性纸宜使用羧甲基纤维素钠盐或铵盐为主要材料制成，其最长溶解速度应小于 180s。水溶性纸宜符合表 3.2.9 的规定。

**3.2.10** 外对口器应符合下列规定：

1 外对口器应配合间隙塞尺、间隙桥块、背衬气保护装置、手动氧含量检测仪及外密封自黏铝箔使用。

表 3.2.9 水溶性纸性能指标

类型	质量 (g/m <sup>2</sup> )		适用范围			
薄型	30 ~ 40		适用于预制			
中型	55 ~ 90		适用于短管			
厚型	120 ~ 140		适用于管线连头口			
质量要求						
白度	不透明度	抗张强度 (N)	撕裂度 (mN)	平滑度 (s)	溶解速度 (s)	
76% ~ 80%	65% ~ 77%	纵向	19.6 ~ 49.1	纵向	98 ~ 687	正面 20 ~ 25
		横向	9.8 ~ 29.4	横向	128 ~ 785	反面 15 ~ 20

2 管口有错边时，应先使用外对口器完成对错边的校正，再用间隙桥块焊接固定完成矫正的管口。

3 工程现场不便使用防风措施时，应使用带防侧风气坝的外对口器。

### 3.2.11 内对口器应符合下列规定：

1 内对口器应具备背衬气内保护装置，宜具备氧含量自动检测仪、数码相机和激光扫描根焊内表面检测系统。

2 内对口器支撑靴的结构应保证焊缝充分的冷却能力。

### 3.2.12 间隙桥块应符合下列规定：

1 使用间隙桥块辅助外对口器对口时，间隙桥块应与基层材料材质相同。

2 间隙桥块应焊接在基层坡口面内，且不应接触和污染CRA层。

3.2.13 应使用自黏铝箔作为空气置换外密封材料。连头焊接时，应使用水溶性纸与水溶性胶带对焊口两侧进行封堵，并配合针孔型外注入器与外密封铝箔，对焊口内部空气进行置换。

3.2.14 不应使用有机材料作为焊口根部空气置换用外密封材料。

3.2.15 消磁机应具备将管子或管件剩磁降低到 15Gs 以下的能力。

### 3.3 材料

**3.3.1** 工程所用材料的材质、规格和型号应符合设计要求，其质量应符合国家现行有关标准的规定，且应具有出厂合格证、质量证明文件及材质证明书。

**3.3.2** 复合管使用前应按设计要求对出厂合格证、质量证明文件及材质证明书进行检查，检查合格并应经业主或业主代表签字认可后方可使用。当对管材的来源或质量存疑时，应按本规范的要求进行全元素光谱分析（PMI）定量复检，必要时应进行机械性能检验。

**3.3.3** 复合管或管件经管端加工后，两者的内径偏差应小于环焊缝两侧 CRA 层较薄者厚度的 10% 且小于 0.5mm。

**3.3.4** 现场和工厂预制坡口的复合管件，如放置时间超过 3h，应在坡口及坡口内外两侧各 50mm 范围内刷涂铝基免清理焊接保护剂。涂层应按照现行国家标准《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 的有关规定进行 96h 盐雾试验，并满足耐腐蚀评定的合格标准。

**3.3.5** 支管角焊缝碳钢或低合金钢表面应使用与复合管 CRA 层相匹配的焊接材料，堆焊不少于 2 层的 CRA 隔离层，且第二层 CRA 隔离层在完成角焊缝坡口加工后的剩余厚度不应少于 1.5mm，隔离层覆盖范围应超过焊趾不少于 5mm。

**3.3.6** 焊接工艺评定、焊工考试所用材料规格、型号、品牌应与生产焊接一致。

**3.3.7** 填充金属材料和焊剂的选用应符合下列规定：

1 不同炉批号的填充材料应单独进行熔敷金属化学成分和机械性能复检，复检项目应包括屈服强度、抗拉强度和延伸率检验。填充材料中 Cr、Ni、Mo、Cu 含量不应低于管子（管件）CRA 层或 CRA 纯材中含量，C、Si、S、P 含量不应高于 CRA 层中含量。

2 埋弧焊剂与焊丝应组合进行复检，焊剂不应循环使用。

3 生产焊接过程中填充材料需要增加批号时，该批号填充材料应根据本条第1款的要求进行复验。

4 当填充材料批号证书无效或被拒收时，应更换填充材料或按照本标准对填充材料进行检验。

5 双相不锈钢所用焊接材料应满足熔覆金属扩散氢含量不超过5mL/100g。

### 3.3.8 填充金属材料和焊剂的存储、运输应符合下列规定：

1 CRA焊接材料应与其他焊接材料分开存放，使用和管理应按照产品说明书要求进行。

2 不同等级、品牌和批号的焊材应单独存放。

3 焊条应使用防潮包装，包装打开后的焊条夹持端产品标识应清楚，使用应按照产品说明书进行。

4 焊丝盘或盒应存储在制造商提供的原厂箱或桶中，并保持可识别性。

5 填充金属材料和焊剂不能辨识、破损、变质或没有可追溯性时不应使用。

### 3.3.9 焊接保护气体应符合下列规定：

1 单质气体或混合气体混合前的纯度不应低于99.99%。

2 保护气体的露点不应低于-50℃。

3 不应将H<sub>2</sub>加入低镍合金及其复合管焊接保护气体中，根焊、过渡层及第一层填充焊焊接保护气中不应含CO<sub>2</sub>。

4 实心焊丝焊接保护气应选用纯Ar，或Ar与O<sub>2</sub>、He的混合气体，其中O<sub>2</sub>含量不应超过3%，药芯焊丝焊接保护气应按制造厂家的规定执行。任何情况下，不应使用纯He作为唯一保护气，当使用混合保护气体作为焊接保护气时，He气含量不应超过30%。当焊接保护气中含2%~5%的N<sub>2</sub>能增加耐蚀性时，应进行焊接工艺评定。

5 当焊接除双相不锈钢外的其他高镍合金纯材时，焊接保护气中可添加不超过5%的H<sub>2</sub>。

6 当焊接双相不锈钢纯材或双向不锈钢复合管时，背衬

保护气宜选用 99.99% 的 Ar 气中添加同样纯度的 2% ~ 5%N<sub>2</sub> 组成的混合气体。其他管材的焊接背衬保护气应为纯度不低于 99.99% 的 Ar, 过渡层与填充焊道可使用纯度不低于 99.99% 的 N<sub>2</sub> 作为背衬保护气。

7 焊接保护气及背衬保护气的选用应通过焊接工艺评定验证。

## 4 焊接工艺评定

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 对接环焊缝、角焊缝、堆焊隔离层、根部内返修、非穿透性缺陷返修、二次返修及复合管封焊焊缝等应分别进行焊接工艺评定。

**4.1.2** 焊接工艺评定开始前应获得业主或业主代表书面批准的下列文件：

- 1 焊接责任工程师签字批准的预焊接工艺规程 (pWPS)。
- 2 焊缝背衬气体保护工艺。
- 3 无损检测 (NDT) 工艺评定、工艺规程及验收规范。

**4.1.3** 复合管的焊接应符合下列规定：

- 1 复合管的焊接宜按 CRA 层、过渡层、基层的顺序进行。
- 2 不应采用碳钢和低合金钢焊接材料在 CRA 层母材、过渡层焊缝和 CRA 层焊缝上施焊。

**4.1.4** “X”型坡口使用内焊系统进行复合管环焊缝焊接时，碳钢或低合金钢侧焊缝应先使用与基层材料相匹配的焊接材料完成，内部根焊、过渡层和盖面层焊缝使用与 CRA 层相匹配的焊接材料完成。

**4.1.5** 焊缝流变强度应采用超强匹配，流变强度应为最高设计温度下焊缝金属的强度，并在焊接工艺评定期间由环焊缝抽样的全焊缝拉伸试验 (AWT) 确定。流变强度应按下式计算：

$$\text{流变强度} = (\sigma_s + \sigma_b) / 2 \quad (4.1.5)$$

式中  $\sigma_s$ ——基层金属的实际屈服强度 (MPa)；

$\sigma_b$ ——基层金属的实际抗拉强度 (MPa)。

**4.1.6** 焊接工艺评定焊接用短管长度不应小于管径的 1.5 倍且不

小于 250mm。

**4.1.7** 试件的焊接应模拟施工环境极限温度、最大湿度和最高风速下的生产条件。

**4.1.8** 试件的焊接位置、角度及试件的转动应符合现行国家标准《焊缝 工作位置 倾角和转角的定义》GB/T 16672 的有关规定。

**4.1.9** 单个焊道的最大摆动幅度不应超过焊芯直径的 2.5 倍，当盖面采用 3 道及以上排焊时，最后的焊道不应位于母材与焊缝的过渡区。

**4.1.10** 当试件焊缝两侧的基层材料来自不同制造商或同一制造商的不同供货状态时，应对试件两边分别进行机械性能试验。

**4.1.11** 焊接试件的制备应符合下列规定：

1 应按照 pWPS 进行焊接工艺评定试件的组对和焊接。

2 焊接工艺评定试件应能代表生产焊接时焊接接头的尺寸和供货状态。

3 支管对接环焊缝或角焊缝形状和尺寸应符合现行国家标准《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032 的有关规定。

4 支管与主管焊接接头，包括管件与支管对接环焊缝、主管与支管承插式或骑座式角焊缝的机械性能应使用化学成分相近、供货状态一致、壁厚相同的管与管或板与板进行。

**4.1.12** 焊接试件数量应符合下列规定：

1 应连续焊接不少于 3 道焊口，且全部焊口应外观检测和无损检测合格。

2 应随机抽取至少 1 道焊口进行理化性能检验与腐蚀试验。

**4.1.13** 自动焊接工艺评定应符合下列规定：

1 自动焊工艺评定未在生产条件下完成时，应进行生产条件下的焊接工艺认证。

2 每种焊接工艺应在生产条件下连续完成不少于 3 道焊口，且全部焊口应无损检测合格。

3 应任意抽取其中 1 道焊口进行机械性能试验。如试验

不合格，则应对其余 2 道焊口进行机械性能试验。如仍不合格，则应重新制定 pWPS 并重新进行焊接工艺评定。

#### 4.1.14 返修焊工艺评定应符合下列规定：

- 1 返修焊坡口中心线应从被返修焊缝熔合线开始。
- 2 返修焊工艺评定应明确返修焊缝坡口底部与 CRA 根焊内表面的距离，并与焊接工艺规程一致。
- 3 根部表面缺陷应使用带视频辅助功能的全自动内焊机或在人工目视可及且能够进行人工修磨和焊接操作的条件下进行内返修。

4.1.15 填充金属材料耐点蚀当量 (PREN) 不应低于母材 CRA 层的 PREN，常用复合管 CRA 焊接材料宜符合表 4.1.15 的规定。

表 4.1.15 常用复合管 CRA 焊接材料

耐蚀合金材料		推荐配套焊条		推荐配套焊丝	
标准	成分	标准	型号	标准	型号
GB/T 20878	06Cr19Ni10	GB/T 983	E308-16	GB/T 29713	S308
GB/T 20878	022Cr19Ni10	GB/T 983	E308L-16	GB/T 29713	S308L
GB/T 20878	06Cr17Ni12Mo2	GB/T 983	E316-16	GB/T 29713	S316
GB/T 20878	022Cr17Ni12Mo2	GB/T 983	E316L-16	GB/T 29713	S316L
GB/T 20878	022Cr22Ni5Mo3N	GB/T 983	E2209-16	GB/T 29713	S2209
GB/T 20878	022Cr23Ni5Mo3N	GB/T 983	E2209-16	GB/T 29713	S2209
GB/T 20878	022Cr25Ni7Mo4N	GB/T 983	E2594-16	GB/T 29713	S2594
GB/T 15007	1Cr15Ni75Fe8	GB/T 13814	ENi6182 ENi6625	GB/T 15620	SNi6082 SNi6625
GB/T 15007	0Cr20Ni65Mo10Nb4	GB/T 13814	ENi6625	GB/T 15620	SNi6625
GB/T 15007	0Cr20Ni32AlTi	GB/T 13814	ENi6133 ENi6182	GB/T 15620	SNi6082
GB/T 15007	1Cr20Ni32AlTi	GB/T 13814	ENi6182 ENi6117	GB/T 15620	SNi6617 SNi6082
GB/T 15007	0CrNi42Mo3Cu2Ti	GB/T 13814	ENi6182 ENi6625	GB/T 15620	SNi6082 SNi6625
GB/T 15007	00Cr15Ni60Mo16W5Fe5	GB/T 13814	ENi6276	GB/T 15620	SNi6276

#### 4.1.16 预热温度及道间温度控制应符合下列规定：

- 1 预热范围不应小于坡口两侧各 75mm。
- 2 焊接过程中管口温度应高于结露温度。
- 3 道间温度测量应在每个焊道的起弧点和熄弧点进行。
- 4 道间温度宜符合表 4.1.16 的规定。

表 4.1.16 道间最高允许温度

去除余高后的有效厚度	低镍合金复合管 (℃)	高镍合金复合管 (℃)
$t > 16\text{mm}$	150	100
$12\text{mm} < t \leq 16\text{mm}$	100	80
$8\text{mm} < t \leq 12\text{mm}$	80	40
$6\text{mm} \leq t \leq 8\text{mm}$	40	30
$t < 6\text{mm}$	30	30

#### 4.1.17 加速冷却应符合下列规定：

- 1 除焊接双相不锈钢外，其他焊缝在焊接过程中和焊接完成后可进行加速冷却。
- 2 加速冷却前焊缝温度应低于金属相变点。
- 3 加速冷却前最高允许温度、冷却介质、用于加速冷却的材料和工具、冷却温度梯度应包含在焊接工艺评定中，并应在焊接工艺规程中详细规定。
- 4 采用加速冷却的焊接工艺评定焊缝应在同样焊接环境条件下与自然冷却焊接工艺试验焊缝对比试验，且满足下列要求：
  - (1) 不应导致任何焊接缺陷产生。
  - (2) 不应导致焊缝及热影响区晶粒度和铁素体含量发生变化。
  - (3) 不应增加有害相和金属间化合物析出。
  - (4) 不应存在焊缝及热影响区失延性裂纹 (DDC)。
  - (5) 不应导致焊缝和热影响区硬度升高。

#### 4.1.18 保护气体的使用应符合下列规定：

1 焊接工艺评定应规定双联管、管线、预制的背衬气保护工艺，并分别予以说明。

2 焊接工艺评定应规定背衬保护气的保护时间、流量及最大残氧量，焊接工艺规程应与焊接工艺评定一致。

3 焊接开始前应保证足够时间用于根焊背衬气保护。采用置换法时，置换完的根焊背面气体中  $O_2$  含量不应高于  $500 \times 10^{-6}$ 。采用直吹法时，焊接前包括热影响区在内的根焊背面区域  $O_2$  含量不应高于  $500 \times 10^{-6}$ 。

4 根焊内表面：包括焊缝和热影响区颜色应为银白色或干草黄。

5 当根焊内表面发蓝、发黑，可采用表面抛光、喷玻璃球或酸洗进行脱氧化色，否则应切除包括热影响区在内的整个焊缝。采用机械法脱氧化色处理后的 CRA 层有效厚度应满足内衬里或内覆层的最小厚度要求。

6 盖面焊可不进行脱氧化色处理。

**4.1.19** 焊接完成后应对根焊进行 PMI 定量检测，应检测 Fe、Ni、Cr、Mo、Cu 等主要耐蚀合金元素。根焊中 Fe 元素含量测量值不应高于下式的计算值，并应低于管材 CRA 层的含量，Ni、Cr、Mo、Cu 测量值不应低于 CRA 层的含量。

$$Few (C_w) = \gamma Few (C_{CRA}) + (1-\gamma) Few (C_d) \quad (4.1.19)$$

式中  $Few (C_w)$  ——根焊中 Fe 含量计算值；

$Few (C_{CRA})$  ——母材 CRA 中 Fe 含量；

$Few (C_d)$  ——熔敷金属中 Fe 含量；

$\gamma$  ——熔合比。

#### 4.1.20 焊接热输入宜符合下列规定：

1 奥氏体不锈钢、双相不锈钢焊接热输入宜为  $5\text{kJ}/\text{cm} \sim 20\text{kJ}/\text{cm}$ 。

2 超级双相不锈钢焊接热输入宜为  $5\text{kJ}/\text{cm} \sim 15\text{kJ}/\text{cm}$ 。

3 高镍合金焊接热输入不宜超过  $15\text{kJ/cm}$ 。

4 根焊、填充焊和盖面焊的热输入宜符合表 4.1.20 的规定。当采用冷焊时，过渡层的热输入量为根焊的  $75\% \sim 110\%$ ；当采用热焊时，过渡层的热输入为根焊的  $75\% \sim 100\%$ 。

表 4.1.20 复合管及耐蚀合金纯材焊道热输入范围

壁厚	焊道类型	热输入范围
$t \leq 20\text{mm}$	根焊	100%
	采用冷焊的过渡层	$75\% \sim 110\%$
	采用热焊的过渡层	$75\% \sim 100\%$
	填充	$75\% \sim 110\%$
	盖面	$75\% \sim 110\%$
$t > 20\text{mm}$	根焊	100%
	采用冷焊的过渡层	$75\% \sim 110\%$
	采用热焊的过渡层	$75\% \sim 100\%$
	填充	$75\% \sim 110\%$
	盖面	$80\% \sim 150\%$

5 焊接工艺评定应计算焊接热输入。

6 焊接工艺评定试件每条焊道的焊接热输入量变化幅度应在 5% 以内。

#### 4.1.21 焊接工艺评定应记录以下内容：

1 焊接工艺评定试件的无损检测与机械性能试验的所有结果。

2 焊接参数，包括焊接电压、焊接电流、焊接速度、保护气体流量和组分、热输入等参数。采用脉冲焊时，应记录全部焊接电参数。

3 无损检测报告原件。

4 机械性能及金相试验报告原件。

5 焊接材料和管材质量证明文件。

## 4.2 检验、试验与评定

### 4.2.1 焊接接头检验与试验应符合下列规定：

- 1 焊接接头检验与试验的项目应符合表 4.2.1 的规定。
- 2 焊接工艺评定焊口为复合管的环焊缝时，应在完成根焊与过渡层后进行 RT 中间检测，合格标准为Ⅱ级合格，如检测不合格则应切除包括热影响区在内的根焊和过渡层，重新加工坡口并对坡口进行 PT 检测合格后重新焊接。焊缝全部完成后应进行 AUT（集输管道）或 PAUT（工艺管道）检测。
- 3 复合管环焊缝的全焊缝拉伸试验应只适用于管径大于 DN250，且无须压扁即可直接抽取试样的试件。
- 4 焊接工程师认为有必要且经业主同意可进行管线焊缝工程临界性评价（ECA），并进行包括 CTOD 在内的相关试验。
- 5 CTOD 取样的缺口位置应符合现行国家标准《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032 的有关规定。

表 4.2.1 焊接接头的检验范围和类型

检验类型	检验范围			
	复合管与复合管或管件对接环焊缝	复合管与 CRA 纯材管或管件对接环焊缝		复合管与复合管、复合管与 CRA 纯材支管角焊缝
		外径≤ DN250	外径> DN250	
VT	100% 内表面激光扫描与数码相机成像，外表面只进行直接目视检测	100% 内表面激光扫描与数码相机成像，外表面只进行直接目视检测	100% 内表面激光扫描与数码相机成像，外表面只进行直接目视检测	100% 内外表面直接目视检测或间接目视检测

续表 4.2.1

检验类型	检验范围			
	复合管与复合管或管件对接环焊缝	复合管与 CRA 纯材管或管件对接环焊缝		复合管与复合管、复合管与 CRA 纯材支管角焊缝
		外径 ≤ DN250	外径 > DN250	
RT+PAUT 或 AUT	中间检测 100%RT 或 AUT, 全焊缝检测 AUT 或 PAUT+RT	中间检测 100%RT 或 AUT, 全焊缝检测 AUT 或 PAUT+RT	中间检测 100%RT 或 AUT, 全焊缝检测 AUT 或 PAUT+RT	100%PAUT
PT	N/A	N/A	N/A	100% 外表面
横向拉伸试验 (个)	2	2	2	N/A
全焊缝拉伸试验 (个)	2	N/A	2	N/A
弯曲试验 (个)	4	4	4	N/A
刻槽锤断试验 (个)	N/A	N/A	N/A	2 或 4
冲击试验 (个)	$t \leq 20\text{mm}$	2 × 4	1 × 4	2 × 4
	$t > 20\text{mm}$	3 × 4		3 × 4
宏观金相检验 (个)	3	2	3	2
微观金相检验 (个)	1	1	1	1
硬度试验 (个)	3	2	3	2
根焊金属的化学成分分析 (个)	3	1	3	N/A
晶间腐蚀试验 (个)	2	1	2	N/A
点蚀试验 (个)	2	1	2	N/A

续表 4.2.1

检验类型	检验范围			
	复合管与复合管或管件对接环焊缝	复合管与 CRA 纯材管或管件对接环焊缝		复合管与复合管、复合管与 CRA 纯材支管角焊缝
		外径≤ DN250	外径> DN250	
应力腐蚀试验(个)	1	1	1	N/A
CTOD 试验(个)	3	N/A	N/A	N/A

注：支管管径不小于 DN50 的焊接接头，应取 4 个刻槽锤断试验试样；支管管径直接小于 DN50 的焊接接头，应取 2 个刻槽锤断试验试样。

#### 4.2.2 返修焊工艺评定检验类型和范围应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 返修焊工艺评定检验范围和类型

检验类型	检验范围	
	主管返修焊	支管返修焊
VT	100%	100%
RT+PAUT 或 AUT	100%	100%
横向拉伸试验(个)	2	2
弯曲试验(个)	4	4
冲击试验(个)	1×4	1×4
宏观金相检验(个)	1	1
微观金相检验(个)	1	1
硬度试验(个)	1	1
晶间腐蚀检测(个)	1	1
点腐蚀检测(个)	1	1
应力腐蚀试验(个)	1	1
CTOD 试验(个)	3	—

注：当复合管的基层材料供货状态不一样时，返修工艺评定试验应分别在焊缝两侧不同材料上进行。

#### 4.2.3 试件取样应符合下列规定：

1 环焊缝试样（图 4.2.3-1）应从无损检测合格的试件上取样，取样位置可以旋转不大于  $15^{\circ}$ 。

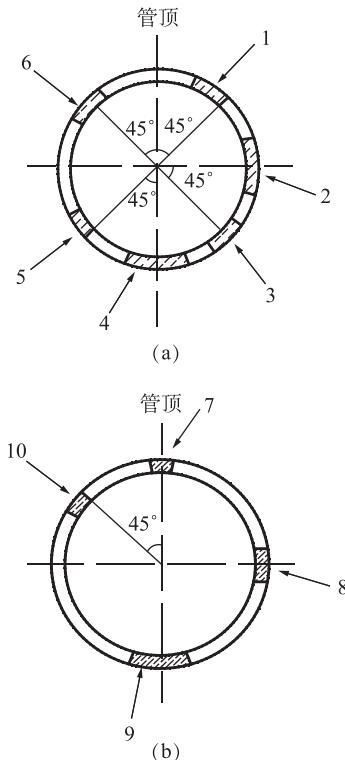


图 4.2.3-1 试样取样位置

- 1—全焊缝金属拉伸试样位置，1 个横向拉伸试样、2 个弯曲试样取样位置；
- 2—冲击试样取样位置，CTOD 取样位置；3—1 个横向拉伸试样、2 个弯曲试样取样位置；4—冲击试样取样位置；5—当区域 3 不够取样时，可从区域 5 取样；
- 6—当区域 1 不够取样时，可从区域 6 取样；7—1 个宏观金相 + 微观金相取样位置，1 个横向硬度、焊缝金属化学成分分析、晶间腐蚀和点蚀取样位置；
- 8—1 个宏观金相，1 个横向硬度、焊缝金属化学成分分析取样位置；
- 9—1 个宏观金相、横向硬度、焊缝金属化学成分分析、晶间腐蚀和点蚀取样位置；
- 10—1 个宏观金相、焊缝化学成分分析取样位置

2 角焊缝试样取样应符合现行国家标准《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032 的有关规定。

3 返修焊工艺评定取样位置（图 4.2.3-2）应在环焊缝的下部。

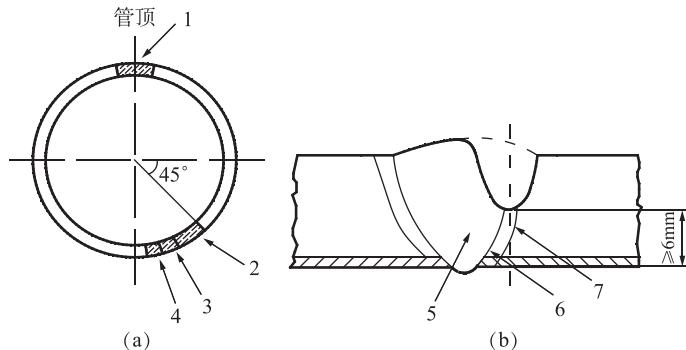


图 4.2.3-2 返修试样取样位置

1—顶部位置；2—夏比冲击、弯曲和裂纹尖端扩展位移试验取样位置；

3—拉伸试样取样位置；4—宏观金相、硬度、微观金相试样取样位置；

5—原始焊缝；6—原始焊缝熔合线；7—原始焊缝热影响区

#### 4.2.4 拉伸试验应符合下列规定：

1 拉伸试验应测量拉伸试验时的最大载荷，并计算抗拉强度。

2 横向拉伸试验试样加工应符合图 4.2.4 的规定。

3 横向拉伸试验试样应加工去除表面 CRA 层及焊缝外表面余高，试样加工可采用线切割或机械冷加工，试样边缘应光滑、平齐。

4 横向拉伸试验合格标准应符合下列规定：

(1) 横向抗拉强度不应低于基层材料的抗拉强度，且拉伸试样断裂位置应在焊缝或熔合线以外。

(2) 如有任一横向拉伸试样断裂位置在焊缝或熔合线以外，但抗拉强度低于管材规定的最小值，应另取 2 个横向拉伸试样进行附加试验，如仍有任一断裂位

置在焊缝或熔合线以外，抗拉强度低于规定值，则应对管材质量进行进一步物理性能检验，并确认其是否合格。

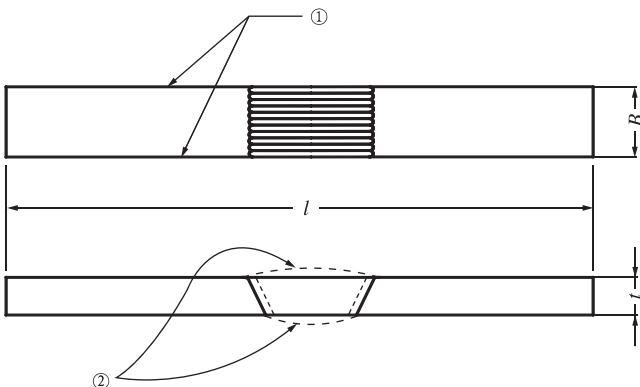


图 4.2.4 拉伸试验试样

$l$ —试样长度； $B$ —试样宽度； $t$ —试样厚度；

①—试样应采用机械或等离子切割，两侧应光滑平行；

②—在试件的两侧应去除焊缝加厚高

5 全焊缝拉伸试验应符合下列规定：

- (1) 试样加工和试验应符合现行国家标准《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652 的有关规定。
- (2) 管径大于 DN250 的管子应抽取 2 个全焊缝拉伸试样进行试验。
- (3) 应从有效焊缝金属中抽取尽可能大的圆形试样，且试样不包括 CRA 层。
- (4) 试验应计算和测量抗拉强度、屈服强度 ( $\sigma_{0.5}$ )、流变强度、延伸率及应力应变曲线。
- (5) 当设计最高温度不低于 100℃，应在设计最高温度下对 2 个全焊缝拉伸试样进行试验。

6 全焊缝拉伸试验合格标准应符合下列规定：

- (1) 试样的屈服强度不应低于复合管的基层材料规定的最小屈服强度，抗拉强度应高于复合管的基层材料规定最小抗拉强度，流变强度应大于基层材料的实际屈服强度与实际抗拉强度之和的一半。
- (2) 当任一试样不符合本规范的规定时，则应加倍取样进行附加试验，如附加试验有任一试样不合格，则应重新进行评定。

#### 4.2.5 弯曲试验应符合下列规定：

- 1 弯曲试样应符合图 4.2.5-1 和图 4.2.5-2 的规定。

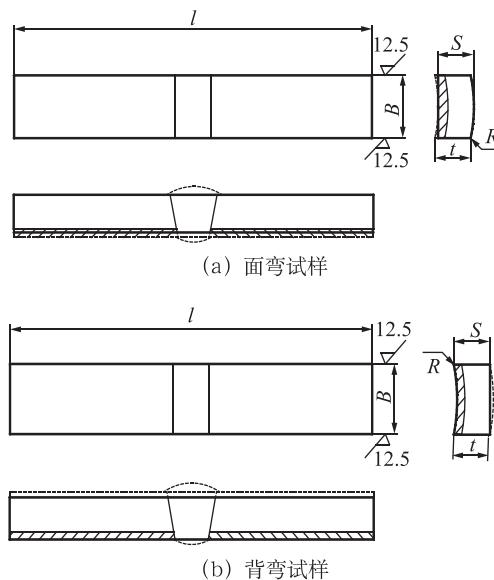


图 4.2.5-1 面弯和背弯试样

$l$ —试样长度，应为 250mm 或按实际确定； $R$ —拉伸面棱角，不应大于 3mm；  
 $B$ —试样宽度，管外径大于 100mm 时，试样宽度  $B=38$ mm，管外径为 50mm ~ 100mm 时， $B=t+(管径/20)$  mm，且不应小于 10mm 及不大于 38mm；  
 $S$ —修磨后的试件厚度，当壁厚  $t$  不小于 10mm 时， $S$  应为 10mm，壁厚  $t$  小于 10mm 时， $S$  应尽量接近  $t$

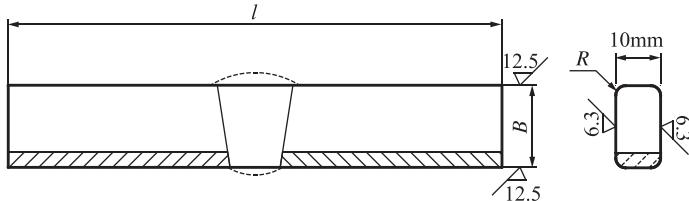


图 4.2.5-2 横向侧弯试样

$l$ —试样长度, 长度应为 250mm 或按实际确定;  $B$ —试样厚度;

$R$ —拉伸面棱角, 不应大于 3mm

2 当壁厚  $t$  小于 12.5mm 时, 应进行背弯和面弯试验, 面弯与背弯数量应一致。

3 当壁厚  $t$  不小于 20mm 时, 应只进行侧弯试验。

4 当壁厚  $t$  不小于 12.5mm 且小于 20mm 时, 应进行面弯、背弯或侧弯试验, 背弯试样、面弯试样或侧弯试样数量一致。

5 弯曲直径应为  $4S$ , 支座间距应为  $6S+3$ , 弯曲角度应为  $180^\circ$ 。

6 合格标准应符合下列规定:

(1) 弯曲后焊缝或熔合区任何方向应无裂纹, 其他缺陷长度不应超过基层厚度的  $1/2$ , 且不大于 3mm。

(2) 内衬里复合管弯曲试验时, 应忽略起源于封焊焊缝与 CRA 层或碳钢 (包括低合金钢) 基层界面的裂纹或缺欠。

#### 4.2.6 角焊缝刻槽锤断试验应符合下列规定:

1 刻槽锤断取样和试验应符合现行国家标准《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032 的有关规定。

2 刻槽锤断试样的位置应符合图 4.2.6 的规定。

3 试样应从管材圆周上对称方向截取。

4 合格标准应符合下列规定:

(1) 试样断面不应有裂纹、未熔合或未焊透。

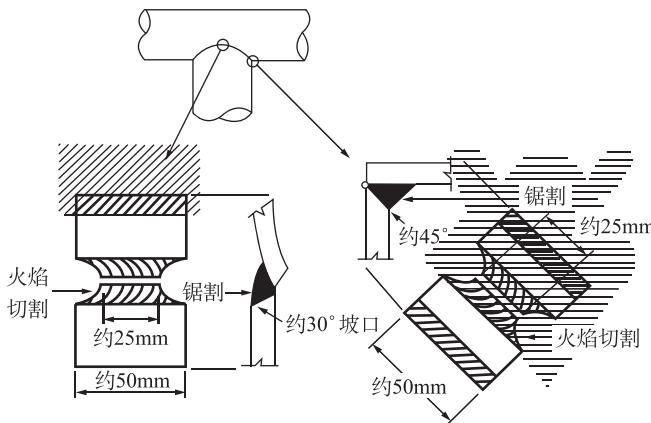


图 4.2.6 刻槽锤断试样的位置

- (2) 最大单个气孔不得大于 20% 壁厚且小于 3mm, 气孔面积应小于断面总面积的 5%。
- (3) 单个夹杂物深度不应超过 1mm, 长度不得超过壁厚的 50% 且小于 3mm, 两个夹杂物之间间距应不小于 12mm。

#### 4.2.7 冲击试验应符合下列规定 :

- 1 试样取样位置应符合图 4.2.7 的规定。
- 2 试样加工应符合现行国家标准《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229 的有关规定。
- 3 试验宜采用尺寸为  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$  的全尺寸试样 ; 如不能满足取样要求, 则应按照  $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$  或  $10\text{mm} \times 5\text{mm}$  取样 ; 如果试样厚度低于 5mm, 则不需进行冲击试验。
- 4 夏比 V 形冲击试验应在环焊缝 CRA 层和碳钢材料界面进行, 试件应取自 CRA 层的表面上向 2mm 处。
- 5 复合管的壁厚不大于 20mm 时, 应取 1 组 4 个冲击试验试样 [图 4.2.7 (b)]。缺口位置分别为根焊中心线、根焊熔合线、根焊熔合线 +2mm、根焊熔合线 +5mm。

6 复合管的壁厚大于 20mm 时, 应在环焊缝相同位置增加取 1 组 4 个试样 [图 4.2.7 (c)]。缺口位置分别为盖面焊缝中心线、盖面焊缝熔合线、熔合线 +2mm、熔合线 +5mm。

7 试验温度不应高于最低设计环境温度, 当壁厚超过 25mm 时, 试验温度应比设计最低温度低 10℃。

8 当使用非全尺寸试样进行冲击试验时, 冲击功应按下式计算:

$$E=80/A_n \cdot E_n \quad (4.2.7)$$

式中  $E$ —本规范规定的夏比 V 型冲击功 (J);

$E_n$ —非全尺寸冲击功 (J);

$A_n$ —缺口横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

9 冲击试样最低冲击功应符合表 4.2.7 的规定。

表 4.2.7 冲击试样最低冲击功要求

基层材料等级	最低屈服强度 (MPa)	最低平均值 (J)		单个最低值 (J)	
管径		< 610mm	≥ 610mm	< 610mm	≥ 610mm
L245	245	40	40	30	30
L290	290	40	43	30	32
L320	320	40	55	30	41
L360	360	50	61	38	46
L415	415	64	77	48	58
L450	450	73	89	55	67
L485	485	82	100	62	75

10 当试验对象为异种钢的基层材料焊缝, 夏比冲击试样应取自两侧不同基层材料, 试验结果应符合本条的规定。

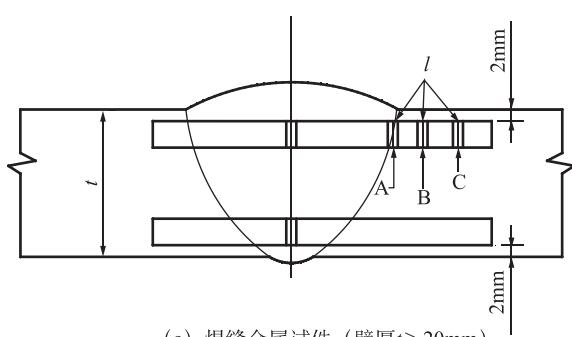
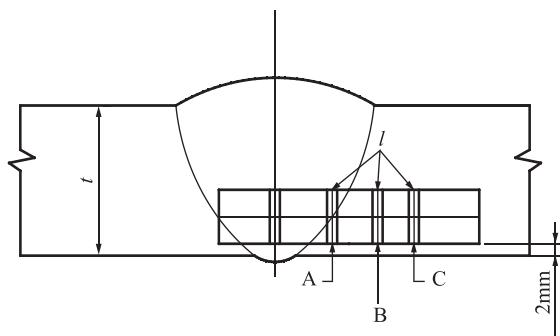
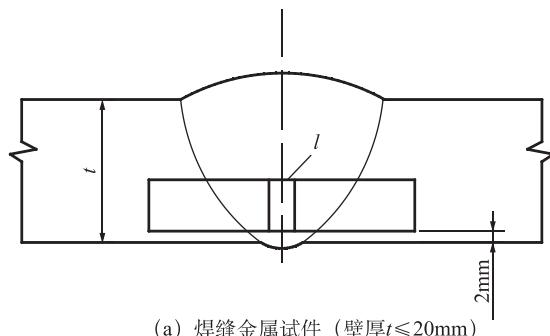


图 4.2.7 冲击试样取样位置图

$l$ —刻槽 ; A—焊缝熔合线 ; B—焊缝熔合线 +2mm ; C—焊缝熔合线 +5mm

#### 4.2.8 返修焊冲击试验应符合下列规定：

1 冲击试验应符合本规范第 4.2.7 条的规定,应按照图 4.2.8 的规定进行取样。

2 夏比冲击试样应分别取自如下位置：

- (1) 熔合线, 原始焊缝侧。
- (2) 返修焊缝中心线。
- (3) 熔合线, 基层金属侧。
- (4) 熔合线 +2mm, 基层金属侧。

3 冲击试样刻槽位置应符合图 4.2.8 的规定。

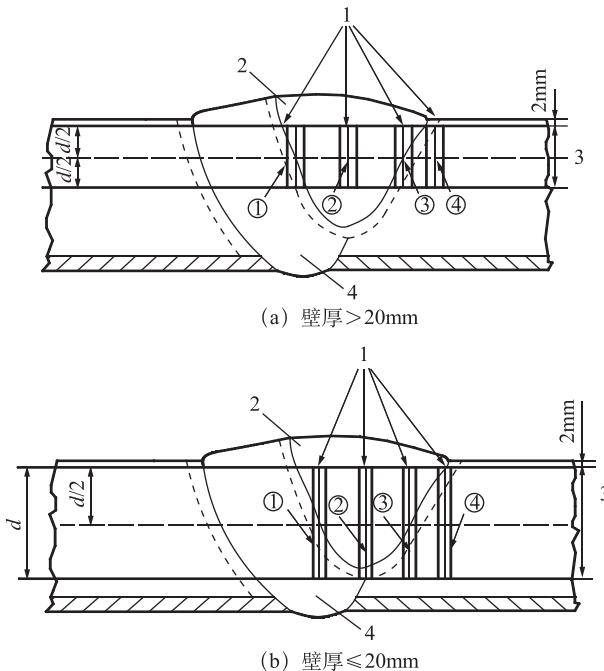


图 4.2.8 返修焊缝冲击试样刻槽位置

1—夏比 V 型冲击试样位置；2—返修焊缝；3—冲击试样厚度；4—原始焊缝；

- ①—熔合线, 原始焊缝侧；②—返修焊缝中心线；
- ③—熔合线, 基层金属侧；④—熔合线 +2mm, 基层金属侧

#### 4.2.9 宏观和微观金相、铁素体检测试验应符合下列规定：

1 宏观和微观金相检验应符合现行国家标准《金属材料焊缝破坏性试验 焊缝宏观和微观检验》GB/T 26955 的有关规定。

2 双相不锈钢铁素体含量检测应符合现行国家标准《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》GB/T 1954 的有关规定。

3 试样取样应符合本规范图 4.2.3-1 和图 4.2.3-2 的规定。

4 宏观和微观金相照片应包含在焊接工艺评定报告中，照片应显示包括硬度检验位置的整个试样。

5 用于宏观金相和硬度检验部分的焊缝可用于铁素体测量。

6 应使用 600 目金相砂纸对宏观金相试样不少于一面进行抛光，并用适当的腐蚀剂进行蚀刻以显示 CRA 焊缝结构。因腐蚀剂过强导致基层侧过度蚀刻而影响热影响区 (HAZ) 的评定和硬度测量，则应重新进行试样加工并进行试验。

7 金相检验的试样表面应无裂纹、未熔合等缺陷。应对体积型缺陷进行评估且不应超过本规范的规定。如有任一孤立缺陷超过本规范的规定，则应在同一区域加倍取样进行检验。两个试样不应有任何缺陷，否则应重新进行评定。

8 微观金相试样应先用不小于 5 倍的放大镜检验，试样焊缝轮廓应完整，无超过本规范规定的缺陷，且符合拍摄金相照片的要求。

9 应进行微观金相 (400 $\times$ ) 检验并用文件记录试件根焊和填充区域，应包括焊缝金属熔合线和热影响区的详细微观组织。

10 应仅在采用双相不锈钢焊接材料时使用铁素体检测，与基层或 CRA 层的化学成分无关。

11 合格标准应符合下列规定：

- (1) 焊缝应无有害相、沉淀相、晶界碳化物、氮化物，放大 400 倍视场下发现的金属间化合物应低于 0.5%。
- (2) 双相不锈钢焊缝金属铁素体含量应为 30% ~ 70%。
- (3) 焊缝中应无裂纹 (包括 DDC)。

(4) 除“X”型坡口双面焊缝外，所有填充、盖面焊缝应无马氏体和贝氏体。

#### 4.2.10 硬度检验应符合下列规定：

1 硬度检验应符合现行国家标准《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 的有关规定，采用 49.03N 载荷维氏硬度检测法进行检测。

2 应对每个宏观金相试样进行硬度检验。

3 硬度检验范围应包括焊缝金属、热影响区和母材。

4 对接焊缝的硬度检验位置应符合图 4.2.10 (a) 的规定。

5 角焊缝的硬度检验位置应符合图 4.2.10 (b) 的规定。

6 返修焊缝的硬度检验位置应符合图 4.2.10 (c) 的规定。

7 复合管 CRA 焊缝金属的硬度应符合现行国家标准《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料》GB/T 20972 的有关规定。

#### 4.2.11 焊缝化学成分分析应符合下列规定：

1 根焊的中心应采用全元素光谱或化学方法进行全定量分析。

2 化学成分分析的检验或取样位置应位于根焊中心线朝腐蚀介质一侧，相当于 CRA 层厚度 1/2 处。

3 当使用同种 CRA 焊接材料焊接时，检验的化学成分应在相应的 CRA 层牌号规定的范围内，当使用异种 CRA 焊接材料焊接时，检验的化学成分应在相应的焊接材料牌号规定的范围内。

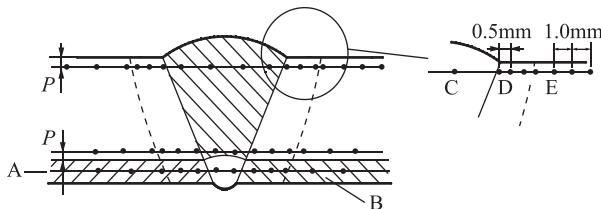
4 取样位置 PREN 不应低于 CRA 层。当化学成分分析结果中焊缝 Ni、Cr、Mo、Cu 低于 CRA 层中含量时应重新进行评定。

5 当管或管件有制造焊缝，应将制造焊缝与环焊缝交叉点作为根焊化学成分分析试样之一。

#### 4.2.12 腐蚀检验应符合下列规定：

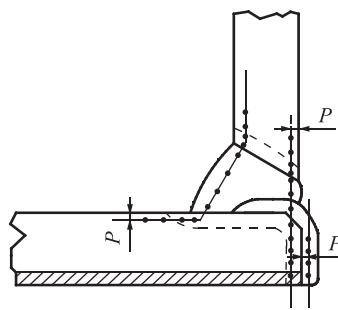
1 焊接工艺评定应对接触腐蚀介质一侧进行腐蚀评定。

2 奥氏体不锈钢焊缝应进行晶间腐蚀试验、点蚀和应力腐蚀试验。



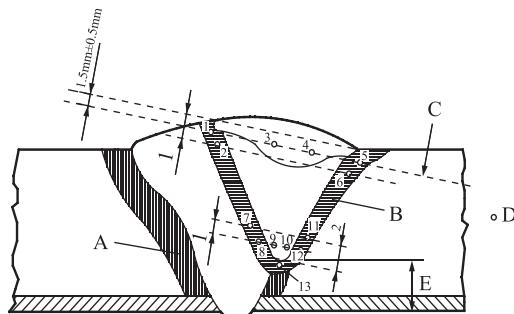
(a) 对接焊缝的硬度检验位置

A—CRA 层中线；B—CRA 层；C—焊缝；D—HAZ；  
E—未受影响基层材料；P—取样点与试件表面间距，P 应为  $1.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$



(b) 角焊缝的硬度检验位置

P—取样点与试件表面间距，P 应为  $1.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$



(c) 反修焊缝的硬度检验位置

A—原始焊缝热影响区；B—返修焊缝在母材和原始焊缝金属上的热影响区；  
C—测量平行线；D—硬度凹痕：热影响区的测量痕迹应尽可能靠近熔合线；  
E—返修坡口与复合管内表面

图 4.2.10 硬度试验位置示意图

3 双相不锈钢和超级双相不锈钢应进行有害沉淀相检验、点蚀和应力腐蚀试验。

4 腐蚀试验方法和验收标准应满足设计要求。

**4.2.13 裂纹尖端扩展位移试验 (CTOD) 应符合下列规定 :**

1 CTOD 试验应在焊缝中心、熔合线、热影响区进行。

2 试样制备和试验应符合现行国家标准《金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法》GB/T 21143 的有关规定。

3 合格标准应符合设计要求。

### 4.3 基 本 要 素

**4.3.1 基本要素超过变化范围时应重新进行评定。**

**4.3.2 材料的基本要素应包括以下内容 :**

1 碳钢或低合金基材基本要素应包括以下内容 :

(1) 钢级和制造标准。

(2) 材料的制造方式。

(3) 低合金钢基层碳当量超过工艺评定的 0.030, 碳钢基层碳当量超过工艺评定的 0.020。

(4) 当复合管及管件碳含量大于 0.12% 时, 碳当量 (CE) 应按公式 (4.3.2-1) 计算; 当碳含量不超过 0.12% 时, 碳当量 (CE<sub>pcm</sub>) 应按公式 (4.3.2-2) 计算。

$$CE=C+Mn/6+ (Cr+Mo+V) /5+ (Cu+Ni) /15 \quad (4.3.2-1)$$

$$CE_{pcm}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/15+Mo/15+V/10+5B \quad (4.3.2-2)$$

(5) 热处理状态。

(6) 基层材料制造商。

2 CRA 纯材、内覆层或内衬里材料基本要素应包括以下内容 :

(1) CRA 类别。

- (2) CRA 复合方式。
- (3) CRA 耐点蚀当量。
- (4) 热处理状态。

**4.3.3** 壁厚应作为基本要素, 管子和支管的许用壁厚范围应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 焊接工艺厚度适用范围

壁厚 $t$ (mm)	适用范围
$t \leq 25$	$t \sim 1.25t$
$t > 25$	$0.75t \sim 1.25t$

注: 1  $t$  为包括耐蚀合金层在内的名义壁厚。

2 支管焊接工艺评定适用壁厚范围为  $0.5t \sim 2t$ ,  $t$  为焊缝角焊缝两侧母材中较薄侧的壁厚。

**4.3.4** 管径的基本要素应包括以下内容:

- 1 自动焊, 包括手工焊、半自动焊与自动焊的组合, 应对每种不同的管径单独进行评定。
- 2 手工焊、半自动焊的管径适应范围应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 评定合格的焊接工艺管径适用范围

管径	覆盖范围
$DN \leq 150$	$0.5d \sim 2d$
$DN > 150$	$0.5d \sim 1.5d$

注:  $d$  为管内径。

**4.3.5** 焊接方法的基本要素应包括以下内容:

- 1 使用多种焊接方法的组合时, 焊接方法的使用顺序。
- 2 多层多道焊时, 每种焊接方法的最少焊接层数和焊道顺序。
- 3 熔化极气体保护焊干伸长变化超过工艺评定  $5\text{mm}$ 。
- 4 钨极氩弧焊是否要求具有高频起弧功能和弧坑填充功能。

#### 4.3.6 焊接位置和焊接方向的基本要素应包括以下内容：

- 1 由旋转焊变为固定焊，或反之；固定焊焊接位置 2G、5G 或 6G 间的相互变化。
- 2 超过工艺评定焊接位置管口轴线角度  $25^\circ$  的变化。
- 3 焊接方向的变化，包括同一焊缝中不同焊道组合焊接方向的变化。
- 4 支管及角焊缝焊接位置的变量应符合表 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 支管及角焊缝焊接位置

焊接工艺 评定位置	适用焊接工艺位置					
	平焊	下向焊	上向焊	横焊	$45^\circ$ 上向焊	$45^\circ$ 下向焊
平焊	✓	✗	✗	✗	✗	✗
下向焊	✓	✓	✗	✗	✗	✗
上向焊	✓	✗	✓	✗	✗	✗
横焊	✓	✗	✗	✓	✗	✗
$45^\circ$ 上向焊	✓	✗	✗	✗	✓	✗
$45^\circ$ 下向焊	✓	✗	✗	✗	✗	✓

注：1 “✓” — 适用。

2 “✗” — 不适用。

#### 4.3.7 焊接接头设计的基本要素应包括以下内容：

- 1 坡口形式。
- 2 内错边量超过焊接工艺评定的 10%。
- 3 坡口加工与组对偏差超过工艺评定的 10%。
- 4 非穿透性返修焊坡口底部与根焊内表面距离小于焊接工艺评定规定的合格值。

#### 4.3.8 焊接材料的基本要素应包括以下内容：

- 1 焊接材料的型号、品牌。
- 2 电极或填充金属直径。
- 3 每道焊道单丝或多丝焊接。

4 当焊接工艺评定需要通过 ECA 评价时，焊接材料批号的变化。

5 焊条药皮、药芯焊丝药芯和焊剂类型的变化。

**4.3.9 焊接保护气和背衬保护气的基本要素应包括以下内容：**

- 1 气体的类别变化和组分百分比变化超过 10%。
- 2 气体流量变化超过 10%。
- 3 背衬保护气体中的氧含量增加超过 10%。
- 4 停止背衬气保护以前，焊道数量和焊缝厚度的减少。
- 5 在焊接开始前，背衬保护气的流量与置换时间的减少超过 10%。

6 焊接过程中背衬保护气流量的减少超过 10%。

**4.3.10 焊接工艺评定中电流类型的变化应作为基本要素。**

**4.3.11 焊接设备的型号、品牌和制造商的变化应作为基本要素。**

**4.3.12 焊接热输入的基本要素应包括以下内容：**

- 1 电弧电压、电流、送丝速度变化超过工艺评定规定值的 10%。

2 每个焊道测得的热输入超过焊接工艺规程中规定的热输入范围 10% 的变化。

3 脉冲焊接的起弧电流、尾拖电流、基值电流、峰值电流、脉宽和频率的变化超过 10%。

**4.3.13 预热温度与道间温度的基本要素应包括以下内容：**

- 1 最高预热温度高于焊接工艺评定规定的 10%。
- 2 超过最高焊道间温度的 10%。
- 3 最高预热温度和道间温度升高达到耐蚀合金有害相析出和敏化区间。

**4.3.14 焊后热处理的基本要素应包括以下内容：**

- 1 使用或不进行焊后热处理。
- 2 焊后热处理参数变化超过 10%。
- 3 热处理温度参数变化和停留时间达到耐蚀合金有害相析出和敏化区间。

**4.3.15** 加速冷却的基本要素应包括以下内容：

- 1 冷却介质方式的变化与冷却温度梯度超过 10%。
- 2 加速冷却前开始冷却的最高温度超过焊接工艺评定规定值。

**4.3.16** 对口器的基本要素应包括以下内容：

- 1 从内对口器变为外对口器，或反之。
- 2 对口器的原理变化，如液压变气动或气动变液压，带氧气含量监测仪或不带。
- 3 工艺评定焊接时所用对口器与生产焊接时的品牌、结构形式与类型的变化。

**4.3.17** 根焊焊工数量及焊接位置的变化应作为基本要素。

## 5 焊接工艺规程

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 应依据合格焊接工艺评定编制焊接工艺规程，并经焊接责任工程师签字批准后方可使用。
- 5.1.2** 焊接工艺规程除应包含焊接技术要求外，还应注明工程名称、版本受控编号、依据的焊接工艺评定等信息。
- 5.1.3** 每个焊接工艺规程应包含单独的背衬气保护工艺。
- 5.1.4** 应指明使用的焊接方法或其组合。

### 5.2 规程内容

- 5.2.1** 焊条电弧焊应至少明确以下内容：
  - 1 焊条直径。
  - 2 焊条运条形式。
  - 3 电流种类和极性。
- 5.2.2** 钨极氩弧焊应至少明确以下内容：
  - 1 焊丝类型（实芯焊丝、药芯焊丝）。
  - 2 热丝或冷丝。
  - 3 钨极牌号及规格。
  - 4 钨极的加工方式和加工后的形状要求。
  - 5 电流种类和极性。
  - 6 波形、起弧电流、衰减电流、基值电流、峰值电流、脉冲宽度和频率等参数。
  - 7 提前送气、滞后关气时间。
- 5.2.3** 熔化极气体保护焊应至少明确以下内容：
  - 1 电流种类和极性。

- 2 输出波形。
- 3 自动焊的摆动幅度及频率。
- 4 自动焊坡口两侧停留时间。
- 5 基值、峰值电流及持续时间。
- 6 脉冲频率。
- 7 起弧电流、尾拖电流、弧长、电感量、干伸长、提前送气时间、滞后关气时间。
- 8 自动焊每道焊道的焊接机头数、每个焊接机头的焊炬数及每个焊炬的填充焊丝数。
- 9 熔滴金属的过渡方式，如短路过渡、喷射过渡或滴状过渡。

#### **5.2.4 埋弧焊应至少明确以下内容：**

- 1 混合焊剂的比例。
- 2 焊丝、焊剂的固定匹配。
- 3 电流种类和极性。
- 4 每个焊炬的填充焊丝数。

#### **5.2.5 管材和管件材料应明确以下内容：**

- 1 复合管及管件的基层钢、CRA 纯材、CRA 层的等级和供货状态。
- 2 CRA 材料的 PREN。
- 3 被评定的基层碳钢或低合金钢的碳当量上限 (CE 或  $CE_{pem}$ )。
- 4 复合管及管件的基层和 CRA 层、CRA 纯材管或管件制造商。
- 5 管号、管件号、基层钢与 CRA 的炉批号和热处理批号。
- 6 管径和壁厚的许用范围。

#### **5.2.6 接头设计应明确以下内容：**

- 1 焊接工艺规程应有接头设计图，并标明坡口尺寸。
- 2 接头不应使用永久性衬垫板 / 环，接头设计应规定管内壁的错边量及许用公差。

3 复合管、管件出厂前应进行端部内镗孔（图 5.2.6）。

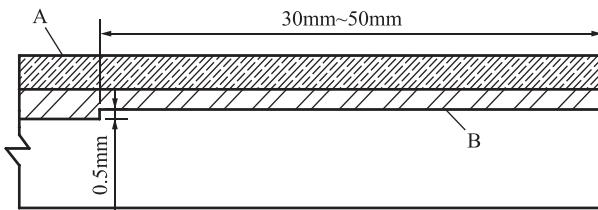


图 5.2.6 管端内镗孔加工图

A—基层材料；B—CRA 层

注：采用 AUT 时，端部内镗孔加工长度应不小于 50mm。

#### 5.2.7 填充金属、焊剂和焊道数应明确以下内容：

- 1 填充金属的种类、规格、制造商及生产批号等信息。
- 2 每种厚度焊接接头的焊缝层数、焊道编号和焊道顺序。
- 3 自动焊或半自动焊每条焊道的送丝速度。
- 4 每种焊丝或焊条的最大摆动幅度。
- 5 焊剂的类别、型号、品牌、制造商。

#### 5.2.8 应明确焊接设备的电特性、电流种类和极性。

#### 5.2.9 应明确焊接位置、焊接方向。

#### 5.2.10 应明确每层焊道的焊工人数及每层焊道的焊接顺序。

#### 5.2.11 管口组对和背衬气保护应明确以下内容：

- 1 是否使用对口器，以及对口器与背衬气保护装置的形式。
- 2 对口器及背衬气保护装置的类型和拆除时间。

#### 5.2.12 保护气体及流量应明确以下内容：

- 1 焊接保护气体的成分最低要求及流量范围。
- 2 焊接开始前背衬保护气体流量、保护形式（背面焊道直吹保护或置换保护）及开始焊接前的最短置换时间。
- 3 根焊开始前背衬保护气体中氧的最大含量。
- 4 背衬保护气保护中断前最小焊缝厚度和焊道数量。
- 5 背衬保护气体成分的最低要求和最小流量，背衬保护气

体是否允许使用一种或几种非氧化性混合气体，以及不同焊接层数是否允许使用不同的非氧化性背衬保护气体。

6 背衬保护气体中氧含量的监测要求。

**5.2.13** 焊道清理和打磨应明确以下内容：

1 清理、打磨焊道时使用的工具，打磨材料化学成分要求。

2 道间清理、盖面焊缝表面处理，以及根部焊道内表面的处理方法。

**5.2.14** 预热和焊后热处理应明确以下内容：

1 预热和焊后热处理的加热方法、最高温度、温度控制方法。

2 焊后热处理升降温梯度、恒温时间。

**5.2.15** 应明确最高道间温度。

**5.2.16** 应明确每层焊道的焊接速度及热输入范围。

**5.2.17** 应明确加速冷却的冷却方法、冷却位置、冷却介质、冷却材料、冷却工具及温度梯度。

## 6 焊工考试

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 焊工考试分资格考试和上岗考试。
- 6.1.2** 焊工资格考试机构应得到国家市场监督管理总局的正式批准。焊工资格考试应符合国家现行标准《特种设备焊接操作人员考核细则》TSG Z6002 的有关规定。
- 6.1.3** 焊工上岗考试应记录全部焊接参数。

### 6.2 上岗考试

- 6.2.1** 焊工应持有市场监督管理局颁发的“特种设备作业人员证”。
- 6.2.2** 上岗考试应按照工程批准的焊接工艺规程要求进行焊接。
- 6.2.3** 应在施工现场或模拟野外焊接条件下一次连续完成 2 道考试焊口，并经过外观、无损检测、宏观金相检验、拉伸试验和弯曲试验合格。
- 6.2.4** 当焊口所需焊工超过 1 名时，应标识每名焊工的焊接项目和焊接位置。每名焊工应至少完成焊口的 50%。
- 6.2.5** 当采用组合焊接方法或多名焊工组合焊接试件时，焊接位置和焊道顺序应与生产焊接一致。

### 6.3 基本要素

- 6.3.1** 基本要素变化时，焊工应重新进行上岗考试。
- 6.3.2** 焊工资格基本要素应包括以下内容：
  - 1 焊接方法。
  - 2 焊接方向。
  - 3 焊接位置：

- (1) 水平固定，可覆盖管子位置在水平方向 25° 范围内焊接。
  - (2) 垂直固定，可覆盖管子位置在垂直方向 25° 范围内焊接。
  - (3) 45° 固定，可覆盖全位置焊接。
- 4 壁厚、管径范围。
  - 5 坡口类型，不包括坡口角度、钝边与间隙。
  - 6 焊条药皮类型。
  - 7 焊接保护气体和背衬保护气体类型。
  - 8 焊接设备。
  - 9 焊接顺序。

## 7 生产焊接

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 在生产焊接前，下列文件应得到业主审查与批准：

- 1 焊接工艺评定和焊接工艺规程。
- 2 焊工资格证和上岗资格证。
- 3 无损检测工艺评定及工艺规程。

**7.1.2** 管道焊接空间应满足相应焊接方法要求。

**7.1.3** 生产焊接资料应记录与焊口相关的所有信息，资料应具有可追溯性。

**7.1.4** 施焊环境不符合焊接工艺规程规定时，应采取有效防护措施才能进行焊接作业。

**7.1.5** 在完成过渡层焊缝前，不应移动管子。刚性支撑撤除前焊缝厚度不应少于 50%。

### 7.2 管子切割与坡口加工

**7.2.1** 管材切割宜采用机械冷加工方式。若采用热加工，应采用等离子切割方法，且熔渣不得溅落在 CRA 表面。切割后的管材应进行标识移植。

**7.2.2** 坡口机应配备内表面跟踪导向轮与弹性刀架，加工完成的坡口 CRA 层钝边厚度偏差不应超过  $\pm 0.05\text{mm}$ 。

**7.2.3** 坡口加工完成后，CRA 层表面的切屑应清理干净，坡口面应光滑，不应有烧伤、毛刺、划痕、压痕等缺陷。

**7.2.4** 坡口及管内外壁两侧各 50mm 内应进行目视检测、超声分层检测、渗透检测并合格，现场坡口加工后的检测应由担任生产焊接检测的机构执行。

**7.2.5** 采用超声检测的环焊缝，内衬里复合管应对管端内表面不少于 50mm 进行堆焊加工，并在堆焊完成后对管端内表面 50mm 范围进行镗孔加工。管端内表面应进行不少于 6 点的均布测厚，测厚结果应符合 CRA 层厚度的最低要求。

### 7.3 管 口 组 对

**7.3.1** 组对前，应清除坡口面及周围 50mm 范围内油、漆、垢、锈等杂质，坡口端面应采用不含氯离子的溶剂进行清洗。

**7.3.2** 宜采用激光自动测量仪对管口椭圆度、管径及坡口尺寸进行测量，测量合格方可使用。使用手工测量坡口尺寸时，应使用坡口尺进行不少于 6 点的均布测量。

**7.3.3** 根焊焊接时应保证 CRA 层焊接无外加强制应力，不应进行锤击或者加热进行管口组对。管线组对时应使用垫木等刚性支撑，垂直方向和水平方向都应支撑稳固。

**7.3.4** 组对时应使用吊带吊装，吊点应位于中心对称位置且应避开管口。

**7.3.5** 管道组对内错边量不应超过 CRA 层厚度的 20% 且不大于 0.5mm，错边应沿圆周均匀分布。

**7.3.6** 当有组对间隙要求时，宜使用激光数显式间隙自动测量仪进行测量。

**7.3.7** 制管焊缝应位于圆周顶部 120° 范围内，制管焊缝错开间距不应小于 150mm。

**7.3.8** 根焊开始前，应沿圆周均布进行内错边检测，且检测点不应少于 4 点。

**7.3.9** 对口器形式与使用除应符合本规范第 3.2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 宜使用内对口器对口。
- 2 使用外对口器时，应对焊道起弧位置与收弧位置进行修磨。

3 外对口器应在完成管口组对并用间隙桥块沿管口圆周对称焊接固定焊口后方可拆除。

#### 7.3.10 相邻焊缝间距应符合下列规定：

- 1 线路环焊缝间距不应小于 1.5 倍公称直径且不小于 100mm。
- 2 工艺管道公称直径小于 300mm 时，焊缝间距不应小于 1 倍公称直径且不小于 150mm；公称直径不小于 300mm 时，焊缝间距不应小于 300mm。
- 3 环焊缝与支管角焊缝间距不应小于 100mm 且不应小于 1.5 倍开孔孔径。

### 7.4 预热与焊后热处理

#### 7.4.1 焊前预热应按焊接工艺规程规定进行。

#### 7.4.2 预热温度测量应在坡口两侧 3 点、6 点、9 点和 12 点位置进行。

#### 7.4.3 应在完成的焊道焊缝金属表面和下一道焊道起弧位置处进行道间温度测量。

#### 7.4.4 焊后热处理应按热处理工艺规程进行。

#### 7.4.5 预热或热处理的过热焊口应割除。

### 7.5 焊 接

#### 7.5.1 焊接设备接地应符合下列规定：

- 1 施焊前应确保良好的地线、感应线连接。
- 2 应采用与焊接工件相同材质或同类别更高组别材质的不锈钢地线钳。

3 地线钳不应放置在坡口内和焊接到管道组成件上，并应安装牢固。

#### 7.5.2 保护气应符合下列规定：

- 1 保护气体应预先混合，混合比和流量应符合焊接工艺规程。
- 2 施焊前应使用仪器连续测量背衬气的氧含量，氧含量应

小于  $500 \times 10^{-6}$ 。

3 保护气使用前应使用气体测量仪进行全组分测量。

**7.5.3** 根焊前应沿管子圆周均匀布四点进行剩磁测量，剩磁平均值不应超过 15Gs，单个最大值不应超过 20Gs。

**7.5.4** 根焊焊接时不应熔化碳钢和低合金钢基层。应对完成的根焊焊道的成形和氧化程度进行 VT 检测（激光扫描与数码相机成像）。

**7.5.5** 连头焊应采用水溶性纸、水溶性胶带和自粘铝箔对根焊背面进行空气置换，保证根焊道不被氧化。

**7.5.6** 间隙桥块辅助管口组对应符合下列规定：

1 无法使用内对口器时，可采用间隙桥块辅助外对口器进行管口组对。

2 焊口应至少有一端固定，且不应受已有管道限制。

3 间隙桥块应焊接在坡口面内作为临时过渡桥块，并应在完成无障碍部分的根焊后去除间隙桥块。去除间隙桥块后应对坡口进行修磨去除间隙桥块焊缝金属，再完成其余焊缝。

4 间隙桥块应沿管子圆周均匀分布。当管径大于 DN100 时，间隙桥块不应少于 4 块，且间隙桥块长度不应少于 25mm。

5 定位间隙桥块焊接不应接触坡口外侧边沿和 CRA 层，且不应造成 CRA 层颜色的变化。

6 间隙桥块修磨完成后应使用不含氯离子的清洗剂进行清洗，并应采用 PT 检测合格。

7 间隙桥块清除后，坡口几何尺寸和根部间隙应符合焊接工艺规程的规定。

**7.5.7** 内自动焊机根焊应符合下列规定：

1 内自动焊机应配合内自动修磨机进行焊接。

2 CRA 层内焊应在外部焊道全部完成后进行。在开始内焊之前，应清除焊缝表面未熔合等缺陷，内层焊道不应少于 3 层。

3 过渡层焊接完成后应增加 1 层 CRA 焊接，焊接完成后应进行 VT 和 PT 检测。

- 4 最后一层焊道焊接完成后应进行 VT 和 PT 检测并合格。
- 5 内焊采用多道焊时，焊道间最小搭接宽度不应小于 50%，CRA 堆焊层厚度应大于母材 CRA 层厚度。内焊接根焊示意图如图 7.5.7 所示。

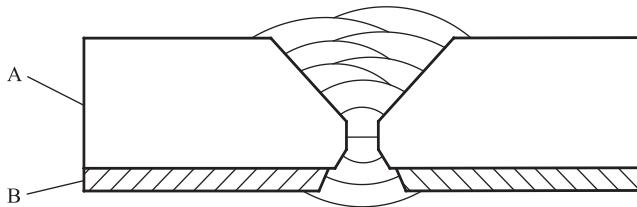


图 7.5.7 内焊接根焊示意图

A—基层材料；B—CRA 层

#### 7.5.8 管材表面不应有电弧烧伤，并应符合下列规定：

1 引弧应在坡口面或者引弧板上进行。

2 当使用熔化极气体保护焊时，应使用陶瓷包覆的导电嘴。

#### 7.5.9 加速冷却应符合下列规定：

1 加速冷却开始时焊缝表面的最高温度应符合焊接工艺规程的规定。

2 加速冷却介质宜使用不含氯离子的无害溶液，冷却介质不应直接接触焊缝及热影响区。

#### 7.5.10 所有焊道的起弧点和收弧点应打磨、清理。

7.5.11 焊接完成后，根焊内表面及周边区域应为银白色或者干草黄，当需进行脱氧化色处理时，可对内焊道表面进行修磨、喷玻璃珠或酸洗钝化以去除氧化表面层。

#### 7.5.12 应记录焊接工艺参数，记录至少应包括以下内容：

- 1 焊接电压。
- 2 焊接电流。
- 3 焊接速度。
- 4 脉冲频率。

- 5 脉冲波基值、峰值脉宽。
- 6 最高预热温度和最高道间温度。
- 7 预热温度与道间温度。
- 8 背衬气保护气体流量、成分和残余氧含量。
- 9 提前送气、滞后关气时间。

## 7.6 焊 缝 检 测

**7.6.1** 无损检测方法包括焊缝外观的目视检测、根焊内表面的激光扫描和数码相机成像检测、相控阵超声检测、自动超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等。

**7.6.2** 无损检测应符合下列规定：

- 1 焊缝外表面宜进行直接或者间接目视检测。
  - 2 焊缝内表面应使用激光扫描和数码相机成像进行表面成形质量和氧化程度检测。当设备无法进入时，应在业主或者业主代表见证下，通过观察窗，采用强光手电等辅助器材进行内表面成形与氧化程度检测。
  - 3 生产焊接时应在根焊与过渡层焊接完成后且焊缝厚度不小于 6mm 时，进行 1 次射线或 AUT 中间检测。如检测不合格，应切除焊口。
  - 4 线路焊口应采用自动超声检测（AUT）和射线检测，工艺管道应进行相控阵超声检测（PAUT）和射线检测。
  - 5 返修焊缝应采用原检测方法进行检测，同时还应增加射线检测（RT）和磁粉检测（MT）或渗透检测（PT）。
  - 6 对检测结果有疑问的部位应补充其他方法进行检测。
  - 7 当业主要求时，全部立管、盘管和连头的焊缝在根焊和过渡层完成后，应增加中间射线检测。
- 7.6.3** 检测比例应符合表 7.6.3-1 和表 7.6.3-2 的规定。
- 7.6.4** 相关检测报告用表宜符合本规范附录 A 的要求。

表 7.6.3-1 环焊缝无损检测方法及检验范围

序号	检测对象	检验方法	检验比例
1	焊缝外表面、连头焊口根部焊道	目视检测	100%
2	除连头、返修口外的所有焊口根焊内表面	激光扫描和数码相机成像检测	100%
3	所有环焊缝	射线检测和超声检测	100%
4	连头焊接	射线检测、超声检测和渗透检测	100%
5	基层金属表面缺陷的清除后检测	磁粉检测或渗透检测	100%

表 7.6.3-2 接管角焊缝无损检测方法及检验范围

序号	检测对象	检测方式	检测范围（比例）
1	所有角焊缝外表面	目视检测	100%
2	所有角焊缝	超声检测	100%
3	支管台、支管焊缝和角焊缝	渗透检测	100%
	支管根部焊道（如能使用）		100%
	内堆焊缝，覆层修复，背面焊缝返修		100%

## 7.7 焊 缝 反 修

**7.7.1** 应由具有返修资格的焊工按返修焊接工艺规程进行。

**7.7.2** 返修或割除应获得业主或业主代表的单独授权确定。

**7.7.3** 目视可及且人工可达，或系统带有视频辅助、修磨、表面渗透检测与自动 P-GTAW 功能，可对根焊表面缺陷进行返修。

**7.7.4** 应对焊缝表面的电弧损伤进行修磨，修磨后的焊缝不应低于母材，并进行硬度和 PT 检测合格。

**7.7.5** 缺陷应通过机械打磨去除，不应采用碳弧气刨。打磨成形的焊缝坡口表面应平滑过渡，并对坡口面进行 VT 和 PT 检测合格。

**7.7.6** 缺陷清除后应保证最终打磨形成的坡口凹槽底部和管子内表面之间厚度不应少于 6mm。对小于 6mm 焊缝金属厚度的缺陷，应切除包括热影响区在内的整个焊缝。

**7.7.7** 人工内部返修应符合下列规定：

1 内部返修焊接前应使用不含氯离子的无害溶剂清除坡口 PT 检测残留物。

2 过渡层焊接完成后，应增加 1 层 CRA 焊接，返修完成后应对盖面 CRA 焊缝进行 PT 检测并合格。

**7.7.8** 自动焊内返修应符合下列规定：

1 应使用具备视频辅助系统的管内自动修磨机对缺陷进行修磨清除。

2 宜使用具备不少于 1200 万像素彩色自动照相功能的 PT 检测系统对清除缺陷后的坡口进行检测并合格。

3 应使用具备视频辅助系统的 P-GTAW 自动焊机进行第一层 CRA 的焊接。

4 过渡层焊接完成后，应增加 1 层 CRA 焊接。

5 内返修焊接完成后应采用带数码相机照相辅助功能的 PT 检测系统检测焊缝并合格。

**7.7.9** 当复合管为机械复合管且管端采用封焊工艺时，割除的环焊缝应包括受损封焊焊缝在内的整个接头，并按封焊焊接工艺规程重新进行封焊。

**7.7.10** 当一次返修后仍然有非裂纹类缺陷，且缺陷长度不超过 50mm，缺陷清除后坡口底部距焊缝内表面的距离超过 8mm，可进行二次返修。

**7.7.11** 焊口的切除宜采用机械冷切割。

## 8 目视检测

### 8.1 一般规定

- 8.1.1** 本章适用于焊缝外观与根部内表面的检测。
- 8.1.2** 目视检测人员应经过激光防护培训并通过考试。
- 8.1.3** 目视检测人员视力不应低于 5.0。
- 8.1.4** 目视检测前应编制目视检测工艺文件。

### 8.2 设备和工具

- 8.2.1** 目视检测的设备和器材包括直接目视检测和间接目视检测的器材。
- 8.2.2** 直接目视检测器材应包括照明光源、反光镜、低倍放大镜和测量量具等。
- 8.2.3** 间接目视检测器材包括：照明光源、激光扫描与数码相机成像系统、目视检测分辨对比试块、驱动系统、数据存储系统及适合的目视辅助器材。
- 8.2.4** 激光扫描成像仪应符合下列规定：
  - 1 防护等级应符合国家现行有关标准的规定。
  - 2 驱动电压不应超过 36V。
  - 3 激光检测分辨力不应大于  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 。
  - 4 检测范围不应小于 8mm。
  - 5 高度和深度精度应为 0.1mm。
  - 6 激光光斑尺寸不应大于  $130\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 8.2.5** 数码成像设备应符合下列规定：
  - 1 数码成像设备工作温度范围应为  $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。
  - 2 防护等级不应低于现行国家标准《外壳防护等级（IP 代

码)》 GB/T 4208 规定的 IP65 等级。

- 3 图像分辨率不应低于  $1920 \times 1080$ 。
- 4 光学变焦不应小于 30 倍。
- 5 数码相机应使用 24 色校验盒校验。
- 6 最小拍摄距离应小于 10mm。

### 8.3 检测准备

**8.3.1** 焊接完成后应清理焊渣与飞溅，检测表面应无障碍物及污染物质，保持洁净。

**8.3.2** 驱动爬行器、激光扫描与数码相机成像设备应在检测前调试完成。

### 8.4 直接目视检测

**8.4.1** 焊缝的外表面应采用直接目视检测。

**8.4.2** 检测步骤应包括表面处理、检视、测量或判别、标示与记录。

**8.4.3** 检测时眼睛与被检表面所成的夹角不应小于  $30^\circ$ ，眼睛与被检表面的距离不应大于 600mm。

**8.4.4** 目视检测可采用反光镜改善观察角度，并可以借助低倍放大镜来分辨细小缺陷。

**8.4.5** 检测区域应有足够的照明条件，被检表面光照度不应低于 500lx 以上，需要做进一步观察和检测的区域不应低于 1000lx。外观检测照明条件应符合下列规定：

- 1 照明光线方向相对于观察点宜达到最佳角度。
- 2 表面应避免炫光。
- 3 光源色温宜调节到最佳目视效果。

### 8.5 间接目视检测

**8.5.1** 焊缝的内表面宜采用间接目视检测。

**8.5.2** 检测步骤应包括表面处理、设备安装、对比试块验证、分辨能力验证、检视、测量或判别、标示与记录。

**8.5.3** 检测前应使用激光扫描灵敏度校验试块与颜色校验器验证激光扫描仪的扫描质量和快速数码相机成像质量。

## 8.6 检测记录报告

**8.6.1** 应按检测工艺规程的要求记录检测数据或信息，并按相关法规、标准和（或）合同要求保存所有记录。

**8.6.2** 检测报告应至少包括如下内容：

- 1 被检件的名称、编号、规格和材质等。
- 2 检测使用的设备和器材。
- 3 检测和验收标准。
- 4 检测方法。
- 5 所有观察项目和检测结果。
- 6 检测人员、报告编写人和审核签字。
- 7 检测日期。

**8.6.3** 检测记录、检测报告及激光扫描系统和彩色照相机的检测结果都应保存 7 年。

## 9 相控阵超声检测

### 9.1 检测设备和器材

**9.1.1** 检测设备应包括相控阵超声仪器、探头、扫查装置和附件，并应具有产品质量合格证明文件，且具备中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的实验室出具的测试报告。PAUT 检测仪每年应至少进行 1 次校准。

**9.1.2** 仪器及软件应符合下列规定：

1 系统的具体性能指标应符合现行国家标准《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》GB/T 29302 的有关规定。

2 相控阵系统应具备 32 发射通道及另外 32 接收通道或总数 64 以上的通道。

3 数字化信号采样频率不应小于探头标称频率的 8 倍。

4 设备应具有多组的扇扫、线扫或全聚焦成像检测和记录的功能。

**9.1.3** 探头和楔块应符合下列规定：

1 相控阵探头的性能指标应符合国家现行标准《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》JB/T 11731 的有关规定。

2 相控阵探头频率范围应为 1.5MHz ~ 5MHz，单个探头的晶片数量应大于或等于 32 个晶片。

3 楔块和工件接触面间距不应大于 0.5mm。楔块接触面尺寸大于 0.1 倍曲面直径时，应进行圆弧修磨。

**9.1.4** 扫查装置应符合下列规定：

1 应保证声束传播方向垂直于焊缝长度方向。

2 探头实际运动轨迹与拟定扫查轨迹的偏离值不应大于 1mm。

- 3 应配备编码器或其他装置记录探头位置。
- 4 探头与工件表面应接触良好。
- 5 应能独立调整探头到焊缝中心线的距离。
- 6 应至少具备配置 2 个探头的功能。
- 7 在受限条件下应能进行单面单侧扫查。
- 8 宜具备自动供应耦合剂的能力。

#### 9.1.5 对比试块应符合下列规定：

1 对比试块应采用与工程焊接接头材质相同或相似的材料制造，焊接坡口形式及焊接方法应与被检焊缝相同，对于不同厚度工件对接接头的检测，试块厚度应由较厚工件确定。

2 对比试块焊缝中心到两端的距离不应小于安装扫查装置所需的尺寸。

3 对比试块材料焊缝及热影响区在用直探头以  $\phi 2\text{mm}$  平底孔灵敏度检测时，不应出现直径大于  $2\text{mm}$  的平底孔回波幅度  $1/4$  的缺欠信号。

4 对比试块公称厚度应为被检焊缝公称厚度的  $1 \sim 1.1$  倍，对比试块直径应为被检焊缝直径的  $0.9 \sim 1.1$  倍。

5 对比试块应采用与被检焊缝相同的焊接工艺制造，并加工不同的人工反射体。

6 对比试块应划分为盖面区、根焊区和填充区。填充区及盖面区应按下列公式进行层数划分，每层厚度不应超过  $3.5\text{mm}$ 。

$$n=\text{int}[ (T_w-r) /3.5 ] +1 \quad (9.1.5-1)$$

$$h= (T_w-r) /n \quad (9.1.5-2)$$

式中  $T_w$ ——焊缝厚度 (mm)；

$n$ ——划分层数；

$h$ ——每层厚度 (mm)；

$r$ ——根焊区厚度 (mm)。

注：层数确定后的第一层为盖面区，第 2 层至第  $n$  层为填充区。

7 人工反射体在焊缝两侧对称分布，人工反射体的形状、尺寸和数量（图 9.1.5）应符合下列规定：

- (1) 在焊缝根部内表面熔合线外侧设置 1 个矩形槽，深度应为 0.5mm，长度应为 13mm ~ 25mm，宽度不应大于 1.5mm；在根部及热焊区中间深度的坡口熔合线位置设置 1 个横孔，横孔直径应为  $\phi$  3mm，长度范围应为 13mm ~ 25mm。
- (2) 每个焊缝填充分区中间深度的坡口熔合线位置设置 1 个横孔，横孔直径应为  $\phi$  3mm，长度范围应为 13mm ~ 25mm。
- (3) 焊缝盖面区外表面设置 1 个矩形槽，深度应为 1mm，长度范围应为 13mm ~ 25mm，宽度不应大于 1.5mm。
- (4) 应在焊缝中心及两侧热影响区边缘外各设置 1 个  $\phi$  3.2mm 竖通孔。
- (5) 各人工反射体间距应大于或等于 25mm，以保证相互没有超声信号干扰。

8 人工反射体允许误差应符合下列规定：

- (1) 孔直径公差应为  $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- (2) 槽长度公差应为  $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- (3) 槽深度公差应为  $\pm 0.2\text{mm}$ 。
- (4) 角度误差范围应为  $\pm 1^\circ$ 。
- (5) 反射体中心位置公差应为  $\pm 0.1\text{mm}$ 。

9 试块应标记焊缝中心线。

10 应配有满足现场检测条件的支架和附件。

11 试块应由国家认可的专业试块加工企业制作并出具相应的合格证书及检定报告。每个试块均应编号，并记录归档。

#### 9.1.6 超声波耦合剂应符合下列规定：

1 耦合剂应具有良好的透声性和适宜的流动性，对材料无腐蚀并便于清理，宜采用水作为耦合剂，在 0℃ 以下应采用乙醇水溶液或类似介质作为耦合剂。

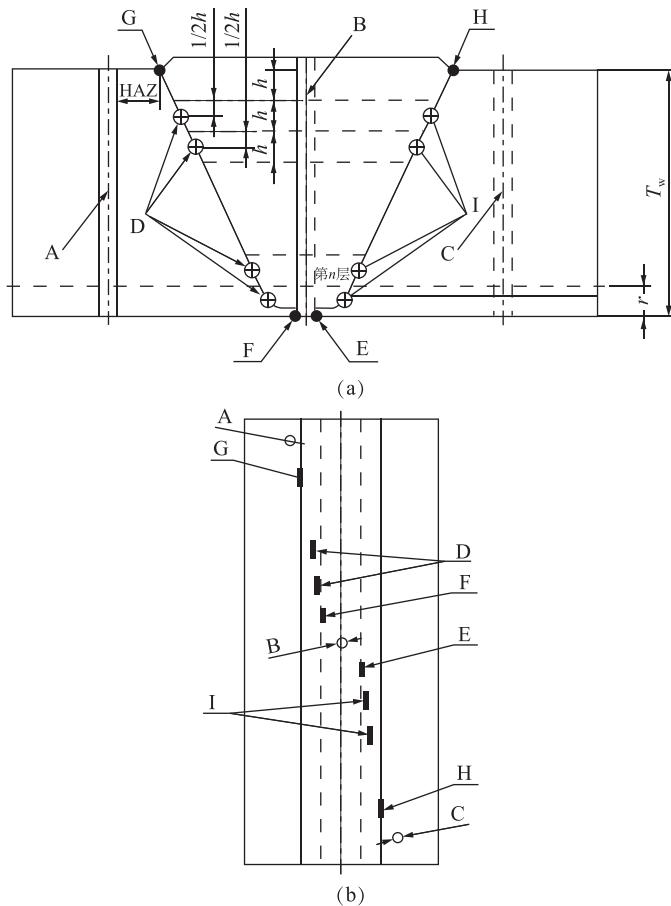


图 9.1.5 相控阵检测对比试块示意图

A—上游竖通孔；B—焊缝中心竖通孔；C—下游竖通孔；D—上游横孔；

E—下游根部刻槽；F—上游根部刻槽；G—上游盖面刻槽；

H—下游盖面刻槽；I—下游横孔； $T_w$ —焊缝厚度

- 2 检测和校准应使用相同的耦合剂。
- 3 用于镍基合金的耦合剂含硫量不应大于 250mg/L。
- 4 用于奥氏体不锈钢的耦合剂其氯和氟的总含量不应大于

250mg/L。

#### 9.1.7 设备与器材的检查应符合下列规定：

1 检测前应按照国家现行标准《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》JB/T 11731 的有关规定对探头进行检查，在任何一个探头中，失效的阵元数量不应超过总数量的 10%。在任何聚焦法则中，探头的失效阵元数量不应超过 3 个。

2 仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性每年应检查 1 次，水平线性误差不应大于 1%，垂直线性误差不应大于 5%。

3 对比试块每年应至少检查 1 次。试块表面不应有表面腐蚀及机械损伤。

#### 9.1.8 楔块连续使用 5 个工作日应进行校准，校准结果应符合下列规定：

1 使用校准软件选取其中任意几个晶片单独激发且在楔块底部产生的回波信号，以计算该楔块的延迟、中心晶片高度及楔块角度。晶片取点个数不应少于 2 个（图 9.1.8）。

2 当楔块角度偏差大于  $0.5^\circ$  时，或高度偏差大于 0.5mm 时，应修正聚焦法则并重新设置。

3 当楔块角度偏差大于  $3^\circ$  时，或高度偏差大于 2mm 时，应更换楔块。

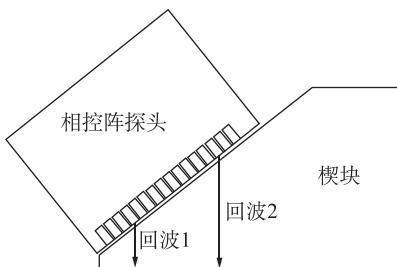


图 9.1.8 楔块校准示意图

## 9.2 检测工艺文件

#### 9.2.1 检测工艺文件应包括工艺规程和操作指导书。

1 工艺规程应符合国家现行标准《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》NB/T 47013.1 的有关规定，且应符合表9.2.1的规定。

2 相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。工艺规程的具体内容应符合表 9.2.1 的规定。

**表 9.2.1 相控阵超声检测工艺规程涉及的相关因素**

序号	相关因素的内容
1	被检件类型
2	检测面要求
3	检测技术
4	楔块尺寸及角度
5	检测仪器类型
6	探头类型及参数，包括阵元高度和宽度、间隙、数量等
7	聚焦范围，包括深度、声程等
8	激发孔径尺寸，包括激发阵元数量、激发孔径长度和宽度等
9	耦合剂类型
10	试块及校准方法
11	扫查方式及扫查范围
12	电子扫描和成像
13	附加检测及要求
14	欠缺定量方法
15	计算机数据采集，自动报警和记录装置
16	人员资格要求，检测报告要求
17	检测数据的分析和解释
18	验收级别和质量等级

**9.2.2** 应根据工艺规程的内容及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容除应符合国家现行标准《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》NB/T 47013.1 的有关规定外，还应包括：

1 检测技术要求。

2 检测设备器材的名称和规格型号，工作性能检查的项目、时机和性能指标等。

3 检测范围、检测覆盖区域、探头及楔块的参数设置、扫查方法及扫描类型、扫查面准备、探头位置、检测系统的设置和校准方法等检测工艺参数。

**9.2.3** 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，工艺验证应在模拟试块上进行，验证结果应能清晰地显示出模拟试块中所有的缺欠。模拟试块规格、型号及制作应符合本规范附录B的规定。

### 9.3 检测准备

**9.3.1** 检测前应标明扫查零点及扫查方向。

**9.3.2** 应采用实际测定的材料声速修正相控阵聚焦法则、相控阵扫描或全聚焦成像和声束定位读数。声速测定方法应符合本规范附录C的规定。

**9.3.3** 探头设置应符合以下规定：

1 应在焊缝两侧各配置1个相控阵探头。当检测受限时，应至少在焊缝一侧配置1个相控阵探头和楔块，且应增加其他方法进行补充检测。

2 宜选择一发一收的双晶纵波斜入射探头。当焊缝较厚时可使用自发自收的斜入射纵波探头。当验证结果符合本规范第9.4节要求后，可使用自发自收的斜入射横波探头。

3 当检测不等壁厚接头时，探头前沿与焊缝中心线的距离应分别设置。

**9.3.4** 扫描设置应符合下列规定：

1 应采用扇扫或线扫模式，扫描角度应覆盖检测区域（图 9.3.4）。当 1 个相控阵探头不能覆盖整个检测区域时，应在同侧增加相控阵探头。

2 相控阵探头的激发孔径应大于或等于 32 个晶片，纵波角度扫描步进不应大于  $2^\circ$ ，横波角度扫描步进不应大于  $1^\circ$ ，扫描声程范围应能覆盖检测区域。

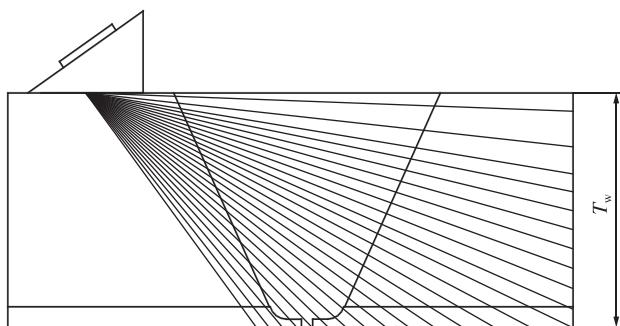


图 9.3.4 纵波一次波覆盖示意图

$T_w$ —焊缝厚度

### 9.3.5 灵敏度设置应符合下列规定：

1 应将每个分区的反射体最大幅度调整到 80% 满屏高 (FSH)，记录分区深度的参考灵敏度。

2 应采用增益补偿方法使各个反射体波高达到满屏高度的  $80\% \pm 5\%$ 。

3 设置完成后，所有通道对准其对应分区反射体时信号最大幅度应在参考幅度的  $-2\text{dB} \sim +2\text{dB}$ 。

### 9.3.6 系统其他设置应符合下列规定：

1 扫查编码器校准距离不应小于 500mm 或管周长的  $3/4$ 。显示记录和实际位移之间的偏差不应超过 2%。应同时记录扫查位置和检测数据。

2 扫查器速度不应超过 150mm/s。

3 系统检测数据记录的步进量不应大于 1mm。

4 每个探头应设置耦合通道监视耦合状况。可采用零度波束垂直入射到母材或试块底面，将最大波幅调整到满屏高的 80% 作为耦合监视灵敏度，耦合监视通道阀门电平应设置为满屏高的 20%。

5 系统应采用 A 扫、B 扫、C 扫、D 扫显示方式。

#### 9.4 系统设置的验证

**9.4.1** 应在系统设置后，现场检测前、每检测 10 道焊缝或连续工作 4h 后分别验证该设置的重复性和可靠性。

**9.4.2** 应在与现场检测相同的条件下，扫查对比试块，并记录扫查结果。

**9.4.3** 应记录对比试块所有反射体的信号指示的最大幅度和周向位置、长度、深度、横向位置。

**9.4.4** 应记录横孔和刻槽信号的最大幅度和该区域噪声高度，信噪比应大于或等于 16dB。

**9.4.5** 应记录横孔和刻槽信号最大幅度处的横向位置和深度，相对对比试块反射体理论位置偏差不应大于 2mm。

**9.4.6** 应记录横孔和刻槽周向位置和长度，相对对比试块反射体理论位置偏差不应大于 5mm，长度偏差不应大于 2mm。

**9.4.7** 应记录竖通孔信号最高幅度和位置，焊缝两侧的探头应能发现中心通孔和对侧通孔的反射信号。

**9.4.8** 应比较横孔和刻槽信号最大幅度和初次验证扫查的记录，幅度差不应大于 2dB。当幅度差值超过 2dB 时，应符合下列规定：

1 当幅度差值大于 +2dB 时，应重新检验评定前次验证后检测到的缺陷焊缝。

2 当幅度差值小于 -2dB 时，应重新检验评定前次验证后所有检测过的焊缝。

**9.4.9** 当验证结果不符合本规范第 9.4.4 条至第 9.4.8 条的规定时，应重新设置。

## 9.5 检 测

**9.5.1** 检测表面应符合下列规定：

1 焊接接头两侧探头移动区内，制管焊缝应采用机械方法打磨，余高应为 0mm ~ 0.5mm，且应与母材圆滑过渡。

2 探头移动区内不应有防腐涂层、飞溅、锈蚀、油垢及其他杂质。

3 当被检测管道表面与对比试块表面粗糙度差别较大、声能传输损失超过 2dB 时，应进行耦合补偿。

**9.5.2** 工件表面温度不应超过 60℃，对比试块和工件表面之间的温差不应超过 14℃。

**9.5.3** 检测扫查应符合下列规定：

1 宜一次连续扫查整道焊缝。

2 扫查在焊缝长度方向重叠应大于 50mm。

3 返修焊缝应按原条件重新检测，检测区域应包含返修区域及两端至少 50mm。

4 在扫描过程中应实时显示图像和耦合监视。耦合不良超过 5mm 时，应消除影响因素后重新扫查。

**9.5.4** 扫查数据质量应符合下列规定：

1 耦合不良显示不应超过 3mm。

2 噪声信号应比参考灵敏度阈值低 16dB 以上。

3 每 25mm 线性扫描长度不应有多于 2 条的数据丢失，且不允许连续丢失。

**9.5.5** 数据质量不符合要求的应重新检测。

## 9.6 检测结果评价

**9.6.1** 当反射波幅高于或等于 20% 满屏幕波高时，应进行记录。

**9.6.2** 指示幅度高于 40% 的长度应作为缺欠的测量长度。

### 9.6.3 缺欠深度的测定应符合下列规定：

- 1 应在 B 扫图像中以缺欠最高峰值的深度确定缺欠深度。
- 2 双侧检测中，两侧同时看到的缺欠应以反射回波最大处的声程之和计算缺欠深度。

### 9.6.4 缺欠自身高度的测定应符合下列规定：

- 1 宜采用  $-6\text{dB}$  法测量缺欠自身高度，必要时可采用声束扩散修正方法减小测量误差，声束扩散修正方法应符合本规范附录 D 的规定。

2 当缺欠自身高度小于  $-6\text{dB}$  声束扩散高度的 1.5 倍时，可采用当量法测量缺欠自身高度。

### 9.6.5 多个缺欠的干涉测定应符合下列规定：

1 当相邻两缺欠之间的水平距离小于或等于  $13\text{mm}$  或  $0.5$  倍焊缝厚度时，应视为 1 个缺欠，间距应计入缺欠长度。

2 当位于同一圆周位置的两个深度位置不同的缺欠，其在工件厚度方向上的间距宽度小于较大缺欠的高度值时，这两个缺欠应被视为单个缺欠，间距应计入缺欠高度。

## 9.7 检测记录和报告

**9.7.1** 检测记录应包括检测依据、检测标准、检测对象、检测设备和器材、检测方法和参数、检测结果、检测人员及等级、检测时间等相关信息。

**9.7.2** 检测报告应包括工程名称、检测标准、检测对象、检测设备和器材、检测方法和参数、检测结果、检测人员及等级、检测单位等相关信息。

**9.7.3** 检测记录及检测报告的保存期应符合国家现行有关标准的规定，且不得少于 7 年。

## 10 自动超声检测

### 10.1 检测设备和器材

**10.1.1** 检测设备包括相控阵超声仪器或多通道超声仪器、探头、扫查装置和附件，应具有产品质量合格证明文件，且具备中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的实验室出具的测试报告。

**10.1.2** 仪器和软件应符合下列规定：

1 系统应符合现行国家标准《无损检测 超声检测设备的性能与检验》GB/T 27664 的有关规定。当使用相控阵系统时，系统的具体性能指标应符合现行国家标准《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》GB/T 29302 的有关规定。

2 设备应具有脉冲发生、信号接收和 A/D 转换功能，且具有单侧和双侧的多声束检测和记录功能。

3 内置软件应具有数据采集、存储和缺欠分析评估功能，一次扫查能覆盖焊缝和热影响区，独立增益可调，记录阈值在 5% ~ 100% 可调，可记录阀门区域最大或最靠近起点的信号。

4 数字化信号采样频率不应小于探头标称频率的 8 倍。

5 应具备自发自收和一发一收模式，且阀门起点和长度独立可调。

6 应以带状图形式记录信号幅度和声程距离。

**10.1.3** 探头和楔块应符合下列规定：

1 常规探头的性能指标应符合现行国家标准《无损检测 超声检测设备的性能与检验》GB/T 27664 的有关规定。相控阵探头的性能指标应符合国家现行标准《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》JB/T 11731 的有关规定。

2 楔块的曲率应符合本规范第 9.1.3 条的规定。

**10.1.4** 扫查装置应符合本规范第 9.1.4 条的规定。

### 10.1.5 对比试块应符合下列规定：

1 对比试块应采用与工程焊接接头材质相同或相似的材料制造，焊接坡口形式及焊接方法应与被检焊缝相同，对于不同厚度工件对接接头的检测，试块厚度应由较厚工件确定。

2 对比试块焊缝中心到两端的距离不少于扫查装置所需的尺寸。对比试块材料焊缝及热影响区在用直探头以  $\phi 2\text{mm}$  平底孔灵敏度检测时，不应出现直径大于  $2\text{mm}$  的平底孔回波幅度  $1/4$  的缺欠信号。

3 试块的壁厚和坡口型式应与被检工件相同。

4 人工反射体在焊缝两侧对称分布，人工反射体的形状、尺寸和数量（图 10.1.5）应符合下列规定：

- (1) 在焊缝根部内表面熔合线外侧设置 1 个矩形槽，深度应为  $0.5\text{mm}$ ，长度应为  $13\text{mm} \sim 25\text{mm}$ ，宽度不应大于  $1.5\text{mm}$ 。在根部及热焊区中间深度的坡口熔合线位置设置 1 个平底孔，平底孔尺寸应为  $\phi 3\text{mm}$ ，平底孔轴线应垂直于坡口线。
- (2) 应在每个焊缝填充分区中间深度的坡口熔合线位置设置 1 个平底孔，平底孔轴线应垂直于坡口线，平底孔尺寸应为  $\phi 3\text{mm}$ 。
- (3) 焊缝盖面区外表面应设置 1 个矩形槽，深度应为  $1\text{mm}$ ，长度应为  $13\text{mm} \sim 25\text{mm}$ ，宽度不应大于  $1.5\text{mm}$ 。
- (4) 应在焊缝中心及两侧热影响区边缘外各设置 1 个  $\phi 3.2\text{mm}$  竖通孔。
- (5) 沿焊缝中心线设置  $45^\circ$  朝上的  $\phi 2\text{mm}$  平底孔反射体，反射体的数量应为壁厚  $t$  除以 8，得到的数值经四舍五入后取整数。
- (6) 当设置一个反射体时，反射体平面中心与焊缝中心线的交点应位于热焊区和填充区的中心。当设置两个及以上的反射体时，用焊缝壁厚除以层数  $n$ ，将

其结果向下取整数即为反射体间距值，按计算的间距将反射体从上表面开始依次向下分布。

(7) 各人工反射体间距应大于或等于 25mm。

5 人工反射体允许误差应符合本规范第 9.1.5 条的规定。

6 试块应由国家认可的专业试块加工企业制作并出具相应的合格证书及检定报告。每个试块均应编号，并记录归档。

7 试块应标记焊缝中心线。

8 应配用满足现场检测条件的支架和附件。

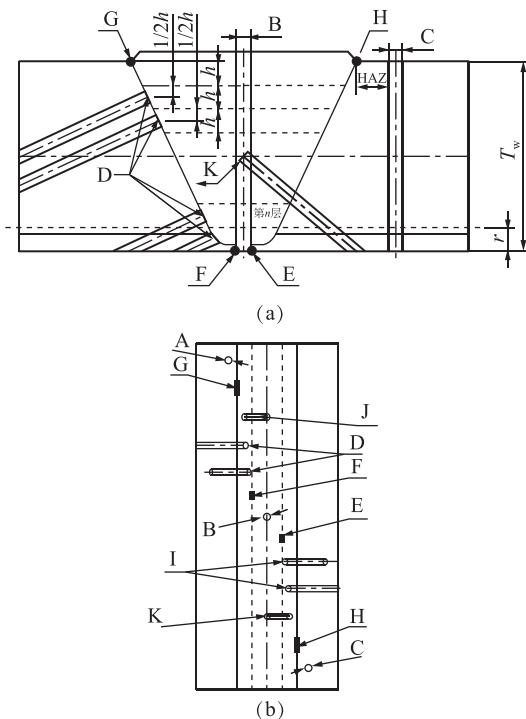


图 10.1.5 对比试块示意图

A—上游竖通孔；B—焊缝中心竖通孔；C—下游竖通孔；D—上游平底孔；  
E—下游根部刻槽；F—上游根部刻槽；G—上游盖面刻槽；H—下游盖面刻槽；  
I—下游平底孔；J—上游体积反射体；K—下游体积反射体； $T_w$ —焊缝厚度

**10.1.6** 耦合剂的选择按照本规范第 9.1.6 条的规定进行。

**10.1.7** 设备校准和检查应符合本规范第 9.1.7 条的规定。

**10.1.8** 使用相控阵探头时还应进行楔块校准，校准要求应符合本规范第 9.1.8 条的规定。

## 10.2 检测工艺文件

**10.2.1** 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

1 工艺规程应符合国家现行标准《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》NB/T 47013.1 的要求，且应符合表 10.2.1 的规定。

2 相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。工艺规程的具体内容应符合下列规定。

表 10.2.1 超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容
1	被检件类型
2	检测面要求
3	检测技术
4	楔块尺寸及角度
5	检测仪器类型
6	探头类型及参数，包括阵元高度和宽度、间隙、数量等
7	聚焦范围，包括深度、声程等
8	各分区检测的声束角度及波型，包括横波、纵波等； 探头标称频率、晶片尺寸和晶片形状； 相控阵探头的晶片分布尺寸，包括激发阵元数量、激发孔径长度和宽度等
9	耦合剂类型
10	试块及校准方法
11	扫查方式及扫查范围

续表 10.2.1

序号	相关因素的内容
12	电子扫描和成像
13	附加检测及要求
14	缺欠定量方法
15	计算机数据采集, 自动报警和记录装置
16	人员资格要求, 检测报告要求
17	检测数据的分析和解释
18	验收级别和质量等级

**10.2.2** 应根据工艺规程的内容及被检工件的检测要求编制操作指导书, 其内容除应符合国家现行标准《承压设备无损检测 第1部分: 通用要求》NB/T 47013.1 的有关规定外, 还应包括:

- 1 检测技术要求。
  - 2 检测设备器材的名称和规格型号, 工作性能检查的项目、时机和性能指标等。
  - 3 检测范围、检测分区的设置、检测覆盖区域、探头及楔块的参数设置、扫查方法及扫描类型、扫查面准备、探头位置、检测系统的设置和校准方法等检测工艺参数。
- 10.2.3** 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证, 工艺验证应在模拟试块上进行, 验证结果应能清晰地显示出模拟试块中所有的缺欠。模拟试块规格、型号及制作应符合本规范附录 B 的规定。

### 10.3 检测准备

**10.3.1** 检测前应标明扫查零点及扫查方向。

**10.3.2** 应采用实际测定的材料声速修正相控阵聚焦法则、相控

阵扫描或全聚焦成像和声束定位读数。声速测定方法应符合本规范附录 C 的规定。

### 10.3.3 系统分区通道设置应符合下列规定：

1 采用非相控阵系统检测时，应将探头对准试块对应分区的反射体，调整探头和焊缝中心间距，调整增益，将最大回波调整为 80% 满屏高 (FSH)，作为参考灵敏度。分区通道的检测范围应包括对侧热影响区，阀门起点应在焊缝中心线前至少 2mm，阀门终点应超过熔合线至少 7mm。

2 采用相控阵系统检测时，应固定探头位置，将探头对准试块对应分区的反射体，调整不同通道的聚焦法则，调整增益，将最大回波调整为 80% 满屏高 (FSH)，作为参考灵敏度。分区通道的检测范围应包括对侧热影响区，阀门起点应在焊缝中心线前至少 2mm，阀门终点应超过熔合线至少 7mm。

3 应配置体积通道检测探头或设置聚焦法则，检测体积型反射体。调整不同通道的聚焦法则，调整增益，将最大回波调整为 80% 满屏高 (FSH) 并增加 0dB ~ 8dB，作为参考灵敏度。体积通道的检测范围应包括对侧热影响区，阀门起点应在焊缝中心线前至少 2mm，阀门终点应超过熔合线至少 5mm。

### 10.3.4 系统其他设置应符合下列规定：

- 1 检测系统应包含 C 扫、D 扫、带状图显示。
- 2 扫查编码器校准距离不应小于 500mm 或管周长的 3/4。显示记录和实际位移之间的偏差不应超过 2%。应同时记录扫查位置和检测数据。
- 3 扫查器速度不应超过 150mm/s。
- 4 系统检测数据记录的步进量不应大于 1mm。
- 5 每个探头应设置耦合通道监视耦合状况。可采用零度波束垂直入射到母材或试块底面，将最大波幅调整到满屏高的 80% 作为耦合监视灵敏度，耦合监视通道阀门电平应设置为满屏高的 20%。

## 10.4 系统性能校验和检测

**10.4.1** 应在系统设置后、现场检测前和现场检测过程中每隔 10 道焊缝或连续工作 2h 后对系统进行校验，两者以时间短者为准。

**10.4.2** 系统性能校验结果应符合下列规定：

1 主反射体对应检测通道的最大信号幅度和该区域噪声高度的差值不应小于 16dB。

2 主反射体最大幅度处的横向位置与对比试块位置偏差不应大于 1mm。

3 主反射体与对比试块的周向位置偏差不应大于 5mm。

4 焊缝两侧的探头应至少能发现中心通孔和对侧通孔的反射信号。

5 主反射体与设置时的回波幅度差不应大于 2dB。当幅度差值大于 +2dB 时，应对检测结果重新评定。当幅度差值小于 -2dB 时，应对本次校验的焊缝重新进行检测。

6 主反射体对相邻分区反射体的信号幅度范围应在 12% ~ 40%。

**10.4.3** 当耦合监视通道显示的耦合不良超过 3mm 时应重新检测。

**10.4.4** 检测应符合本规范第 9.5 节的规定，返修焊缝应增加其他检测方法。

## 10.5 数 据 解 释

**10.5.1** 当反射波幅高于或等于 20% 满屏幕波高时，应进行记录。

**10.5.2** A 扫通道指示幅度高于 40% 的长度应作为缺欠的测量长度，体积通道指示幅度高于 20% 的长度应作为缺欠的测量长度。

**10.5.3** 应以检测到缺欠信号的最深分区深度为缺欠深度。

**10.5.4** 缺欠自身高度的测定应符合下列规定：

1 当只有一个通道检测到缺欠响应时，应采用当量法确定缺欠自身高度。

2 当只有相邻两个分区检测到同一缺欠响应，应以当量法

分别确定缺欠自身高度，以两个自身高度的和作为缺欠高度。

3 当有多个相邻通道检测到同一缺欠响应时，缺欠高度以相邻通道数量减 2 的差乘以分区高度表示。

**10.5.5** 多个缺欠的干涉测定应符合本规范第 9.6.5 条的规定。

## **10.6 检测记录和报告**

**10.6.1** 检测记录和报告应符合本规范第 9.7 节的规定。

**10.6.2** 当使用常规探头时，检测记录和报告应包括探头尺寸、聚焦深度、超声波型等。

## 11 其他检测方法

### 11.0.1 磁粉检测应符合下列规定：

- 1 检测方法符合国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 的有关规定。
- 2 应使用交流磁轭。

### 11.0.2 渗透检测应符合下列规定：

- 1 检测方法符合国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 的有关规定。
- 2 渗透检测剂的硫和卤化物总含量应小于 1%。

### 11.0.3 射线检测应符合下列规定：

- 1 检测方法符合国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 的有关规定。
- 2 射线源应采用 X 射线，胶片应采用 C4 类或更高类别。
- 3 线型像质计置于胶片侧时，其灵敏度等级应符合表 11.0.3 的规定。

表 11.0.3 线型像质计的灵敏度

管子壁厚 $t$ (mm)	IQI 线直径 (mm)
$t < 6$	0.10
$6 \leq t < 8$	0.125
$8 \leq t < 10$	0.16
$10 \leq t < 16$	0.20
$16 \leq t < 25$	0.25
$25 \leq t < 32$	0.32
$32 \leq t < 40$	0.40
$40 \leq t < 50$	0.50

## 12 质量验收

### 12.1 目视检测

**12.1.1** 靠近焊缝的母材表面损伤应修磨到与相邻母材圆滑过渡，且修磨深度不应超过 1mm，剩余壁厚不应小于允许壁厚的最小值。

**12.1.2** 焊缝与母材搭接不应超过 3mm，焊道与焊道间的搭接不应小于 30% 焊道宽。

**12.1.3** 焊缝表面不应有裂纹，弧坑裂纹应修磨去除并采用 PT 检测合格，其他焊缝表面裂纹应做割口处理。

**12.1.4** 根部内凹长度应使用激光扫描仪进行测量，当不能使用激光扫描仪测量时，报请业主或业主代表同意后，可使用影像对比图测定根部内凹陷。

**12.1.5** 目视检测验收标准应符合表 12.1.5 的规定。

表 12.1.5 目视检测验收标准

指示类型	验收标准
外观	焊缝表面应整齐并与母材圆滑过渡，并且不应超过母材坡口边沿 3.0mm，SAW 焊缝不超过为 5.0mm。 角焊缝应符合规定尺寸，并且形状规则。 根焊数码相机成像允许接受的氧化色为银白色或干草黄
盖面余高	$1.0\text{mm} \leq \text{余高} \leq 3.0\text{mm}$
根部焊道余高	$0.5\text{mm} \leq \text{余高} \leq 3.0\text{mm}$
盖面焊道凹陷	不允许
根部凹陷	不允许
单面焊双面成形环焊缝根部单侧错边量	最大 0.5mm

续表 12.1.5

指示类型	验收标准		
双面焊缝焊道错边量	$t \leq 20\text{mm}$ , 错边量 $\leq 1.5\text{mm}$ ; $t > 20\text{mm}$ , 错边量 $\leq 3.0\text{mm}$		
焊趾相对直线的偏差	最大 $0.2t$ , 且小于 $2.0\text{mm}$		
咬边	单个咬边		任何 $300\text{mm}$ 长度的焊缝累计的咬边长度
	深度 $d$ (mm)	允许长度 (mm)	
	$d > 0.5$	不允许	不允许
	$0.5 \geq d > 0.2$	100mm	100mm
	$d < 0.2$	任意长度	任意长度
裂纹、电弧烧伤、启弧/收弧弧坑/不良重新起弧、表面气孔	不允许		
未焊透/未熔合	不允许		
规律性缺欠	即使任何单个缺欠尺寸满足上述要求, 沿焊缝长度有规则出现此类缺欠应被视为缺陷		
烧穿	不允许		

注 : 1  $t$  为管子壁厚, 包括 CRA 覆层或内衬里。

2 两个缺欠间距离小于两个缺欠中较大缺欠尺寸应作为一个缺欠。

3 制管焊缝和环焊缝的交叉焊缝中的缺欠应视为缺陷。

4 发现裂纹的焊口应割除, 弧坑裂纹可修磨处理。

5 根部咬边与表面几何形状应通过照相机和激光根部扫描检测。

## 12.2 相控阵超声和自动超声检测

**12.2.1** 相邻体积缺欠间距小于最小缺欠长径应视为同一缺欠。

**12.2.2** 面积型缺欠与焊缝表面的距离小于缺欠自身高度的  $1/2$  时, 缺欠顶部距焊缝内外表面的距离, 应计入缺欠高度, 并视为表面缺欠。

**12.2.3** 验收标准应符合表 12.2.3 的规定。

表 12.2.3 验收标准

缺欠位置	验收标准
全部焊缝	不允许存在裂纹类及横向缺欠显示
根部, 距离焊缝表面 3mm, 覆层 1.5mm 以内	缺欠高度: 最高 1mm, 且不超过 CRA 层的 1/3 ; 缺欠长度: 不超过 $t$ , 且不超过 25mm
外表面, 距离外表面 大于 0.5 倍的缺欠高 度以内	缺欠高度: 不超过一层焊道厚度或 $0.2t$ , 且不超过 3mm ; 缺欠长度: 不超过 $t$ , 且不超过 25mm
埋藏缺陷, 距离焊缝 内表面不少于 3mm, 覆层以上 1.5mm	缺欠高度: 不超过焊道高度或 $0.2t$ 中较小者, 且最高不超 过 3mm ; 缺欠长度: 不超过 $2t$ , 且不超过 50mm
体积通道回波高度超 过 20% 的满屏高度 的气孔	对于单层焊道, 不应超过焊缝周长的 1.5%, 对于多层焊道, 在 300mm 焊缝长度范围内, 不应超过 $3t$ 单个气孔应按面状缺欠评估

注: 表面开口缺欠按照本规范第 12.1 节的规定进行评定。

### 12.3 磁粉检测和渗透检测

**12.3.1** 磁粉检测应按国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 的规定进行评定。

**12.3.2** 渗透检测应按国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 的规定进行评定。

### 12.4 射线检测

**12.4.1** 未焊透评定应符合下列规定:

- 1 根部未焊透应评为缺陷。
- 2 中间未焊透符合以下任一条件时应评为缺陷:
  - (1) 单个长度大于壁厚或大于 25mm。
  - (2) 在焊缝任何 300mm 连续长度中, 缺欠累计长度超 过 50mm。
  - (3) 缺欠黑度大于较薄侧母材黑度。

**12.4.2** 未熔合评定应符合下列规定：

- 1 表面未熔合应评为缺陷。
- 2 层间未熔合符合以下任一条件时应评为缺陷：
  - (1) 单个长度大于壁厚或大于 25mm。
  - (2) 焊缝任何 300mm 连续长度中，缺欠累计长度大于 50mm。
  - (3) 缺欠黑度大于较薄侧母材黑度。
  - (4) 缺欠累计长度超过焊缝长度的 8%。

**12.4.3** 烧穿和影像黑度超过较薄侧母材影像黑度的凹坑应评为缺陷。

**12.4.4** 夹渣符合以下任一条件时应评为缺陷：

- 1 根部焊道或者过渡焊焊道中的夹渣。
- 2 任何 300mm 范围内夹渣累计长度超过 50mm。
- 3 夹渣宽度超过 1.5mm。

**12.4.5** 气孔符合以下任一条件时应评为缺陷：

- 1 根焊与过渡层中的任何气孔。
- 2 单个或分散气孔 (P) 符合以下任一条件时：
  - (1) 单个气孔的长径超过 3mm。
  - (2) 单个气孔的长径超过相邻较薄管公称壁厚的 25%。
  - (3) 密集气孔的密集区长度超过 12mm，密集区内的单个气孔长径大于 2mm。
  - (4) 焊缝长度 150mm 范围内，链状气孔长度大于焊缝宽度的 2 倍。

**12.4.6** 任何类型的裂纹都应判定为缺陷。

**12.4.7** 咬边应按照本规范第 12.1 节的规定执行。

**12.4.8** 除咬边外，当累计缺欠符合以下任一条件时，则应视为缺陷：

- 1 在焊缝任何 300mm 的连续长度中，累计缺欠长度超过 50mm。
- 2 累计缺欠长度超过焊缝长度的 8%。

## 附录 A 检 测 报 告

**A.0.1** 间接目视检测报告宜符合表 A.0.1 的格式。

**表 A.0.1 管道环焊缝根焊内表面激光扫描与数码相机成像检测报告**

共   页 第   页

单位工程名称				
施工单位				
工程编号		桩号 / 线位号		
报告编号		管子规格		
材质		焊接方法		
坡口型式		表面状态		
热处理状态		设备型号		
基本设置	图像重叠数		激光扫描数	
数码相机成像设置				
彩色设置	红	绿	蓝	白
图像分辨率		曝光时间		
增益量		照度		

续表 A.0.1

图像格式			
激光扫描设置			
曝光时间		检测范围	
激光像素		扫描分辨率	
扫描宽度		旋转速度	
检测记录			
光标从根焊中心线到根焊边界的距离			
错边		根焊内凹	
根焊余高		根焊未焊透	
烧穿		裂纹	
检测数量		返修数量	
检测部位示意图			
备注：			
结论：			
检测人员： 级别： 年      月      日	审核人员： 级别： 年      月      日	检测单位（盖章）	

**A.0.2 超声检测报告宜符合表 A.0.2-1 和表 A.0.2-2 的格式。**

**表 A.0.2-1 超声检测报告**

共   页   第   页

单位工程名称					
施工单位					
工程编号			桩号 / 线位号		
检测方法			操作指导书编号		
报告编号			管子规格		
材质			焊接方法		
坡口型式			表面状态		
热处理状态			设备型号		
探头型号			试块类型		
检测标准			检测灵敏度		
扫查方式			耦合剂		
表面补偿					
检测数量		返修数量		一次合格率	
检测部位示意图					
备注 :					
结论 :					
检测人员 :		审核人员 :	检测单位 (盖章)		
级别 :		级别 :			
年   月   日		年   月   日	年   月   日		

表 A.0.2-2 超声检测报告（附页）

共 页 第 页

**A.0.3 磁粉检测报告宜符合表 A.0.3-1 和表 A.0.3-2 的格式。**

**表 A.0.3-1 磁粉检测报告**

共   页   第   页

单位工程名称					
施工单位					
工程编号			桩号 / 线位号		
报告编号			管子规格		
材质			焊接方法		
坡口型式			表面状态		
热处理状态			检测时机		
检测标准					
设备型号			黑光灯型号		
磁极间距			提升力		
通电时间			灵敏度试片		
磁化电流			磁粉施加方法		
磁粉类型			磁粉浓度		
检测数量		返修数量		一次合格率	
检测部位示意图					
备注 :					
结论 :					
检测人员 :		审核人员 :		检测单位 (盖章)	
级别 :		级别 :			
年   月   日		年   月   日		年   月   日	

表 A.0.3-2 磁粉检测报告（附页）

共 页 第 页

**A.0.4 渗透检测报告宜符合表 A.0.4-1 和表 A.0.4-2 的格式。**

**表 A.0.4-1 渗透检测报告**

共   页   第   页

单位工程名称					
施工单位					
工程编号			桩号 / 线位号		
报告编号			管子规格		
材质			焊接方法		
坡口型式			表面状态		
热处理状态			检测时机		
检测标准					
试块			清洗剂		
渗透剂			显像剂		
渗透剂施加方法			渗透时间		
显像剂施加方法			显像时间		
检测数量		返修数量		一次合格率	
检测部位示意图					
备注 :					
结论 :					
检测人员 :		审核人员 :		检测单位 (盖章)	
级别 :		级别 :			
年   月   日		年   月   日		年   月   日	

表 A.0.4-2 渗透检测报告（附页）

共 页 第 页

**A.0.5 射线检测报告宜符合表 A.0.5-1 和表 A.0.5-2 的格式。**

**表 A.0.5-1 射线检测报告**

共   页   第   页

单位工程名称				
施工单位				
工程编号		桩号 / 线位号		
报告编号		管子规格		
材质		焊接方法		
坡口型式		表面状态		
热处理状态		透照方式		
设备型号		焦点尺寸		
管电压		管电流		
焦距		曝光时间		
胶片牌号		胶片类型		
像质计型号		像质计位置		
要求像质指数		增感屏		
检测标准		合格级别		
显影剂		定影剂		
胶片处理方式		显影时间		
定影时间		底片黑度范围		
检测数量	返修数量		一次合格率	
检测部位示意图				
备注 :				
结论 :				
检测人员 :		审核人员 :	检测单位 (盖章)	
级别 :		级别 :		
年   月   日		年   月   日	年   月   日	

表 A.0.5-2 射线检测报告（附页）

共 页 第 页

## 附录 B 相控阵超声检测模拟试块制作

**B.0.1** 模拟试块宜为被检测管道的一段，也可采用声学性能相同或相近的材料。试块表面状态宜与现场焊缝母材的状态接近，焊接坡口型式与实际检测焊缝应相同或相近，坡口角度相差不应大于 $5^{\circ}$ 。

**B.0.2** 模拟试块的厚度应为被检测管道壁厚的 $0.9 \sim 1.2$ 倍，且模拟试块的厚度和被检管道壁厚最大差值不应大于 $5\text{mm}$ 。

**B.0.3** 模拟试块的曲率应符合下列规定：

1 当管道公称直径小于 $150\text{mm}$ 时，工件曲率半径应为模拟试块曲率半径的 $0.9 \sim 1.1$ 倍。

2 当管道公称直径大于或等于 $150\text{mm}$ 时，工件曲率半径应为模拟试块曲率半径的 $0.9 \sim 1.5$ 倍。

3 当管道公称直径大于 $500\text{mm}$ 时，可不考虑曲率的影响。

**B.0.4** 模拟试块中的反射体应包括机械加工的人工反射体和焊接缺欠，反射体和焊接缺欠的布局应覆盖工件厚度。焊接缺欠和人工反射体的设置宜符合下列规定：

1 在焊缝上下表面设置矩形槽，矩形槽的位置距离坡口边缘不宜小于 $5\text{mm}$ ，矩形槽长度不宜小于 $10\text{mm}$ ，宽度宜为 $1\text{mm}$ ，上表面刻槽高度宜为 $2\text{mm}$ ，下表面刻槽高度宜为 $1\text{mm}$ 。

2 在上游和下游坡口面上分别设置坡口未熔合，分别位于填充区和根焊过渡区，长度不宜小于 $10\text{mm}$ ，高度宜为 $1\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 。

3 沿焊缝中心线设置 $\phi 2\text{mm}$ 横孔或条渣，长度不宜小于 $10\text{mm}$ ，深度为 $1/2T_w$ 。

4 在焊缝根部中心制作裂纹缺欠，高度不宜大于 $3\text{mm}$ ，长度不宜小于 $10\text{mm}$ 。

5 模拟试块中的焊接缺欠、人工反射体的间距不宜小于10mm。

6 若1块模拟试块中未完全包含上述缺欠，可由多块同范围的模拟试块组成。

**B.0.5** 使用过程中，每个月应对模拟试块的表面腐蚀与机械损伤进行1次检查，试块表面不应有影响扫查的腐蚀和机械损伤。

## 附录 C 材料声速的测定

**C.0.1** 宜使用和检测时频率相同的超声波探头，晶片尺寸宜为 6mm ~ 10mm，带宽应大于或等于 10MHz。

**C.0.2** 宜使用超声脉冲传输时间测量分辨率 10ns、精度 25ns 的超声仪器。

**C.0.3** 测量样品机械尺寸的装置宜具有 0.1mm 的精度。

**C.0.4** 宜使用易擦除的胶或高黏度耦合剂。

**C.0.5** 测量样品应为被检管道焊缝切下的一段，并符合下列规定：

1 测量样品的长度和宽度应大于或等于 50mm，厚度与被检管道焊缝相同。

2 应至少加工 3 对平行表面（图 C.0.5）用于测量：1 对轴向表面，1 对径向表面及 1 对和轴向垂直并与径向夹 20° 的平行表面。

3 各对平行面之间的距离应大于或等于 20mm。除表面垂直方向尺寸受到管壁厚度限制外，各平行表面对之间的测量厚度应大于或等于 10mm。当需要更多声束传播方向上的声速时，可加工其他角度的平行表面对。

4 加工表面粗糙度应小于或等于 20  $\mu\text{m}$ 。

**C.0.6** 探头位于测量位置，以相应的平行表面为反射体，测量超声脉冲传输时间和机械测量的超声脉冲传输距离，声速为传输距离除以传输时间的计算值，并应符合下列规定：

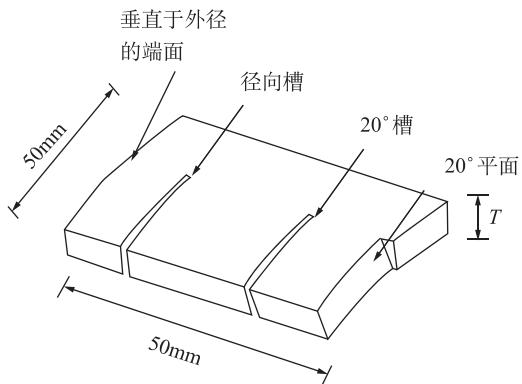
1 应测量一次底波和二次底波之间的脉冲传输时间。

2 测量材料声速时应使用高信噪比模式。

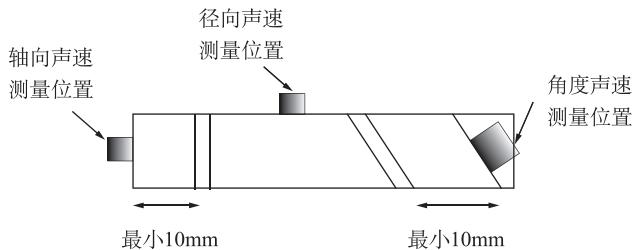
3 每个测量应至少读数 3 次，取平均值。

**C.0.7** 宜记录读数时的温度。

**C.0.8** 确定声速的误差不应大于  $\pm 20\text{m/s}$ 。



(a) 槽深10mm~30mm



(b)

图 C.0.5 测试试样和探头放置

**C.0.9** 可采用径向平面二维极坐标同画声速分布，估算测试方向以外的其他方向的声速。

## 附录 D 声束扩散修正方法

**D.0.1** 应采用 6dB 法测量缺欠的高度，采用信号峰值测量缺欠深度位置。

**D.0.2** 宜采用缺欠深度对应的对比试块检测分区的横孔反射体进行修正，应采用 -6dB 法测量该反射体的尺寸。

**D.0.3** 当缺欠的测量高度大于反射体测量高度时，修正后的缺欠高度应按下式计算：

$$h_2 = h - h_1 + 2 \quad (\text{D.0.3})$$

式中  $h$ ——缺欠的测量高度 (mm)；

$h_1$ ——反射体的测量高度 (mm)；

$h_2$ ——修正后的缺欠高度 (mm)。

## 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

- 《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》 GB/T 229
- 《不锈钢焊条》 GB/T 983
- 《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》 GB/T 1954
- 《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》 GB/T 2652
- 《焊接接头硬度试验方法》 GB/T 2654
- 《外壳防护等级 (IP 代码)》 GB/T 4208
- 《无损检测 人员资格鉴定与认证》 GB/T 9445
- 《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》 GB/T 10125
- 《镍及镍合金焊条》 GB/T 13814
- 《耐蚀合金牌号》 GB/T 15007
- 《镍及镍合金焊丝》 GB/T 15620
- 《焊缝 工作位置 倾角和转角的定义》 GB/T 16672
- 《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》 GB/T 20878
- 《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料》  
GB/T 20972
- 《金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法》 GB/T 21143
- 《金属材料焊缝破坏性试验 焊缝宏观和微观检验》 GB/T  
26955
- 《无损检测 超声检测设备的性能与检验》 GB/T 27664
- 《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》 GB/T  
29302
- 《不锈钢焊丝和焊带》 GB/T 29713
- 《钢质管道焊接及验收》 GB/T 31032
- 《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》 JB/T 11731
- 《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》 NB/T 47013.1

《石油天然气钢质管道无损检测》 SY/T 4109  
《特种设备焊接操作人员考核细则》 TSG Z6002

中华人民共和国石油天然气行业标准

# 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—2020**

条文说明

## 制 定 说 明

《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—2020，经国家能源局2020年10月23日以第5号公告批准发布，2021年2月1日起实施。

国内复合管施工无合适的标准、规范可指导施工、检测，复合管焊接与检测的问题急需解决。由于复合管的特殊性，常规超声波检测不适于双金属的使用，因此本规范包括焊接及无损检测两个部分。

本规范制定过程中，编制组研究了复合管近四十年的全球使用情况，多次组织国内国际会议，深入具有代表性的施工现 场，召开技术座谈会，同时参考了国内外相关行业的先进技术 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、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。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	104
2	术语和符号	105
2.1	术语	105
3	基本规定	106
3.1	焊接及无损检测	106
3.2	设备、工具	107
3.3	材料	108
4	焊接工艺评定	110
4.1	一般规定	110
4.2	检验、试验与评定	111
4.3	基本要素	111
5	焊接工艺规程	112
5.1	一般规定	112
5.2	规程内容	112
6	焊工考试	113
6.2	上岗考试	113
7	生产焊接	114
7.1	一般规定	114
7.2	管子切割与坡口加工	114
7.3	管口组对	114
7.4	预热与焊后热处理	114
7.5	焊接	115
7.6	焊缝检测	115
7.7	焊缝返修	115
8	目视检测	117

8.1 一般规定 .....	117
8.3 检测准备 .....	117
8.4 直接目视检测 .....	117
9 相控阵超声检测 .....	118
9.1 检测设备和器材 .....	118
9.2 检测工艺文件 .....	119
9.3 检测准备 .....	119
9.5 检测 .....	120
9.6 数据解释 .....	120
9.7 检测记录和报告 .....	121
10 自动超声检测 .....	122
10.1 检测设备和器材 .....	122
10.3 检测准备 .....	122
10.4 系统性能校验和检测 .....	122
10.5 数据解释 .....	123
12 质量验收 .....	124
12.2 相控阵超声和自动超声检测 .....	124

# 1 总 则

**1.0.1** 本条说明了编制本规范的目的。

**1.0.2** 本条说明了本规范的适用范围，强调本规范不适用于带压作业。

**1.0.3** 复合管的焊接和无损检测除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。由于复合管的特殊性，普通超声波检测手段不适用，强调本规范的焊接与无损检测规定应联合使用，不可割裂。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

现行国家标准《焊接术语》GB/T 3375 中所确立的相应术语适用于本规范。此外，本规范规定了 14 个特定术语。

**2.1.1 ~ 2.1.10** 这些术语是从焊接的角度赋予其含义的。

**2.1.11 ~ 2.1.14** 这些术语是从检测的角度赋予其含义的。

### 3 基本规定

#### 3.1 焊接及无损检测

##### 3.1.2 无损检测人员要求如下：

1 为控制复合管无损检测人员能力水平，要求无损检测人员需要一定的检测经验，设定不少于3年的工作经验。

2 为保障检测结果的准确性，明确检测单位审核人员的资质级别应达到UT-Ⅲ级资质。

4, 5 为保证复合管无损检测人员能力水平，业主可要求对无损检测人员进行能力评价。

3.1.3 本条第2款考虑了造成腐蚀的主要因素，焊接工艺评定中验证的焊接接头耐腐蚀能力应高于工程设计要求。在编制焊接工艺规程时，应考虑施工条件造成的焊接接头应力差异对焊缝耐腐蚀能力的影响。

3.1.4 由于复合管与常规纯材管在无损检测方式上有较大区别，在生产焊接或工艺评定上应明确无损检测工艺的一致性。

##### 3.1.6 焊接方法要求如下：

2 P-GTAW 和 P-GMAW 是由焊接电源向电弧提供按一定规律变化的脉冲电流进行焊接的方法，在高镍合金复合管焊接中使用可降低热输入，提高耐腐蚀能力。

4 ~ 7 为保证质量，推荐了几种典型的对接接头形式。

3.1.7 经过固溶处理的奥氏体不锈钢，在500℃ ~ 850℃加热时，铬将从固溶体中以碳化铬的形式析出，造成奥氏体不锈钢的晶界腐蚀敏感性。对于双相不锈钢，由于存在475℃脆化现象，故不宜在300℃ ~ 600℃长期加热。热处理温度偏差达到最低敏化温度时，会对复合管应力分布和CRA耐腐蚀能力造成不

可逆影响，故热处理时最高温度不应超过敏化温度范围下限值。

**3.1.8** 为保证根焊耐蚀能力，规定复合管的焊接不应使用点焊方式进行管口组对。

**3.1.9** 为避免根焊氧化，规定焊缝厚度应在不小于 6mm 后方可停止背衬气保护。

**3.1.11** 为避免根焊开裂，根焊焊道最短长度不应少于 50mm。

**3.1.12** 为避免缺陷累积，规定起弧和收弧位置应错开且不应小于 20mm，起弧与收弧位置应与制管焊缝错开不少于 30mm。

**3.1.13** 弧坑裂纹属于热裂纹，在焊接过程中可立即发现，且该类裂纹修磨后不会对焊接接头安全性造成系统性危害。根焊与过渡层 6mm 厚度范围内进行返修时会影响耐腐蚀能力，故应割除。

## 3.2 设备、工具

**3.2.1** 为保证测量准确性，氧含量测定仪等计量器具应经计量检定合格并在有效期内，使用多组分焊接保护气或背衬保护气时应配备覆盖全部组分的气体成分分析仪。

**3.2.2** 为保证评定、考试和现场焊接的一致性，规定焊接工艺评定、焊工考试所用设备、工具应与生产焊接一致。

**3.2.3** 为保证设备在极端环境下能正常施工，对设备、仪器进行相关要求。

**3.2.5** 为保证焊接参数的操作性和可追溯性，自动焊接设备应具备与焊接参数记录系统连接的功能，焊接参数记录系统应具有记录与热输入相关焊接参数的能力。

**3.2.7** 为防止金属污染，规定搬运、加工、组对、检测和测量所用工具与管材 CRA 层接触部分应为不锈钢材质。

**3.2.8** 为保证根焊与填充、盖面角磨机不被混用，防止损伤、污染管子、管件，以避免 CRA 层和 CRA 焊缝被碳钢及低合金钢污染，故做本条规定。

### 3.3 材料

**3.3.3** 为保证管口组对内平齐，故做本条规定。

**3.3.4** 为保证预制坡口不被损伤、污染，需要对长期暴露的预制坡口进行保护。

**3.3.5** 为保证堆焊效果，确保 CRA 的完全隔离，堆焊需要两层以上。

**3.3.6** 为保证焊接效果一致性，故做本条规定。

**3.3.7** 填充金属材料和焊剂的选用应符合下列规定：

1 为保证焊缝耐腐蚀性，填充材料中 Cr、Ni、Mo、Cu 含量不应低于管子（管件）CRA 层或 CRA 纯材中含量，C、Si、S、P 含量不应高于 CRA 层中含量。

2 埋弧焊剂同时起到造渣保护和冶金作用，使用后的焊剂受到杂质污染和高温氧化物增多，重复使用易造成冶金性能改变和焊缝夹杂物增多。

5 为防止氢致裂纹，双相不锈钢所用焊接材料应满足熔覆金属扩散氢含量不超过 5mL/100g。

**3.3.8** 填充金属材料和焊剂的存储、运输应符合下列规定：

1 为防止金属污染，CRA 焊接材料应与其他焊接材料分开存放，使用和管理应按照产品说明书要求进行。

2 不同等级、品牌和批号的焊材应单独存放，便于储存、保管和领发。

4 为便于材料追溯，防止领用错误，焊丝盘或盒应存储在制造商提供的原厂箱或桶中。

5 为防止材料误用，当填充金属材料和焊剂不能辨识、破损、变质或没有可追溯性时不应使用。

**3.3.9** 本条对于焊接气体和焊接背面保护气体提出了要求，对于耐腐蚀合金焊接，保护气和背衬气的质量直接关系到 CRA 耐腐蚀性。

1 为保证保护效果，单质气体或混合气体混合前的纯度不

应低于 99.99%。

3 为防止氢致裂纹，不应将 H<sub>2</sub> 加入低镍合金及其复合管焊接保护气体中；为防止产生有害中间相，根焊、过渡层及第一层填充焊焊接保护气中不应含 CO<sub>2</sub>。

4 实心焊丝焊接保护气应选用纯 Ar，或 Ar 与 O<sub>2</sub>、He 的混合气体，为增加熔池的流动性，其中 O<sub>2</sub> 含量不应超过 3%。He 保护时的电弧温度和能量密度相对 Ar 保护时更高，而 CRA 焊接热导率较低，保护气中 He 比例提高会明显增大焊接热输入，故不应使用纯 He 作为唯一保护气。为增加抗点蚀能力，当焊接保护气中含 2% ~ 5% 的 N<sub>2</sub> 能增加耐蚀性时，应进行焊接工艺评定。

5 为增加熔池流动性，当焊接除双相不锈钢外的其他高镍合金纯材时，焊接保护气中可添加不超过 5% 的 H<sub>2</sub>。

6 为保证保护气的保护效果和提供抗点蚀当量，当焊接双相不锈钢纯材或双向不锈钢复合管时，背衬保护气宜选用 99.99% 的 Ar 气中添加同样纯度的 2% ~ 5% N<sub>2</sub> 组成的混合气体。其他管材的焊接背衬保护气应为的 Ar 气，过渡层与填充焊道可使用 N<sub>2</sub> 作为背衬保护气。

## 4 焊接工艺评定

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 本条规定了焊接工艺评定的内容。

**4.1.2** 为保证规程的严肃性，规定相关责任人进行审核。规定预焊接工艺规程需焊接责任工程师签字批准。

**4.1.3** 为防止焊缝稀释并产生马氏体等脆硬组织，规定不应采用碳钢和低合金钢焊接材料在 CRA 层母材、过渡层焊缝和 CRA 层焊缝上施焊。

**4.1.5** 为防止 CRA 层遭受应力腐蚀，焊缝流变强度应采用超强匹配。

**4.1.7** 为保证让试件能最大限度反应现场情况，试件的焊接应模拟现场极限环境。

**4.1.12** 为排除焊接的偶然性，焊接试件应有一定的量。规定连续焊接不少于 3 道焊口，且全部焊口应外观检测和无损检测合格。

**4.1.13** 自动焊接工艺评定应符合下列规定：

1 为确保焊接工艺能够保证在现场生产条件下正常焊接，自动焊工艺评定未在生产条件下完成时，应进行生产条件下的焊接工艺认证。

2 为排除焊接的偶然性，每种焊接工艺应在生产条件下连续完成不少于 3 道焊口。

**4.1.14** 返修焊工艺评定应符合下列规定：

1 为防止热影响区与焊缝金属重复受热导致失强，返修焊坡口中心线应从被返修焊缝熔合线开始。

2 为防止返修造成 CRA 层耐腐蚀性下降和氧化，规定返

修焊工艺评定应明确返修焊缝坡口底部与 CRA 根焊内表面的距离。

3 为提高返修效率, 规定内返修应使用带视频辅助功能的全自动内焊机或在目视可及且能够进行人工修磨和焊接操作的条件下进行。

**4.1.16** 预热温度及道间温度的控制参照挪威船级社《海底管线系统规范》(Submarine pipeline systems) DNV-OS-F101 的相关规定制订。

**4.1.17** 为防止冷却介质和焊缝接触产生有害化合物, 加速冷却不应使冷却介质接触焊缝与热影响区。

**4.1.18** 背衬气保护可采用两种方式: 直吹法, 在焊缝全周向采用均匀分布的多喷嘴排气将焊缝及热影响区笼罩在保护气环境中; 置换法, 将管道内部焊缝两侧一段距离封堵后, 从较低位置送气, 较高位置排气, 利用气体密度不同将空气排出焊接区域。

## 4.2 检验、试验与评定

**4.2.4** 应确保焊缝在受到拉应力时不出现应力腐蚀开裂, 故对试验结果提出此要求。

**4.2.12** 腐蚀检验试样取件应在焊接接头 CRA 层, 即面向腐蚀介质一侧, 且应保留焊缝原始内表面。对于每一个焊接工艺, 每一次试验都应包括至少 3 个有效试样的平行试验。对于加载拉应力的应力腐蚀试验, 试验报告还应包括加载记录曲线。

## 4.3 基本要素

**4.3.16** 内对口器和外对口器组对会对复合管根焊流程产生影响, 对口器的变化对保护气效果、组对应力产生影响, 故提出此要求。

## 5 焊接工艺规程

### 5.1 一般规定

**5.1.3** 背衬气保护方式对焊接工艺措施、流程和质量控制产生较大的影响，每个焊接工艺规程应专门制订专用背面保护工艺规程。

### 5.2 规程内容

**5.2.13** 为防止清理坡口时发生材料污染，故规定清理、打磨焊道时使用的工具，以及打磨材料的化学成分。

## 6 焊工考试

### 6.2 上岗考试

**6.2.3** 为确认焊工真实水平, 规定应在施工现场或模拟野外焊接条件下一次连续完成 2 道考试焊口。

# 7 生产焊接

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 现场焊接的焊工应取得相应项目的资格证和上岗证后，方可依据评定合格的焊接工艺规程进行焊接。

**7.1.5** 为防止根部焊缝受力产生缺陷，规定在未完成过渡层焊缝，或焊缝厚度少于 50% 时，不应移动管子。

## 7.2 管子切割与坡口加工

**7.2.1** 应避免使用铁基材料接触 CRA 层造成铁基材料污染。

**7.2.2** 为保证组对精度，应进行坡口加工精度控制。

**7.2.4** 为保证检测评定的一致性，现场坡口加工后的检测应由担任生产焊接检测的机构执行。

**7.2.5** 为防止杂波影响超声波评定，对采用超声波检测的环焊缝，复合管应对管端内表面不少于 50mm 进行堆焊加工，并在堆焊完成后对管端内表面 50mm 范围进行镗孔加工。为保证管道测量的平均值，应对管道四周进行均布测量。

## 7.3 管口组对

**7.3.3, 7.3.4** 为防止组对应力对焊接质量造成影响，保证 CRA 层焊接无外加强制应力，不应进行锤击或者加热进行管口组对。管线组对时应使用垫木等刚性支撑，垂直方向和水平方向都应支撑稳固。

## 7.4 预热与焊后热处理

**7.4.2** 为保证测量温度的可靠性，预热温度测量应在坡口两侧 3

点、6点、9点和12点位置进行。

**7.4.5** 因为过热后CRA层耐腐蚀能力下降，规定预热或热处理的过热焊口应割除。

## 7.5 焊 接

**7.5.1** 本条对焊接设备接地做了具体要求：

1 为保证焊接参数温度输出、反馈，防止打火，故施焊前应确保良好的地线、感应线连接。

2 为防止由于地线钳与管体接触污染CRA层，故应采用与焊接工件相同材质或同类别更高组别材质的不锈钢地线钳。

3 为避免线缆接触不良造成打火，造成电弧烧伤CRA层，故地线钳不应放置在坡口内和焊接到管道组成件上。

**7.5.3** 为保证测量数据真实性，规定根焊前应沿管子圆周均匀布四点进行剩磁测量。

## 7.6 焊 缝 检 测

**7.6.2** 无损检测应符合下列规定：

2 对设备无法进入的焊口，为保证焊缝成形和氧化程度控制，应在业主或者业主代表见证下，通过观察窗，采用强光手电等辅助器材进行内表面成形与氧化程度检测。

5 为保证返修质量，返修焊缝除采用原检测方法进行检测，还应增加RT和MT或PT。

6 为保证焊接质量，防止误判，对检测结果有疑问的部位应补充其他方法进行检测。

## 7.7 焊 缝 返 修

**7.7.2** 为加强返修质量控制，严肃返修纪律，规定返修或割除应获得业主或业主代表的单独授权确定。

**7.7.3** 为保证根部返修质量，规定了返修条款，不具备条件的

情况不允许根部返修。

**7.7.5** 为防止碳渗入，规定不应采用碳弧气刨。

**7.7.6** 为防止返修造成 CRA 层耐腐蚀性下降和氧化，规定缺陷清除后应保证最终打磨形成的坡口凹槽底部和管子内表面之间厚度不应少于 6mm。

**7.7.7** 为防止 CRA 层污染，内部返修焊接前应使用不含氯离子的无害溶剂清除坡口 PT 检测残留物。为保证 CRA 层隔离效果，过渡层焊接完成后，增加 1 层 CRA 焊接。

**7.7.9** 为保证焊接质量，规定当复合管为机械复合管且管端采用封焊工艺时，割除的环焊缝应包括受损封焊焊缝在内的整个接头，并按封焊焊接工艺规程重新进行封焊。

**7.7.10** 为防止返修造成 CRA 层耐腐蚀性下降和氧化，规定一次返修后仍然有非裂纹类缺陷，且缺陷长度超过 50mm，缺陷清除后坡口底部距焊缝内表面的距离小于 8mm，不允许二次返修。

## 8 目视检测

目视检测中激光扫描主要用于根焊内表面成形检测，主要检测错边、未焊透、余高、内凹、烧穿、裂纹，激光扫描结果应符合本规范第 12.1.5 条的规定，且不应有任何裂纹。数码相机成像主要用于根焊氧化程度检测，且能接受的根焊内表面颜色为银白色或干草黄。

### 8.1 一般规定

- 8.1.2** 本条要求目视检测人员具备一定的自身防护能力。  
**8.1.3** 目视检测人员视力经矫正后不得低于 5.0。

### 8.3 检测准备

- 8.3.2** 本条要求应按照厂家规定调试驱动爬行器、激光扫描与数码相机成像设备。

### 8.4 直接目视检测

- 8.4.5** 当被检表面光照度高于 500lx 时，仍无法达到足够照明条件检测需求时，可将光照度调整至 1000lx。

## 9 相控阵超声检测

相控阵超声检测相关要求参考《工艺管道》(Process piping) ASME B31.3。

### 9.1 检测设备和器材

**9.1.1** 本条要求所使用设备的质量合格，性能符合基本要求。

**9.1.2** 本条规定了相控阵系统基本技术指标最低要求：

2 通道的设置应满足双晶纵波检测的相控阵配置要求。相控阵激发孔径越大，方向控制和聚焦能力越强，至少 32 个晶片的发射或接受孔径能实现足够横向分辨率和测量精度，对 CRA 焊缝考虑采用双晶检测技术，因此本款要求相控阵系统应具备总数 64 以上的通道。

3 数字化信号采样率按国家现行标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 的要求一般波形采集只需要 5 倍，本条对相控阵技术时间分辨率应更高。

4 对多组的扇扫、线扫或全聚焦成像检测和记录功能的要求是基于连续声束扫描成像或全聚焦成像技术。

**9.1.3** 本条要求相控阵探头频率为 1.5MHz ~ 5MHz，由于 CRA 焊缝的晶粒粗大，对高频超声波的衰减更大，建议采用比常规检测更低的探头频率。

**9.1.4** 扫查装置应至少支持在焊缝两侧各装 1 个相控阵探头，一次扫查完成焊缝检测。

**9.1.5** 对比试块采用可扫查焊缝的横孔对比试块设置检测系统和验证设置的稳定性。

CRA 焊缝材料应代表被检焊缝焊接工艺，不同焊接材料的

超声特性差异较大，严重影响检测能力；对比试块应从两侧都能安装扫查绑带轨道；超声检测区域没有干扰信号。

4 对比试块适用的被检焊缝规格尺寸应符合国家现行标准《承压设备无损检测》NB/T 47013 的有关规定，壁厚变化影响检测的覆盖范围，直径变化影响绑带安装和探头耦合。

5 加工人工反射体时去除的管壁部分在加工完毕后应填充完整，所用填充材料不应影响声速传播。

7 对比试块中  $\phi 3.2\text{mm}$  竖通孔的目的是设置和验证检测覆盖全部焊缝及热影响区。尺寸来源于 API 规定。

10 支架和附件应能使试块和生产接头在相同方位上悬空，并能支持扫查器装卸和扫查完整的焊缝。

**9.1.6** 当检测环境温度为  $0^\circ\text{C}$  以下时，水、机油等耦合剂容易发生凝固现象，因此需采用乙醇水溶液等低熔点介质作为耦合剂。

**9.1.8** 当楔块角度偏差大于  $0.5^\circ$  时，折射角度偏差可能大于  $1^\circ$ 。高度偏差大于  $0.5\text{mm}$  时，距离偏差可能大于  $1\text{mm}$ 。折射角度和距离偏差过大会影响测量结果，可修正聚焦法则并重新设置。当楔块角度偏差大于  $3^\circ$  时，或高度偏差大于  $2\text{mm}$  时，则超过系统修正能力，影响聚焦法则的检测能力，应更换楔块。

## 9.2 检测工艺文件

**9.2.1** 本条要求本规范表 9.2.1 中应包含所使用相控阵探头的具体参数，以及电子扫描和成像要素，是由相控阵检测技术的特征决定的。

**9.2.3** 本条要求操作指导书在首次验证前进行工艺验证，工艺验证的目的在于验证该操作指导书的内容针对具体检测对象的检测能力满足检测需求。

## 9.3 检测准备

**9.3.2** CRA 双金属复合管有多种规格和坡口型式焊接方法，不

同规格之间的材料声速相差较大，因此应采用实际测定的材料声速修正聚焦法则和相关读数。

### 9.3.3 探头设置应符合下列规定：

1 在对比试块上安装扫查器和探头时，其位置精度应不超过  $\pm 1\text{mm}$ 。相控阵探头和焊缝中心间距的位置、设置扫描参数和成像参数应在扫描参数仿真和成像参数设置时预定。

2 当焊缝较厚时，采用一发一收的双晶纵波斜入射探头会降低声束传播能量影响检测结果评定，因此宜采用自发自收斜入射纵波探头。

**9.3.5** 本条要求将每个相控阵探头对准试块焊缝两边各个分区的反射体调节幅度，进行参考灵敏度设置。

**9.3.6** 当耦合监视信号记录显示报警时，应及时调整和检查扫查器、探头及电缆，消除引起不良耦合的影响因素。

## 9.5 检 测

**9.5.1** 当被检测管道表面与对比试块表面粗糙度差别较大、声能传输损失超过  $2\text{dB}$  时，将影响检测结果评定，因此应进行耦合补偿，补偿量可通过垂直入射声束检测管壁底波的差值测量。

**9.5.5** 噪声信号比参考灵敏度阈值低  $18\text{dB}$  以上，即达到  $10\%$ 。

## 9.6 数 据 解 释

**9.6.1** 缺欠的判定中参考信号幅度  $80\%$  时，记录和评定灵敏度为相对  $-12\text{dB}$ 。

应按照以下步骤区分反射信号，将超声响应分类为工件几何响应和相关响应：

- (1) 参考所用的检测工艺文件，确定反射体的位置。
- (2) 在截面显示图上绘制反射体坐标，验证是否有根部或扩孔等不连续。
- (3) 检查制造或施工图纸。

当确定超声响应是源自几何形状或材料冶金结构时，应分类为工件几何响应，并遵循以下规则：

- (1) 不需要测定特征或尺寸。
- (2) 不需要与验收标准进行比较。
- (3) 应记录其最大指示幅度和位置。

也可应用其他无损检测方法或技术来将超声响应分类为工件几何响应。

## 9.7 检测记录和报告

**9.7.1** 本条要求检测对象应包括管道类别、管道规格、管道名称、管道编号和坡口型式、焊接方法、热处理状态、环境温度、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机。检测设备和器材应包括名称、规格型号和编号、扫查装置型号、编码器型号、试块型号、耦合剂、探头型号及楔块型号。检测方法和参数包括起始角度、终止角度、激发孔径、聚焦深度、晶片一次激发数量、角度步进、超声波型。

**9.7.2** 本条要求检测报告内容应包括工件名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况，检测工艺卡编号、探头参数及楔块选择、扫查方式、检测使用的波形、检测系统的设置、系统性能试验报告、角度增益修正文件、温度、数据文件名称、缺欠位置与尺寸、质量级别及缺欠的图像。

## 10 自动超声检测

自动超声检测 AUT 相关要求参照挪威船级社《海底管线系统标准》(Submarine pipeline systems) DNV-OS-F101 的相关规定制订。

### 10.1 检测设备和器材

**10.1.2** 检测通道应具备一个或多个起点和长度，可独立调节的阀门，应可记录阀门区域最大或最靠近起点的信号。聚焦法则中信号延时应校准至距离标记位置，但只用于实施模拟记录。

**10.1.4** 当使用相控阵系统检测时，扫查器配置两个探头的功能能够满足；当使用非相控阵系统检测时，扫查装置应配置 4 个探头才能满足扫查需求。

**10.1.5** 体积通道用来检测焊缝中的气孔、夹渣等体积型缺欠，应采用平底孔作为目标反射体。自动超声波检测分区扫查厚度分区的原则：根焊及过渡区厚度为 4.5mm，填充区按照每层不大于 3.5mm 均分，盖面区按照 3.5mm ~ 6mm，具体可根据实际焊接层厚规定的原则分区。

### 10.3 检测准备

**10.3.1** 应标明绑带位置或扫查轨迹，应和对比试块上的位置一样。

### 10.4 系统性能校验和检测

**10.4.2** 采用独立的双晶爬波探头或采用较大楔块角度的相控阵双晶探头产生接近 90° 的爬波声束检测盖面区，当楔块的纵波

自然折射角为  $65^{\circ}$  以上时，具有足够的爬波检测灵敏度。

体积通道宜采用不聚焦的较大尺寸探头或相控阵孔径较大，聚焦距离无穷大，使声束较宽，能够覆盖更大的深度分区范围。

填充区对应通道检测相邻分区反射体的信号，幅度差值应为  $-18\text{dB} \sim -6\text{dB}$ 。

## 10.5 数 据 解 释

**10.5.4** 当量法是以缺欠回波高度计算缺欠尺寸的方法。尺寸应按下式计算：

$$h_1 = A_1 \cdot h_0 / A_0 \quad (1)$$

式中  $A_1$ ——缺欠波高 (mm)；

$A_0$ ——人工反射体波高 (mm)；

$h_0$ ——人工反射体尺寸 (mm)；

$h_1$ ——缺欠尺寸 (mm)。

## 12 质量验收

### 12.2 相控阵超声和自动超声检测

**12.2.1** 按照目视检测评定不允许存在开口的表面缺欠，不开口缺欠在满足近表面条件时，作为本规范表 12.2.3 中的表面缺欠评定。

**12.2.3** 本规范表 12.2.3 中，单个气孔是指相邻气孔的间距应大于最大的气孔的 5 倍。PAUT 在检测范围内低于 40%FSH 但高于 20%FSH 的信号测量长度作为体积通道指示。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 3375 焊接术语
- [2] ASME B31.3 工艺管道 (Process piping)
- [3] DNV-OS-F101 海底管线系统规范 (Submarine pipeline systems)





中华人民共和国  
石油天然气行业标准  
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—2020

\*

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 4.875 印张 124 千字 印 1—800  
2020 年 12 月北京第 1 版 2020 年 12 月北京第 1 次印刷

书号 : 155021 · 8146 定价 : 84.00 元

版权专有 不得翻印