

ICS 27.100

P 60

备案号: 26361-2009

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1118 — 2009

核电厂常规岛焊接技术规程

The code of welding for conventional island of nuclear power plant



2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 一般规定 2

4 坡口设计及组装要求 5

5 焊接工艺 10

6 质量检验 17

7 焊接技术资料 21

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2005] 739 号）要求安排制定的。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业核电标准化技术委员会归口并解释。

本标准负责起草单位：苏州热工研究院有限公司。

本标准参加起草单位：浙江省火电建设公司、江苏省电力建设第一工程公司、安徽电力建设第二工程公司、江苏省电力建设第三工程公司、广东火电工程总公司、天津电力建设公司、大亚湾核电运营管理有限公司、山东电力建设第二工程公司、东北电业管理局第一工程公司。

本标准主要起草人：束国刚、赵建仓、吴晓震、王淦刚、张学锋、张学诚、赵军、庄海青、彭尚宇、严正、张志明、刘振水、魏凤霞、杨富。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

核电厂常规岛焊接技术规程

1 范围

本标准规定了核电厂常规岛压力容器、承压管道及承重结构等钢制设备构件制作、安装及维修焊接工程，以及辅机本体和转动构件补焊修复工作中的基本要求。

本标准适用于碳素钢（含碳量小于等于 0.35%）、低合金高强钢、耐热钢及不锈钢等金属材料的焊条电弧焊（SMAW）、钨极惰性气体保护焊（GTAW）、熔化极气体保护焊（MIG、MAG）、药芯焊丝电弧焊（FCAW）、氧—乙炔焊（OAW）和埋弧焊（SAW）等焊接方法。其他材料、构件和焊接方法，可参照本标准制定技术要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 231 金属布氏硬度试验
- GB/T 4191 惰性气体保护电弧焊和等离子焊接、切割用钨钨电极
- GB/T 4842 氩
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB 6819 溶解乙炔
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
- GB/T 17394 金属里氏硬度试验方法
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
- DL/T 652 金相复型技术工艺导则
- DL/T 678 电站钢结构焊接通用技术条件
- DL/T 679 焊工技术考核规程
- DL/T 820—2002 管道焊接接头超声波检验技术规程
- DL/T 821—2002 钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程
- DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
- DL/T 991 电力设备金属光谱分析技术导则
- DL/T 1025 核电厂金属技术监督规程
- DL/T 1117 核电厂常规岛焊接工艺评定规程
- HG/T 2537 焊接用二氧化碳
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
- JB/T 4730.2—2005 承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测
- JB/T 4730.3—2005 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
- JB/T 4730.4—2005 承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测
- JB/T 4730.5—2005 承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测

3 一般规定

3.1 总则

3.1.1 核电厂常规岛设备构件制作、安装及维修焊接工作和质量验收应符合本标准的规定，合同另有约定除外。

3.1.2 核电厂常规岛钢结构焊接工作可按 DL/T 678 的规定执行。

3.1.3 核电厂常规岛设备构件焊接前应按 DL/T 1117 的规定进行焊接工艺评定，并形成焊接工艺评定报告，编制相应的焊接工艺规程。

3.1.4 焊接接头质量检验应根据设备构件质量要求和工况条件按相应标准分级分类进行。

3.2 施工单位

3.2.1 承担核电厂常规岛设备构件制作、安装及维修工程的施工单位，应具备国家相关主管部门批准颁发的相应资质，具有完善的质量、环境和职业健康管理体系。

3.2.2 施工单位应明确焊接技术负责人，全面负责落实工程焊接技术质量管理工作。

3.2.3 施工单位应组织焊接人员参加专业技术培训和考核。

3.3 焊接设备

3.3.1 施工单位应具备与所承担的焊接工作规模相适应的设备及设施。

3.3.2 焊接、热处理、无损检验设备及仪器、仪表，应按计量规定定期校验标定。

3.3.3 所有焊接、热处理及质量检验涉及的设备、仪器、仪表，在使用前应确认其与承担的焊接工作相匹配。

3.4 人员资格

3.4.1 焊接技术管理人员

3.4.1.1 担任工程项目的焊接技术负责人应具有中级及以上技术职称，并取得焊接工程师任职资格。

3.4.1.2 从事焊接专业技术管理工作的人员，应经过培训、考试并取得相应资格证书。

3.4.2 焊接质量检查人员

从事焊接质量检查的人员，应经专业培训、考核并取得相应任职资格证书，并具有丰富的实践经验和专业技能知识。

3.4.3 无损检验、理化检验人员

3.4.3.1 从事无损检验和理化检验的人员，应经过专业技术培训、考核并取得相应专业资格证书。

3.4.3.2 无损检验工作应按本标准和有关规程进行，检验结果的评定应由Ⅱ级及以上人员担任。

3.4.4 焊工及焊机操作工

3.4.4.1 焊工及焊机操作工（以下简称“焊工”）可执行 DL/T 679 的相关要求并符合 DL/T 1025 中的相关规定，经焊接基本知识和实际操作技能的培训、考核并取得焊工合格证书，按其规定的合格项目适用范围从事焊接操作工作。

3.4.4.2 持有合格证的焊工，在正式焊接操作前应进行针对性的焊前练习，经检验合格后方可施焊。

3.4.5 焊接热处理人员

焊接热处理人员应经专业培训、考核并取得资格证书。

3.5 母材金属

3.5.1 母材金属（钢材）应按批号提供产品质量合格证书，并按设计图纸、专用或订货技术条件验收，合格后方可使用。进口钢材应符合相应国家的标准及合同规定的技术条件，并提供商检合格文件。

3.5.2 根据合同或技术条件要求对母材金属进行复验时，应按相关材料技术标准进行无损检验和理化性能试验，所有试验数据应符合材料采购规范的技术条件。

3.5.3 合金钢管材、管件及阀门等，焊前应进行光谱分析。

3.5.4 首次施焊的母材金属应收集其焊接性、焊接及热处理工艺等技术资料，必要时按相关标准进行焊

接性试验以获得相关数据。

3.6 焊接材料

3.6.1 焊接材料种类

焊接材料包括焊条、焊丝、焊带、焊剂、电极及焊接用气体等。

3.6.2 焊接材料供应商评审

施工单位应对焊接材料供应商进行制造资质、质保体系、技术装备、应用业绩、产品信誉等方面综合评审，评审合格的供应商及评审资料报业主备案。

3.6.3 焊接材料质量要求

焊接材料质量应符合国家或相关国际标准；进口焊接材料应符合其采购技术条件，并满足设计和工艺文件规定的技术要求，提供产品质量证明书；首次使用的焊接材料应参照 DL/T 1117 的规定进行熔敷金属理化性能评定，合格后方可使用。

3.6.4 焊接材料选用原则

3.6.4.1 焊接材料选用应根据母材金属的化学成分、力学性能、焊接性能、使用条件、结构特点和焊接工艺规程的要求综合考虑，必要时参考 DL/T 1117 通过熔敷金属性能评定确定。

3.6.4.2 焊缝金属力学性能应不低于相应母材金属标准规定的下限值或满足设计图纸规定的技术条件要求。

3.6.4.3 同种钢焊缝金属应满足的条件：

- a) 碳素钢、低合金高强钢焊缝金属应保证力学性能，且其抗拉强度不应超过母材金属标准规定的上限值加 30MPa；
- b) 低、中合金耐热钢焊缝金属化学成分和力学性能应与母材金属相当；
- c) 高合金钢（含奥氏体不锈钢等）焊缝金属应保证力学性能和耐腐蚀性能；双相不锈钢焊接材料应在使用前复验，并进行铁素体含量测定；
- d) 焊接工艺性良好。

3.6.4.4 异种钢焊缝金属应满足的条件：

- a) 两侧母材金属为不同钢号的铁素体钢焊接，宜选用化学成分介于二者之间或与合金含量较低侧钢材相匹配的焊接材料，特殊情况下可选用奥氏体钢焊接材料或镍基焊接材料；
- b) 铁素体与奥氏体异种钢焊接，宜选用含镍量较高的奥氏体钢或镍基焊接材料；
- c) 异种钢焊接可在其母材金属坡口一侧堆焊过渡层，再选用相匹配的焊接材料完成焊接；
- d) 奥氏体不锈钢复合钢基层焊缝金属按 3.6.4.3 a) 选用，复层焊缝金属应保证耐腐蚀性能，当有力学性能要求时应保证力学性能；复层与基层焊缝、复层与基层钢板界面处宜采用过渡焊缝。

3.6.5 焊接材料验收、存放及使用

3.6.5.1 施工单位采购的焊接材料应按相关标准规定的技术条件要求验收或复验，并符合产品质量证书或相应标准的规定。

3.6.5.2 焊接材料验收、存放及使用过程管理等应符合 JB/T 3223 规定的要求。存放超过有效限期或对其质量产生怀疑时，应重新进行复验，符合相应标准技术条件和质量要求后方可使用。

3.6.5.3 焊条在使用前应按其说明书要求进行烘焙，重复烘焙不得超过两次。烘焙过的焊条应存放在保温箱内，焊条使用时应装入专用保温筒内并通电保温，随用随取。不同牌号焊条不得放置在同一保温筒中。

3.6.5.4 焊丝使用前应清除表面油、锈、污、垢等杂物，见金属光泽。

3.6.5.5 钨极氩弧焊电极应符合 GB/T 4191 的规定。

3.6.5.6 国产焊剂应满足 GB/T 5293 或 GB/T 12470 的规定，进口焊剂应满足国外相应标准的要求。

3.6.6 焊接用气体

3.6.6.1 气体保护焊使用的氩气应符合 GB/T 4842 的规定，其氩气纯度不应低于 99.95%。

3.6.6.2 气体保护焊使用的二氧化碳气体应符合 HG/T 2537 的规定。

3.6.6.3 氧—乙炔焊所用的氧气纯度不低于 98.5%；乙炔气体应符合 GB 6819 的规定。

3.6.6.4 焊接中使用的其他气体应符合相应标准的规定。

3.7 焊接工艺评定

施工单位应按相关技术规定对母材金属或焊接材料进行焊接工艺评定，除合同另有约定外，应按 DL/T 1117 执行。

3.8 焊接工艺规程

3.8.1 施工单位在焊接工作前，应以相应合格的焊接工艺评定报告及相关技术标准规定为依据，编制完整的焊接工艺规程，用以指导焊接施工。

3.8.2 焊接工艺规程应至少包括焊接接头设计、焊接材料、焊接顺序、电特性参数、预热及焊后热处理工艺、焊接操作要领等内容。

3.9 焊接技术文件包

3.9.1 焊接接头位置图

标记有全部焊接接头位置的设备总图或简图。

3.9.2 特殊管道接头形式图

有特殊要求管道接头形式的轴侧图。

3.9.3 焊接工程一览表

3.9.3.1 结构规格尺寸。

3.9.3.2 焊接材料、焊接工艺规程编号。

3.9.3.3 焊前、焊后热处理工艺参数。

3.9.4 焊接施工记录

3.9.4.1 焊接施工记录采用焊接接头记录单形式。管道外径不小于 89mm 的管道，可每个焊接接头一份记录单；管道外径小于 89mm 的管道，按系统可多个焊接接头一份记录单。

3.9.4.2 焊接接头记录单内容包括但不限于下列内容：

- a) 机组号；
- b) 系统名称；
- c) 质量计划编号；
- d) 图纸号；
- e) 母材金属及规格；
- f) 焊接接头编号；
- g) 焊接工艺评定报告编号；
- h) 焊接工艺规程编号；
- i) 焊工钢印代号；
- j) 坡口及组装参数（坡口形式、角度、间隙等）；
- k) 焊接材料型（牌）号及批号；
- l) 焊接接头组装验收签字；
- m) 外观检查结果及验收签字；
- n) 无损检验结果及报告编号；
- o) 焊接材料领用记录；
- p) 焊接接头的返修记录；
- q) 焊接接头接受监理或业主相关人员验收及签字。

3.9.5 焊接施工记录移交

焊接接头记录单随系统文件包竣工时一并移交。

4 坡口设计及组装要求

4.1 焊接接头设计一般要求

4.1.1 焊接接头位置应避免应力集中区，且便于焊接操作。需要焊前预热和焊后热处理的焊接接头应具备其工作条件。

4.1.2 管道对接接头，其焊缝中心线与管道弯曲起点距离（ l_1 ）见表 1。

4.1.3 管道上两个接头相邻焊缝中心线间距（ l_2 ）见表 1。

4.1.4 管道对接接头，其焊缝中心线与支吊架边缘距离（ l_3 ）见表 1，同时应保证在安装和维修过程中便于焊接接头检查。

4.1.5 管接头、仪表管插座及其他管道附件，应避免设置在焊缝或焊接热影响区内。

4.1.6 管孔应避免开在焊缝上，并避免管孔接管焊缝与相邻焊缝的热影响区重合。

表 1 焊接接头距离与管道外径、壁厚的关系

mm

管道外径 D			管道壁厚 δ	
$D \leq 100$	$100 < D \leq 500$	$D > 500$	$\delta \leq 8$	$\delta > 8$
$l_1 \geq D$ 且 $l_1 \geq 50$ （定型管件除外）	$l_1 \geq \sqrt{D\delta}$ 且 $l_1 \geq 100$		—	—
$l_2 \geq D$ 且 $l_2 \geq 100$	$l_2 \geq D$ 且 $l_2 \geq 150$	$l_2 \geq 500$	—	—
—	—	—	$l_3 \geq 50$	$l_3 \geq 3\delta$ 且 $l_3 \geq 100$

4.1.7 容器筒体对接接头，其焊缝中心线距离封头弯曲起点应不小于容器壁厚加 15mm，且不小于 25mm。相互平行且相邻两焊缝之间的距离应大于容器壁厚的 3 倍，且不小于 100mm。

4.1.8 构件焊接应避免十字焊缝。

4.1.9 搭接焊缝搭接尺寸 L 值（见表 2）应不小于 5 倍母材金属厚度，且不小于 30mm。

4.2 坡口设计及加工

4.2.1 焊接接头形式应按设计图纸规定及技术要求选用，坡口应按图纸设计和加工。若无特殊规定，焊接接头形式和坡口加工应符合 4.2.2 的规定，其焊接接头基本形式及坡口尺寸见表 2。

表 2 焊接接头基本形式及坡口尺寸

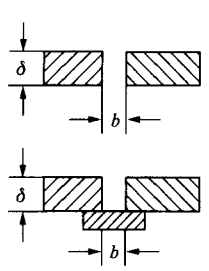
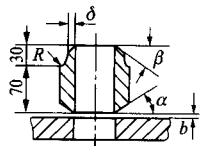
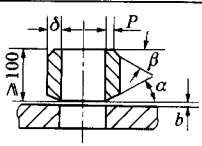
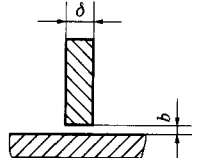
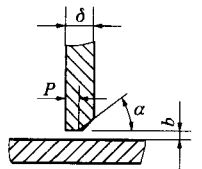
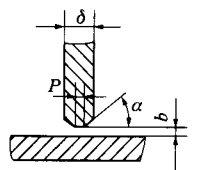
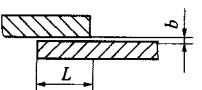
序号	接头类型	坡口形式	图 形	焊接方法	焊件厚度 mm	接头结构尺寸					适用范围
						α °	β °	b mm	P mm	R mm	
1	对接	I 形		SMAW OAW GTAW SAW MAG	<3 <3 ≤3 8~16 8~16	—	—	1~2 1~2 0~1 0~1	—	—	容器和一般钢结构

表 2 (续)

序号	接头类型	坡口形式	图 形	焊接方法	焊件厚度 mm	接头结构尺寸					适用范围
						α °	β °	b mm	P mm	R mm	
2	对接	V 形		SMAW	≤6	30~35	—	0~3	0.5~2	—	各类承压管子, 压力容器和中、薄件承重结构
				OAW	≤16				1~2		
				GTAW	16~20				≤7		
				SAW	16~20				≤7		
				MAG	16~20				≤7		
3	对接	双 V 形		SMAW	>16	30~40	8~12	2~5	1~2	5	中、厚壁汽水管道
				GTAW							
4	对接	双 V 形		SMAW	>16	$\alpha_1=35\sim40$ $\alpha_2=20\sim25$	$\beta_1=15\sim20$ $\beta_2=5\sim10$	1~4	1~2	5	中、厚壁汽水管道
				GTAW							
5	对接	X 形		SMAW SAW	>16 >20	30~35	—	2~3 0~1	2~4 ≤7	—	双面焊接的大型容器和结构
6	对接	封头		SMAW GTAW	管径不限	同壁厚管坡口加工要求					汽水管道或联箱封头

表 2 (续)

序号	接头类型	坡口形式	图 形	焊接方法	焊件厚度 mm	接头结构尺寸					适用范围
						α °	β °	b mm	P mm	R mm	
7	T 型	管座		SMAW GTAW	管径 ≤ 76	50~ 60	30~ 35	2~3	1~2	按壁厚差取	汽水、仪表 取样等接管座
8	T 型	管座		SMAW GTAW	管径 76~133	50~ 60	30~ 35	2~3	1~2	—	一般汽水 管道或容器 的接管座或 接头
9	T 型	无坡口		SMAW GTAW	≤ 20 > 8	—	—	0~2	—	—	不要求全 焊透的结构
10	T 型	单 V 形		SMAW GTAW	> 20	50~ 60	—	0~2	$\leq 2\delta/3$	—	不要求焊 透的结构
					≤ 20	50~ 60	—	1~2	1~2	—	要求焊透 的结构
11	T 型	K 形		SMAW GTAW	> 20	50~ 60	—	1~2	1~2	—	要求焊透 的大型结构
12	搭接	—		OFW SMAW GTAW	≤ 4 ≥ 4 > 8	—	—	0~1	—	—	容器和结 构

4.2.2 坡口加工与制备。

4.2.2.1 构件下料及坡口加工应按设备构件设计图纸或工艺规程的技术要求进行。

4.2.2.2 在供货范围内,应在采购技术规格书中规定各构件制造、供应商及施工单位制备的坡口形式及尺寸,且应符合表 2 的规定。

4.2.2.3 坡口加工可采用机械加工、打磨或热切割方法进行。

4.2.2.4 管道及重要构件、工厂化焊接的坡口制备宜采用机械加工方法。但对于管件现场组装修正、加工后坡口缺陷的消除处理以及小径管坡口加工可采用打磨方法。

4.2.2.5 采用火焰、等离子等热加工方法切割下料,切口部分应留机械加工余量,以便去除淬硬层或过热金属。必要时对坡口表面进行无损检验或硬度测试并符合相关技术要求;为防止割口裂纹,必要时切割前按 5.2 及表 5 中的相关要求预热。

4.2.2.6 采用碳弧气刨加工坡口或清根时,应符合下列规定:

- 铁素体钢的碳弧气刨,宜按推荐的预热条件预热;
- 碳弧气刨清根背面、气刨坡口和边缘,宜采用打磨或其他机械方法清除表面渗碳层、粗糙、咬

边或其他缺陷；

- c) 在加工好或已经清理干净的构件附近碳弧气刨时，应对其采取保护措施，以免被气刨飞溅物污染，气刨后消除飞溅渣痕物等；
- d) 碳弧气刨面及表面打磨后、焊接前，气刨坡口待焊表面应进行规定的无损检验。

4.2.2.7 用于不锈钢焊接接头的打磨机械和工具，层间清理和焊后打磨材料应为不锈钢专用材料，如不锈钢刷、不含铁的铝基磨削砂轮等。

4.3 坡口表面质量要求

4.3.1 坡口表面内外及其边缘

坡口表面内外及边缘 20mm 范围内的母材金属应无裂纹、分层、重皮、夹杂、坡口破损及毛刺等缺陷。

4.3.2 坡口形式、尺寸和粗糙度

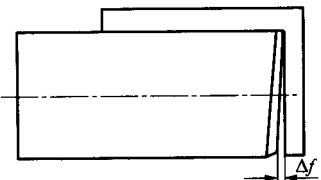
焊接接头坡口形式、尺寸（见表 2）和粗糙度应符合图纸要求。

4.3.3 管口端面与管中心线偏斜度要求

管道（管子）管口端面应与管道中心线垂直，其偏斜度（ Δf ）不得超过表 3 的规定。

表 3 管子端面与管中心线的偏斜度要求

mm

图 例	管道外径 (D)	偏斜度 (Δf)
	≤ 60	≤ 0.5
	60~159	≤ 1.0
	159~219	≤ 1.5
	> 219	≤ 2.0

4.3.4 坡口清理

在接头组对前，应将坡口及附近母材金属内、外壁表面的油、漆、垢、锈、氧化皮等有害杂质清理干净，见金属光泽。距离坡口边缘的清理范围如下：

- a) 对接接头：坡口每侧各为 20mm。
- b) 角接头：焊脚尺寸值 (K) 加上 10mm。
- c) 埋弧焊及气体保护焊接头：以上清理范围增加 5mm。

4.3.5 坡口质量检查及要求

4.3.5.1 使用专用焊缝检验尺或其他测量工具对焊接坡口各部位形状、尺寸、长度及斜度等进行检测，并符合坡口设计要求。

4.3.5.2 用目视法对坡口表面及内外壁两侧至少各 20mm 范围内进行外观检查。

4.3.5.3 淬硬倾向较大的钢材，经热加工方法下料或坡口加工表面，必要时可做无损检验和硬度检验。

4.4 接头组装及质量要求

4.4.1 接头组装夹具与坡口修正、间隙、错边要求

4.4.1.1 宜选用专用夹具组装接头。

4.4.1.2 必要时采用机械加工方法对坡口形状及尺寸进行修正。

4.4.1.3 接头组装构件坡口间隙应符合表 2 的规定，并与所用焊接方法相适应。

4.4.1.4 接头组装构件内壁（根部）宜齐平，其错边值应符合表 10 的要求。

4.4.2 不同厚度两构件焊接厚度差处理规定

4.4.2.1 内壁或根部尺寸不相等而外壁或表面齐平时，可按图 1a) 形式进行加工。厚度差不超过 5mm 时，可在不影响焊缝强度情况下，按照图 1d) 形式简易加工。

4.4.2.2 外壁或表面尺寸不相等而内壁或根部齐平时，可按图 1b) 形式进行加工。

4.4.2.3 内、外壁尺寸均不相等时，可按图 1c) 形式进行加工。

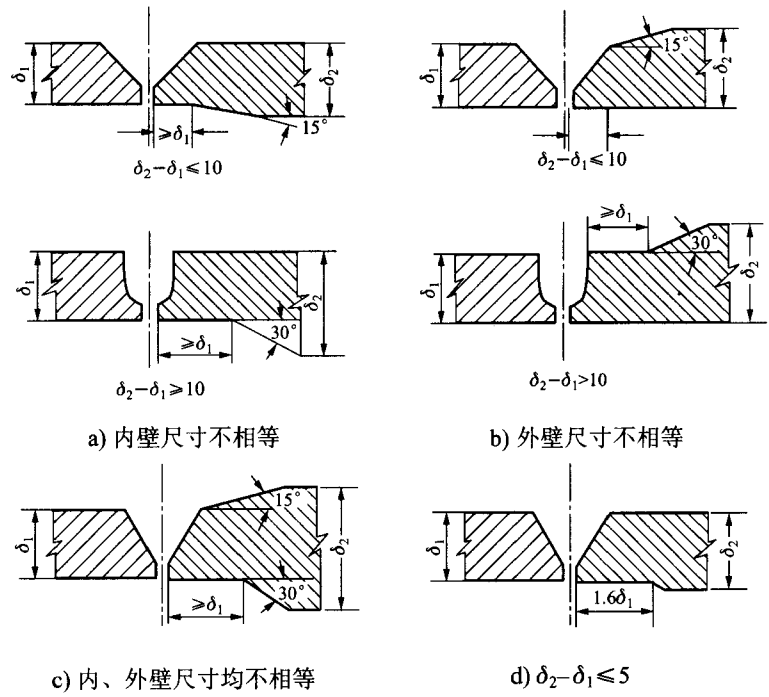


图 1 不同厚度构件组装厚度差处理方法

4.4.3 焊接接头组装其他要求

4.4.3.1 结构尺寸有公差要求的构件，接头组装应预留焊缝收缩量，其收缩量可根据经验值确定，必要时通过焊接工艺试验确定。

4.4.3.2 接头组装可采用衬垫或其他工艺措施将待焊件垫置牢固。

4.4.3.3 除安装工艺允许的焊接接头外，不应强力固定组装，也不宜采用热膨胀法组装。

4.4.3.4 借助外力固定组装的焊接接头，应保证固定装置距接头有足够的距离，加载工具须待焊接及热处理施工完成后方可卸载。

4.4.3.5 焊缝背面有气体或其他保护要求的焊接接头，在接头组装前应安装好背面保护装置。

4.4.4 定位焊缝

4.4.4.1 坡口局部间隙超标时，应修整到规定尺寸，不得在坡口间隙内加填塞。

4.4.4.2 钢结构及管接头构件定位焊缝要求见表 4。

表 4 定位焊缝要求

焊件 类型	焊件尺寸 mm		定位焊缝间距 mm	定位焊缝数量 处	定位焊缝尺寸 mm	
	公称壁厚 (δ)	管道外径 (D)			长度	厚度
钢结构	≤ 8	—	300	—	30	2~3
	> 8	—	500	—	30~50	3~4
管接头	—	≤ 89	—	1~2	15~20	2~3
	—	$89 < D \leq 426$	—	3~4	20~30	3~4
	—	> 426	300~500	—	30~40	3~4

4.4.4.3 定位焊缝焊接材料、预热温度及焊工等要求应与正式焊缝一致。

4.4.4.4 采用临时性工艺附件作为定位焊缝，应选用与母材金属同种或化学成分相当的金属作为附件。

4.4.5 定位焊缝质量检查

4.4.5.1 定位焊缝完成后，应逐处检查其质量，若有缺陷应采用打磨方法清除，重新进行定位焊。

4.4.5.2 溶入正式焊缝的定位焊缝，其质量标准 and 检查方法与正式焊缝相同。

4.4.6 永久性和临时性工艺附件焊接要求

4.4.6.1 构件上永久性和临时性工艺附件的焊缝，应采用与产品焊缝相同的工艺进行焊接。

4.4.6.2 永久性和临时性工艺附件的焊接应在最终焊后热处理前进行，当允许采用高镍奥氏体或镍基焊接材料焊接时，可按相应的技术要求处理。

4.4.7 临时性工艺附件的拆除及其检验

4.4.7.1 拆除临时性工艺附件的热切割面距离构件表面至少 5mm，并用机械方法去除附件与构件连接的剩余部分。不得使用可能导致构件表面母材金属撕裂的方法拆除临时性工艺附件。

4.4.7.2 去除附件时，不应损伤母材，并将其残留焊疤清除干净、打磨修整。在临时性工艺附件拆除部位应做磁粉或着色等无损检验，并符合相应标准要求。

5 焊接工艺

5.1 焊接环境条件

5.1.1 现场施焊的最低环境温度要求如下：

- a) 碳素钢为 -20°C ；
- b) 低合金高强度钢、低合金耐热钢为 -10°C ；
- c) 中、高合金耐热钢为 0°C 以上；
- d) 奥氏体不锈钢不作规定。

5.1.2 现场焊接的风速应符合 GB 50236 的规定，当采用气体保护焊时现场风速超过 2m/s，其他焊接方法超过 8m/s 时，应有防风措施，否则禁止施焊。

5.1.3 焊接区域 1m 范围内的相对湿度不应高于 85%。

5.1.4 母材金属表面潮湿、覆盖有冰雪，或施焊区域有雨、雪、冰雹等直接侵袭时，不得施焊。

5.2 焊前预热及层间温度

5.2.1 焊前预热应根据母材金属的焊接性、材料厚度、接头形式、结构特点、焊接材料类型、焊接工艺、焊接顺序、评定结果等因素综合确定。

5.2.2 常用钢材施焊的预热温度见表 5。

5.2.3 特殊条件下的预热温度选择应按以下原则：

- a) 异种钢焊接时，预热温度应按焊接性较差或合金成分含量较高一侧选择；
- b) 接管座与主管焊接以及其他两构件相焊时，预热温度应按构件焊缝处公称厚度较大者选择；
- c) 非承压件与承压件焊接时，预热温度应按承压件的预热要求选择；
- d) 在 0°C 以下低温焊接，壁厚不小于 6mm 的耐热钢管子、管件和厚度不小于 34mm 的碳素钢板件，预热温度应按表 5 的规定提高 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- e) 在 -10°C 及以下低温施焊壁厚小于 6mm 的耐热钢管子及壁厚大于 15mm 的碳素钢管子时，应适当预热；
- f) 钨极氩弧焊打底时，可采用经过焊接工艺评定合格的较低预热温度；
- g) 按要求焊前应预热的构件，重新焊接时应再次预热。

5.2.4 预热方式分为局部预热和整体预热，可采用火焰加热、电阻加热、感应加热及在热处理炉中加热等方法进行；当管道外径大于 168mm 或壁厚不小于 16mm 时，应采用电加热方式预热。

5.2.5 碳素钢或低合金钢采用火焰加热方法预热时，仅允许外焰接触工件。

5.2.6 预热宽度从组装坡口中心开始，每侧不小于母材金属厚度的 3 倍，且不小于 100mm。定位焊母材金属预热区域应在焊接处全方位 25mm 范围内，预热温度应不低于规定的最低温度。

5.2.7 预热应使整个构件厚度及待焊区域温度均匀，内外壁任意两点温度差不应大于 30℃。

表 5 常用钢材焊前预热温度

钢 材 类 别	管 材		板 材	
	壁厚 (δ) mm	预热温度 (T) ℃	厚度 (δ) mm	预热温度 (T) ℃
碳含量小于等于 0.35% 的碳素钢及其铸件	≥ 26	100~200	≥ 34	100~150
C-Mn 钢	≥ 15	150~200	≥ 30	
Mn-V 钢 (Q390)、HD245			≥ 28	
1.5Mn-0.5Mo-V	—	100~150	≥ 15	100~150
0.5Cr-0.5Mo、1Cr-0.5Mo	≥ 10	150~250		
1Cr-0.5Mo-V	≥ 6	200~300	—	—
1.5Cr-1Mo-V 2Cr-0.5Mo-W-V 1.75Cr-0.5Mo-V、2.25Cr-1Mo	≥ 6	250~350	—	—
5Cr-1Mo、13Cr	—	250~350	—	—
9Cr-1Mo-V-Nb	—	200~300	—	—

5.2.8 预热过程中不得将污染物质带入坡口内或构件的待焊表面。

5.2.9 要求焊前预热的构件，其层间温度应不低于规定的预热温度下限，且不高于 400℃，并应控制在焊接工艺评定所确定的层间温度范围之内。

5.2.10 奥氏体类钢焊接时，层间温度不宜高于 150℃。

5.2.11 温度监测的方法和要求如下：

- 预热过程应采用远红外、热电偶或其他合适的方法对温度进行监测，监测温度应符合焊接工艺规程规定的预热温度范围。
- 不得使用测温笔测试奥氏体不锈钢等高合金钢焊缝金属的层间温度。
- 热电偶数量、布置及固定要求如下：
 - 水平固定、45° 斜固定位置焊接接头预热，宜采用 3 只热电偶测温，并布置在坡口截面 3（或 9）、6、12 钟点位置。
 - 垂直固定位置焊接接头预热，2 个热电偶对称布置于母材金属表面。
 - 热电偶应布置在离坡口或焊缝边缘 15mm~20mm 处的母材金属上。
 - 热电偶固定宜采用点固焊或机械方法，达到热电偶与测点母材金属表面牢固接触。
 - 两热电偶元件之间留有 6mm 以上间隙并应相互绝缘，从固定热电偶热端，沿长度方向始终保持绝缘，防止热电偶元件偏离。热电偶热端应防止加热元件或线圈的直接辐射，宜以 3mm 厚的陶瓷或耐高温封泥作为绝热层。

5.3 焊接工艺方法

承压管道及压力容器等设备构件的焊接方法宜按表 6 选用。

5.4 焊接工艺规范

5.4.1 打底层及定位焊焊接宜选用直径不大于 2.5mm 的焊条（焊丝），填充层焊条（焊丝）直径不宜大

于 4.0mm。铁素体不锈钢焊接时第二层焊条直径不得大于第一层焊条直径。

5.4.2 打底层焊层厚度不宜小于 3mm，对中、高合金钢钨极氩弧焊宜打底焊两层，打底层焊缝金属经目视检查合格方可焊接填充层。

5.4.3 中、高合金钢（含奥氏体钢及双相不锈钢）管子及管件焊接，内壁（背面）应充氩气或混合气体保护，并保持在焊缝厚度不小于 5mm 时方可停止保护气体。管内充气流量随管内径增大而提高，并确认保护效果。采用特殊的焊接材料及工艺，经焊接试验或工艺评定确认能有效地防止焊道根部的氧化或过烧，可免充保护气体。

表 6 焊接方法选用

构件名称	根部焊道	其他焊道	公称厚度 (δ) mm
使用等级为 I、II 级的管子及管件	GTAW	GTAW	≤ 6
		SMAW、MAG	> 6
汽轮机、发电机的冷却系统、油系统管道	GTAW	GTAW	≤ 6
		SMAW	> 6
循环水管、管道外径不小于 1000mm 的管道或容器	SMAW 或 SAW、MAG	SMAW 或 SAW、MAG	—
其他管道或构件	GTAW	GTAW	≤ 6
		SMAW、MAG	> 6

5.4.4 引弧应在引弧板或坡口内，不得在构件非焊接部位引弧，熄弧应在熄弧板或已完成的焊缝上，并填满弧坑。

5.4.5 施焊过程中，焊工应随时目视检查焊接质量，发现缺陷应及时处理。

5.4.6 施焊过程应防止电缆线、焊钳等对构件造成电弧擦伤。对已产生的电弧擦伤需经修磨并使其圆滑过渡到母材金属表面，修磨后的厚度不应小于母材要求的最小设计壁厚，否则应补焊修复并进行表面检验。

5.4.7 奥氏体不锈钢及规定有冲击韧性要求的焊接接头，应按焊接工艺规程的规定控制焊接线能量。

5.4.8 双面焊背面清根处理，应显露出正面打底焊的焊缝金属，并将焊缝根部修磨至便于施焊。埋弧焊等方法经焊接工艺评定确认能保证焊透，可免作清根处理。

5.4.9 管道外径大于 194mm 的管子、管件或容器对接接头及要求控制变形的构件，宜采取二人或多人对称施焊。对称施焊的焊工不得同时在同一位置收弧。

5.4.10 大径厚壁管焊接应采用多层多道焊，中、高合金钢焊缝其单层焊道厚度不宜超过焊条直径，单焊道宽度不宜超过焊条直径的 3 倍；其他母材金属单层焊道厚度不宜大于所用焊条直径加 2mm，单焊道宽度不宜超过所用焊条直径的 4 倍。

5.4.11 多层多道焊应将焊道接头错开 15mm~20mm，埋弧焊接头错开距离不小于 50mm。

5.4.12 多层多道焊每焊完一道均应清理焊道表面及坡口两侧，并经焊工自检合格后，方可施焊下一层（道），但不得分段多层焊接。焊机操作工可在焊接过程中进行单道（层）机械焊焊缝的检查。

5.4.13 单个焊接接头宜连续完成施焊工作。当焊接工艺规程和检验要求分次焊接，或因其他原因被迫中断焊接时，应采取后热、缓冷等工艺措施。再次施焊时，应检验并确认无裂纹等超标缺陷后，方可按原焊接工艺规范继续施焊。

5.4.14 管子及管件焊接过程中，其内部不得有影响焊接质量的气体流动。

5.4.15 盖面层焊接宜合理设计次表面层预留厚度及焊道排列，并使盖面层焊缝金属与母材金属圆滑过渡，达到焊缝外观质量要求。

5.4.16 采用锤击消除焊缝金属残余应力时，第一层和盖面层焊缝金属不宜锤击。

5.4.17 引弧板、熄弧板、临时性工艺附件不应锤击拆除。

5.4.18 焊接结束后，应及时清理焊缝表面及附近的杂物，焊工及时自检。

5.4.19 管道焊接接头产生的变形不得采用加热方法进行矫正。

5.4.20 钢结构焊接应符合 DL/T 678 相关的技术要求。

5.5 后热

5.5.1 对具有冷裂纹倾向及拘束度较大的焊件，当焊接工作停止且不能立即进行焊后热处理时，应及时进行后热。

5.5.2 后热的温度宜为 $250^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，保温时间一般为 $1\text{h}\sim 2\text{h}$ 。焊接工艺规程对后热规范有规定时，按其工艺参数进行。

5.5.3 后热的加热方法、加热范围、保温要求、测温要求等应参照 5.2 及 5.6 执行。

5.6 焊后热处理

5.6.1 焊后热处理的范围

5.6.1.1 需焊后热处理的构件，焊后应立即进行热处理，否则应做后热处理。

5.6.1.2 下列构件的焊接接头，除合同或另有其他特殊规定外，应进行焊后热处理：

- a) 壁厚 $\delta > 30\text{mm}$ 的碳素钢管道、管件；
- b) 壁厚 $\delta > 32\text{mm}$ 的碳素钢容器；
- c) 壁厚 $\delta > 28\text{mm}$ 的低合金高强钢（C-Mn 钢等）容器；
- d) 壁厚 $\delta > 20\text{mm}$ 的低合金高强钢（Mn-Mo-V 钢等）容器；
- e) 耐热钢管子及管件壁厚大于 20mm 的低合金高强钢管道（5.6.2 规定内容除外）；
- f) 其他经焊接工艺评定需进行焊后热处理的构件。

5.6.2 免做焊后热处理的范围

下列构件采用钨极氩弧焊或低氢型焊条，焊前预热和焊后缓冷的焊接接头可免做焊后热处理：

- a) 壁厚 $\delta \leq 10\text{mm}$ ，管道外径 $D \leq 108\text{mm}$ 的 0.5Cr-0.5Mo、1Cr-0.5Mo 钢管子；
- b) 壁厚 $\delta \leq 8\text{mm}$ ，管道外径 $D \leq 108\text{mm}$ 的 1Cr-0.5Mo-V 钢管子；
- c) 壁厚 $\delta \leq 6\text{mm}$ ，管道外径 $D \leq 63\text{mm}$ 的 2.25Cr-1Mo 钢管子；
- d) 奥氏体不锈钢焊接选用奥氏体或镍基焊接材料，经焊接工艺评定合格，其焊接接头可免做焊后热处理；
- e) 铁素体与奥氏体异种钢焊接选用高铬镍奥氏体或镍基焊接材料，其焊接接头不宜焊后热处理；
- f) 其他采用新型或特殊焊接材料经焊接工艺评定可免做焊后热处理的焊接接头。

5.6.3 焊后热处理规范

5.6.3.1 常用钢材焊后热处理规范的保温温度及保温时间见表 7。非承压构件与承压构件的焊接接头，应按承压构件选取焊后热处理规范。

5.6.3.2 焊后热处理保温温度按以下规定选取：

- a) 碳素钢、低合金高强钢焊后热处理选择保温温度低于表 7 规定的温度下限值时，最少保温时间参见表 8；
- b) 调质（或正火+高温回火）状态下的钢材，其焊后热处理的保温温度应低于调质处理时的回火温度 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 铁素体异种钢焊接接头，焊后热处理保温温度宜按温度要求较高一侧的钢材选取，或按合金含量较高材料要求的温度下限及合金含量较低材料要求的温度上限选取。

5.6.3.3 焊后热处理保温时间宜按照构件热处理有效厚度（ δ_{PWHT} ）计算，具体规定如下：

- a) 对接接头按焊缝横截面上的厚度（余高不计）计算。
- b) 角接接头有效厚度 δ_{PWHT} 可按焊脚尺寸 K 计算：
 - 1) $K < 5\text{mm}$ 时， $\delta_{\text{PWHT}} = 3K + 5$ （mm）；

2) $K=5\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 时, $\delta_{\text{PWHT}}=2K+10$ (mm);

3) $K>10\text{mm}$ 时, $\delta_{\text{PWHT}}=K+20$ (mm)。

c) 组合焊缝为对接焊缝厚度与角焊缝厚度中的较大者。

5.6.3.4 不等厚焊接接头焊后热处理有效厚度的选取如下:

a) 对接接头取其较薄一侧母材厚度;

b) 在壳体上焊接管板、平封头、盖板、凸缘或法兰时, 取壳体厚度;

c) 接管、人孔与壳体组焊时, 在接管颈部、壳体、封头、补强板和连接角焊缝厚度中取其较大者;

d) 接管与高颈法兰相焊时取管颈厚度;

e) 管子与管板相焊时取其焊缝厚度。

表 7 焊后热处理的保温温度及保温时间

钢 种	保温温度 (T) ℃	构件热处理有效厚度 (δ_{PWHT}) mm						
		≤12.5	12.5~25	25~37.5	37.5~50	50~75	75~100	100~125
		保 温 时 间 (t) h						
HD15Ni1MnMoNbCu	570~600	0.25	0.5	1	—	—	—	—
$C\leq 0.35\%$ C-Mn	600~650	—	—	1.5	2	2.25	2.5	2.75
0.5Cr-0.5Mo	650~700	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo	670~700	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo-V 1.25Cr-1Mo-V 1.75Cr-0.5Mo-V	720~750	0.5	1	1.5	2	3	4	5
2.25Cr-1Mo	720~750	0.5	1	1.5	2	3	4	5
2Cr-0.5Mo-VW 3Cr-1Mo-VTi	750~780	0.75	1.25	1.75	2.25	3.25	4.25	5.25
5Cr-1Mo、Cr13		1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	—
9Cr-1Mo-V-Nb		1	2	4	4.5	5~6	6~7	8~10

表 8 焊后热处理温度低于规定值的保温时间

比规定温度范围下限值降低的温度 (T) ℃	降低温度后的最短保温时间 ^a (t) h
25	2
55	4
80	10 ^b
110	20 ^b
a 最短保温时间适用于焊后热处理壁厚不大于 25mm 的构件, 当焊后热处理厚度大于 25mm 时, 厚度每增加 25mm, 最短保温时间则应增加 15min。	
b 仅适用于碳素钢和 16MnR 钢。	

5.6.4 加热和冷却速度

5.6.4.1 采用热处理炉整体焊后热处理，构件装炉炉温按热处理工艺确定，装炉温度不宜超过 300℃。

5.6.4.2 在 300℃ 以上的加热或冷却速度不宜超过 $6250/\delta_{\text{PWH}}^{\circ}\text{C/h}$ ，当升降温速度计算结果小于 55℃/h，应按 55℃/h 控制。对 9Cr-1Mo-V-Nb 系列钢，加热及冷却速度均不应超过 150℃/h。

5.6.4.3 降温至 300℃ 以下可不控温，但焊接构件应在原保温层内不流动的空气中自然冷却。

5.6.5 加热范围

5.6.5.1 对承压管道及其焊接修复构件的加热，宜采用整圈加热方法，加热宽度从焊缝中心算起，每侧不少于管道壁厚的 3 倍，且不少于 60mm，并应采取措施降低周向和径向温差。

5.6.5.2 主管与接管的加热宽度应不小于两者中较大厚度的 3 倍。

5.6.6 温差控制与保温

5.6.6.1 焊后热处理温度控制热电偶设置应符合 5.2.11 的规定，位置固定在焊缝金属表面宽度中心。

5.6.6.2 焊后热处理保温过程中，在加热范围内任意两点间温差应不大于 30℃。

5.6.6.3 焊后热处理保温宽度从焊缝坡口边缘算起，每侧不得小于管子壁厚的 5 倍，且每侧应比加热器的宽度增加不少于 100mm。

5.6.6.4 焊后热处理保温层厚度应大于 40mm。

5.6.7 工艺见证件焊后热处理规范

需要制备工艺见证件时，见证件与设备构件应采用相同的焊后热处理工艺规范。

5.7 缺陷补焊修复

5.7.1 缺陷确认

5.7.1.1 安装或在役设备构件按相关标准规定，经外观或无损检验确认存在超标缺陷的焊接接头，应进行缺陷产生原因分析，必要时进行失效分析及安全性评估，综合分析后确定焊接接头是否需要修复。

5.7.1.2 确认为必须修复处理的超标缺陷，当表面或近表面缺陷深度超过设备构件的最小设计厚度，不可采用机械修磨方法处理的内部缺陷，应采用补焊方法修复。

5.7.2 补焊工艺评定及工艺规程

5.7.2.1 补焊修复前应确认修复设备构件的材质，掌握其焊接性、化学成分、力学性能、使用条件及运行情况等。

5.7.2.2 缺陷补焊修复原则上可按构件母材金属焊接工艺规程执行，并宜作有针对性（非重要因素）的调整。

5.7.2.3 补焊修复焊接性差、重要设备构件，或采用与原焊接工艺不同的焊接材料、焊接方法、焊接及热处理工艺时，应进行补焊修复工艺评定或试验验证，按合格的补焊工艺评定报告编制专门的设备构件缺陷补焊修复工艺规程，并按相关程序审查批准后实施。

5.7.2.4 规定要求做模拟补焊修复的工艺试验时，应在构件母材金属焊接工艺评定试件或工艺见证件上进行。模拟补焊修复试验评定合格后方可在设备构件正式补焊修复。

5.7.2.5 缺陷补焊修复及其模拟补焊修复试件评定检验、试验项目及合格标准宜与原焊接工艺评定的要求一致。

5.7.3 缺陷定位及标识

缺陷补焊修复前，应对缺陷定位、定性及尺寸确认，并对缺陷位置予以标识。

5.7.4 缺陷清除及补焊坡口制备

5.7.4.1 对刚度较大、受力复杂、应力集中较大、母材金属有一定程度老化等情况的设备构件裂纹缺陷清除前，应采取降低补焊接头应力、防止裂纹扩展的措施（如在裂纹两端打止裂孔等）。

5.7.4.2 缺陷清除宜采用机械方式，对厚大构件局部缺陷较深难以采用机械方式清除时，可采用碳弧气刨、特种焊条切割及等离子切割等热加工方式清除，必要时应采取适当的预热措施。

5.7.4.3 缺陷清除宜逐渐深入，每层清除厚度宜控制在 2mm~3mm，清除过程应配合进行磁粉、渗透

检验等方法以确认缺陷清除干净。

5.7.4.4 补焊坡口制备应采用机械加工方法。坡口形式、尺寸及精度应符合补焊工艺规程的技术要求，并便于施焊操作。坡口应规则，底部避免尖角、轮廓突变及毛刺等。

5.7.4.5 加工制备完成的补焊坡口应再次进行无损检验，必要时可对坡口表面进行硬度检验，并确认无表面裂纹、淬硬层或渗碳层。

5.7.5 补焊修复焊工资格

进行补焊修复的焊工应具备焊工合格证相应的合格项目，按补焊工艺规程经模拟补焊操作合格，且具备较丰富的现场经验。

5.7.6 缺陷补焊频次限定

5.7.6.1 碳素钢及低合金高强钢构件，其焊接接头同一缺陷部位补焊次数不应超过 3 次。

5.7.6.2 中、高合金钢或具有再热裂纹及热应变脆化倾向钢材的构件，同一缺陷部位补焊不应超过 2 次。

5.7.6.3 同一缺陷部位再次补焊修复前，应分析清楚导致前次补焊失败的原因，提出对策，方可继续进行在限定次数范围内的再次补焊。

5.7.7 补焊修复工艺

5.7.7.1 焊接材料选用原则如下：

- a) 焊接接头缺陷补焊宜选用原焊接工艺规定的焊接材料。
- b) 低合金高强度钢及厚度、刚度大的构件缺陷补焊，可选用强度等级低一级的同种类型的焊接材料进行低强匹配补焊。必要时亦可选用奥氏体钢及镍基焊接材料补焊，但改换焊接材料应经补焊工艺评定确认合格。
- c) 中、高合金钢及异种钢焊接接头缺陷补焊修复，宜选用原焊接工艺规定的焊接材料，必要时经补焊工艺评定合格，亦可选用高镍奥氏体钢或镍基焊接材料。
- d) 补焊修复宜选用直径为 2.5mm 或 3.2mm 的焊条（焊丝）。
- e) 补焊宜选用低氢型或超低氢型、高韧性及工艺性能优良的焊接材料。

5.7.7.2 焊接方法选择原则为：

- a) 补焊修复应根据钢材成分、性能、坡口形式及尺寸等情况，选用易于控制规范、便于灵活操作、热量集中的钨极氩弧焊、焊条电弧焊或其他特种焊等焊接方法；
- b) 焊条电弧焊适用于各种复杂坡口补焊、各种焊接位置及母材金属的补焊；
- c) 钨极氩弧焊适用于小坡口、裂纹敏感性大、穿透性缺陷打底层及薄件的补焊。

5.7.7.3 补焊区预热温度宜比原焊接工艺规定的温度高 30℃～50℃，并在补焊试件评定温度范围内。

5.7.7.4 补焊修复焊接工艺参数应按补焊工艺规程要求执行，并进行过程监控；中、高合金钢应采用小焊接线能量、薄焊层施焊操作。

5.7.7.5 补焊修复宜采用对称、分散、分段、退焊、多层、多道等降低焊接残余应力或改善焊接接头性能的操作工艺。盖面层宜在焊缝金属中部且未与母材金属熔合处焊接回火焊道。

5.7.7.6 补焊焊缝金属必要时可采用锤击等机械方法降低焊接残余应力，锤击时应趁热、用力适当、击点密集。

5.7.7.7 补焊过程及完成后应及时清理焊缝金属表面杂物。

5.7.7.8 要求焊后热处理的补焊接头，缺陷补焊后应立即按原焊后热处理工艺规范或补焊修复热处理工艺要求进行补焊后的热处理。

5.7.7.9 补焊接头焊后热处理结束后，补焊区表面宜修磨处理，使其外观形状与原焊缝金属基本一致，并与母材金属圆滑过渡。

5.7.8 补焊接头质量检验

5.7.8.1 补焊区冷却至室温，方可进行无损检验。

5.7.8.2 采用的检验方法、验收标准以及应准备的技术文件均应与补焊前原焊接接头的质量要求一致，

必要时应增加检验项目。

5.7.8.3 补焊接头应满足产品性能的各项要求。

5.7.8.4 对于经补焊修复引起构件结构尺寸变化，或对应力水平有怀疑时，可进行补焊接头残余应力测试或结构应力分析。

6 质量检验

6.1 一般规定

6.1.1 焊接质量检验分级

6.1.1.1 焊接质量检验可采取焊工自检、施工单位专检、监理及业主检验分级实施的验收制度，采用自检与专业检验相结合的方法进行检验评定。

6.1.1.2 焊接接头检验要求见表 9。

表 9 焊接接头^a分类检验的范围、项目及比例

质量 级别	范 围		检验方法及比例 ^c				
			%				
			外 观	磁粉 ^d	渗透 ^d	射线 ^e	超声 ^e
I ^b	设计温度 $T>200^{\circ}\text{C}$ 或设计压力 $p>1.7\text{MPa}$	$D^f\leq 150\text{mm}$ 和 $\delta\leq 25\text{mm}$	25	10 ^g	—	10	—
		$D>150\text{mm}$ 或 $\delta>25\text{mm}$	50	100	—	100	—
II ^b	设计温度 $T\leq 200^{\circ}\text{C}$ 或设计压力 $p\leq 1.7\text{MPa}$	$D^f\leq 150\text{mm}$ 和 $\delta\leq 25\text{mm}$	10	100	—	h	—
		$D>150\text{mm}$ 或 $\delta>25\text{mm}$	25	100	—	i	—
永久性工艺附件			10	100 ^j	—	—	—
承重钢结构 ^k			25	—	—	—	—

a 焊接接头指对接接头和支管接头，对于角焊、套接焊、附件焊、密封焊缝，管道外径 D 和厚度 δ 取值同支管接头，但仅作磁粉或渗透检验；

b 质量级别指管道使用等级；

c 百分比指按每个焊工和每种焊接工艺焊接接头的检验比例；

d 管道外径 $D\leq 100\text{mm}$ 时，可以采用渗透检验代替磁粉检验；

e 如果设计规范允许，可以采用超声波检验代替射线检验，但应保持检测方法在构件配置及现场安装的一致性；

f 对支管接头， $50\text{mm}<D\leq 150\text{mm}$ ；

g 不进行水压试验时，I 级管道 $D\leq 50\text{mm}$ 的支管接头，在安装加强筋前 100% 渗透检验；

h 不进行水压试验时，II 级管道 $50\text{mm}<D\leq 150\text{mm}$ ，附加 10% 射线检验；

i 不进行水压试验时，II 级管道 $D>150\text{mm}$ ，附加 100% 射线检验；

j 角焊缝厚度小于等于 6mm 接头除外；

k 参照 DL/T 678 或按设计要求进行。

6.1.2 焊接接头质量检验方法和内容

6.1.2.1 外观检验

外观检验主要适用于焊接接头表面宏观缺陷，如错边、咬边、气孔、夹渣、根部凸出及凹陷、裂纹、未熔合等；外观检查不合格的焊接接头，不得进行其他方法的无损检验。

6.1.2.2 无损检验

焊接接头内部无损检验方法和要求如下：

- a) 无损检验采用射线、超声、渗透及磁粉等方法进行；
- b) 焊接接头或近表面缺陷应优先采用磁粉检验方法；但对于奥氏体钢和非、弱铁磁性材料的焊接接头，须采用渗透检验方法；
- c) 焊接接头内部缺陷宜选用射线或超声波检验方法；
- d) 对具有延迟裂纹倾向或再热裂纹倾向的母材金属，无损检验应在焊后热处理后进行。

6.1.2.3 理化检验

现场焊接接头的理化检验可选用光谱分析、硬度测试、金相检验等方法。

6.1.3 焊接接头质量检验方法、范围和内容

焊接接头外观和无损检验的方法、范围及数量见表 9。

6.2 外观目视检验

6.2.1 检验范围

6.2.1.1 焊工应对焊接全过程及所有焊接接头的成形焊缝进行外观检验。

6.2.1.2 当可接近时，外观检查也包括焊缝内表面的检验。

6.2.1.3 对接焊缝及角焊缝应在其全长范围内检验，受检区包括焊缝宽度和距焊缝两侧宽度 25mm 范围内相邻母材金属区。

6.2.1.4 焊工应按上述范围和 6.2.2 中的时间要求对焊接接头进行 100% 目视检查；焊接质量检验人员按表 9 规定比例在焊接完成后进行外观专业检验。

6.2.2 检验时机

外观目视检验应分别在定位焊后、焊接过程及焊接后、热处理后进行。

6.2.3 检验方法和一般要求

6.2.3.1 目视检验方法可分为直接目视检验和间接目视检验，一般要求如下：

- a) 直接目视检验即用肉眼或借助于 5 倍放大镜进行；
- b) 当无法采用直接目视检验且不能取消外观目视检验时，可采用间接目视检验方法，如采用反射镜等辅助方法进行间接观察检验。

6.2.3.2 外观目视检验应配备便携式光源及标定有效的测量工具、仪器。

6.2.4 焊接接头外观检验合格标准

焊接接头外观检验合格标准见表 10。

表 10 焊接接头外观检查标准

mm

检 验 项 目	检 验 标 准				
	壁厚 (δ)				
	$\delta\leq 2.9$	$2.9<\delta\leq 4.5$	$4.5<\delta\leq 6.3$	$6.3<\delta\leq 20$	$\delta>20$
余高	1~2		1~3		
错边	$D\leq 100$		$100<D\leq 300$	$D>300$	
	≤ 0.8		≤ 1.0		
咬边（不要求打磨焊缝）	$\leq 10\% \delta$ 深度 $\leq 0.2\delta$	$\leq 10\% \delta$ 深度 $\leq 0.2\delta$	$\leq 10\% \delta$ 且 ≤ 0.5 深度 $\leq 0.2\delta$	≤ 0.5 深度 ≤ 1.5	≤ 0.5 深度 ≤ 1.5
咬边（要求打磨焊缝）	不允许				
根部凸出	$D<12$	$12\leq D<25$	$25\leq D<50$	$50\leq D<100$	$D\geq 100$
	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 2.0		

表 10 (续)

检 验 项 目	检 验 标 准				
	壁 厚 (δ)				
	$\delta \leq 2.9$	$2.9 < \delta \leq 4.5$	$4.5 < \delta \leq 6.3$	$6.3 < \delta \leq 20$	$\delta > 20$
根部凹陷	≤ 0.8	≤ 1.2	≤ 1.2	≤ 1.5	≤ 1.5
气孔、夹渣	不允许				
裂纹、未熔合、根部未焊透	不允许				
注： δ 为检验焊件厚度， D 为管道外径。					

6.3 焊缝金属光谱分析

6.3.1 检验比例

- 6.3.1.1 管道外径不小于 150mm 的所有合金钢焊接接头。
- 6.3.1.2 管道外径小于 150mm 的合金钢焊接接头, 不少于每名焊工在该机组所完成同类焊接接头总数的 20% 且不少于 3 件。
- 6.3.1.3 不同规格的焊接接头 (含角接头和 T 型接头) 按管道外径较小者确定。

6.3.2 检验时机

焊缝金属光谱分析在焊接完成后进行。

6.3.3 检验条件

光谱分析应清理出焊缝金属光泽。由两名或多名焊工同时完成的焊接接头, 光谱分析时应在各自相对应的焊缝金属区段上进行。

6.3.4 不合格及其处理方法

- 6.3.4.1 光谱分析不合格时, 应对同一构件上的焊缝金属加倍分析, 加倍分析仍不合格, 则应对该焊缝返修处理; 重要构件可采用定量光谱分析或取样化学分析, 作为最终分析结果。
- 6.3.4.2 在未进行 100% 光谱分析的焊接接头中, 发现任意一件焊缝金属光谱分析结果不合格, 则应对该焊工所完成的同类焊缝金属进行 100% 光谱分析。

6.3.5 执行标准

光谱分析应执行 DL/T 991 的规定。

6.4 须焊后热处理的焊接接头硬度检验

6.4.1 检验范围

- 6.4.1.1 管道外径不小于 150mm 的所有焊接接头。
- 6.4.1.2 管道外径为 100mm~150mm 的焊接接头采用同一加热设备, 按同一规范、同一批次进行焊后热处理时, 硬度检验不少于该机组所完成同类焊接接头总数的 20% 且不少于 3 件; 管道外径小于 100mm 时, 硬度检验数量不少于同类焊接接头中的 3 件。
- 6.4.1.3 不同规格的焊接接头管道外径按较小者确定。

6.4.2 检验时间

硬度检验在焊后热处理完成后, 焊接接头宜冷却到室温下进行。

6.4.3 检验方法及执行标准

- 6.4.3.1 可取样焊接接头硬度检验应采用台式硬度仪, 符合 GB/T 231 的规定。
- 6.4.3.2 现场硬度检验可采用便携式里氏硬度仪, 符合 GB/T 17394 的规定。

6.4.4 合格标准

热处理后焊缝金属硬度检验值, 不超过母材金属布氏硬度值加 100HB (异种钢不超过高合金侧母材金属布氏硬度值加 100HB) 且满足下列规定 (异种钢焊缝以合金含量低侧母材成分计算合金总含量):

- a) 合金总含量小于 3%，布氏硬度值小于等于 250HB；
- b) 合金总含量为 3%~10%，布氏硬度值小于等于 270HB；
- c) 合金总含量大于 10%，布氏硬度值小于等于 300HB。

6.4.5 不合格焊接接头的处理

6.4.5.1 硬度检验不合格的焊接接头，应以 3 倍数量的检验点追加检验该焊缝金属硬度。追加检验结果仍不合格，当硬度值高于标准值时，该焊接接头应重新进行焊后热处理；当硬度值低于标准值时，应按有关规定另行处理。

6.4.5.2 在未进行 100% 硬度检验的焊接接头中发现任意一件硬度不合格，应对该机组上同一设备相同规范完成的焊后热处理的同类焊接接头全部进行硬度检验。

6.5 焊接接头无损检验

6.5.1 检验标准

6.5.1.1 除合同、设计文件或业主另有规定外，无损检验方法按 6.5.2 规定选用，焊接接头无损检验标准按 6.5.5 执行。

6.5.1.2 合同及设计文件另有规定的，执行合同和设计文件的检验标准；国外设备焊接接头的无损检验按相应标准执行，无特殊规定时应执行本标准的规定。

6.5.2 检验方法选用

6.5.2.1 壁厚不大于 25mm 的焊件内部质量检验，应采用射线检验。

6.5.2.2 壁厚大于 25mm 的焊件内部质量检验，可任选射线检验与超声波检验其中一种或两者并用；但对奥氏体钢焊接接头，应采用射线检验。

6.5.2.3 表面及近表面宜采用磁粉检验，奥氏体钢和非、弱铁磁性材料焊接接头宜采用渗透检验。

6.5.2.4 同一焊接接头当采用两种或以上检验方法，应按各自的合格标准评定。

6.5.3 检验时机

焊接接头无损检验宜在焊接完成后进行；有延迟裂纹和再热裂纹倾向的焊接接头，应在焊后热处理后进行；根层打底焊缝有表面检验要求的，应在打底焊结束后进行。

6.5.4 厚壁焊件的分次无损检验

壁厚不小于 70mm 的焊接接头，其工艺要求分次无损检验的焊件，宜在完成坡口深度 25% 时进行焊缝检验。

6.5.5 检验执行标准

焊接接头无损检验执行标准见表 11。

表 11 焊接接头无损检验标准及级别

检验方法	射线检验	超声波检验	磁粉检验或渗透检验
管道对接接头	DL/T 821—2002	DL/T 820—2002 B 级	JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005
支管接头	JB/T 4730.2—2005AB 级	JB/T 4730.3—2005 B 级	JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005
压力容器对接接头	JB/T 4730.2—2005AB 级	JB/T 4730.3—2005 B 级	JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005
角焊、套接焊、附件焊及密封焊	—	—	JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005
钢结构焊接接头	JB/T 4730.2—2005A 级	JB/T 4730.3—2005 A 级	JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005

6.5.6 检验质量合格级别

6.5.6.1 射线检验达到 DL/T 821—2002 或 JB/T 4730.2—2005 II 级。

6.5.6.2 超声波检验达到 DL/T 820—2002 或 JB/T 4730.3—2005 I 级。

6.5.6.3 磁粉检验或渗透检验达到 JB/T 4730.4—2005 或 JB/T 4730.5—2005 I 级，且检查结果不得有任何裂纹、成排气孔、分层和长度大于 1.5mm 线性缺陷显示。

6.5.7 不合格焊接接头的处理

6.5.7.1 管子和管道焊接接头检验不合格，应对该焊工当日同一批施焊接头按不合格焊接接头数加倍进行无损检验。加倍检验仍有不合格件时，则该焊工该批焊接接头评定为不合格；对该批焊接接头应 100% 无损检验或全部切除。

6.5.7.2 容器纵、环焊缝局部检验不合格，应在缺陷两端延伸部位增加无损检验长度，增加长度应为焊缝长度的 10% 且不少于 250mm；若仍不合格，则该焊缝应 100% 无损检验。

6.5.8 检验结果及资料存放

6.5.8.1 施工单位检验部门应将焊接检验结果及时通知委托检验部门。

6.5.8.2 被委托的无损检验工作结束后，检验部门应及时出具检验报告，报告应具有良好的可追溯性，能准确反映检验条件、检验结果和返修情况，并附有与报告对应的检验部位记录图。

6.5.8.3 射线检验底片应编号齐全、明确，整理装盒后存放于干燥、通风的场所，严防底片霉变、粘连和变形。

6.6 焊接接头现场金相检验

6.6.1 一般准则

当合同或设计文件规定或验证需要时，应进行焊接接头金相检验。现场焊接接头金相检验试样制备、覆膜要求等符合 DL/T 652 及 DL/T 884 的规定。光学金相照片放大倍数宜选取 200 倍及以上倍数。视频金相照片放大倍数应比照光学照片放大倍数选取。

6.6.2 合格标准

6.6.2.1 无裂纹、无过烧组织等非正常组织，高合金钢无网状析出物和网状组织。

6.6.2.2 金相组织符合相应技术条件规定的要求。

7 焊接技术资料

7.1 焊接技术资料编制

焊接技术资料由施工单位焊接技术人员负责编制，其他各类焊接人员应积极配合。

7.2 资料移交及内容

施工单位应向业主移交的技术资料，由业主和施工单位协商一致后执行或按以下内容移交：

- a) 焊接工程一览表；
- b) 焊接材料质量证件；
- c) 焊工、热处理工及检验人员资格证书复印件；
- d) 焊接工艺评定项目的目录及应用范围统计表；
- e) 承压管道及压力容器焊接记录、热处理记录、焊后检验报告及射线检验底片、焊接接头记录单。

7.3 施工单位竣工资料

施工单位应将下列资料在工程竣工后整理成册、归档：

- a) 焊接施工组织设计、重大技术措施；
- b) 焊接工艺评定报告；
- c) 焊接工艺规程；
- d) 焊接、热处理、检验记录图表和检验报告；
- e) 焊接工程技术总结和专题技术总结。

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
核电厂常规岛焊接技术规程
DL/T 1118—2009

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2009年12月第一版 2009年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.5印张 43千字
印数 0001—3000册

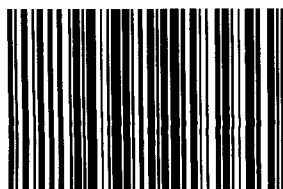
*

统一书号 155083·2244

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155083.2244

销售分类建议：规程规范/
电力工程/新能源发电