JB/T 4709—2000

钢制压力容器焊接规程

前　　言

本标准对 JB/T 4709—1992 进行修订。

本标准依据 JB/T 4709—1992 实施以来所取得的经验，参照近期国际同类标准进行了下列变动：

1　增加附录 A“不锈钢复合钢焊接规程”和附录 B“焊接工艺规程推荐表格”。

2　第 3 章增加了如下内容：

①焊材选用并应通过焊接工艺评定要求；

②从 GB/T 5118 选用焊条的规定；

③表 1 和表 3 增加了一些钢号；

④增加了表 2。

3　第 5 章增加了表 4，表 5 增加了一些钢号。

4　第 8 章增加了焊后热处理厚度的规定。表 6 中增加了一些钢号，调整了焊后热处理温度；增加了表 7。

本标准从实施之日起，代替 JB/T 4709—1992。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准的附录 B 是提示的附录。

本标准由全国压力容器标准化技术委员会提出，由全国压力容器标准化技术委员会制造分委员会归口。

本标准负责起草单位：合肥通用机械研究所、锦西化工机械厂和大连石油化工设计院。

本标准主要起草人：戈兆文、龙　红、严国华。

参加本标准编制的工作单位及人员有：

中国石化集团公司咨询公司：寿比南、杨国义。

国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局：高继轩、张建荣。

中国通用机械工程总公司：张忠考。

中国化工勘察设计协会：梁之洵。

合肥通用机械研究所：李景辰。

辽宁省质量技术监督局：王　俊。

大连冰山集团金州重型机器厂：陈育亨。

本标准于 1992 年 4 月首次发布。

本标准由全国压力容器标准化技术委员会负责解释。

中华人民共和国行业标准

JB/T 4709—2000

钢制压力容器焊接规程

代替 JB/T 4709—1992

Welding specification for steel pressure vessels

1 范围

本标准规定了钢制压力容器焊接的基本要求。

本标准适用于气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、电渣焊等方法焊接的钢制压力容器。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文，本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 150—1998 钢制压力容器

GB/T 983—1995 不锈钢焊条

GB/T 5117—1995 碳钢焊条

GB/T 5118—1995 低合金钢焊条

GB/T 5293—1985 碳素钢埋弧焊用焊剂

GB/T 14957—1994 熔化焊用钢丝

GB/T 14958—1994 气体保护焊用钢丝

JB 4708—2000 钢制压力容器焊接工艺评定

JB 4730—1994 压力容器无损检测

JB 4733—1996 压力容器用爆炸不锈钢复合钢板

YB/T 5091—1993 惰性气体保护焊用不锈钢棒及钢丝

YB/T 5092—1996 焊接用不锈钢丝

3 焊接材料

3.1 焊接材料包括焊条、焊丝、钢带、焊剂、气体、电极和衬垫等。

3.2 焊接材料选用原则

应根据母材的化学成分、力学性能、焊接性能，并结合压力容器的结构特点、使用条件及焊接方法综合考虑选用焊接材料，必要时通过试验确定。

焊缝金属的性能应高于或等于相应母材标准规定值的下限或满足图样规定的技术条件要求。对各类钢的焊缝金属要求如下：

3.2.1 相同钢号相焊的焊缝金属

3.2.1.1 碳素钢、低合金钢的焊缝金属应保证力学性能，且其抗拉强度不应超过母材标准规定的上限值加 30 MPa。耐热型低合金钢的焊缝金属还应保证化学成分。

注：本标准将 GB 150 中的低合金钢按其使用性能分为强度型低合金钢、耐热型低合金钢和低温型低合金钢。

3.2.1.2 高合金钢的焊缝金属应保证力学性能和耐腐蚀性能。

3.2.1.3 不锈钢复合钢基层的焊缝金属应保证力学性能，且其抗拉强度不应超过母材标准规定的上限值加 30 MPa；复层的焊缝金属应保证耐腐蚀性能，当有力学性能要求时还应保证力学性能。

国家机械工业局
国家石油和化学工业局 2000－08－15 批准 2000－10－01 实施

复层焊缝与基层焊缝以及复层焊缝与基层钢板的交界处宜采用过渡焊缝。

3.2.2 不同钢号相焊的焊缝金属

3.2.2.1 不同强度钢号的碳素钢、低合金钢之间的焊缝金属应保证力学性能，且其抗拉强度不应超过强度较高母材标准规定的上限值。

3.2.2.2 奥氏体高合金钢与碳素钢或低合金钢之间的焊缝金属应保证抗裂性能和力学性能。宜采用铬镍含量较奥氏体高合金钢母材高的焊接材料。

3.3 焊接材料应有产品质量证明书，并符合相应标准的规定。施焊单位按质量保证体系规定验收与复验，合格后方准使用。

3.4 焊接材料应满足图样的技术要求，并按 JB 4708 规定通过焊接工艺评定。

3.5 焊接材料熔敷金属硫、磷含量规定应与母材一致，选用 GB/T 5118 标准规定的焊条，还应符合下列要求：

3.5.1 型号为 E××××－G 的焊条应规定出焊缝金属夏比 V 型缺口冲击吸收功。

3.5.2 铬钼钢焊条的焊缝金属夏比 V 型缺口冲击吸收功常温时应不小于 31 J。

3.5.3 用于焊接低温钢的镍钢焊条的焊缝金属夏比 V 型缺口冲击吸收功在相应低温时应不小于 34 J。

3.6 常用钢号推荐选用的焊接材料见表 1，常用钢号分类分组见表 2，不同钢号相焊推荐选用的焊接材料见表 3。

4 焊接工艺评定和焊工

4.1 施焊下列各类焊缝的焊接工艺必须按 JB 4708 标准评定合格。

a) 受压元件焊缝；

b) 与受压元件相焊的焊缝；

c) 熔入永久焊缝内的定位焊缝；

d) 受压元件母材表面堆焊、补焊；

e) 上述焊缝的返修焊缝。

4.2 施焊下列各类焊缝的焊工必须按《锅炉压力容器焊工考试规则》规定考试合格。

a) 受压元件焊缝；

b) 与受压元件相焊的焊缝；

c) 熔入永久焊缝内的定位焊缝；

d) 受压元件母材表面耐蚀堆焊。

5 焊前准备

5.1 焊接坡口

焊接坡口应根据图样要求或工艺条件选用标准坡口或自行设计。选择坡口形式和尺寸应考虑下列因素：

a) 焊接方法；

b) 焊缝填充金属尽量少；

c) 避免产生缺陷；

d) 减少残余焊接变形与应力；

e) 有利于焊接防护；

f) 焊工操作方便；

g) 复合钢板的坡口应有利于减少过渡焊缝金属的稀释率。

表1　常用钢号推荐选用的焊接材料

钢　号	焊条电弧焊		埋　弧　焊			电　渣　焊			CO_2 气保焊	氩弧焊
	焊　条		焊丝钢号（标准号）	焊　剂		焊丝钢号（标准号）	焊　剂		焊丝钢号（标准号）	焊丝钢号（标准号）
	型　号（标准号）	牌号示例		型　号（标准号）	牌号示例		型　号（标准号）	牌号示例		
Q235－A·F Q235－A 10(管) 20(管)	E4303 (GB/T 5117)	J422	H08A H08MnA (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293)	HJ431	—	—	—	H08MnSi (GB/T 14958)	—
Q235－B Q235－C 20G，20g 20R，20(锻)	E4316 (GB/T 5117)	J426	H08A H08E H08MnA (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293)	HJ431	—	—	—	H08MnSi (GB/T 14958)	—
	E4315 (GB/T 5117)	J427								
09MnD	E5015－G (GB/T 5118)	W607	—	—	—	—	—	—	—	—
09MnNiD 09MnNiDR	—	W707	—	—	—	—	—	—	—	—
16Mn，16MnR	E5016 (GB/T 5117)	J506	H10MnSi H10Mn2 (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293) HJ402－H10Mn2 (GB/T 5293) HJ404－H08MnA (GB/T 5293)	HJ431 HJ350 SJ101	H08MnMoA H08Mn2SiA (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293)	HJ431	H08Mn2SiA (GB/T 14958)	H10MnSi (GB/T 14957)
	E5015 (GB/T 5117)	J507								

表 1(续)

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊			电渣焊			CO_2 气保焊	氩弧焊
	焊条		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	焊丝钢号(标准号)
	型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		
16MnD 16MnDR	E5016－G (GB/T 5118)	J506RH	*	—	*	—	—	—	—	—
	E5015－G (GB/T 5118)	J507RH								
15MnNiDR	E5015－G (GB/T 5118)	W607	—	—	—	—	—	—	—	—
15MnNbR	E5516－G (GB/T 5118)	J556RH	*	HJ404－H08MnA (GB/T 5293)	SJ101	—	—	—	*	—
	E5515－G (GB/T 5118)	J557								
15MnVR	E5515－G (GB/T 5118)	J557	H08MnMoA H10MnSi H10Mn2 (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293) HJ402－H10Mn2 (GB/T 5293) HJ404－H08MnA (GB/T 5293)	HJ431 HJ350 SJ101	—	—	—	H08Mn2SiA (GB/T 14958)	H08Mn2SiA (GB/T 14957)
20MnMo	E5015－G (GB/T 5118)	J507RH	H10MnSi H10Mn2 H08MnMoA (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293) HJ402－H10Mn2 (GB/T 5293)	HJ431 HJ350	—	—	—	—	—
	E5515－G (GB/T 5118)	J557								

表 1(续)

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊			电渣焊			CO_2 气保焊	氩弧焊
	焊条		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	焊丝钢号（标准号）
	型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		
20MnMoD	E5016－G（GB/T 5118）	J506RH	—	—	—	—	—	—	—	—
	E5015－G（GB/T 5118）	J507RH								
	E5516－G（GB/T 5118）	J556RH								
13MnNiMoNbR	E6016－D1（GB/T 5118）	J606	H08Mn2MoA（GB/T 14957）	HJ402－H10Mn2（GB/T 5293）	HJ350	*	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	—	—
	E6015－D1（GB/T 5118）	J607								
18MnMoNbR	E6015－D1（GB/T 5118）	J607	H08Mn2MoA（GB/T 14957）	—	HJ250G	H10Mn2MoA H10Mn2MoVA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	—	—
20MnMoNb	E6015－D1（GB/T 5118）	J607	H08Mn2MoA（GB/T 14957）	—	HJ250G	—	—	—	—	—
07MnCrMoVR 08MnNiCrMoVD 07MnNiCrMoVDR	E6015－G（GB/T 5118）	J607RH	*	—	SJ102	—	—	—	—	—
10Ni3MoVD	E6015－G（GB/T 5118）	J607RH	—	—	—	—	—	—	—	—

表 1(续)

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊			电渣焊			CO_2 气保焊	氩弧焊
	焊条		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	焊丝钢号（标准号）
	型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		
12CrMo 12CrMoG	E5515－B1 (GB/T 5118)	R207	H13CrMoA (GB/T 14957)	HJ402－H10Mn2 (GB/T 5293) HJ404－H08MnA (GB/T 5293)	HJ350 SJ101 HJ250G	—	—	—	—	H08CrMoA (GB/T 14957)
15CrMo 15CrMoG 15CrMoR	E5515－B2 (GB/T 5118)	R307				H13CrMoA (GB/T 14957)	HJ401－H08A (GB/T 5293)	HJ431	—	H13CrMoA (GB/T 14957)
14Cr1MoR 14Cr1Mo	E5515－B2 (GB/T 5118)	R307H	—	—	—	—	—	—	—	—
12Cr1MoV 12Cr1MoVG	E5515－B2－V (GB/T 5118)	R317	H08CrMoVA (GB/T 14957)	HJ402－H10Mn2 (GB/T 5293)	HJ350	—	—	—	—	H08CrMoVA (GB/T 14957)
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2MoG 12Cr2Mo1R	E6015－B3 (GB/T 5118)	R407	*	—	*	—	—	—	—	—
1Cr5Mo	E5MoV－15 (GB/T 5118)	R507	—	—	—	—	—	—	—	—
0Cr18Ni9	E308－16 (GB/T 983)	A102	H0Cr21Ni10 (YB/T 5092)	—	HJ260	—	—	—	—	H0Cr21Ni10 (YB/T 5091)
	E308－15 (GB/T 983)	A107								

表 1(完)

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊			电渣焊			CO_2 气保焊	氩弧焊
	焊条		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	焊丝钢号(标准号)
	型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		
0Cr18Ni10Ti 1Cr18Ni9Ti	E347—16 (GB/T 983)	A132	H0Cr21Ni10Ti (YB/T 5092)	—	HJ260	—	—	—	—	H0Cr21Ni10Ti (YB/T 5091)
	E347—15 (GB/T 983)	A137								
0Cr17Ni12Mo2	E316—16 (GB/T 983)	A202	H0Cr19Ni12Mo2 (YB/T 5092)	—	HJ260	—	—	—	—	H0Cr19Ni12Mo2 (YB/T 5091)
	E316—15 (GB/T 983)	A207								
0Cr18Ni12Mo2Ti	E316L—16 (GB/T 983)	A022	H00Cr19Ni12Mo2 (YB/T 5092)	—	HJ260	—	—	—	—	H00Cr19Ni12Mo2 (YB/T 5091)
	E318—16 (GB/T 983)	A212								
0Cr19Ni13Mo3	E317—16 (GB/T 983)		—	—		—	—	—	—	H0Cr20Ni14Mo3 (YB/T 5091)
00Cr19Ni10	E308L—16 (GB/T 983)	A002	H00Cr21Ni10 (YB/T 5092)	—	HJ260	—	—	—	—	H00Cr21Ni10 (YB/T 5091)
00Cr17Ni14Mo2	E316L—16 (GB/T 983)	A022	—	—	—	—	—	—	—	—
00Cr19Ni13Mo3	E317L—16 (GB/T 983)	A242	—	—	—	—	—	—	—	—
0Cr13	E410—16 (GB/T 983)	G202	—	—	—	—	—	—	—	—
	E410—15 (GB/T 983)	G207								

* 已有焊材,但尚未列入标准。

表 2　常用钢号分类分组

类别号	组别号	钢　　号
Ⅰ	Ⅰ－1	Q235－A·F，Q235－A，Q235－B，Q235－C 10（管），20， 20g，20G，20R
Ⅱ	Ⅱ－1	16Mn，16MnR
	Ⅱ－2	15MnVR，15MnNbR，20MnMo
Ⅲ	Ⅲ－1	13MnNiMoNbR，18MnMoNbR，20MnMoNb
	Ⅲ－2	07MnCrMoVR
Ⅳ	Ⅳ－1	12CrMo，12CrMoG，15CrMo，15CrMoG，15CrMoR，14Cr1Mo 14Cr1MoR，12Cr1MoV，12Cr1MoVG
	Ⅳ－2	12Cr2Mo，12Cr2MoG 12Cr2Mo1，12Cr2Mo1R
Ⅴ	Ⅴ－1	1Cr5Mo
Ⅵ	Ⅵ－1	09MnD，09MnNiD，09MnNiDR
	Ⅵ－2	16MnD，16MnDR，15MnNiDR，20MnMoD
	Ⅵ－3	07MnNiCrMoVDR，08MnNiCrMoVD，10Ni3MoVD
Ⅶ	Ⅶ－1	1Cr18Ni9Ti，0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti，00Cr19Ni10
	Ⅶ－2	0Cr17Ni12Mo2，0Cr18Ni12Mo2Ti，00Cr17Ni14Mo2 0Cr19Ni13Mo3，00Cr19Ni13Mo3
Ⅷ	Ⅷ－1	0Cr13

5.2　坡口制备

5.2.1　碳素钢和标准抗拉强度下限值不大于 540 MPa 的强度型低合金钢可采用冷加工方法，也可采用热加工方法制备坡口。

5.2.2　耐热型低合金钢和高合金钢、标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的强度型低合金钢，宜采用冷加工方法。若采用热加工方法，对影响焊接质量的表面层，应用冷加工方法去除。

5.3　焊接坡口应保持平整，不得有裂纹、分层、夹杂等缺陷，形式和尺寸应符合相应规定。

5.4　坡口表面及两侧（以离坡口边缘的距离计焊条电弧焊各 10 mm，埋弧焊、气体保护焊各20 mm，电渣焊各 40 mm）应将水、铁锈、油污、积渣和其它有害杂质清理干净。

5.5　为防止沾附焊接飞溅，奥氏体高合金钢坡口两侧各 100 mm 范围内应刷涂料。

5.6　焊条、焊剂按规定烘干、保温，常用焊材烘干温度及保持时间见表 4；焊丝需去除油、锈；保护气体应保持干燥。

5.7　预热

5.7.1　根据母材的化学成分、焊接性能、厚度、焊接接头的拘束程度、焊接方法和焊接环境等综合考虑是否预热，必要时通过试验确定。常用钢号推荐的预热温度见表 5。

5.7.2　不同钢号相焊时，预热温度按预热温度要求较高的钢号选取。

5.7.3　采取局部预热时，应防止局部应力过大。预热的范围为焊缝两侧各不小于焊件厚度的 3 倍，且不小于 100mm。

表 3　不同钢号相焊推荐选用焊接材料表

被焊钢材类别	接头母材类别号或组别号	焊条电弧焊		埋弧焊			氩弧焊	备　注
		焊　条		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	
		型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		
碳素钢之间焊接	Ⅰ＋Ⅰ	E4303（GB/T 5117）	J422	H08A（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H08A（GB/T 14957）	—
		E4315（GB/T 5117）	J427					
碳素钢与强度型低合金钢焊接	Ⅰ＋（Ⅱ－1）	E4303（GB/T 5117）	J422	H08A H08MnA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H10MnSi（GB/T 14957）	—
		E4315（GB/T 5117）	J427					
	Ⅰ＋（Ⅱ－2）	E4315（GB/T 5117）	J427	H08MnA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H10MnSi（GB/T 14957）	—
		E5015（GB/T 5117）	J507					
	Ⅰ＋（Ⅲ－1） Ⅰ＋（Ⅲ－2）	E4315（GB/T 5117）	J427	H08A H08MnA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H10MnSi（GB/T 14957）	—
		E5015（GB/T 5117）	J507					
碳素钢与耐热型低合金钢焊接	Ⅰ＋Ⅳ	E4315（GB/T 5117）	J427	H08A H08MnA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H10MnSi（GB/T 14957）	—
	Ⅰ＋Ⅴ	E4315（GB/T 5117）	J427	H08A H08MnA（GB/T 14957）	HJ401－H08A（GB/T 5293）	HJ431	H10MnSi（GB/T 14957）	—

表 3(续)

被焊钢材类别	接头母材类别号或组别号	焊条电弧焊		埋弧焊			氩弧焊	备注
		焊条		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	
		型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		
碳素钢与低温型低合金钢焊接	Ⅰ+Ⅵ	E4315 (GB/T 5117)	J427	H08A H08MnA (GB/T 14957)	HJ401-H08A (GB/T 5293)	HJ431	H10MnSi (GB/T 14957)	—
强度型低合金钢的焊接	Ⅱ+Ⅱ	E5015 (GB/T 5117)	J507	H08MnA H10MnSi (GB/T 14957)	HJ401-H08A (GB/T 5293)	HJ431	H10MnSi (GB/T 14957)	—
		E5515-G (GB/T 5118)	J557		HJ402-H10Mn2 (GB/T 5293)	HJ350		
强度型低合金钢的焊接	Ⅱ+(Ⅲ-1) Ⅱ+(Ⅲ-2)	E5015 (GB/T 5117)	J507	H08MnA H10Mn2 (GB/T 14957)	HJ401-H08A (GB/T 5293)	HJ431	H10MnSi (GB/T 14957)	—
					HJ402-H10Mn2 (GB/T 5293)	HJ350		
	(Ⅱ-2)+(Ⅲ-1) (Ⅱ-2)+(Ⅲ-2)	E5015 (GB/T 5117)	J507	H10Mn2 H10MnSi (GB/T 14957)	HJ401-H08A (GB/T 5293)	HJ431	—	—
		E5515-G (GB/T 5118)	J557		HJ402-H10Mn2 (GB/T 5293)	HJ350	—	—
强度型低合金钢与耐热型低合金钢焊接	Ⅱ+Ⅳ	E5003 (GB/T 5117)	J502	—	—	—	—	—
		E5015 (GB/T 5117)	J507	—	—	—	—	—
	Ⅲ+Ⅳ	E5003 (GB/T 5117)	J502	—	—	—	—	—
		E5015 (GB/T 5117)	J507					

表 3(续)

被焊钢材类别	接头母材类别号或组别号	焊条电弧焊		埋弧焊			氩弧焊	备注
		焊条		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	
		型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		
强度型低合金钢与耐热型低合金钢焊接	Ⅱ+Ⅴ	E5015 (GB/T 5117)	J507	—	—	—	—	—
		E5515-G (GB/T 5118)	J557	—	—	—	—	—
强度型低合金钢与耐热型低合金钢的焊接	Ⅲ+Ⅴ	E5015 (GB/T 5117)	J507	—	—	—	—	—
		E5515-G (GB/T 5118)	J557					
耐热型低合金钢之间的焊接	(Ⅳ-1)+(Ⅳ-2)	E5515-B1 (GB/T 5118)	R207	—	—	—	—	—
		E5515-B2 (GB/T 5118)	R307					
		E309-15 (GB/T 983)	A307	—	—	—	H1Cr24Ni13 (YB/T 5091)	不进行热处理时采用
	Ⅳ+Ⅴ	E5515-B1 (GB/T 5118)	R207	—	—	—	H13CrMoA (GB/T 14957)	—
		E5515-B2 (GB/T 5118)	R307	—	—	—	—	—
		E5515-B2-V (GB/T 5118)	R317					
		E6015-B3 (GB/T 5118)	R407					
		E310-15 (GB/T 983)	A407	—	—	—	H1Cr26Ni21 (YB/T 5091)	不进行热处理时采用

表 3(续)

被焊钢材类别	接头母材类别号或组别号	焊条电弧焊		埋弧焊			氩弧焊	备注
		焊条		焊丝钢号(标准号)	焊剂		焊丝钢号(标准号)	
		型号(标准号)	牌号示例		型号(标准号)	牌号示例		
珠光体钢与铁素体不锈钢焊接	(Ⅰ~Ⅳ)+Ⅷ	E309-16(GB/T 983)	A302	—	—	—	H1Cr24Ni13(YB/T 5091)	不进行热处理时采用
		E309-15(GB/T 983)	A307					
珠光体钢与奥氏体不锈钢焊接	Ⅰ+(Ⅶ-1)	E309-16(GB/T 983)	A302	H1Cr24Ni13(YB/T 5092)	—	HJ260	H1Cr24Ni13(YB/T 5091)	—
		E309-15(GB/T 983)	A307					
		E309Mo-16(GB/T 983)	A312	—	—	—	—	—
	Ⅱ+(Ⅶ-1)	E309-16(GB/T 983)	A302	H1Cr24Ni13(YB/T 5092)	—	HJ260	H1Cr24Ni13(YB/T 5091)	—
		E309Mo-16(GB/T 983)	A312					
	Ⅲ+(Ⅶ-1)	E310-16(GB/T 983)	A402	—	—	—	H1Cr26Ni21(YB/T 5091)	—
		E310-15(GB/T 983)	A407					

表 3(完)

被焊钢材类别	接头母材类别号或组别号	焊条电弧焊		埋弧焊			氩弧焊	备注
		焊条		焊丝钢号（标准号）	焊剂		焊丝钢号（标准号）	
		型号（标准号）	牌号示例		型号（标准号）	牌号示例		
珠光体钢与奥氏体不锈钢焊接	Ⅳ+(Ⅶ-1)	E309-16 (GB/T 983)	A302	—	—	—	H1Cr24Ni13 (YB/T 5091)	—
		E310-16 (GB/T 983)	A402	—	—	—	H1Cr26Ni21 (YB/T 5091)	—
		E310-15 (GB/T 983)	A407	—	—	—	H1Cr26Ni21 (YB/T 5091)	—
	Ⅴ+(Ⅶ-1)	E309-16 (GB/T 983)	A302	—	—	—	H1Cr24Ni13 (YB/T 5091)	—
		E310-16 (GB/T 983)	A402	—	—	—	H1Cr26Ni21 (YB/T 5091)	—
		E310-15 (GB/T 983)	A407	—	—	—	H1Cr26Ni21 (YB/T 5091)	—
	Ⅵ+(Ⅶ-1)	E309-16 (GB/T 983)	A302	—	—	—	H1Cr24Ni13 (YB/T 5091)	—
		E309-15 (GB/T 983)	A307					

表4 常用焊材烘干温度及保持时间

类 别	牌 号	温 度,℃	时间，h
碳钢和低合金钢焊条	J422	150	1
	J426	300	1
	J427	350	1
	J502	150	1
	J506，J507	350	1
	J506RH，J507RH	350～430	1
	J507MoW	350	1
	J557	350	1
	J556RH	400	1
	J606，J607	350	1
	J607RH	350～430	1
	J707	350	1
	J707RH	400	2
低温钢焊条	W607，W707	350	1
钼和铬钼耐热钢焊条	R207，R307	350	1
	R307H	400	1
	R317，R407，R507	350	1
铬镍不锈钢焊条	A102	150	1
	A107	250	1
	A132	150	1
	A137	250	1
	A202	150	1
	A207	250	1
	A002，A022，A212，A242	150	1
铬不锈钢焊条	G202	150	1
	G207	250	1
	G302	150	1
	G307	200～300	1
熔炼焊剂	HJ431	250	2
	HJ350，HJ260	300～400	2
	HJ250	300～350	2
烧结焊剂	SJ101	300～350	2
	SJ102		

表 5　常用钢号推荐的预热温度

钢号	厚度，mm	预热温度，℃
20G，20，20R，20g	30～50	≥50
	>50～100	≥100
	>100	≥150
16MnD，09MnNiD 16MnDR，09MnNiDR 15MnNiDR	≥30	≥50
16Mn，16MnR 15MnVR，15MnNbR	30～50	≥100
	>50	≥150
20MnMo 20MnMoD 08MnNiCrMoVD	任意厚度	≥100
07MnCrMoVR 07MnNiCrMoVDR	16～30	≥60
	>30～40	≥80
	>40～50	≥100
13MnNiMoNbR	任意厚度	≥150
18MnMoNbR		≥180
20MnMoNb	任意厚度	≥200
12CrMo，15CrMo 12CrMoG，15CrMoR 15CrMoG	>10	≥150
12Cr1MoV 12Cr1MoVG 14Cr1MoR 14Cr1Mo 12Cr2Mo，12Cr2Mo1 12Cr2MoG，12Cr2Mo1R	>6	≥200
1Cr5Mo	任意厚度	≥250

5.7.4　需要预热的焊件在整个焊接过程中应不低于预热温度。

5.7.5　当用热加工法下料、开坡口、清根、开槽或施焊临时焊缝时，亦需考虑预热要求。

5.8　焊接设备及辅助装备等应处于正常工作状态，安全可靠，仪表应定期校验。

5.9　组对定位

5.9.1　组对时，坡口间隙、错边量、棱角度等应符合规定。

5.9.2　尽量避免强力组装，定位焊缝间距要符合规定。

5.9.3　焊接接头拘束度大时，推荐采用抗裂性能更好的焊条施焊。

5.9.4　定位焊缝不得有裂纹，否则应清除重焊。如存在气孔、夹渣时亦应去除。

5.9.5　熔入永久焊缝内的定位焊缝两端应便于接弧，否则应予修整。

6　焊接

6.1　焊前应按接头编制焊接工艺规程（推荐表格见附录 B），焊工应按图样、工艺文件、技术标准施焊。

6.2 焊接环境

6.2.1 焊接环境出现下列任一情况时，须采取有效防护措施，否则禁止施焊。

a) 风速：气体保护焊时大于 2 m/s，其他焊接方法大于 10 m/s；

b) 相对湿度大于 90%；

c) 雨雪环境；

d) 焊件温度低于 −20℃。

6.2.2 当焊件温度为 0～−20℃时，应在始焊处 100 mm 范围内预热到 15℃以上。

6.3 应在引弧板或坡口内引弧，禁止在非焊接部位引弧。纵焊缝应在引出板上收弧，弧坑应填满。

6.4 防止地线、电缆线、焊钳与焊件打弧。

6.5 电弧擦伤处的弧坑需经修磨，使其均匀过渡到母材表面，修磨的深度应不大于该部位钢材厚度 δ_s 的 5%且不大于 2 mm，否则应予补焊。

6.6 对有冲击试验要求的焊件应当认真控制线能量，每条焊道的线能量都不高于评定合格数值。

6.7 用焊条电弧焊或气焊焊接管子时，一般应采用多层焊，各焊层焊道的接头应尽量错开。

6.8 受压元件角焊缝的根部应保证焊透。

6.9 双面焊须清理焊根，显露出正面打底的焊缝金属。对于自动焊，若经试验确认能保证焊透，亦可不作清根处理。

6.10 接弧处应保证焊透与熔合。

6.11 施焊过程中应控制层间温度不超过规定的范围。当焊件预热时，应控制层间温度不得低于预热温度。

6.12 每条焊缝应尽可能一次焊完。当中断焊接时，对冷裂纹敏感的焊件应及时采取后热、缓冷等措施。重新施焊时，仍需按规定进行预热。

6.13 采用锤击消除残余应力时，第一层焊缝和盖面层焊缝不宜锤击。

6.14 引弧板、引出板、产品焊接试板不应锤击拆除。

7 后热

7.1 对冷裂纹敏感性较大的低合金钢和拘束度较大的焊件应采取后热措施。

7.2 后热应在焊后立即进行。

7.3 后热温度一般为 200～350℃，保温时间与焊缝厚度有关，一般不低于 0.5 h。

7.4 若焊后立即进行热处理则可不做后热。

8 焊后热处理

8.1 根据母材的化学成分、焊接性能、厚度、焊接接头的拘束程度、容器使用条件和有关标准综合确定是否需要进行焊后热处理。

8.2 压力容器或受压元件焊后热处理厚度 δ_{PWHT}按如下规定选取。

8.2.1 等厚度全焊透对接接头的焊后热处理厚度 δ_{PWHT}为其焊缝厚度，也即容器或其受压元件钢材厚度 δ_s。焊缝厚度是指焊缝横截面中，从焊缝正面到焊缝背面的距离（余高不计）。

组合焊缝的焊后热处理厚度 δ_{PWHT}为对接焊缝厚度与角焊缝厚度中的较大者。

8.2.2 不等厚焊接接头的焊后热处理厚度 δ_{PWHT}：

8.2.2.1 对接接头取其较薄一侧母材厚度。

8.2.2.2 在壳体上焊接管板、平封头、盖板、凸缘或法兰时，取壳体厚度。

8.2.2.3 接管、人孔与壳体组焊时，在接管颈部厚度、壳体厚度、封头厚度、补强板厚度和连接角焊缝厚度中取其较大者。

8.2.2.4 接管与高颈法兰相焊时取管颈厚度。

8.2.2.5 管子与管板相焊时取其焊缝厚度。

8.2.3 非受压元件与受压元件相焊取焊接处的焊缝厚度。

8.2.4 焊接返修时，取其所填充的焊缝金属厚度。

8.3 常用钢号的焊后热处理规范见表6。

表6 常用钢号焊后热处理规范

钢号	焊后热处理温度，℃		最短保温时间 h
	电弧焊	电渣焊	
10 Q235－A，20 Q235－B，20R Q235－C，20G 20g	600～640	—	（1）当焊后热处理厚度 $\delta_{PWHT}\leqslant$ 50 mm 时 为$\frac{\delta_{PWHT}}{25}$h，但最短时间不低于$\frac{1}{4}$h （2）当焊后热处理厚度 $\delta_{PWHT}>$ 50 mm 时 为 $(2+\frac{1}{4}\times\frac{\delta_{PWHT}-50}{25})$ h
09MnD	580～620	—	
16MnR	600～640	900～930 正火后 600～640 回火	
16Mn，16MnD，16MnDR		—	
15MnVR，15MnNbR	540～580	—	
20MnMo，20MnMoD	580～620	—	
18MnMoNbR 13MnNiMoNbR	600～640	950～980 正火后 600～640 回火	
20MnMoNb		—	
07MnCrMoVR 07MnNiCrMoVDR 08MnNiCrMoVD	550～590	—	
09MnNiD，09MnNiDR 15MnNiDR	540～580	—	
12CrMo 12CrMoG	≥600	—	（1）当焊后热处理厚度 $\delta_{PWHT}\leqslant$ 125 mm 时 为$\frac{\delta_{PWHT}}{25}$h，但最短时间不小于$\frac{1}{4}$h （2）当焊后热处理厚度 $\delta_{PWHT}>$ 125 mm 时 为 $(5+\frac{1}{4}\times\frac{\delta_{PWHT}-125}{25})$ h
15CrMo 15CrMoG	≥600	—	
15CrMoR		890～950 正火后 ≥600 回火	
12Cr1MoV 12Cr1MoVG 14Cr1MoR 14Cr1Mo	≥640	—	
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2Mo1R 12Cr2Mo1G	≥660	—	
1Cr5Mo	≥660	—	

当碳素钢、强度型低合金钢焊后热处理温度低于表6规定温度的下限值时，最短保温时间如表7规定。

表7　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温度数值，℃	降低温度后最短保温时间[1)]，h
25	2
55	4
80	10[2)]
110	20[2)]

1）最短保温时间适用于焊后热处理厚度 δ_{PWHT} 不大于 25 mm 焊件，当焊后热处理厚度 δ_{PWHT} 大于 25 mm 时，厚度每增加 25 mm，最短保温时间则应增加 15 min。
2）仅适用于碳素钢和 16MnR 钢。

8.3.1　调质钢焊后热处理温度应低于调质处理时的回火温度。

8.3.2　不同钢号相焊时，焊后热处理规范应按焊后热处理温度要求较高的钢号执行，但温度不应超过两者中任一钢号的下临界点 A_{c1}。

8.3.3　非受压元件与受压元件相焊时，应按受压元件的焊后热处理规范。

8.3.4　采用电渣焊，焊后应进行正火＋回火的热处理。

8.4　对有再热裂纹倾向的钢，在焊后热处理时应注意防止产生再热裂纹。

8.5　奥氏体高合金钢制压力容器一般不进行焊后消除应力热处理。

8.6　焊后热处理应在压力试验前进行。

8.7　应尽可能采取整体热处理。当分段热处理时，加热重叠部分长度至少为 1500 mm，加热区以外部分应采取保温措施，防止产生有害的温度梯度。

8.8　补焊和筒体环焊缝采取局部热处理时，焊缝每侧加热带宽度不得小于容器厚度的 2 倍；接管与容器相焊的整圈焊缝热处理时，加热带宽度不得小于壳体厚度的 6 倍。加热区以外部位应采取措施，防止产生有害的温度梯度。

8.9　焊后热处理温度以在焊件上直接测量为准，在整个热处理过程中应当连续记录。

8.10　焊后热处理工艺

8.10.1　焊件进炉时炉内温度不得高于 400℃。

8.10.2　焊件升温至 400℃后，加热区升温速度不得超过 $\frac{5000}{\delta_{PWHT}}$ ℃/h，且不得超过 200℃/h，最小可为 50℃/h。

8.10.3　焊件升温期间，加热区内任意长度为 5000 mm 内的温差不得大于 120℃。

8.10.4　焊件保温期间，加热区内最高与最低温度之差不宜大于 65℃。

8.10.5　升温和保温期间应控制加热区气氛，防止焊件表面过度氧化。

8.10.6　焊件温度高于 400℃时，加热区降温速度不得超过 $\frac{6500}{\delta_{PWHT}}$ ℃/h，且不得超过 260℃/h。最小可为 50℃/h。

8.10.7　焊件出炉时，炉温不得高于 400℃，出炉后应在静止的空气中冷却。

9　焊缝返修

9.1　对需要焊接返修的缺陷应当分析产生原因，提出改进措施，按评定合格的焊接工艺，编制焊接返修工艺。

9.2　焊缝同一部位返修次数不宜超过二次。

9.3　返修前需将缺陷清除干净，必要时可采用表面探伤检验确认。

9.4　待补焊部位应开宽度均匀、表面平整、便于施焊的凹槽，且两端有一定坡度。

9.5 如需预热，预热温度应较原焊缝适当提高。

9.6 返修焊缝性能和质量要求应与原焊缝相同。

10 焊接检验

10.1 焊接检验主要方面

10.1.1 焊前：

a) 母材、焊接材料；

b) 焊接设备、仪表、工艺装备；

c) 焊接坡口、接头装配及清理；

d) 焊工资格；

e) 焊接工艺文件。

10.1.2 施焊过程中：

a) 焊接规范参数；

b) 执行焊接工艺情况；

c) 执行技术标准情况；

d) 执行图样规定情况。

10.1.3 焊后：

a) 实际施焊记录；

b) 焊缝外观及尺寸；

c) 后热、焊后热处理；

d) 产品焊接试板、鉴证环；

e) 金相检验和断口检验；

f) 无损检测；

g) 压力试验；

h) 致密性试验。

附 录 A
（标准的附录）
不锈钢复合钢焊接规程

A1 总则

不锈钢复合钢制压力容器的焊接除遵守本附录外，还应遵守正文有关条款的规定。

A2 不锈钢复合钢材

A2.1 不锈钢复合钢的基材应是符合 GB 150 规定的碳素钢和低合金钢钢板、钢管或锻件。
A2.2 不锈钢复合钢的复材应是符合 GB 150 规定的高合金钢钢板或堆焊金属。
A2.3 不锈钢复合钢的技术要求除应符合 GB 150 和图样规定外，还应符合 JB 4733 的相应规定。

A3 焊接材料

A3.1 焊接材料选用原则
A3.1.1 基材和复材的焊接材料选用原则按正文规定。
A3.1.2 复层焊缝与基层焊缝之间，以及复层焊缝与基层母材交界处宜采用过渡焊缝。
A3.2 常用不锈钢复合钢推荐选用的焊接材料见表 A1。

A4 焊工技能评定

焊接不锈钢复合钢的焊工按《锅炉压力容器焊工考试规则》进行考试。

A5 焊前准备

A5.1 坡口形式
不锈钢复合钢制压力容器坡口应有利于减少过渡焊缝金属的稀释率，常用坡口形式和尺寸见图 A1、图 A2。
A5.2 下料和坡口制备
A5.2.1 不锈钢复合钢的切割和坡口加工宜采用冷加工方法。
A5.2.2 用剪床剪切不锈钢复合钢时，复层朝上。
A5.2.3 用热加工法切割和加工坡口时，尽量采用等离子切割方法，对影响焊接质量的切割表面层应用冷加工方法去除。
A5.2.4 用等离子切割和加工坡口时，复层朝上，从复层侧开始切割；采用气割时，复层朝下，从基层侧开始切割。
A5.2.5 用热加工法切割和加工坡口时，应避免将切割熔渣溅落在复层表面上。
A5.3 预热与定位焊
A5.3.1 当基层或复层需要预热时，应以复合钢的总厚度作为确定预热温度的厚度参数。（见表 5）
A5.3.2 当基层或复层需要预热时，施焊过渡焊缝也必须预热。
A5.3.3 定位焊缝只允许焊在基层母材上。

A6 焊接要求

A6.1 不锈钢复合钢焊接时一般应采用先焊基层焊缝，然后焊过渡焊缝，最后焊复层焊缝的焊接顺序。

板　厚 ＜18 mm	
板　厚 18～32 mm	
板　厚 ＞18 mm	
仅能单面施焊	
复合比特别大或预先开坡口有困难时	

注：括号内的尺寸供埋弧焊用。

图 A1　常用对接接头坡口形式与尺寸

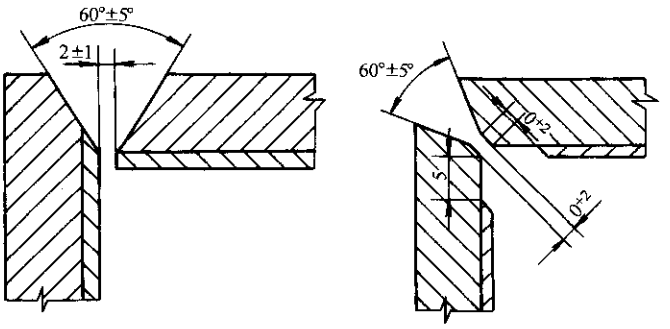
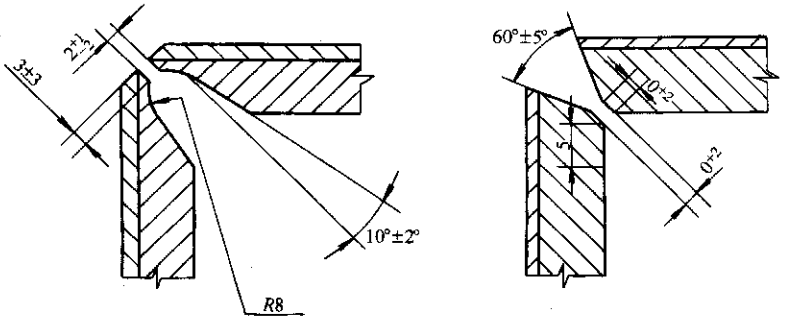
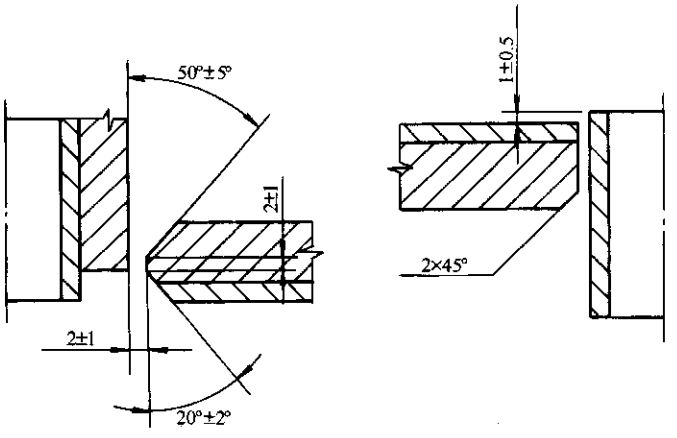
不锈钢在内侧	
不锈钢在外侧	
不锈钢复合钢板的接管	

图 A2　常用角接头坡口形式与尺寸

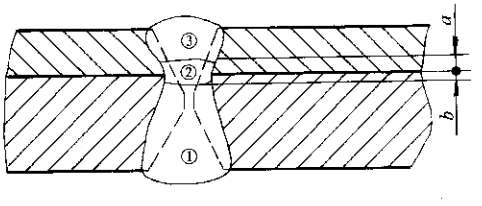
表 A1　不锈钢复合钢常用焊接材料推荐表

不锈钢复合钢		基层用焊材	过渡焊缝用焊条		复层用焊条	
复材钢号	基层钢号		型　号	对应牌号示例	型　号	对应牌号示例
0Cr13	Q235－A·F Q235－A Q235－B Q235－C 20R 16Mn 16MnR 15MnVR 20MnMo 15CrMoR	按 JB/T 4709 选用	E309－16 E309－15 E310－16 E310－15	A302 A307 A402 A407	E347－16 E347－15 E309－16 E309－15	A132 A137 A302 A307
0Cr18Ni9			E309－16 E309－15	A302 A307	E308－16 E308－15	A102 A107
0Cr18Ni10Ti					E347－16 E347－15	A132 A137
00Cr19Ni10					E308L－16	A002
0Cr17Ni12Mo2			E309Mo－16	A312	E316－16 E316－15	A202 A207
0Cr18Ni12Mo2Ti					E316L－16 E318－16	A022 A212
0Cr19Ni13Mo3					E316L－16 E317－16	A022
00Cr17Ni14Mo2			E309MoL－16	A042	E316L－16	A022
00Cr19Ni13Mo3			E309Mo－16	A312		

A6.2　不得用碳钢焊材、低合金钢焊材在复层母材、过渡焊缝和复层焊缝上施焊。

A6.3　过渡焊缝应同时熔合基层焊缝、基层母材和复层母材，且应盖满基层焊缝和基层母材。

A6.4　过渡焊缝在不锈钢复合钢对接接头中的位置及焊接顺序如图 A3 所示。推荐 $a=0.5\sim1.5$ mm，$b=1.5\sim2.5$ mm。



焊接顺序：①基层焊缝　②过渡焊缝　③复层焊缝

图 A3　焊缝位置图

A7　不锈钢复合钢复层修复

如图 A4 所示，去掉复层后将基层表面去掉 1.0～2.0 mm 厚度，然后堆焊过渡层及复层，焊后磨平修光堆焊表面，修复堆焊层上部的化学成分应在复层钢号化学成分范围之内或应满足使用要求。

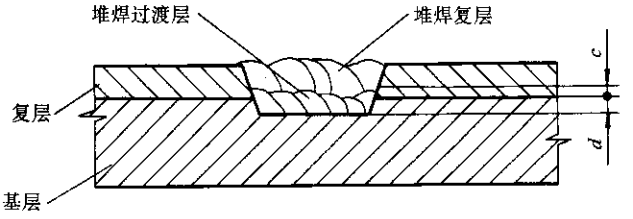
A8　焊后热处理

A8.1　不锈钢复合钢应尽量避免焊后热处理。当需要进行焊后热处理时，应避免复层母材和焊接接头中铬碳化物析出和形成 σ 相。

A8.2　应以复合钢总厚度确定焊后热处理的规范。

A8.3　复层为 0Cr13 不锈钢复合钢制压力容器，当使用奥氏体不锈钢焊材焊接复层和基层材料不要

求焊后热处理时，可免做焊后热处理。否则应按复层材料要求进行焊后热处理。



$c=0.5\sim1.0$ mm；$d=1.0\sim2.0$ mm

图 A4　复层焊接修复示意图

A8.4　除 A8.3 条外，不锈钢复合钢制压力容器焊后热处理按基层材料要求进行。复层为堆焊金属的不锈钢复合钢制压力容器如果基层需要焊后热处理，则应在堆焊复层后再进行。

对耐晶间腐蚀要求较高的设备，如果基层需要焊后热处理，则宜在热处理后再焊复层的盖面层焊缝。

附　录　B
（提示的附录）
焊接工艺规程推荐表格

焊接工艺规程表格包括封面、表 B1 接头编号表、表 B2 焊接材料汇总表和表 B3 接头焊接工艺卡，适用于焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊焊接压力容器编制接头焊接工艺用。

（单 位 名 称）

焊 接 工 艺 规 程

规程编号_____

产品编号_____ 项　　目_____
用　　户_____ 位　　号_____
图　　号_____ 名　　称_____

版　次	阶　段	说　明	修改标记及处数	编制人及日期	审核人及日期	备　　注

表B1 接 头 编 号 表

焊 接 工 艺 规 程					
接头编号示意图					
	接头编号	焊接工艺卡编号	焊接工艺评定编号	焊工持证项目	无损检测要求

注:如产品结构复杂,可另作一页不含表格的接头编号示意图。

表 B2　焊接材料汇总表

焊接工艺规程								
母材	焊条电弧焊 SMAW		埋弧焊 SAW			气体保护焊 MIG/TIG		
	焊条/规格	烘干温度/时间	焊丝/规格	焊剂	烘干温度/时间	焊丝/规格	保护气体	纯度

容器技术特性						
部位	设计压力,MPa	设计温度,℃	试验压力,MPa	焊接接头系数	容器类别	备注

表 B3 接头焊接工艺卡

第 页 共 页

接头简图：	焊接顺序	焊接工艺卡编号	
		图 号	
		接头名称	
		接头编号	
		焊接工艺评定报告编号	
		焊工持证项目	

母 材		厚度，mm		检验	序 号	本 厂	钢检所	第三方或用户
焊缝金属		厚度，mm						

焊接位置		层－道	焊接方法	填充材料		焊接电流		电弧电压	焊接速度	线能量
施焊技术				牌 号	直径	极性	电流（A）	（V）	（cm/min）	（kJ/cm）
预热温度（℃）										
层间温度（℃）										
焊后热处理										
后 热										
钨极直径										
喷嘴直径										
脉冲频率										
脉宽比（%）										
气体成分	气体流量	正面								
		背面								