



# 中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3520—2004

代替SH 3520—1991

## 石油化工铬钼耐热钢焊接规程

Welding specification of chrome molybdenum steel  
for petrochemical engineering

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

国家发展和改革委员会

发布

## 目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
4.1 材料	2
4.2 焊接材料	2
4.3 焊接工艺评定	3
4.4 焊工	3
5 焊前准备	3
5.1 坡口制备	3
5.2 组对与定位	5
6 焊接工艺	6
6.1 一般规定	6
6.2 预热	6
6.3 焊接	7
7 焊接检验	8
7.1 外观检查	8
7.2 无损检测	8
8 焊缝返修	8
9 焊后热处理	8
附录 A (资料性附录) 国内、外铬钼耐热钢钢号、化学成分和力学性能	10
附录 B (资料性附录) 部分铬钼钢焊接材料的选用	17
附录 C (资料性附录) 国内、外铬钼耐热钢焊材化学成分及力学性能	19
用词说明	24
附：条文说明	25

# 前 言

本规程是根据原国家经贸委《关于下达 2002 年石化行业标准制修订项目计划的通知》(国经贸厅行业[2002]36 号),由中国石化集团北京燕化建筑安装工程公司对原《石油化工工程铬钼耐热钢管道焊接技术规程》SH 3520—1991 进行修订而成。中国石油化工集团公司工程建设管理部组织审定。

本规程共分 9 章和 3 个附录,3 个附录均为资料性附录。

本规程与《石油化工工程铬钼耐热钢管道焊接技术规程》SH 3520—1991(上一版本)相比,主要变化如下:

- 增加了设备用铬钼耐热钢的焊接;
- 增加了熔化极气保焊及埋弧自动焊两种焊接方法;
- 增加了 A335—P9 等钢的焊接要求。

**本规程以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。**

本规程由中国石化集团施工规范管理站管理,由中国石化集团北京燕化建筑安装工程公司负责解释。

本规程在实施过程中,如发现需要修改补充之处,请将意见和有关资料提供给我们,以便今后修订时参考。

管理单位:中国石化集团施工规范管理站

通讯地址:天津市大港区世纪大道180号

邮政编码:300270

电 话:022—63862927/63862301

传 真:022—63862301/63863645

主编单位:中国石化集团北京燕化建筑安装工程公司

通讯地址:北京市房山区276信箱

邮政编码:102502

主要起草人:赵 棣 杨 雷 云小强 杨惠荣 崔佳川

本规程 1991 年首次发布,本次为第一次修订。

# 石油化工铬钼耐热钢焊接规程

## 1 范围

1.1 本规程规定了铬钼耐热钢的焊接工艺评定、焊工考试、焊接工艺、焊接检验及焊后热处理的要求。本规程适用于石油化工铬钼耐热钢管道（包括工业炉管）和设备的焊接施工。

1.2 铬钼耐热钢焊接方法包括：

- a) 焊条电弧焊；
- b) 钨极氩弧焊；
- c) 熔化极气体保护焊；
- d) 埋弧焊。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。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规程，然而，鼓励根据本规程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，其最新版适用于本规程。

GB 150 钢制压力容器

GB/T 983 不锈钢焊条

GB/T 3375 焊接术语

GB 4842 纯氩

GB/T 5118 低合金钢焊条

GB/T 5393 埋弧焊剂

GB 12470 低合金钢埋弧焊用焊剂

GB 14957 熔化焊用钢丝

GB 50235 工业金属管道工程施工及验收规范

GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范

JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定

JB 4730 压力容器无损检测

JB/T 4747 压力容器用钢焊条订货技术条件

SH 3501 石油化工有毒、可燃介质管道工程施工及验收规范

YB/T 5092 焊接用不锈钢丝

质技监局锅发[1999]154号 压力容器安全技术监察规程

国质检锅[2002]109号 锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则

## 3 术语和定义

GB/T 3375 和 JB 4708 确立的及以下术语和定义适用于本规程。

### 3.1

#### 铬钼耐热钢 Cr-Mo heat-resisting steel

用合金元素铬和钼提高高温蠕变强度的合金钢。

## 4 总则

### 4.1 材料

4.1.1 钢管、钢板、管件、阀门、法兰及锻件应具有质量证明文件，质量证明文件应包括下列内容：

- a) 材料标准代号；
- b) 材料规格、牌号及特性数据；
- c) 材料生产批号及供货状态；
- d) 生产单位名称；
- e) 检验印鉴标志。

常用国内、外铬钼耐热钢钢号、化学成分及力学性能参见附录 A。

4.1.2 当材料有下列情况之一时，不得使用：

- a) 质量证明文件特性数据不符合产品标准及订货技术条件或对其有异议；
- b) 实物标识与质量证明文件标识不符；
- c) 要求复验的材料未经复验或复验不合格。

4.1.3 用于压力容器的铬钼耐热钢材料应执行 GB 150 的相应规定；用于管道的铬钼耐热钢材料应执行 SH3501 的相应规定。

4.1.4 钢管、钢板、管件、阀门、法兰及锻件经验收合格后应做上合格标记。入库贮存应按不同材质、规格分别放置，妥善保管。

4.1.5 材料在使用前应核对其材质、牌号和规格，进行外观质量检查，并符合下列要求：

- a) 表面不得有裂纹、折叠、发纹、夹层、结疤等缺陷；
- b) 表面锈蚀、凹陷划痕及其他机械损伤的深度不应超过相应产品标准允许的厚度负偏差；
- c) 有符合产品规定的标识。

4.1.6 若钢管或钢板表面局部存在不允许的缺陷时，应予以消除。但缺陷消除后减薄量不超过材料厚度负偏差。

### 4.2 焊接材料

4.2.1 焊接材料的选择应根据被焊钢材的化学成分、力学性能以及使用和施焊条件综合考虑。选择原则如下：

- a) 选用与被焊钢材化学成分相当的焊接材料；
- b) 熔敷金属的抗拉强度值应不低于钢材标准抗拉强度值的下限；
- c) 具有良好的焊接工艺性能；

部分铬钼耐热钢焊接材料的选用参见附录 B。

4.2.2 当设计温度低于 425℃，且因现场施工条件限制难于进行焊后热处理时，经设计单位或建设单位同意，可选用高铬镍（25%Cr-13%Ni 及以上）奥氏体焊接材料进行焊接，焊后不做热处理。

4.2.3 铬钼耐热钢与碳素钢或不同钢号的铬钼耐热钢之间组成的异种钢焊接接头，可按合金含量较低一侧的钢材选用焊接材料。

铬钼耐热钢与奥氏体钢组成的异种钢焊接接头，当设计温度低于 425℃时，宜选用 25%Cr-13%Ni 及以上的奥氏体焊接材料；当设计温度高于或等于 425℃时，应选用镍基焊接材料。

异种钢焊接材料的选用参见附录 B。

4.2.4 铬钼耐热钢焊接所用焊接材料应有质量证明文件，其质量应符合下列标准的规定：

- a) 焊条符合 GB/T 5118 和 GB/T 983 的规定；
- b) 焊丝符合 GB 14957 与 YB/T 5092 的规定；
- c) 焊剂符合 GB 12470 的规定；
- d) 用于压力容器制造的焊材尚应符合 JB/T 4747 的规定。

焊接铬钼耐热钢常用焊接材料熔敷金属的化学成分和力学性能参见附录 C。

4.2.5 未列入国家标准的焊接材料应符合合同规定的技术条件，并进行熔敷金属试验验证，且经设计单位或建设单位确认后使用。

4.2.6 进口焊接材料应符合合同规定的技术标准，并具有质量证明文件及商检合格证。国、内外焊接材料化学成分及力学性能对照参见附录 C。

4.2.7 焊接材料验收合格并标识后入库储存。库内应设置温度计、湿度计，保持库内温度不低于 5℃、空气相对湿度应不高于 60%。焊材库应干燥通风，并应符合下列要求：

- a) 焊材应存放在架子上，且离地面与墙壁的距离均不少于 300mm；
- b) 按种类、牌号、批号、规格分类堆放。

4.2.8 焊条应设专人负责保管、烘干、发放和回收，并有记录，且应符合下列规定：

- a) 使用前应按焊条说明书进行烘干和保温；
- b) 若焊条说明书未做规定，则参照表 1 规定进行烘干和保温；
- c) 焊条领出超过 4 h 未用应重新烘干，烘干次数不得超过两次。

表 1 焊条的烘干温度

标准号	焊条型号	烘干温度 ℃	恒温时间 h	保温温度 ℃
GB/T 5117	E××15	350~400	2	100~120
GB/T 5118	E××15-×	350~400	2	100~120
GB/T 983	E×××15-×	200~250	2	100~120

4.2.9 焊丝使用前应进行清理，除油、除锈。

4.2.10 氩弧焊所用氩气应符合 GB 4842 规定，其纯度不低于 99.96%。

4.2.11 二氧化碳气体保护焊采用的二氧化碳气体纯度，应不低于 99.5%，含水量应不超过 0.005%，使用前应预热和干燥。当瓶内气体压力低于 0.98 MPa 时，应停止使用。

### 4.3 焊接工艺评定

4.3.1 焊接工艺评定的方法和内容执行 JB 4708 的规定。

4.3.2 焊接工艺评定合格后应编写焊接工艺评定报告 (PQR)，并按文件管理程序批准，作为编制焊接工艺文件的依据。

### 4.4 焊工

4.4.1 参加铬钼耐热钢焊接的焊工必须按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》规定进行考试。考试合格的焊工方能承担相应项目的焊接施工。

4.4.2 进行焊接工艺评定的焊工，焊接工艺评定合格后则该焊工可为相应项目的合格焊工。

## 5 焊前准备

### 5.1 坡口制备

5.1.1 坡口形式及尺寸的选用应根据易于保证焊接质量、填充金属量少、熔合比小、便于操作等原则

综合考虑。也可参照表 2 及表 3 进行选用。

表 2 手工电弧焊及气体保护焊坡口形式和尺寸

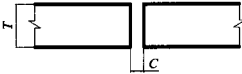
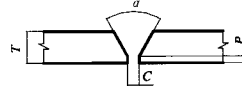
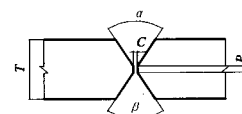
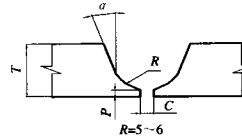
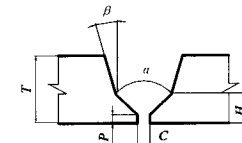
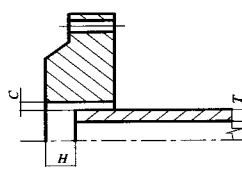
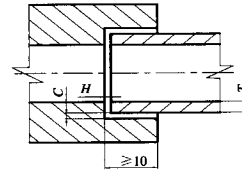
接头名称	坡口形式	厚度 $T$ mm	深度 $H$ mm	间隙 $C$ mm	钝边 $P$ mm	坡口角度	
						$\alpha$ °	$\beta$ °
对接 I 型坡口		1~3	—	0~1.5	—	—	—
		3~6	—	0~2.5	—	—	—
对接 Y 型坡口		3~9	—	0~2	0~2	65~75	—
		9~26	—	0~3	0~3	55~65	—
双面 X 型坡口		12~60	—	0~3	0~3	55~65	55~65
对接 U 型坡口		20~60	—	0~3	1~3	—	8~12
对接 VY 型坡口		20~60	8~12	0~3	1~3	65~75	8~12
管子与平 法兰角接		任意	$T+(1\sim3)$	0.5~2	—	—	—
管子承插 角接		$\geq 4$	2~3	0.5~1	—	—	—

表2 手工电弧焊及气体保护焊坡口形式和尺寸(续)

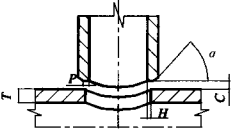
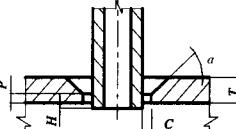
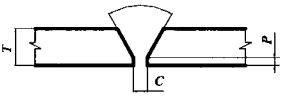
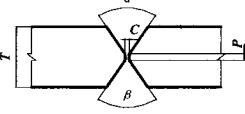
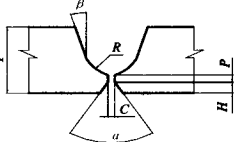
接头名称	坡口形式	厚度 $T$ mm	深度 $H$ mm	间隙 $C$ mm	钝边 $P$ mm	坡口角度	
						$\alpha$ °	$\beta$ °
骑座式三通 支管坡口		$\geq 4$	0~2	2~3	1~2	45~55	—
插入式三通 支管坡口		$\geq 4$	0~2.5	2~3	1~2	50~60	—

表3 埋弧焊坡口形式和尺寸

接头名称	坡口形式	厚度 $T$ mm	深度 $H$ mm	间隙 $C$ mm	钝边 $P$ mm	坡口角度	
						$\alpha$ °	$\beta$ °
对接 Y型坡口		10~24	—	0~2.5	5~8	50~80	—
		10~30	—	0~2.5	6~10	40~80	—
双面 X型坡口		24~60	—	0~2.5	5~10	50~80	50~60
UY形坡口		40~160	9~11	0~2.5	2~3	70~80	5~10

5.1.2 坡口加工宜采用机械方法。当采用火焰切割时，应清除熔渣、氧化皮，并打磨除去影响焊接质量的淬硬层，且不得有裂纹、分层和夹渣等缺陷。

5.1.3 经火焰切割的坡口表面，必要时应按 JB 4730 进行磁粉或渗透检测。检测范围为坡口及其两侧各 20mm。

## 5.2 组对与定位



- 5.2.1 压力容器对接接头组应符合 GB 150 的规定。
- 5.2.2 有毒、可燃介质管道对接接头组应符合 SH 3501 的规定。
- 5.2.3 其他管道和设备对接接头组应符合 GB 50236 的规定。
- 5.2.4 不同壁厚的对接接头，需要处理时可用下列方法进行加工：
- 壁厚差大于 2mm 时可用机械加工；
  - 壁厚差小于或等于 2mm 时可用锉刀或手砂轮磨削。
- 5.2.5 焊前应将坡口及其边缘内外表面不小于 20mm 范围内的油、漆、垢、锈等清除干净。
- 5.2.6 定位焊缝应均匀分布，其尺寸见表 4。正式焊接要求预热时，则定位焊缝也应按相同的要求预热，且取预热温度的上限，预热范围为从焊缝中心向两侧各不小于三倍壁厚，且不小于 50mm。定位焊缝作为正式焊缝组成部分时应符合下列规定：
- 由合格焊工按合格的焊接工艺施焊；
  - 定位焊缝应无焊接缺陷。

表 4 定位焊缝尺寸

单位：mm

焊 件 厚 度 $T$	焊 缝 厚 度	焊 缝 长 度	焊 缝 间 距
$\leq 4$	$< 4$	$> 5$	50~100
$4 < T \leq 20$	$\leq 0.70T$ 且 $\leq 6$	$> 10$	100~300
$> 20$	$< 8$	$> 20$	250~400

- 5.2.7 当采用工卡具定位，且工卡具与母材焊接时，工卡具材料宜与母材化学成分相同或相近，并有合格的焊接工艺。

正式焊接要求预热时，工卡具焊接也应预热，预热温度取正式焊接时预热温度的上限，预热范围从工卡具各边向外不小于三倍壁厚，且不小于 50mm。

工卡具拆除后应修磨焊痕，做渗透检测无裂纹为合格，并应符合下列规定：

- 应在热处理及耐压试验之前进行；
- 用火焰切割或砂轮割除；
- 不得用敲打法去除。

## 6 焊接工艺

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 施焊前应编制焊接工艺文件，并按文件控制程序审批后实施。
- 6.1.2 当焊接环境出现下列任一情况时，应采取有效防护措施，否则不得施焊：
- 焊条电弧焊、埋弧焊时风速大于 8 m/s；
  - 气体保护焊时风速大于 2 m/s；
  - 相对湿度大于 90%；
  - 下雨或下雪；
  - 焊件温度低于 -20℃

- 6.1.3 当焊件温度为 -20℃~0℃ 且无预热要求时，应在始焊处 100 mm 范围内预热到 15℃ 以上。

### 6.2 预热

- 6.2.1 施焊前应根据钢材的淬硬性、焊件厚度、结构刚性、焊接方法及焊接环境等因素综合考虑预热温度，必要时通过试验确定。常用铬钼耐热钢预热温度的选择见表 5。

表 5 常用铬钼钢预热温度

钢的公称成分 (钢号)	壁 厚 mm	预热温度 ℃
0.5Cr-0.5Mo (12CrMo)	$\geq 10$	150~200
1Cr-0.5Mo (15CrMo、ZG20CrMo)		
1Cr-0.5Mo-V (12Cr1MoV、ZG20CrMoV)	$\geq 6$	200~300
1.5Cr-1Mo-V (ZG15Cr1Mo1V)		
2.25Cr-1Mo (12Cr2Mo)		
2Cr-0.5Mo-WV (12Cr2MoWVB)		
3Cr-1Mo-VTi (12Cr3MoVTiB)		
12Cr-1Mo-V		
5Cr-0.5Mo (1Cr5Mo)		
9Cr-1Mo	任意	250~350

6.2.2 当采用钨极氩弧焊打底时, 管道焊前预热温度可按表 4 规定的下限温度降低 50℃。

6.2.3 预热宜采用电加热法, 并应在坡口两侧均匀进行, 防止局部过热。

6.2.4 预热范围以对口中心线为基准, 两侧各不小于三倍壁厚, 且不小于 100mm, 如图 2 所示。加热区以外的 100mm 范围内宜予以保温。

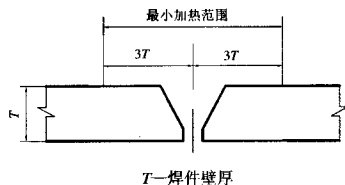


图 2 预热加热范围示意

6.2.5 不同铬钼钢焊接时, 预热应按淬硬倾向大的一侧预热温度进行。铬钼耐热钢与奥氏体钢组成的焊接接头, 奥氏体钢一侧可不预热。

6.2.6 预热温度宜在距对口中心 50mm~100mm 范围内进行测量, 测量点应根据焊件情况均匀分布。设备宜在预热的另一侧测量。

### 6.3 焊接

6.3.1 焊件达到预热温度后应及时进行焊接。在保持预热温度的条件下, 每条焊缝宜一次连续焊完。

6.3.2 对接接头的底层焊道单面焊接时宜采用钨极氩弧焊, 也可采用打底焊条手工焊。

6.3.3 对接接头底层焊道采用钨极氩弧焊方法并用奥氏体焊材焊接时, 焊缝的背面应充氩气保护。

6.3.4 对含铬量大于 3% 或合金元素总含量大于 5% 的焊件, 单面钨极氩弧焊打底焊接时, 焊缝内侧应充氩气或充混合气体保护。

6.3.5 焊后有热处理要求的焊缝因故中断焊接时应进行后热, 再次焊接前应进行检查, 确认无裂纹后方可按原工艺要求继续施焊。

6.3.6 多层焊时层间温度应等于或稍高于预热温度, 且每层的接头处应错开。

6.3.7 需焊后热处理的焊缝, 焊接完毕后应立即进行 200℃~350℃、15min 的后热, 然后保温缓冷。

6.3.8 安装管道预拉伸口所用的工卡具应在焊接接头热处理完毕后拆除。

## 7 焊接检验

### 7.1 外观检查

7.1.1 焊缝应在焊接完毕后立即清理, 去除焊渣、飞溅物等, 进行外观检查。焊缝与母材应圆滑过渡, 焊缝形状尺寸应符合本规程 7.1.2 条相应标准的要求。

7.1.2 压力容器焊缝外观检查执行 GB 150 的规定, 有毒、可燃介质管道焊缝外观检查执行 SH 3501 的规定; 其他管道和设备焊缝外观检查执行 GB 50236 的规定。

### 7.2 无损检测

7.2.1 管道和设备的焊接接头经焊缝外观检查合格后进行无损检测。检测数量及评定标准应执行本规程 7.2.2 条相应标准的规定。

7.2.2 压力容器焊接接头无损检测按 GB150 和《压力容器安全技术监察规程》的规定。有毒、可燃介质管道焊接接头无损检测执行 SH 3501 的规定。其他管道和设备焊接接头无损检测数量按 GB 50235 的规定执行, 评定标准执行 GB 50236 的规定。

7.2.3 规定进行局部无损检测的焊接接头, 若有不合格时, 应对该焊工焊接的同类焊接接头按本规程 7.2.2 条相应标准的规定加倍检验, 若仍有不合格, 则应对该焊工焊接的同类焊接接头全部检验。

## 8 焊缝返修

8.1 焊缝返修应在热处理前进行, 已完成热处理的焊接接头发生焊缝返修时, 返修后应重新进行热处理。

8.2 缺陷消除可采用砂轮打磨或碳弧气刨的方法。磨槽或刨槽需修整成适合补焊的形状, 并经着色检测确认缺陷已被清除后补焊。

8.3 返修时应采用经评定合格的焊接工艺, 且预热温度应取上限, 预热范围宜适当扩大。

8.4 返修部位应按原检测方法进行检测和评定。

8.5 同一部位的返修次数不宜超过二次。返修应分析原因、制定措施, 二次返修经施工单位项目负责人批准。

## 9 焊后热处理

9.1 焊后热处理可采用整体热处理或局部热处理的方法。若设计文件无要求时, 焊后热处理的规范参数见表 6。

9.2 焊后热处理应按确定的热处理规范参数严格的控制升温、恒温 and 降温过程。压力容器执行 GB 150 的规定; 有毒、可燃介质管道执行 SH 3501 的规定; 其他管道和设备执行 GB 50236 的规定。

9.3 局部热处理宜采用电加热法, 加热范围以焊缝中心为基准, 两侧各不小于焊缝宽度的三倍, 且不小于 25mm, 加热区以外的 100mm 范围应予以保温 (见图 3)。压力容器焊接接头局部热处理尚应执行 GB 150 的规定。

9.4 测温宜采用热电偶且固定在焊件上, 并用自动记录仪记录热处理曲线。测温点应均匀分布。

9.5 管道焊接接头的热处理质量采用硬度测定法进行检验。检验数量为焊接接头总数的 20%, 且不少于一个焊接接头。每个焊接接头检查不少于一处, 每处三点, 焊缝、热影响区、母材各一点。

热处理后焊缝的硬度值, 应不超过母材布氏硬度 (HB) 加 100, 且不超过下列规定为合格:

- a) 合金总含量小于 3% 时, HB 小于或等于 270;
- b) 合金总含量为 3%~10% 时, HB 小于或等于 300;

c) 合金总含量大于 10% 时, HB 小于或等于 350。

硬度值超过规定值时, 应加倍检验, 仍不合格时应重新进行热处理, 并重新测定硬度值。

表 6 常用铬钼耐热钢焊后热处理温度

钢的公称成分（钢号）	管 道		容 器	
	壁 厚 mm	温度范围 ℃	壁 厚 mm	温 度 ℃
0.5Cr-0.5Mo（12CrMo）	≥20	650～700	任意厚度	≥600
1Cr-0.5Mo（15CrMo、ZG20CrMo）	≥10	650～700		
1Cr-0.5Mo-V（12Cr1MoV）	≥6	720～750		≥640
1.5Cr-1Mo-V（ZG15Cr1Mo1V）	≥6	720～750		
2.25Cr-1Mo（12Cr2Mo）	任意厚度	720～750		≥660
5Cr-0.5Mo（1Cr5Mo）	任意厚度	750～780		
9Cr-1Mo	任意厚度	765±15	—	—
2Cr-0.5Mo-WV（12Cr2MoWVB）	任意厚度	765±15		
3Cr-1Mo-VTi（12Cr3MoVTiB）	任意厚度	765±15		
12Cr-1Mo-V	任意厚度	765±15		

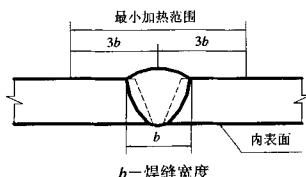


图 3 焊后热处理加热范围示意

9.6 不同铬钼耐热钢之间焊接接头的热处理温度应取合金含量高者的下限。

9.7 不同厚度焊件组成的焊接接头焊后热处理应符合下列规定:

- 对接接头焊后热处理按焊缝厚度进行;
- 在壳体上焊接管板、平封头、盖板、凸缘或法兰时取壳体厚度;
- 接管、人孔与壳体组焊时取接管颈部、壳体、补强板厚度和连接角焊缝厚度中较大者;
- 管子与高频法兰相焊时取管子厚度;
- 管子与管板相焊时取其焊缝厚度。

9.8 返修的焊接接头焊后热处理恒温时间按焊缝返修的厚度确定。

9.9 管道焊接接头焊后热处理完成后, 应对热处理焊口的 10% 做超声波检测和渗透或磁粉检测, 以无裂纹为合格。

附录 A  
(资料性附录)  
国内、外铬钼耐热钢号、化学成分和力学性能

表 A.1 给出了国内、外常用铬钼耐热钢号对照；表 A.2 给出了国内、外常用铬钼耐热钢的化学成分和力学性能；表 A.3 给出了常用铬钼耐热钢管的化学成分和常温力学性能；表 A.4 给出了常用铬钼耐热钢板的化学成分和力学性能；表 A.5 给出了常用铬钼耐热钢锻件的化学成分和常温力学性能；表 A.6 给出了国外铬钼耐热钢板的化学成分和力学性能。

表 A.1 国内、外常用铬钼耐热钢号对照

公称成分	国 内		国 外		
	钢 管	钢 板	钢 管		钢 板
	GB	JB	ASTM	JIS	DIN
C-0.5Mo	15Mo 20Mo	—	A335-P1 A209-T1 A250-T1	STBA12 STFA12	15Mo3
0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	—	A213-T2 A335-P2	STBA20 STPA20	13CrMo44 (1.7335)
1Cr-0.5Mo	15CrMo	15CrMoR <sup>a</sup>	A213-T12 A335-P12	STBA22 STFA22 STPA22	16CrMo44 (1.7337)
1.25Cr-0.5Mo	—	14Cr1Mo	A199-T11 A335-P11	STBA23 STFA23 STPA23	—
1Cr-0.5MoV	—	12Cr1MoV	—	—	13CrMoV42 (1.7709)
2.25Cr-1Mo	12Cr2Mo	12Cr2Mo1	A199-T22 A213-T22 A200-T22 A335-P22	STBA24 STFA24 STPA24	A387 Gr.22 A387 Gr.22L
5Cr-0.5Mo	1Cr5Mo	1Cr5Mo	A199-T5 A213-T5 A200-T5 A335-P5	STBA25 STFA25 STPA25	A387 Gr.5
9Cr-1Mo	—	—	A199-T9 A213-T9 A335-P9	STBA26 STFA26	A387 Gr.9

<sup>a</sup> 15CrMoR 取自 GB6645—96 标准。

表 A.2 国内、外铬钼耐热钢管化学成分和力学性能

公称成分	钢号	国别	化学成分 %							力学性能			
			C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$		冲击值 $\alpha_k$ J/cm <sup>2</sup>
											MPa	kgf/mm <sup>2</sup>	
C-0.5Mo	20Mo	中	0.12~0.20	0.40~0.80	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	—	0.44~0.65	≥415	≥220	—	≥35
	A335-P1	美	0.10~0.20	0.30~0.80	0.10~0.50	≤0.025	≤0.025	—	0.44~0.65	≥380	≥205	—	—
	STBA12 STFA12	日	0.10~0.20	0.30~0.80	0.10~0.50	≤0.035	≤0.035	—	0.44~0.65	—	—	≥21	—
	15Mo3	德	0.10~0.20	0.30~0.35	0.40~0.80	≤0.035	≤0.035	—	0.25~0.35	—	—	≥28	—
	12CrMo	中	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.40~0.70	0.40~0.55	410~560	≥205	—	—
0.5Cr-0.5Mo	A213-T2 A335-P2	美	0.10~0.20	0.30~0.61	0.10~0.30	≤0.025	≤0.025	0.50~0.81	0.44~0.65	≥380	—	≥21	—
	STBA20 STPA20	日	0.10~0.20	0.30~0.60	0.10~0.50	≤0.035	≤0.035	0.50~0.80	0.40~0.65	—	—	≥21	—
	13CrMo44	德	0.10~0.18	0.40~0.70	0.10~0.35	≤0.035	≤0.035	0.70~1.00	0.45~0.65	—	—	≥30	—
	15CrMo	中	0.12~0.18	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.80~1.10	0.40~0.55	440~640	≥235	—	≥35
	A213-T12 A335-P12	美	0.05~0.15	0.30~0.61	≤0.50	≤0.025	≤0.025	0.80~1.25	0.44~0.65	≥415	≥220	—	—
1Cr-0.5Mo	STBA22 STFA22 STPA22	日	≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.035	≤0.035	0.80~1.25	0.45~0.65	—	—	≥21	—
	16CrMo44	—	—	—	—	≤0.035	≤0.035	—	—	—	—	—	—
	A335-P11 A199-T11	美	0.05~0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.025	≤0.025	1.00~1.50	0.45~0.65	≥415	≥170	—	—
1.25Cr-0.5Mo	STBA23 STFA23	日	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.030	≤0.030	1.00~1.50	0.45~0.65	—	—	≥21	—

表 A.2 国内、外铬钼耐热钢管化学成分和力学性能对照 (续)

公称成分	钢号	国别	化学成分 %							力学性能					
			C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$		延伸率 $\delta$ %	冲击值 $\alpha_k$ J/cm <sup>2</sup>	
											MPa	kgf/mm <sup>2</sup>			
1Cr-0.5Mo-V	12Cr1MoV <sup>a</sup>	中	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.90~1.20	0.25~0.35	470~640	—	≥255	—	≥21	≥35
	Cr2Mo	中	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.030	≤0.035	2.15~2.85	0.45~0.65	≥390	—	≥175	—	≥22	≥92 <sup>b</sup>
2.5Cr-0.5Mo	A199-T4	美	0.05~0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.025	≤0.025	2.15~2.85	0.44~0.65	≥415	—	≥170	—	—	—
	12Cr2Mo	中	0.08~0.15	0.40~0.70	≤0.50	≤0.030	≤0.030	2.00~2.50	0.90~1.20	450~600	—	≥280	—	≥20	≥35
2.25Cr-1Mo	A199-T22	美	0.05~0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.025	≤0.025	1.90~2.60	0.87~1.13	≥415	—	≥170	—	—	—
	A213-T22		0.05~0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.025	≤0.025	1.90~2.60	0.87~1.13	≥415	—	≥170	—	—	—
	A335-P22	日	≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.030	≤0.030	1.90~2.60	0.87~1.13	—	≥42	—	≥21	—	—
	STBA24 STPA24 STFA24		≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.035	≤0.035	2.00~2.50	0.90~1.20	—	46~61	—	≥29	—	—
5Cr-0.5Mo	10CrMo910	德	0.08~0.15	0.40~0.70	≤0.50	≤0.035	≤0.035	2.00~2.50	0.90~1.20	390~590	—	≥195	—	≥22	≥118 <sup>b</sup>
	1Cr5Mo	中	≤0.15	≤0.60	≤0.50	≤0.035	≤0.035	4.00~6.00	0.45~0.65	≥415	—	≥170	—	≥22	—
	A213-T5	美	≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.025	≤0.025	4.00~6.00	0.45~0.65	≥415	—	≥170	—	—	—
	A335-P5		≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.025	≤0.025	4.00~6.00	0.45~0.65	—	≥42	—	≥21	—	—
	A199-T5	日	≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	≤0.030	≤0.030	4.00~6.00	0.45~0.65	—	≥42	—	—	—	—
9Cr-1Mo	STBA25 STFA25 STPA25	德	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12CrMo195	德	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	A335-P9	美	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.025	≤0.025	8.00~10.00	0.90~1.10	≥415	—	≥205	—	—	—
	A213-T9	美	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.025	≤0.025	8.00~10.00	0.90~1.10	≥415	—	≥205	—	—	—
A199-T9	≤0.15		0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.025	≤0.025	8.00~10.00	0.90~1.10	—	≥42	—	≥21	—	—	
	STBA26 STFA26	日	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.030	≤0.030	8.00~10.00	0.90~1.10	—	≥42	—	—	—	—

<sup>a</sup> 12Cr1MoV的含V量为0.15%~0.30%。  
<sup>b</sup> U型缺口试验值。

<sup>a</sup> 12Cr1MoV 的含 V 量为 0.15%~0.30%。<sup>b</sup> U 型缺口试验值。

表 A.3 常用铬钼耐热钢管的化学成分及常温力学性能

钢 号	化 学 成 分 %										力 学 性 能					相关标准
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V	Ti	B	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %	冲击功 $A_{kv}$ J	硬度 HB	
15MoG	0.12~0.20	0.40~0.80	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	—	0.25~0.35	—	—	—	450~600	≥270	≥22	≥35	—	GB 5310—1995
20MoG	0.15~0.25	0.40~0.80	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	—	0.44~0.65	—	—	—	≥415	≥220	≥22	≥35	—	GB 5310—1995
12CrMoG	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.40~0.70	0.40~0.55	—	—	—	410~560	≥205	≥21	≥35	—	GB 5310—1995
15CrMoG	0.12~0.18	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.80~1.10	0.40~0.55	—	—	—	440~640	≥235	≥21	≥35	—	GB 5310—1995
ZG20CrMoV	0.18~0.25	0.40~0.70	0.17~0.37	—	—	0.90~1.20	0.50~0.70	0.20~0.30	—	—	—	—	—	—	≤145	—
12Cr1MoVG	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.030	≤0.030	0.90~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30	—	—	470~640	≥255	≥21	≥35	—	GB 5310—1995
ZG15Cr1Mo1V	0.12~0.18	0.40~0.70	0.17~0.37	—	—	1.20~1.75	0.80~1.20	0.20~0.40	—	—	—	—	—	—	200~255	—
1Cr2Mo	≤0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	≤0.030	≤0.035	2.15~2.85	0.45~0.65	—	—	—	≥390	≥175	≥22	≥92 <sup>c</sup>	—	GB 9948—88
12Cr2MoG	0.08~0.15	0.40~0.70	≤0.50	≤0.030	≤0.030	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	450~600	≥280	≥20	≥35	—	GB 5310—1995
12Cr2MoWVTiB <sup>a</sup>	0.08~0.15	0.45~0.65	0.45~0.75	≤0.030	≤0.030	1.60~2.10	0.50~0.65	0.28~0.42	0.08~0.18	0.002~0.008	540~735	≥345	≥18	≥35	—	GB 5310—1995
12Cr3MoVSiTiB	0.09~0.15	0.50~0.80	0.60~0.90	≤0.030	≤0.030	2.50~3.00	1.00~1.20	0.25~0.35	0.22~0.38	0.005~0.011	610~805	≥440	≥16	≥35	—	GB 5310—1995
1Cr5Mo <sup>b</sup>	≤0.15	≤0.60	≤0.50	≤0.030	≤0.035	4.00~6.00	0.45~0.60	—	—	—	390~590	≥195	≥22	≥94 <sup>c</sup>	≤187	GB 6479—2000
1Cr9Mo	≤0.15	0.30~0.60	0.25~1.00	≤0.030	≤0.030	8.00~10.00	0.90~1.10	—	—	—	≥431	≥207	≥22	—	—	ASTM A335

<sup>a</sup> W 的成分为 0.30%~0.55%。  
<sup>b</sup> Ni 的成分小于或等于 0.6%。  
<sup>c</sup> 1.1~1.3 冲击功试验值。

<sup>a</sup> W 的成分为 0.30%~0.55%。<sup>b</sup> Ni 的成分小于或等于 0.6%。<sup>c</sup> U 型缺口冲击试验值。



表 A.4 常用铬钼耐热钢板的化学成分及常温力学性能

钢 号	化 学 成 分 %								力 学 性 能					相关标准
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V	钢材厚度 mm	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %	冲击功 $A_{kv}$ J	
15CrMoR	0.12~0.18	0.40~0.70	0.15~0.40	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	0.80~1.20	0.45~0.60	—	6~60 61~100	450~590	$\geq 295$ $\geq 275$	$\geq 19$ $\geq 18$	$\geq 31$	GB 6654—1996
15CrMog	0.12~0.18	0.40~0.70	0.15~0.40	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	0.80~1.20	0.45~0.60	0.15~0.30	$\leq 60$ 61~100	450~590	$\geq 295$ $\geq 275$	$\geq 19$ $\geq 18$	$\geq 31$	GB 713—1997
12Cr1MoVg	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	0.90~1.20	0.25~0.35	—	6~16 17~100	$\geq 440$ $\geq 430$	$\geq 245$ $\geq 235$	$\geq 19$	$\geq 31$	GB 713—1997
14Cr1MoR	$\leq 0.17$	0.40~0.65	0.50~0.80	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	1.00~1.50	0.45~0.65	—	16~120	515~690	$\geq 310$	$\geq 18$	$\geq 30$	GB 150—1998
12Cr2Mo1R	$\leq 0.15$	0.30~0.60	$\leq 0.50$	$\leq 0.025$	$\leq 0.025$	2.00~2.50	0.90~1.10	—	$\leq 60$ 61~150	510~690	$\geq 310$	$\geq 18$ $\geq 17$	$\geq 31$	GB 150—1998

表 A.5 常用铬钼耐热钢锻件的化学成分及常温力学性能

钢 号	化 学 成 分 %								力 学 性 能						相关标准	
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	Cu	钢材厚度 mm	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %	冲击功 $A_{kv}$ J		硬度 HB
15CrMo	0.12~ 0.18	0.30~ 0.80	0.10~ 0.60	$\leq 0.020$	$\leq 0.030$	0.80~ 1.25	0.45~ 0.65	$\leq 0.30$	$\leq 0.25$	$\leq 300$ 301~500	440~610 430~600	$\geq 275$ $\geq 255$	$\geq 20$	$\geq 34$	118~ 180 115~ 178	JB 4726—2000
12Cr1Mo <sup>a</sup>	0.09~ 0.15	0.40~ 0.70	0.17~ 0.37	$\leq 0.020$	$\leq 0.030$	0.90~ 1.20	0.25~ 0.35	$\leq 0.30$	$\leq 0.25$	$\leq 300$ 301~500	440~610 430~600	$\geq 255$ $\geq 245$	$\geq 19$	$\geq 34$	118~ 180 115~ 178	JB 4726—2000
14Cr1Mo	0.11~ 0.17	0.30~ 0.80	0.50~ 0.80	$\leq 0.015$	$\leq 0.025$	1.15~ 1.50	0.45~ 0.65	$\leq 0.30$	$\leq 0.25$	$\leq 300$ 301~500	490~660 480~650	$\geq 290$ $\geq 280$	$\geq 18$ $\geq 19$	$\geq 41$	130~ 196 128~ 193	JB 4726—2000
12Cr2Mo1	$\leq 0.15$	0.30~ 0.60	$\leq 0.50$	$\leq 0.015$	$\leq 0.025$	2.00~ 2.50	0.90~ 1.10	$\leq 0.30$	$\leq 0.25$	$\leq 300$ 301~500	510~680 500~670	$\geq 310$ $\geq 300$	$\geq 18$	$\geq 41$	136~ 201 133~ 200	JB 4726—2000
1Cr5Mo	$\leq 0.15$	$\leq 0.60$	$\leq 0.50$	$\leq 0.020$	$\leq 0.030$	4.00~ 6.00	0.45~ 0.60	$\leq 0.50$	$\leq 0.25$	$\leq 500$	590~760	$\geq 390$	$\geq 18$	$\geq 34$	174~ 229	JB 4726—2000

<sup>a</sup> V 的成分为 0.15%~0.30%。

<sup>a</sup> V 的成分为 0.15%~0.30%。

表 A.6 国外铬钼耐热钢板的化学成分及力学性能

ASTM 标准 钢 号	板厚 $T$ mm	化 学 成 分 %							力 学 性 能			
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %	冲击功 $A_{kv}$ J
A204 Gr.A	$T \leq 25$	$\leq 0.18$										
	$25 < T \leq 50$	$\leq 0.21$										
	$50 < T \leq 100$	$\leq 0.23$	$\leq 0.98$	$0.13 \sim 0.45$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	—	$0.41 \sim 0.64$	$450 \sim 585$	$\geq 255$	$\geq 19$	—
	$T > 100$	$\leq 0.25$										
A204 Gr.B	$T \leq 25$	$\leq 0.20$										
	$25 < T \leq 50$	$\leq 0.23$										
	$50 < T \leq 100$	$\leq 0.25$	$\leq 0.98$	$0.13 \sim 0.45$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	—	$0.41 \sim 0.64$	$485 \sim 620$	$\geq 275$	$\geq 17$	—
	$T > 100$	$\leq 0.27$										
A204 Gr.C	$T \leq 25$	$\leq 0.23$										
	$25 < T \leq 50$	$\leq 0.26$										
	$50 < T \leq 100$	$\leq 0.28$	$\leq 0.98$	$0.13 \sim 0.45$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	—	$0.41 \sim 0.64$	$515 \sim 655$	$\geq 295$	$\geq 16$	—
	$T > 100$	$\leq 0.28$										
A387 Gr.2	任意	$0.04 \sim 0.21$	$0.50 \sim 0.88$	$0.13 \sim 0.45$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$0.46 \sim 0.85$	$0.40 \sim 0.65$	$380 \sim 450$	$\geq 230$	$\geq 18$	—
A387 Gr.12	任意	$0.04 \sim 0.17$	$0.35 \sim 0.73$	$0.13 \sim 0.45$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$0.74 \sim 1.21$	$0.40 \sim 0.65$	$380 \sim 450$	$\geq 230$	$\geq 18$	—
A387 Gr.11	任意	$0.04 \sim 0.17$	$0.35 \sim 0.73$	$0.44 \sim 0.86$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$0.94 \sim 1.56$	$0.40 \sim 0.70$	$415 \sim 585$	$\geq 240$	$\geq 19$	—
A387 Gr.22	任意	$0.04 \sim 0.15$										
A387 Gr.22L	任意	$\leq 0.12$	$0.25 \sim 0.66$	$\leq 0.50$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$1.88 \sim 2.62$	$0.85 \sim 1.15$	$415 \sim 585$	$\geq 205$	$\geq 18$	—
A387 Gr.21	任意	$0.04 \sim 0.15$										
A387 Gr.21L	任意	$\leq 0.12$	$0.25 \sim 0.66$	$\leq 0.50$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$2.63 \sim 3.37$	$0.85 \sim 1.15$	$415 \sim 585$	$\geq 205$	$\geq 18$	—
A387 Gr.5	任意	$\leq 0.15$	$0.25 \sim 0.66$	$\leq 0.55$	$\leq 0.030$	$\leq 0.035$	$3.90 \sim 6.10$	$0.40 \sim 0.70$	$415 \sim 585$	$\geq 205$	$\geq 18$	—
A387 Gr.9	任意	$0.04 \sim 0.21$	$0.25 \sim 0.66$	$\leq 1.05$	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	$7.90 \sim 10.10$	$0.85 \sim 1.15$	$415 \sim 585$	$\geq 205$	$\geq 18$	—

附录 B  
(资料性附录)  
部分铬钼钢焊接材料的选用

表 B.1 给出了常用铬钼耐热钢焊接材料的选用；表 B.2 给出了异种钢焊接材料的选用及推荐的管道焊后热处理温度。

表 B.1 常用铬钼耐热钢焊接材料的选用

钢 号	焊 条		氩弧焊丝	熔化极气保焊丝	埋弧焊丝	埋弧焊剂型号
	GB 5118	统一编号系列				
15Mo 20Mo	E5015-A1	R107	—	ER70S-A1	—	—
12CrMo	E5515-B1	R207	H13CrMo	—	H13CrMoA	HJ402-H10Mn2
15CrMo	E5515-B2	R307	H13CrMo	ER80S-B2	H13CrMoA	HJ402-H10Mn2
ZG20CrMoV	E5515-B2-V	R317	H08CrMoV	—	H08CrMoVA	HJ402-H10Mn2
12Cr1MoV	E5515-B2-V	R317	H08CrMoV	—	H08CrMoVA	HJ402-H10Mn2
ZG15Cr1Mo1V	E5515-B2-VW	R327	H08CrMoV	—	H08CrMoVA	HJ402-H10Mn2
1Cr2Mo	E6015-B3	R407	H08Cr2Mo1	—	H13Cr2.25Mo1A	HJ402-H10Mn2
12Cr2Mo	E6015-B3	R407	H08Cr2Mo1	ER90S-B3	H13Cr2.25Mo1A	HJ402-H10Mn2
12Cr2MoWVTiB	E5515-B3-VWB	R347	H08Cr2MoVNb	—	—	—
12Cr3MoVSiTiB	E6016-B3-VNB	R417	H08Cr2MoVNb	—	—	—
1Cr5Mo	E5MoV-15	R507	H1Cr5Mo	ER80S-B6	—	—
Cr9Mo	E9Mo-15	R707	—	ER80S-B8	—	—

表 B.2 异种钢的焊接材料选用及管道焊后热处理温度推荐

焊接材料选用及管道焊后热处理温度代码									
钢的公称成分	1-a-①-1-B		2-b-②-11-B		3-c-③-11-C		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
	1-a-①-1-C		2-b-②-11-C		3-c-③-11-C		4-c-④-11-D		
C-Mn	1-a-①-1-B		2-b-②-11-B		3-c-③-11-C		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
0.5Cr-0.5Mo	1-a-①-1-C		2-b-②-11-C		3-c-③-11-C		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
1Cr-0.5Mo	1-a-①-1-D		2-b-②-11-D		3-c-③-11-D		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
0.5Cr-0.5MoV	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
1Cr-0.5MoV	1-a-①-1-D		2-b-②-11-D		3-c-③-11-D		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
1Cr-1MoV	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
2Cr-0.5Mo	1-a-①-1-D		2-b-②-11-D		3-c-③-11-D		4-c-④-11-D		5-d-⑤-11-E
2.25Cr-1Mo	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
2Cr-0.5MoVW	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
3Cr-1MoVTi	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
5Cr-0.5Mo	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
9Cr-1Mo	1-a-①-1-E		2-b-②-11-E		3-c-③-11-E		4-c-④-11-E		5-d-⑤-11-E
18Cr-8Ni	12-b-A		12-b-A		12-b-A		12-b-A		12-b-A
钢的公称成分	C		C-Mn		0.5Cr-0.5Mo		1Cr-0.5MoV		5-d-⑤-11-E
	C		C-Mo		0.5Cr-0.5MoV		1Cr-0.5MoV		5-d-⑤-11-E
注 1: 焊条代码 1~12 分别为: 1-J426, J427, J506, J507; 2-R107; 3-R207; 4-R307; 5-R317; 6-R327; 7-R407; 8-R347; 9-R417; 10-R507; 11-E8015-B8; 12-A302, A307, A402, A407.									
注 2: 钎焊材料代码 a~i 分别为: a-H08MnA; b-TiG-J50; c-H08CrMo6; d-TiG-R10; e-H13CrMo6; f-TiG-R30; g-H08CrMo6; h-H08CrMo6; i-TiG-R31; j-H08CrMo6; k-TiG-R40; l-H08Cr2MoV; m-H08Cr2MoV; n-H08Cr2MoV; o-H08Cr2MoV; p-H08Cr2MoV; q-H08Cr2MoV; r-H08Cr2MoV; s-H08Cr2MoV; t-H08Cr2MoV; u-H08Cr2MoV; v-H08Cr2MoV; w-H08Cr2MoV; x-H08Cr2MoV; y-H08Cr2MoV; z-H08Cr2MoV.									
注 3: 埋弧焊气体保护焊材料代码 ①~⑤ 分别为: ①-H08Mn2SiA; ②-ER70S-A1; ③-ER80S-B2; ④-ER80S-B3; ⑤-ER80S-B6; ⑥-ER80S-B8; ⑦-ER309.									
注 4: 堆焊材料代码 I~III 分别为: I-H08MnA; II-H08MnA; III-H13CrMoA; IV-H08CrMoA; V-H13Cr2.25MoA; VI-EB6; VII-EB8.									
注 5: 热处理温度代码 A~E 分别为: A-不热处理; B-620℃~670℃; C-650℃~700℃; D-720℃~750℃; E-750℃~780℃.									

附录 C  
(资料性附录)

## 国内、外铬钼耐热钢焊接化学成分及力学性能

表 C.1 给出了国内、外铬钼耐热钢焊接材料对照；表 C.2 给出了铬钼耐热钢焊条熔敷金属的化学成分和力学性能；表 C.3 给出了常用铬钼耐热钢弧焊丝的化学成分；表 C.4 给出了国外铬钼耐热钢熔化极气体保护焊焊丝的化学成分；表 C.5 给出了国外铬钼耐热钢埋弧焊丝的化学成分。

表 C.1 国内、外铬钼耐热钢焊接材料对照

材料公称成分	焊接材料	中 国		美 国	日 本	瑞 典	德 国	英 国
		GB 型号	统一编号					
C-Mn	焊条	E5015-A1	R107	E7018-A1	JIS DT1216	ESAB OK74.41	DIN E Mo B 26	BS MoBH
	TIG 焊丝	H08CrMo	—	ER70S-A1	—	—	SG Mo	A30
0.5Cr-0.5Mo	焊条	E5515-B1	R207	—	—	—	—	—
	TIG 焊丝	H13CrMo	—	—	—	—	—	—
1Cr-0.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	焊条	E5515-B2	R307	E8018-B2 E7015-B2L	DT2316	CMA-96	ECrMo 1 B 26	1CrMo B H 1CrMo L B H
	实芯焊丝	H13CrMo	—	ER80S-G ER80S-B2	—	TGS-1CM	—	A32
	埋弧焊丝	H13CrMoA	—	F9 P0-EB2 B2	—	—	BFB 155 AC 10 MHP5	—
	药芯焊丝	—	—	E81T1-B2M	—	—	—	—
2Cr-0.5Mo 2.25Cr-1Mo	焊条	E6015-B3	R407	E9018-B3 E8015-B3L	DT2416	CMA-106	ECrMo 2 B 26	2CrMo B H 2CrMo L B H
	实芯焊丝	H08Cr2Mo1	—	ER90S-G ER90S-B3	—	TGS-2CM	—	A33
	埋弧焊丝	H13Cr2.25Mo1A	—	F9 P0-EB3 B3	—	—	BFB 155 AC 10 MHP5	—
	药芯焊丝	—	—	E91T1-B3M	—	—	—	—
0.5Cr-0.5MoV 1Cr-0.5MoV	焊条	E5515-B2V	R317	—	—	—	—	—
	实芯焊丝	H08CrMoV	—	—	—	—	—	—
	埋弧焊丝	H08CrMoVA	—	—	—	—	—	—

表 C.1 国内、外铬钼耐热钢焊接材料对照 (续)

材料公称成分	焊接材料	中国		美国		日本		瑞典	德国	英国
		GB 型号	统一编号	AWS	JIS	KOBE STEEL	ESAB			
1Cr-1MoV	焊条	E5515-B2VW	R327	—	—	—	—	—	DIN	B S
	实芯焊丝	H09CrMoVW	—	—	—	—	—	—	—	—
2Cr-0.5MoVW	焊条	E5515-B3-VWB	R347	—	—	—	—	—	—	—
	实芯焊丝	H08Cr2MoVNb	—	—	—	—	—	—	—	—
	焊条	E5515-B3-VNb	R417	—	—	—	—	—	—	—
3Cr-1MoVTi	实芯焊丝	H08Cr2MoVNb	—	—	—	—	—	—	—	—
	焊条	E1-5MoV-15	R507	E502-15 E8015-B6	DT2516	CM-5	—	—	ECrMo5 B26	5CrMoBH
5Cr-0.5Mo	实芯焊丝	H1Cr5Mo	—	ER302 ER80S-B6	—	TGS-5CM	—	—	SG CrMo5	A34
	焊条	—	—	E505-15 E8015-B8	—	CM-9	—	—	ECrMo9 B26	9CrMoBH
9Cr-1Mo	实芯焊丝	—	—	ER505 ER80S-B8	—	—	—	—	SG CrMo9	A35
	焊条	E1-23-13-16 E1-23-13-15	A302 A307	E309-16 E309-15	D309-16	NC-39	OK67.62	—	E 22 12 R 26	23.12.R
25Cr-13Ni	实芯焊丝	H1Cr24Ni13	SH S820	ER309	Y309	TGS-309	—	—	—	309S94
	焊条	E2-26-21-16 E1-26-21-15	A402 A407	E310-16	D310-16	NC-30	OK67.15	—	E25 20 R 26	25.20.R
25Cr-20Ni	实芯焊丝	H1Cr26Ni21	SH S830	ER310	Y310	TGS-310	—	—	E25 20 B 20+	25.20.B
	焊条	—	Ni-307	ENiCrFe-1	DNiCrFe-1	NIC-70A	OK92.25	—	EL-NiCr15FeNb	—
镍基焊材	焊条	—	Ni-307B	ENiCrFe-3	DNiCrFe-3	NIC-703A	—	—	EL-NiCr15FeMn	—
	实芯焊丝	—	—	ERNiCr-3	—	—	—	—	SG-NiCr20Nb	NA35

表 C.2 铬钼耐热钢焊条熔敷金属化学成分和力学性能

焊条型号	统一 编号	化 学 成 分 %										抗 拉 强度 $\sigma_b$ MPa	屈 服 强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %	标准号
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	V	Nb	其他			
E5015-A1	R107	$\leq 0.12$	$\leq 0.09$	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	—	0.40~ 0.65	—	—	—	—	$\geq 390$	$\geq 22$	GB/T 5118 —1995
E5016-A1				$\leq 0.80$											
E5018-A1															
E5515-B1	R207	0.05~ 0.12	$\leq 0.09$	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	0.40~ 0.65	0.40~ 0.65	—	—	—	—		$\geq 17$	
E5516-B1				$\leq 0.80$											
E5518-B1															
E5515-B2	R307	0.05~ 0.12	$\leq 0.09$	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	0.80~ 1.50	0.40~ 0.65	—	—	—	—	$\geq 540$	$\geq 440$	
E5516-B2				$\leq 0.80$											
E5518-B2															
E5500-B2-V	R317	0.05~ 0.12	$\leq 0.09$	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	0.80~ 1.50	0.40~ 0.65	—	0.10~ 0.35	—	—		$\geq 16$	
E5515-B2-V				$\leq 0.80$									$\geq 540$	$\geq 440$	
E5515-B2-VW		0.05~ 0.12	0.70~ 1.10	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	0.80~ 1.50	0.70~ 1.00	—	0.20~ 0.35	—	W0.25~ 0.50		$\geq 17$	
E6015-B3	R407	0.05~ 0.12	$\leq 0.09$	$\leq 0.60$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	2.00~ 2.50	0.90~ 1.20	—	—	—	—	$\geq 590$	$\geq 490$	GB/T 983 —1995
E6016-B3				$\leq 0.80$											
E6018-B3															
E6016-B3-VNb	R417	$\leq 0.12$	0.50~ 0.90	$\leq 0.50$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	2.40~ 3.00	0.70~ 1.00	—	0.25~ 0.50	0.35~ 0.65	—		$\geq 15$	
E0-5MoV-15	R507	$\leq 0.12$	0.50~ 0.90	$\leq 0.50$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	4.50~ 6.00	0.40~ 0.70	—	0.10~ 0.35	—	—	$\geq 540$	—	
E1-23-13-15	R307	$\leq 0.15$	1.00~ 2.50	$\leq 0.70$	$\leq 0.03$	$\leq 0.035$	22.0~ 25.0	$\leq 0.5$	12~14	—	—	—	$\geq 550$	—	
E1-26-21-15	R407	$\leq 0.20$	1.00~ 2.50	$\leq 0.75$	$\leq 0.03$	$\leq 0.035$	25.0~ 28.0	$\leq 0.5$	20~ 22.5	—	—	Cu $\leq 0.5$	$\geq 550$	$\geq 25$	GB/T 13814 —1995
ENiCrFe-0	Ni307	$\leq 0.06$	$\leq 0.60$	$\leq 0.75$	$\leq 0.015$	$\leq 0.015$	15.0~ 20.0	2~6	$\geq 62$	Al $\leq 0.5$	1.5~ 4.0	Fe $\leq 7.0$	$\geq 550$	$\geq 30$	



表 C.3 镍钼耐热钢氩弧焊丝化学成分

焊丝牌号	化 学 成 分 %										标准号
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	V	其他	
H08CrMoA	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	0.80~1.10	0.40~0.60	≤0.30	—	Cu≤0.20	GB/T 14957—94
H13CrMoA	0.11~0.16	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	0.80~1.10	0.40~0.60	≤0.30	—	Cu≤0.20	GB/T 14957—94
H08CrMoVA	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	1.00~1.30	0.50~0.70	≤0.30	0.15~0.35	Cu≤0.20	GB/T 14957—94
H08Cr2Mo1	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	YB/Z 11—76
H08Cr2MoVNb	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	2.20~2.60	0.60~0.80	—	0.20~0.35	Nb0.2~0.5	GB 3294—2002
H1Cr5Mo	≤0.12	0.40~0.70	0.15~0.35	≤0.030	≤0.030	4.00~6.00	0.40~0.60	≤0.30	—	—	GB 1300—77
H1Cr24Ni13	≤0.12	1.00~2.50	≤0.60	≤0.030	≤0.030	23.00~25.00	—	12.00~14.00	—	—	YB/T 5092—1996
H1Cr26Ni21	≤0.15	1.00~2.50	≤0.60	≤0.030	≤0.030	25.00~28.00	—	20.00~22.00	—	—	—
TiGr-10	≤0.06	0.90~1.10	0.45~0.65	≤0.015	≤0.015	—	0.45~0.60	—	—	Ti0.03~0.06	—
TiGr-30		0.80~1.10	0.45~0.65	≤0.015	≤0.015	1.05~1.25	0.45~0.60	—	—	Ti0.03~0.06	
TiGr-31		0.80~1.00	0.30~0.50	≤0.015	≤0.015	1.00~1.20	0.40~0.50	—	0.20~0.35	Ti0.03~0.06	
TiGr-40		0.80~1.00	0.30~0.50	≤0.015	≤0.015	2.20~2.40	1.00~1.10	—	—	Ti0.03~0.06	

表 C.4 国外铬钼耐热钢熔化极气体保护焊焊丝化学成分

焊丝牌号	化 学 成 分 %									标准号
	C	Mn	Si	S、P	Cr	Mo	Ni	V	Cu	
ER70S-A1	≤0.12	≤1.30	0.30~0.70	≤0.025	—	0.40~0.65	≤0.20	—	≤0.35	SFA-5.28
ER80S-B2	0.07~0.12	0.40~0.70	0.40~0.70	≤0.025	1.20~1.50	0.40~0.65	≤0.20	—	≤0.35	SFA-5.28
ER80S-B3	0.07~0.12	0.40~0.70	0.40~0.70	≤0.025	2.30~2.70	0.90~1.20	≤0.20	—	≤0.35	SFA-5.28
ER80S-B6	≤0.10	0.40~0.70	≤0.50	≤0.025	4.50~6.00	0.45~0.65	≤0.60	—	≤0.35	SFA-5.28
ER80S-B8	≤0.10	0.40~0.70	≤0.50	≤0.025	8.00~10.50	0.80~1.10	≤0.50	0.15~0.25	≤0.20	SFA-5.28

表 C.5 国外铬钼耐热钢埋弧焊焊丝化学成分

焊丝牌号	化 学 成 分									标准号
	C	Mn	Si	S、P	Cr	Mo	Ni	V	Cu	
EA1	0.05~0.17	0.65~1.00	≤0.20	≤0.025	—	0.45~0.65	—	—	≤0.35	SFA-5.23
EB1	≤0.10	0.40~0.80	0.05~0.30	≤0.025	0.40~0.75	0.45~0.65	—	—	≤0.35	SFA-5.23
EB2	0.07~0.15	0.45~1.00	0.05~0.30	≤0.025	1.00~1.75	0.45~0.65	—	—	≤0.35	SFA-5.23
EB2H	0.28~0.33	0.45~0.65	0.55~0.75	≤0.015	1.00~1.50	0.40~0.65	—	0.20~0.30	≤0.30	SFA-5.23
EB3	0.05~0.15	0.40~0.80	0.05~0.30	≤0.025	2.25~3.00	0.90~1.10	—	—	≤0.35	SFA-5.23
EB6	≤0.10	0.35~0.70	0.05~0.50	≤0.025	4.50~6.50	0.45~0.70	—	—	≤0.35	SFA-5.23
EB8	≤0.10	0.30~0.65	0.05~0.50	≤0.025	8.00~10.50	0.80~1.20	—	—	≤0.35	SFA-5.23

## 用 词 说 明

对本规程条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

（一）表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”（must）；

（二）表示要准确地符合标准而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”（shall）；

反面词采用“不应”或“不得”（shall not）。

（三）表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”（should）；

反面词采用“不宜”（should not）。

（四）表示在标准的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”（may）；

反面词采用“不必”（need not）。

# 中华人民共和国石油化工有限公司标准

## 石油化工铬钼耐热钢焊接规程

SH/T 3520—2004

### 条 文 说 明

2005 北 京

# 目 次

1 范围.....	27
4 总则.....	27
4.1 材料.....	27
4.2 焊接材料.....	27
5 焊前准备.....	28
5.1 坡口制备.....	28
5.2 组对与定位.....	28
6 焊接工艺.....	28
6.2 预热.....	28
6.3 焊接.....	29
9 焊后热处理.....	29

## 1 范围

1.1 因石油化工业标准其他焊接标准均适用于管道与设备，而 SH 3520—1991 标准只适用于管道焊接，为了与其他标准相统一，这次修订增补了设备用铬钼耐热钢焊接。但本规程不适用加氢反应器中涉及的铬钼耐热钢堆焊。

1.2 近年来，铬钼耐热钢的焊接技术发展很快，出现了一系列新的焊接方法及焊接工艺。北京燕化建安公司对部分铬钼耐热钢材质进行了熔化极气体保护焊和埋弧自动焊的工艺评定，并在工程上取得成功的应用，因此将这两种方法也加入新的标准中。

## 4 总则

### 4.1 材料

4.1.1~4.1.3 钢管与钢板入库前的检查验收工作，包括产品质量证明文件、质量证明文件提供的项目及各项指标、验收应执行的标准。若检验都合格或复验结果符合产品质量标准方可验收入库。

国内材料主要引用的标准为 GB 6654—96《压力容器用钢板》、JB 4726—2000《压力容器用钢锻件》、GB 5310—95《高压锅炉用无缝钢管》。

1Cr5Mo 钢目前国内尚未生产，引用标准为 SA-335/SA-335M《高温用无缝铁素体合金钢公称管》。

4.1.4~4.1.6 材料使用前的检验工作。首先按图纸或技术条件核对其材质、型号和规格，做到技术条件与材料证明相符，并与材料上的标记相对应，必要时应以复验。其次是对材料做外观质量检验，发现超标缺陷及时消除。如果要求对材料进行无损检测伤时，其检验方法及合格标准执行设计文件规定。

### 4.2 焊接材料

4.2.1~4.2.3 规定了铬钼耐热钢焊材选用原则及铬钼耐热钢异种焊接接头采用熔化极气体保护焊和埋弧自动焊时选用的焊材。铬钼耐热钢使用同质焊材时应以化学成分相近为原则，同时焊缝金属的力学性能应不低于母材。这是由于铬钼耐热钢要在高温条件下长期工作，为使焊缝和母材具有相应的耐高温性能，避免高温损坏，故特别强调化学成分相近。

此外，本条规定了铬钼耐热钢采用熔化极气体保护焊和埋弧自动焊时应选用的焊接材料。鉴于目前相应的国产焊材牌号还不全，且北京燕化建安公司评定过的焊材均为国外焊材，因此熔化极气体保护焊选用的焊材均为美国标准。

就铬钼耐热钢而言，保证质量、获得优质焊接接头的关键是选准焊材。首先铬钼耐热钢与碳素钢或不同钢号的铬钼耐热钢之间组成的焊接接头，可按合金含量较低一侧的钢材选用焊接材料。金相组织基本相同而钢种不同的异种钢焊接时，因其热物理性能彼此差异不大，可不考虑因组织差异对焊接质量所带来的问题。选择焊接材料无论依据哪侧钢材，按理都不存在问题。一般情况下根据合金含量较低一侧或介于两者之间的钢材选择焊材，既可满足对接头的使用要求，而且焊材的焊接性也较好。其次，铬钼耐热钢在设计温度低于或等于 425℃，且焊后受条件限制不能进行热处理时，可选用高铬镍（25%Cr-13%Ni）型奥氏体焊接材料，但温度条件是前提。

大连理工大学焊接材料有限公司研制的低铬高锰奥氏体焊条和焊丝，可用于 650℃ 以下铬钼钢的焊接，在茂名石化乙烯工业公司、抚顺石化工程公司等单位已用于 1Cr5Mo 钢、P22 与 20# 钢的焊接。这里作为铬钼钢选择异质填充金属焊接的信息介绍，焊条熔敷金属化学成分和力学性能见表 1，焊丝的化学成分见表 2。

表1 低铬高锰奥氏体焊条熔敷金属化学成分和力学性能

焊条型号	统一编号	化学成分 %									抗拉强度 $\sigma_b$ MPa	屈服强度 $\sigma_s$ MPa	延伸率 $\delta$ %
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	Ti			
E0-6-10-Mn13Mo	AR617	0.06~0.10	11.5~13.0	≤0.50	≤0.02	≤0.02	6.00~7.00	≤0.5	9~11	≤0.10	550~590	≥230	≥60

表2 低铬高锰奥氏体钢氩弧焊丝化学成分

焊丝牌号	化学成分 %								
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	Ti
H0Cr6Ni10Mn13A	0.06~0.10	11.5~13.0	≤0.50	≤0.020	≤0.020	6.00~7.00	≤0.50	9.00~11.00	≤0.10

4.2.4~4.2.11 对焊材提出需满足的技术条件和管理规定。按照正常的管理程序分为三个阶段，即入库前检查验收、入库后的储存保管、焊材的发放使用。这些管理规定是参照有关规定和总结各施工单位的管理经验而制订的。

## 5 焊前准备

### 5.1 坡口制备

5.1.2 鉴于铬钼耐热钢的淬硬倾向，规定坡口加工宜用机械方法。若用火焰切割，割后磨除淬硬层，以避免切割表面淬硬产生裂纹。

5.1.3 提出对坡口表面做外观检查是根据施工经验提出的。因为坡口表面质量好坏直接影响焊接接头的质量，特别是铬钼耐热钢淬硬倾向大，所以严格控制坡口质量，加强检查是必要的。

### 5.2 组对与定位

5.2.1~5.2.3 规定了管子和管件的组对、设备和压力容器的组对应执行的规范标准。

5.2.5 规定了焊前坡口表面及其边缘 20mm 范围内的清理。因为焊件坡口表面的油垢在焊接热的作用下会发生分解，产生水分。据日本铃木春义等人的著作《钢材的焊接裂纹》中讲述“由于坡口区的潮气（如氧化皮吸潮、结霜）、油脂、铁锈及焊接时空气的湿度使扩散氢含量将增加 2~3 倍”。所以对该工序应给予足够的重视，否则将会导致焊接缺陷的产生。

5.2.6 对定位焊缝的要求。其中与正式焊接工艺相同是指合格焊工、焊接材料、焊接工艺参数等相同。因为定位焊缝的质量直接影响最终焊缝质量，定位焊不仅成型要好，还应保证透合好，无焊接缺陷。定位焊缝的要求是根据施工经验和相关规范制订的。

5.2.7 根据施工的需要大口径厚壁管组对时应使用卡具，否则给组对造成困难，同时也不容易保证组对质量。卡具因为是直接焊在管壁表面，把握不好会在焊缝处形成缺陷，因此，卡具的材料、焊接工艺措施和工艺参数都应作出规定。由于铬钼耐热钢属裂纹敏感性材料，卡具的焊接与拆除都可能导致焊接处产生微裂，因此，对拆除方法做出规定，并应严格执行。拆除后清除焊痕并做表面探伤是很必要的。

## 6 焊接工艺

### 6.2 预热

6.2.1 预热的主要目的是为了降低钢材的淬硬程度，延缓焊缝的冷却速度，以利于氢的逸出和改善应力条件，从而降低接头的延迟裂纹倾向。预热不仅要考虑钢材的淬硬性和焊件厚度，还应考虑结构刚性、

母材的供货状态、焊接方法及环境温度等条件。

6.2.2 此条是针对管道焊接预热的要求新增的条目。当采用钨极氩弧焊打底时允许降低预热温度的原因是：

- a) 钨极氩弧焊焊接速度较慢，在焊接的局部事实上产生了所需的预热温度；
- b) 可以减少过量的熔深和有利于控制焊道内、外表面成形。

6.2.3 预热方法是根据目前各施工单位使用的实际情况制定，同时，各有关规范也有类似规定。预热时要求热透且温度分布均匀、温度控制准确，所以电加热法较为适宜。但对于薄壁小管且焊口数量不多时也可采用火焰预热，但应对预热的均匀性进行控制，达不到预热目的或产生局部过热等情况都是不利的。

### 6.3 焊接

6.3.1~6.3.3 对底层焊道提出要求，这是由底层焊道的重要性所决定的。因为底层焊缝焊肉薄，焊后冷却过程中产生较大的收缩应力，再加上铬钼耐热钢的材料特性，使底层焊道焊后容易产生裂纹。因此对底层焊道推荐采用钨极氩弧焊和打底焊条手工焊，当直径小，且管内部清洁要求较高的管道焊缝底层焊道应采用钨极氩弧焊打底；当管道内部充氩或混合气体保护困难和双面焊接的设备焊缝的底层焊道应采用专用打底焊条（如天津金桥焊材有限公司生产的 R307D、R507D）手工焊。各施工单位可根据本单位的资源及焊件的条件选用。

6.3.5~6.3.7 对有焊后热处理的焊缝中断焊接进行后热处理的作用是减小焊缝中氢的有害影响、降低焊接残余应力、避免焊缝接头中出现马氏体组织，从而防止氢致裂纹的产生。

温度达到 200℃ 以后，氢在钢中大大活跃起来，消氢效果较好，后热温度的上限不超过马氏体转变终结温度，而定为 350℃。国内、外标准都没有规定后热保温时间，根据工程实践经验，将保温时间定为至少 30min。

## 9 焊后热处理

9.1~9.3 焊后热处理是利用金属高温下强度的降低而把弹性应变变成塑性应变以达到消除残余应力的目的。在现场施工条件下的焊后热处理，系指对接头进行高温回火，主要作用是改善组织、提高热强性和降低接头残余应力。

焊后热处理的加热方法推荐用电加热法、红外线加热法和工频感应加热法。目前常用的是指形加热器、陶瓷履带式加热器。施工单位应视具体情况而定，但不论采用哪种方法都应做到温度控制准确，加热均匀，这是保证热处理质量的基本要求。

9.6~9.8 对不同钢号铬钼钢或不同厚度焊件组成的焊接接头或返修焊缝的焊后热处理温度作出了规定。因铬钼耐热钢中，不同钢号和不同厚度热处理温度一般都有交合区，所以在温度的选择上遵循此原则是可行的。