

ICS 27.100
F 20

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 819 — 2019
代替 DL/T 819 — 2010

火力发电厂焊接热处理技术规程

The code of the welding heat treatment for power plant

库七七 www.kq99w.com 提供下载

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

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 术语和定义	1
4 一般规定	2
4.1 人员	2
4.2 仪器设备	2
4.3 保温材料	2
4.4 安全要求	2
5 加热方法与使用条件	3
5.1 加热方法	3
5.2 使用条件	3
6 焊接热处理工艺	3
6.1 工艺文件的确定	3
6.2 预热	4
6.3 后热	4
6.4 焊后热处理	4
7 温度测量	6
7.1 测温方法选择	6
7.2 热电偶测温要求	6
7.3 其他测温方法要求	9
8 加热装置的安装与保温	9
8.1 加热装置的安装	9
8.2 保温	10
9 质量检查	10
9.1 质量检查项目	10
9.2 焊后热处理质量要求	11
9.3 焊后热处理质量不合格处理	11
10 技术文件	11
附录 A (规范性附录) 柔性陶瓷电阻加热器技术条件	12
附录 B (资料性附录) 焊接热处理工艺卡、焊接热处理操作记录、焊接热处理工作统计表	13
附录 C (资料性附录) 常用钢的预热温度	15
附录 D (规范性附录) 常用钢的焊后热处理温度与恒温时间	16
附录 E (规范性附录) 焊后热处理质量评价表	17

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准是对 DL/T 819—2010《火力发电厂焊接热处理技术规程》进行的修订，与 DL/T 819—2010 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 增加了热处理设备的自动记录和热电偶的计量检验及精度要求；
- 补充了热电偶的测试要求和热电偶丝的技术要求；
- 完善了焊接热处理作业指导书或工艺卡首件确认要求；
- 细化了感应加热的相关工艺；
- 调整了柔性陶瓷电阻、远红外辐射加热大径薄壁管加热宽度；
- 增加了小径薄壁管马氏体耐热钢的后热和焊后热处理的工艺要求；
- 将部分马氏体耐热钢的焊后热处理恒温温度调整为 740℃~760℃；
- 调整了高合金钢焊后热处理分区控温要求；
- 调整了标准章节结构。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站焊接标准化技术委员会（DL/TC 18）归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院有限公司、北京国网富达科技发展有限公司、苏州热工研究院有限公司、中国能建集团天津电力建设有限公司、中国能建集团山西电力建设有限公司、武汉大学、山东电力建设第三工程公司、中国电建集团河南工程有限公司、中国能建集团江苏电力建设第三工程有限公司、江苏方天电力科技有限公司、中国能建集团北京电力建设有限公司。

本标准主要起草人：郭军、乔亚霞、常建伟、陈忠兵、张永生、雷鸣、王学、宋同乐、孙松涛、杨庆旭、庄海青、任永宁、杨超、张浩。

本标准自实施之日起代替 DL/T 819—2010。

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管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

火力发电厂焊接热处理技术规程

1 范围

本标准规定了火力发电设备在安装、检修以及工厂化配制中对钢制焊件进行焊接热处理的技术要求。本标准适用于对焊件进行的预热、后热和焊后热处理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 1234 高电阻电热合金
- GB/T 2614 镍铬-镍硅热电偶丝
- GB/T 3375 焊接术语
- GB/T 4654 非金属基体红外辐射加热器通用技术条件
- GB/T 4989 热电偶用补偿导线
- GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法
- GB/T 16839.1 热电偶 第1部分：分度表
- GB/T 16839.2 热电偶 第2部分：允差
- GB/T 18404 铠装热电偶电缆及铠装热电偶
- GB/T 34035 热电偶现场试验方法
- DL/T 752 火力发电厂异种钢焊接技术规程
- DL/T 868 焊接工艺评定规程
- DL/T 869 火力发电厂焊接技术规程
- DL/T 1719 采用便携式布氏硬度计检验金属部件技术导则

3 术语和定义

GB/T 3375 及下列术语适用于本文件。

3.1

焊接热处理 **welding heat treatment**

在焊接之前、焊接过程中或焊接之后，将焊件全部或局部加热、保温、冷却，以改善工件的焊接工艺性能、焊接接头的金相组织、力学性能和应力状态的一种工艺。焊接热处理包括预热、后热和焊后热处理。

3.2

均温范围 **range of soak band**

加热恒温过程中，焊接接头全厚度方向上温差小于或等于规定要求的、被加热金属的范围。

3.3

加热宽度 **width of heating**

加热过程中，为获得所需要的均温范围，所施加的加热热源的最小宽度。例如，电加热时加热装置的宽度、火焰加热时的火焰加热范围等。

4 一般规定

4.1 人员

4.1.1 焊接热处理人员包括热处理技术人员和热处理操作人员（又称“热处理工”）。焊接热处理人员应经过专门的培训，取得证书。未取得证书的人员只能从事焊接热处理的辅助工作。

注：本标准“热处理工”与国家职业标准《热处理工》中的“工程热处理工”相对应。热处理技术人员可由焊接技术人员或具有国家职业标准《热处理工》中具有高级及以上的工程热处理工担任，并应经过专门的焊接热处理技术培训，考核合格。

4.1.2 热处理技术人员的职责如下：

- a) 负责编制或审核焊接热处理施工方案、作业指导书、工艺卡等技术文件，进行技术交底。
- b) 指导、监督热处理操作人员的工作，对焊后热处理过程及结果进行评价。
- c) 收集、汇总、整理焊接热处理资料。

4.1.3 热处理操作人员的职责如下：

- a) 按焊接热处理施工方案、作业指导书、工艺卡进行施工。
- b) 记录焊接热处理操作过程。
- c) 焊后热处理应进行自检。

4.2 仪器设备

4.2.1 焊接热处理仪器设备应满足工艺要求，安全、可靠。

4.2.2 焊接热处理所使用的测控温仪表、热电偶、热电偶丝等需要计量的器具应经过校验，并在有效期内使用。

4.2.3 设备应具有全过程温度自动测量和控制功能，并配备具有冷端温度自动补偿功能的温度自动记录装置；自动记录仪应定期进行检定。

4.2.4 设备的控温精度应在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。对计算机温度控制系统，其显示装置应有冷端温度自动补偿装置，且其显示温度应以自动记录仪的显示温度为准进行调整。

4.2.5 焊接热处理过程的数据存储设备应具有数据加密功能，数据文件名称宜自动生成且不可更改。

4.3 保温材料

4.3.1 焊接热处理用保温材料应满足下列要求：

- a) 保温材料的热阻 R 值不小于 $0.35^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ 。
- b) 柔性陶瓷电阻加热或远红外加热用保温材料的熔融温度高于 1150°C 。
- c) 感应加热用保温材料对电磁场无屏蔽作用。
- d) 火焰加热用保温材料应干燥。

4.3.2 宜选用硅酸铝耐火纤维制品、玻璃纤维布、高硅氧布等。

4.4 安全要求

4.4.1 焊接热处理作业中除应符合相关的安全作业要求之外，还应符合下列要求：

- a) 焊接热处理人员穿戴必要的劳动防护用品，并防止烫伤。
- b) 至少两人同时参与作业。
- c) 采用电加热时，防止加热装置导体与焊件接触。

4.4.2 采用红外测温仪时，应避免激光直接或间接射入人眼。

4.4.3 采用感应加热应符合相应的安全防护要求。

5 加热方法与使用条件

5.1 加热方法

5.1.1 加热炉加热应满足下列要求：

- a) 热处理炉有效加热区的测量方法和测定周期应符合 GB/T 9452 的要求，测定周期为 6 个月。热处理炉有效加热区的标志（有效加热区检测合格证）应悬挂于该炉的明显位置处。
- b) 炉内有效加热区的温度均匀性应达到 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，控温仪表、记录仪表的精度级别应达到 0.5 级。
- c) 加热炉可使用电加热或火焰加热。

5.1.2 柔性陶瓷电阻加热和远红外辐射加热应满足下列要求：

- a) 柔性陶瓷电阻加热器的技术条件符合附录 A 的规定。
- b) 远红外辐射加热器符合 GB/T 4654 的规定。
- c) 当同炉使用多根（片）加热器时，各加热器电阻值的偏差不得超过 5%。

5.1.3 感应加热应满足下列要求：

- a) 设备的输出功率和频率应能自动响应，并满足工艺要求。
- b) 设备应能够自动进行温度巡检，宜具有自动选择最高测温点进行温度控制的功能。

5.1.4 火焰加热应满足下列要求：

- a) 可选择氧-乙炔气体或其他可燃性液体、气体相适应的设备进行加热。
- b) 可采用瓶（罐）或管道提供液体、气体，并应采取措施，防止回火。
- c) 应根据焊件的大小、拟定的加热范围选择适宜的火焰燃烧装置。
- d) 应配备温度测量仪器，监测焊件的温度。

5.2 使用条件

5.2.1 加热炉加热适用于对焊件进行预热、后热和焊后热处理。当对焊件分段加热或采用火焰加热炉时，应满足下列要求：

- a) 分段加热进行焊后热处理时，其重叠的加热长度不小于 300mm。
- b) 采用火焰加热炉时，应使火焰不直接冲刷被加热焊件。

5.2.2 柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热适用于对焊件进行预热、后热和焊后热处理。

5.2.3 感应加热适用于对焊件进行预热、后热和焊后热处理。对具有明显尖角效应影响的焊件，不宜采用中频感应加热。

5.2.4 火焰加热使用条件应符合下列要求：

- a) 在难以采用其他加热方式的场合，可采用火焰加热对焊件进行预热和后热处理。
- b) 如采用火焰加热方法进行焊后热处理，应编制详尽的作业方案，保证加热相对均匀，并具有有效的温度控制措施。
- c) 不宜采用火焰加热方法对高合金钢焊件进行焊后热处理。

6 焊接热处理工艺

6.1 工艺文件的确定

6.1.1 焊接热处理工艺应按照 DL/T 868 的规定，在进行焊接工艺评定时一并评定。

6.1.2 编制焊接热处理作业指导书或工艺卡（格式见附录 B 中表 B.1）时，应结合焊件实际的材料、规格、施工条件和焊接工艺评定报告，并应在首件焊接热处理实施的结果中确认。

6.1.3 首件确认应确认焊接热处理作业指导书中的加热范围、升温速率、恒温时间、降温速度等能够实现并达到预定的效果。

6.1.4 经首件（炉）确认并经硬度检测合格的焊接热处理作业指导书或工艺卡应在后续的工作中得到执行。

6.2 预热

6.2.1 预热温度满足下列要求：

- a) 焊件的预热温度应符合作业指导书或工艺卡的要求，常用钢的预热温度参见附录 C。
- b) 异种钢焊接预热温度可按照 DL/T 752 的规定确定。

6.2.2 预热时的加热方法及加热宽度满足下列要求：

- a) 当管子外径大于 133mm 或壁厚不小于 20mm 时，宜采用柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热或感应加热。
- b) 当监测焊件坡口外热电偶达到预热温度时，应保持一定时间，使坡口待焊接部位的温度达到要求。
- c) 当加热器在坡口两侧分别布置或全覆盖布置时，加热宽度自坡口边沿开始计算，且符合下列要求：
 - 1) 采用柔性陶瓷电阻加热或远红外辐射加热时，每侧加热宽度不小于焊件厚度的 4 倍，且不小于 100mm；
 - 2) 采用感应加热或火焰加热时，每侧加热宽度不小于焊件厚度的 3 倍，且不小于 100mm。
- d) 当待焊接区为类似点状时，加热范围是以焊接中心为圆心、以焊缝最大深度尺寸的 9 倍为半径的近圆形区域。

6.2.3 重新预热时，应符合下列要求：

- a) 焊接中断后，重新焊接前应再次预热。
- b) 再次预热的工艺与原预热工艺一致。

6.3 后热

6.3.1 有冷裂纹倾向的焊件，当焊接工作停止后，若不能及时进行焊后热处理，应立即进行后热。后热工艺是：加热温度为 300℃~400℃；保温时间为 2h~4h。

6.3.2 马氏体型耐热钢焊接接头焊后不宜采用后热。若后热，应符合下列要求：

- a) 待焊件温度降至 80℃~100℃、保温 1h~2h 后立即进行。
- b) 管子外径不大于 63.5mm 且壁厚不大于 10mm 的马氏体型耐热钢焊接接头，可缓冷至室温，并在 24h 内进行后热或焊后热处理。

6.3.3 后热时的加热宽度不小于预热时的加热宽度。

6.4 焊后热处理

6.4.1 应按照 DL/T 869、DL/T 752 的规定，或其他技术文件要求进行焊后热处理。若焊缝任一侧为马氏体型耐热钢，应在其完成马氏体转变结束后立即进行焊后热处理，否则，应按 6.3 的要求进行后热。

6.4.2 焊后热处理恒温温度的选择原则：

- a) 不应超过焊接材料熔敷金属及两侧母材中最低的下转变温度 (A_{c1})，宜在 A_{c1} 温度以下 30℃。
- b) 对调质结构钢焊接接头，应低于调质处理时的回火温度。
- c) 对异种钢焊接接头，可按照 DL/T 752 的相关规定执行。

6.4.3 管道对接接头加热宽度应根据加热方法及外径 (D) 与壁厚 (δ) 的比值来选取，但最小不小于 100mm。加热中心应位于焊缝中心，并应采取措施降低周向和径向的温差，且应符合下列规定：

- a) 当采用感应加热时，应按下述方式确定加热宽度：
 - 1) 当 $D/\delta \leq 15$ 时，加热宽度从焊缝中心起，每侧不小于管子壁厚的 5 倍；
 - 2) 当 $D/\delta > 15$ 时，加热宽度从焊缝中心起，每侧不小于管子壁厚的 6 倍。
- b) 当采用柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热时，应按下述方式确定加热宽度：
 - 1) 当 $D/\delta \leq 10$ 时，加热宽度从焊缝中心起，每侧不小于管子壁厚的 6 倍；

- 2) 当 $10 < D/\delta \leq 20$ 时, 加热宽度从焊缝中心起, 每侧不小于管子壁厚的 7 倍;
 - 3) 当 $20 < D/\delta \leq 40$ 时, 加热宽度从焊缝中心起, 每侧不小于管子壁厚的 9 倍;
 - 4) 当 $40 < D/\delta \leq 70$ 时, 加热宽度从焊缝中心起, 每侧不小于管子壁厚的 12 倍;
 - 5) 当 $D/\delta > 70$ 时, 加热宽度从焊缝中心起, 每侧不小于管子壁厚的 15 倍。
- c) 管座焊件的加热, 主管侧宜采用整圈加热或环形加热的方法, 主管与接管侧的加热宽度按主管与接管厚度分别确定。

6.4.4 焊后热处理恒温时间的确定:

- a) 焊后热处理恒温时间应根据材料类别、加热方法和焊件厚度综合确定。
- b) 宜按照焊件厚度确定恒温时间。对中低合金钢, 恒温时间宜按 $2\text{min}/\text{mm} \sim 3\text{min}/\text{mm}$ 计算, 最少 30min; 对高合金钢, 恒温时间宜按 $3\text{min}/\text{mm} \sim 5\text{min}/\text{mm}$ 计算, 最少 60min。采用感应加热时取值宜偏于以上计算的下限; 采用柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热时取值宜偏于以上计算的上限。
- c) 管座或返修焊件, 其恒温时间也可按焊件的名义厚度 δ' 替代焊件厚度 δ 来确定, 但应不少于 30min。焊件的名义厚度 δ' 可根据具体的焊缝结构计算:

- 1) 返修件及非熔透型管座, 见图 1a)、1b):

$$\begin{aligned} h < 5\text{mm} \text{ 时,} & \quad \delta' = 3h + 5\text{mm} \\ h = 5\text{mm} \sim 10\text{mm} \text{ 时,} & \quad \delta' = 2h + 10\text{mm} \\ h > 10\text{mm} \text{ 时,} & \quad \delta' = h + 20\text{mm} \end{aligned}$$

式中:

h —— 返修焊缝厚度, mm。

- 2) 全熔透型骑座式管座, 见图 1c):

$$\delta' = h + t_b$$

- 3) 全熔透型插入式管座, 见图 1d):

$$\delta' = h + t_h$$

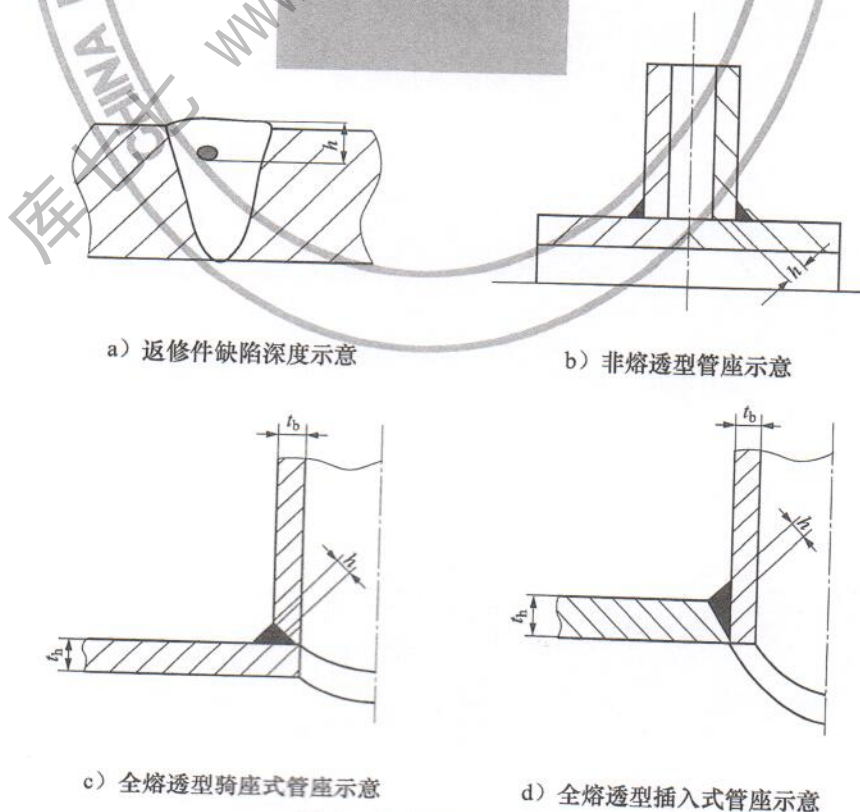


图 1 名义厚度计算图示

6.4.5 常用钢的焊后热处理恒温温度与恒温时间参见附录 D。

6.4.6 升温速率、降温速率的控制要求如下：

- a) 采用柔性陶瓷电加热或远红外辐射加热时，焊接热处理升温速率、降温速率为 $6250/\delta$ （单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，其中 δ 为坡口处焊件厚度，单位为 mm ），采用中频感应加热时，焊接热处理升温速率为 $8000/\delta$ （单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ），降温速率为 $6250/\delta$ （单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）。升温、降温速率最大不大于 $300^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。当壁厚大于 100mm 时，升温速率、降温速率按 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行控制； 300°C 以下不控制升温 and 降温速率。
- b) 当管子外径不大于 108mm 且厚度不大于 10mm 时，若采用感应加热或火焰加热，可不控制升温速度。
- c) 对管座或返修焊件，应按主管的壁厚计算焊接热处理的升温速率、降温速率。
- d) 加热炉进行焊后热处理时，加热过程焊件应随炉升温；冷却过程焊件应随炉降温，直到 300°C 以下方可出炉冷却。

6.4.7 焊后热处理恒温过程中，任意两热电偶显示数据的差值应符合规定的温度范围，且不超过 50°C 。

6.4.8 在制定焊后热处理工艺措施时，应考虑下列可能出现的因素并采取相应的措施：

- a) 对于有再热裂纹倾向的钢种，焊后热处理恒温温度应避免敏感温度区间；升温、降温时，应尽快通过敏感温度区间。
- b) 对于有第二类回火脆性的钢种，焊后热处理采用快速冷却的方式。
- c) 冷拉焊接接头所用的加载工具，待焊接热处理完毕后，方可拆除。
- d) 对已运行过的管道焊接接头，在热处理前、后对焊缝及母材硬度进行检验，必要时，进行金相组织检验。
- e) 阀体和管道形成的焊接接头，焊后热处理时，确保阀体部位的恒温温度不超过阀体的运行温度。
- f) 对于壁厚大于 100mm 的焊接接头，应采取措施控制壁厚方向的温差，满足加热温度要求。

7 温度测量

7.1 测温方法选择

7.1.1 应根据加热方式选择测温方法。柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热、感应加热宜采用接触法测温；火焰加热宜采用非接触法测温。

7.1.2 接触法测温宜采用热电偶、测温笔、接触式表面测温仪等。非接触法测温宜采用便携式红外测温仪等。

7.2 热电偶测温要求

7.2.1 热电偶选择应满足下列要求：

- a) 应根据焊接热处理的温度、仪表型号、测量控温精度选择热电偶。热电偶的直径与长度应根据焊件的大小、加热宽度、固定方法选用。
- b) 宜选用 K 分度的具有防水功能的绝缘型铠装热电偶或具有绝缘功能的 K 分度热电偶丝，绝缘材料推荐使用玻璃纤维或二氧化硅纤维。其质量应符合 GB/T 16839.1、GB/T 16839.2、GB/T 18404、GB/T 2614 的要求。
- c) 对首次使用的热电偶或参比端（接线端）维修过的热电偶，应参照 GB/T 34035 进行热电偶的极性测试和电阻检测。

7.2.2 热电偶安装应满足下列要求：

- a) 热电偶的安装位置与数量，应以保证测温 and 控温准确可靠、有代表性为原则。
- b) 预热时，控温热电偶应布置在加热区以内，监测热电偶应尽可能靠近待焊坡口。必要时，应使用其他测温方法检测待焊坡口处的温度，见图 2。

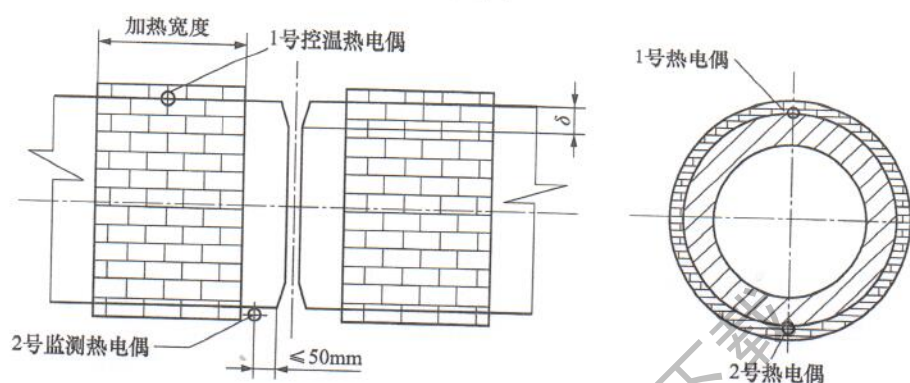


图 2 预热时加热宽度与测温点布置示意

- c) 后热时，应在焊缝上部安装 1 支热电偶作为控温热电偶，图 2 所示的监测热电偶不变，也可参照焊后热处理的要求，分区布置热电偶。
- d) 垂直位置的管道焊接接头进行焊后热处理时，应使用不少于 2 支~3 支热电偶，沿圆周均匀布置。其中，1 支控温热电偶布置于焊缝中心，其他监测热电偶布置于距焊缝边缘 1 倍壁厚处，且不小于 50mm，见图 3。

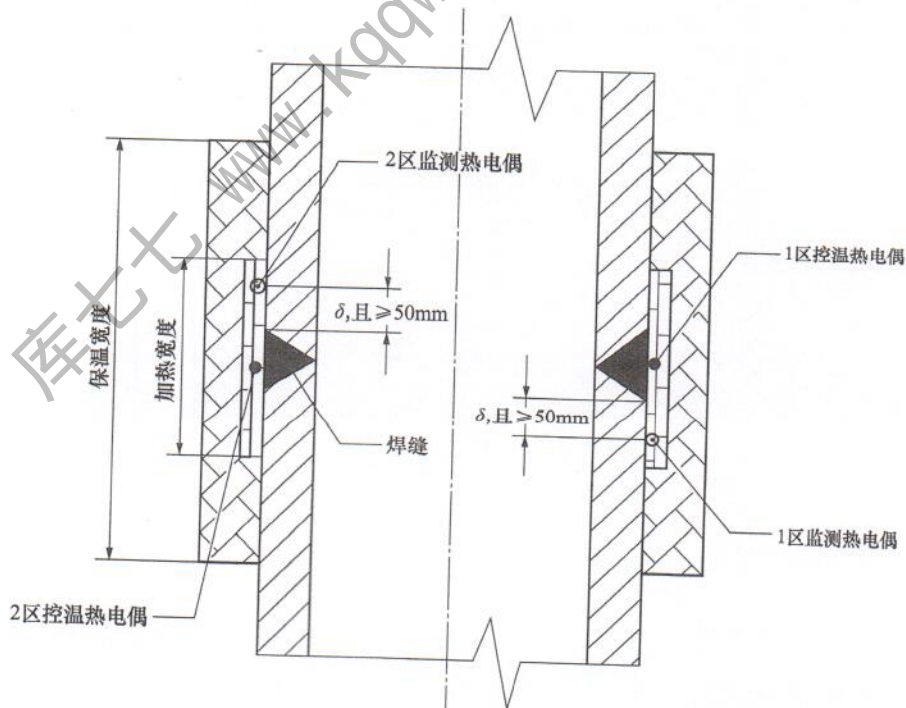


图 3 垂直位置管道焊接接头热电偶布置示意

- e) 水平位置管道焊接接头进行焊后热处理时，宜根据管道外径采取与分区加热相应的测温、控温方式安装热电偶，分区数量与热电偶的安装要求见表 1。每个加热区应布置不少于 2 支热电偶，1 支控温热电偶布置于焊缝中心，另 1 支监测热电偶应布置于距焊缝边缘 1 倍壁厚处，且不小于 50mm，见图 4、图 5。

表 1 水平位置管道焊后热处理时分区数量与控温热电偶的安装要求

管道外径 D mm	分区控温数量	周向上控温热电偶位置	说明
$D \leq 273$	1	12: 00 位置	适用于所有钢材
$273 < D \leq 508^a$	2	12: 00 和 6: 00 位置	适用于所有钢材
$508 < D \leq 762$	3	12: 00、4: 00、8: 00 位置	适用于高合金钢
$D > 762$	4	12: 00、3: 00、6: 00、9: 00 位置	适用于高合金钢

^a 对于碳钢、低合金钢，管道外径上限不限。

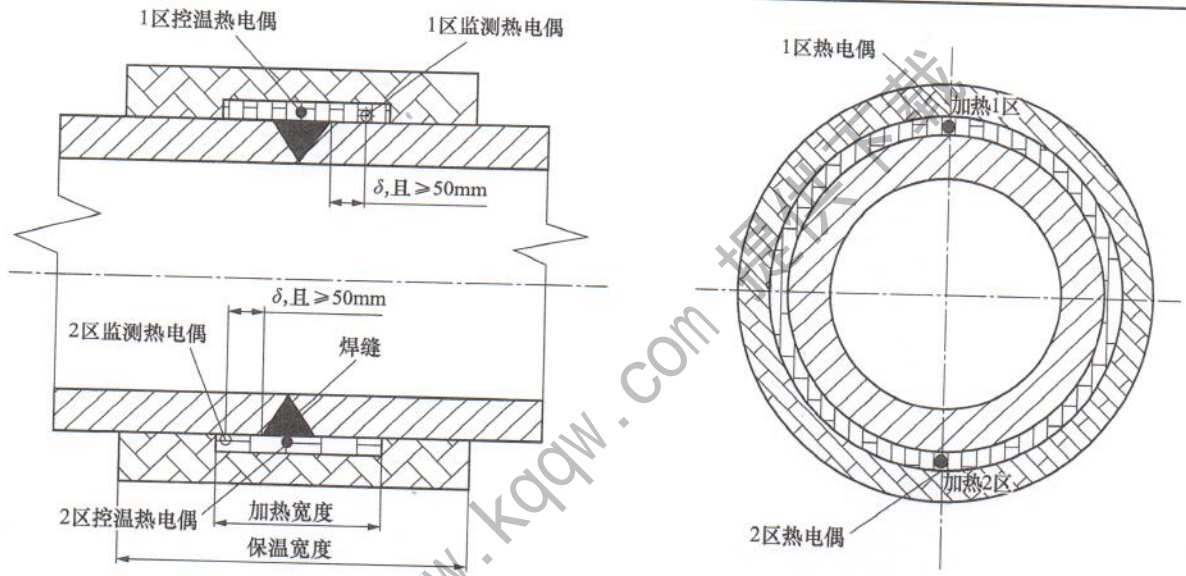


图 4 2 个控温区时热电偶布置示意

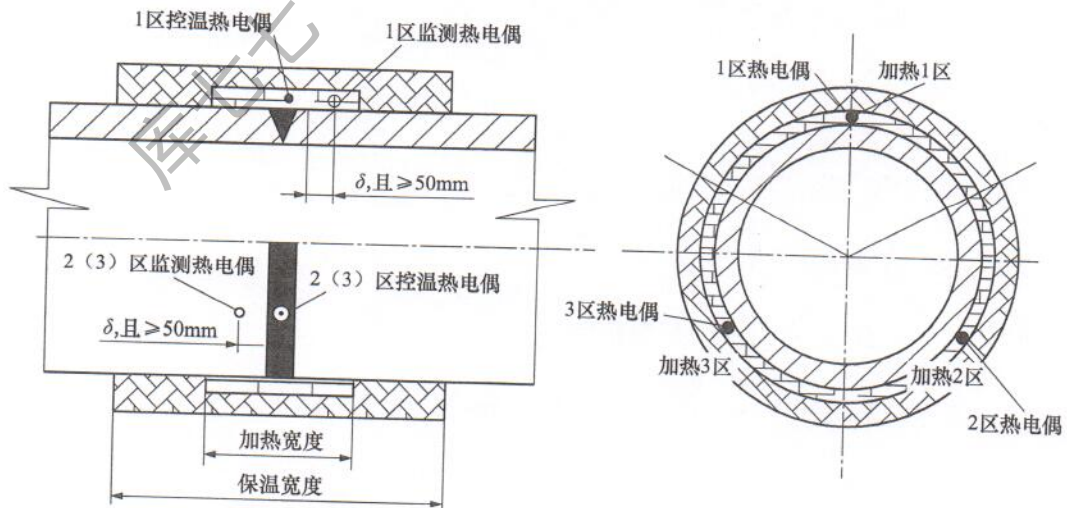


图 5 3 个控温区时热电偶布置示意

- f) 异形焊接接头（如三通、管座等）进行后热、焊后热处理时，应采取措施使得焊件实际被加热的最高温度位于被热处理焊缝上。焊后热处理时，其热电偶应至少有 3 支，其中 1 支位于焊缝（控温用），其他热电偶（监测温度用）分别位于距焊缝边缘 1 倍壁厚，且不小于 50mm 的主管与支管上，见图 6。

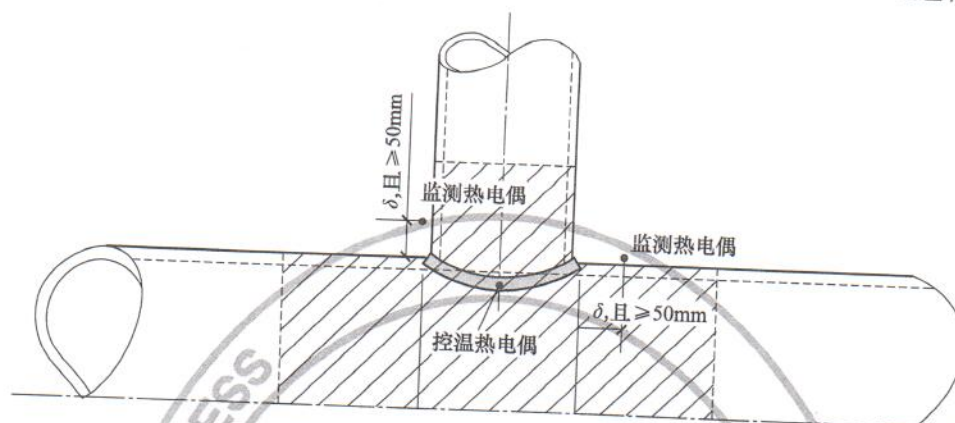


图6 管座焊件热电偶布置示意

7.2.3 热电偶固定应满足下列要求：

- 宜采用储能焊机焊接固定热电偶的方法，或其他能够保证热电偶的热端与焊件接触良好的方法。
- 采用焊接方式固定热电偶时，焊接时焊点处的温度应不低于预热温度，焊接热处理结束后应将热电偶焊点打磨干净。

7.2.4 安装热电偶的注意事项如下：

- 当同炉处理多个焊接接头形式、材质、规格相同的焊接接头时，控温热电偶布置在温度最高的焊接接头上，并在其他焊接接头上至少布置1个监测热电偶。
- 采用储能焊机焊接热电偶丝时，两根热电偶丝焊点间距应不大于6mm，两个热电极之间及其与焊件间应绝缘。
- 采用感应加热时，热电偶的引出方向与感应线圈相垂直。
- 热电偶使用补偿导线引出。
- 热电偶、补偿导线、测量控温仪表的型号、极性、精度相匹配。

7.2.5 补偿导线的使用要求：

- 宜使用与K分度热电偶相匹配的KCA、KCB型补偿导线，其质量应符合GB/T 4989的要求。
- 补偿导线与热电偶连接时，同极性应相接并连接牢固。
- 使用补偿导线后，若冷端温度仍不稳定，应采取冷端温度补偿措施。

7.3 其他测温方法要求

7.3.1 划痕测温笔的使用应满足下列要求：

- 根据加热温度、测温精度的要求，选择合适组合的划痕测温笔。
- 使用划痕测温笔时，及时观测划痕颜色的变化情况，避免温度超过规定的范围。

7.3.2 便携式红外测温仪的使用应满足下列要求：

- 根据测量温度范围选择便携式红外测温仪。
- 根据仪器说明书进行温度测量。

7.3.3 接触式表面测温仪的使用宜满足下列要求：

- 宜选用K分度的热电偶探头及配套的数字式表面测温仪。
- 测温仪具有冷端温度自动补偿功能。

8 加热装置的安装与保温

8.1 加热装置的安装

8.1.1 柔性陶瓷电阻加热器、远红外辐射加热器的安装应符合下列规定：

- a) 安装加热器时, 将焊件表面的焊瘤、焊渣、飞溅物清理干净, 使加热器与焊件表面贴紧, 必要时, 应制作专用的夹具。
- b) 直径大于 273mm 的水平管道或大型部件焊接接头进行焊后热处理时, 应采用分区加热, 分区数量应满足表 1 的规定。
- c) 同炉处理多个同类焊件时, 各加热器的布置方式应相同, 且保温层宽度和厚度也尽可能相同。
- d) 用绳形加热器对管道进行预热时, 焊缝坡口两侧布置的加热器应对称, 加热器的缠绕圈数、缠绕密度应尽可能相同, 缠绕方向相反。
- e) 后热时, 若采用预热时的加热器布置, 在原焊缝区域应补充布置加热器。
- f) 垂直位置管道焊接接头, 加热器的中心比焊缝中心应向下偏移 20mm~30mm。

8.1.2 感应加热器的安装应符合下列规定:

- a) 感应线圈的匝间距离应根据焊件的形状、壁厚、拟定的加热宽度确定。
- b) 工频感应加热时感应线圈与工件的间隙为 10mm~50mm; 中频感应加热时感应线圈与工件的间隙为 10mm~80mm。
- c) 感应线圈安装时, 应避免匝间短路。
- d) 应避免在焊件上留下剩磁。

8.1.3 火焰加热符合以下要求:

- a) 当使用多个喷嘴或焊炬进行加热时, 宜对称布置, 均匀加热。
- b) 火焰焰心至工件的距离应在 10mm 以上; 喷嘴的移动速度要稳定, 不得在一个位置长期停留。
- c) 应注意控制火焰的燃烧状况, 防止金属的氧化或增碳。
- d) 以焊缝为中心, 加热宽度应为焊缝两侧各外延不少于 50mm。
- e) 火焰加热的恒温时间应按 1min/mm 计算。
- f) 加热完毕, 应立即使用干燥的保温材料进行保温。

8.1.4 对变径管、管座、三通和阀门连接管等部件异形焊接接头, 宜在金属材料体积较大侧布置较多的加热装置, 通过分区控温、功率控制或其他措施, 使加热区域最高温度位于被热处理的焊缝上。

8.2 保温

8.2.1 焊接热处理的保温宽度从焊缝中心算起, 每侧应比加热宽度增加至少 2 倍壁厚, 且不小于 150mm。

8.2.2 焊后热处理的保温厚度不超过 80mm, 保温层外表面温度以不高于 60℃为宜。感应加热时, 可适当减小保温厚度。可以通过改变保温层厚度来调整管道加热部分的温差。

9 质量检查

9.1 质量检查项目

9.1.1 热处理工在升温前应进行下列内容的检查, 确认其符合作业指导书或工艺卡的要求:

- a) 加热及测温设备、器具及接线、热处理炉有效加热区检测合格证的有效期。
- b) 加热装置的布置、温度控制分区。
- c) 加热范围符合标准或规范要求, 保温层的宽度、厚度合适。
- d) 温度测点的安装方法、位置和数量。
- e) 设定的加热温度、恒温时间、升温速度、降温速度等。
- f) 现场安全要求。

9.1.2 热处理工在焊接热处理工作中应进行现场工作记录(格式参见附录 B 中表 B.2), 工作完成后应自检, 并经热处理技术人员确认, 符合下列要求:

- a) 工艺参数在控制范围以内, 并有自动记录曲线。

- b) 热电偶无损坏、无位移。
- c) 热处理记录曲线与工艺卡吻合。

9.1.3 焊接热处理技术人员或焊接工程师应在热处理工自检合格的基础上，对同类焊件进行不少于20%（马氏体型耐热钢焊件应不少于50%）的抽查。检查相关记录、察看经焊后热处理的焊件外观，进行质量评价，其内容符合附录E的规定。评价项目包含该表中所有检查项目。

9.2 焊后热处理质量要求

9.2.1 焊后热处理质量应由其过程控制予以保证。按照9.1.1、9.1.2的规定完成检查且符合要求，则焊后热处理工作质量确定为合格，否则确定为不合格。

9.2.2 热处理工按9.1.1检查有不符项时，应立即改进并使其合格；按9.1.2检查有不符项或按9.1.3进行抽查有疑问时，应由焊接热处理技术人员或焊接工程师与质量检查人员联合组织评价，查找并分析原因，制定进一步的质量保证措施。同时应进行该焊缝硬度检测或进行现场金相组织检验。

9.2.3 硬度检测可采用便携式布氏硬度计按照DL/T 1719的要求检测，或采用便携式里氏硬度计按照GB/T 17394的规定进行检测。对于有争议的硬度检测值宜采用便携式布氏硬度计进行复核，硬度值应满足DL/T 869的规定。

9.3 焊后热处理质量不合格处理

9.3.1 当焊缝硬度值偏低或偏高时，应对不合格原因进行分析。

9.3.2 焊后热处理温度或时间不够而导致焊缝硬度值高于规定值时，应重新进行焊后热处理，且不超过3次。

9.3.3 当焊缝硬度值低于规定值，或金相组织检验判定超过相变温度出现异常组织的焊缝时，除非可以现场实施正火+回火热处理，否则应割掉该焊接接头，重新焊接。

9.3.4 焊后热处理恒温时间超过焊后热处理作业指导书规定值±30%，且硬度检查合格的焊缝，应作记录。

10 技术文件

10.1.1 焊接热处理施工应具有与焊接工艺评定参数相适应的现场热处理作业指导书或工艺卡，应具有现场焊接热处理操作记录、焊接热处理工作统计表（格式参见附录B中表B.3）、焊后热处理质量评价表（格式见附录E）。

10.1.2 工程竣工后移交的焊接技术资料中焊接热处理技术资料包括：

- a) 焊接热处理自动记录曲线。
- b) 焊接热处理工作统计表。
- c) 焊后热处理质量评价表。
- d) 相应的试验、检测报告。

附录 A

(规范性附录)

柔性陶瓷电阻加热器技术条件

- A.1 柔性陶瓷电阻加热器一般由电阻丝、陶瓷套管(片)、引出线及附件组成,可以是绳形加热器、履带式片状加热器、指状加热器、抱合式加热器,其工作温度不超过 1000℃。
- A.2 电阻丝应采用 Cr20Ni80 合金材料,单股直径以 0.35mm~0.40mm 为宜,质量符合 GB/T 1234 的要求。绞制股数以 37 股~42 股为宜,在绞制电阻丝时,不允许有接头、断丝。
- A.3 陶瓷套管(片)应使用氧化物和复合氧化物陶瓷制作,要求有高的热发射率。其软化点温度应大于 1200℃,绝缘强度应大于 20kV/mm。抗热震性要求为在 750℃时淬入 25℃水中 3 次不开裂。
- A.4 加热器引出线与电阻丝的连接,宜采用不锈钢导管连接压制,压接前应检查不锈钢导管有无毛刺;也可采用低电阻合金焊接材料进行焊接来保证接头的质量。每根镍铬电阻丝引出线的长度应不小于 400mm,铜丝引出线的长度应不小于 200mm,铜丝截面面积不小于 10mm²。加热器接插件应采用承插式。
- A.5 加热器的耐压性能应在 2000V 交流电下 1min 无击穿,绝缘电阻不小于 100MΩ (400℃以下),高温泄漏值应不超过 0.5mA/kW (750℃时)。
- A.6 有效发热部分的尺寸误差:绳形加热器、指状加热器不大于 1%;片状加热器不大于 3%。
- A.7 验收时,应采用冷态电阻计算加热器的功率。其计算功率与额定功率误差应不大于 5%。
- A.8 对绳形加热器,在 750℃、3h 的工作条件下,使用 3 次后电阻丝的伸长量不大于 0.5%。对履带式加热器,应根据加热器的规格选择合适大小的瓷板;加热器的两端,应根据加热器的宽度放置适当数量的带连接孔的陶瓷件,且两端位置应一致。抱合式加热器的两端与加热件应有良好的密封,能够按要求实现分区控温要求。
- A.9 加热器应有产品合格证明和质量证明书,质量证明书至少应包含但不限于下列内容:
- 电阻丝的单丝直径、股数和质量证明。
 - 加热器的有效尺寸。
 - 额定工作电压。
 - 额定功率。
 - 设计冷态电阻。

附录 B
(资料性附录)

焊接热处理工艺卡、焊接热处理操作记录、焊接热处理工作统计表

焊接热处理工艺卡、焊接热处理操作记录、焊接热处理工作统计表见表 B.1~表 B.3。

表 B.1 焊接热处理工艺卡

工程名称			编 号			
部件名称			材 质			
规 格			焊 口 数			
预 热						
加热方法			升温速率	℃/h		
预热温度	打底: ℃;	预热: ℃	层间温度	℃		
测温方法						
加热措施						
保温措施						
后 热						
加热温度	℃		恒温时间	h		
其他要求						
焊后热处理						
加热方法			升温速率	℃/h	降温速率	℃/h
加热宽度	mm		保温层宽度	mm		
恒温温度	℃		恒温时间	h		
热电偶型号			数 量			
工艺曲线图:			注意事项:			
编制		日期		审核		
					日期	

表 B.2 焊接热处理操作记录

工程名称: _____ 日期: _____ 天气: _____ 环境温度: _____

部件名称	接头编号			材质	规格	加热方法			
升降温速率 ℃/h	恒温温度 ℃			恒温时间 h			工艺卡号		
时间 h									
温度 ℃									
时间 h									
温度 ℃									
记录要求: 1) 严格按照热处理作业指导书或热处理工艺卡作业。 2) 认真记录, 填写清晰、完整。 3) 每 0.5h 记录一次。 4) 至少每 0.5h 到热处理现场巡查一次。 5) 当连续工作时间较长时, 应每隔 3h 记录一次环境温度。				交接班记录			异常情况记录:		
				接班人					
				开始时间					
				结束时间					

表 B.3 焊接热处理工作统计表

第 页

工程名称		部件名称						
序号	焊接接头编号	材质	规格	加热方法	热处理日期	自动记录号	热处理类别	备注
说明: 1) 本表按部件, 以热处理日期顺序进行统计。 2) 加热方法以代号表示: DR—电加热; GR—感应加热; HR—火焰加热; LR—炉内加热。 3) 热处理类别以代号表示: PWHT—焊后热处理; POH—后热; PRH—预热。								

审核人: _____ 统计人: _____
 _____ 年 月 日 _____ 年 月 日

附录 C
(资料性附录)
常用钢的预热温度

常用钢的预热温度见表 C.1。

表 C.1 常用钢的预热温度

钢 种	管 材		板 材	
	厚度 mm	预热温度 ℃	厚度 mm	预热温度 ℃
含碳量不大于 0.35% 的碳素钢及其铸件	≥26	100~200	≥34	100~150
C-Mn (Q345)	≥28	100~150	≥30	
Mn-V (Q390、Q420)			≥28	
15NiCuMoNb5 (WB36)、13MnNbMoR	≥20	150~200	≥20	150~200
18MnMoNbR	≥15	150~200	≥15	150~200
0.5Cr-0.5Mo (12CrMo) 1Cr-0.5Mo (15CrMo、ZG20CrMo)				
1Cr-0.5Mo-V (12Cr1MoV) 1.5Cr-1Mo-V (15Cr1Mo1V、ZG15Cr1Mo1V) 2Cr-0.5Mo-W-V (12Cr2MoWVB) 1.75Cr-0.5Mo-V、2.25Cr-1Mo (12Cr2Mo) 3Cr-1Mo-V-Ti (12Cr3MoVSiTiB)、10CrMo910	≥6	200~300	≥8	200~300
07Cr2MoW2VNbB (T/P23)	任意	150~200	任意	150~200
1Cr5Mo、12Cr13 (1Cr13)	任意	250~300	任意	250~300
9Cr-1Mo (T/P9)、12Cr-1Mo (F12)	任意	300~350	任意	300~350
10Cr9Mo1VNbN (T/P91)	任意	200~250	任意	200~250
10Cr9MoW2VNbBN (T/P92)	任意	200~250	任意	200~250
10Cr11MoW2VNbCu1BN (T/P122)	任意	200~250	任意	200~250

注 1: 表中的温度为根据壁厚确定的最低预热温度。当采用钨极氩弧焊打底时, 可按下限温度降低 50℃ 预热。
注 2: 壁厚不小于 6mm 的合金钢管子或管件, 大厚度板件在负温下焊接时, 应比最低的预热温度高 20℃~40℃。
壁厚小于 6mm 的低合金钢管子及壁厚大于 15mm 的碳素钢管子在负温下焊接, 也应适当预热。
注 3: 承压件与非承压件焊接时, 应按承压件进行预热。接管座与主管焊接时, 应按主管进行预热。

附录 D

(规范性附录)

常用钢的焊后热处理温度与恒温时间

常用钢的焊后热处理温度与恒温时间见表 D.1。

表 D.1 常用钢的焊后热处理温度与恒温时间

钢 种	温度 ℃	焊 件 厚 度 mm						
		≤12.5	12.5~25	25~37.5	37.5~50	50~75	75~100	100~125
		恒 温 时 间 h						
C≤0.35 (20、ZG25) C-Mn (Q345、Q420)	580~620	不必热处理		1.5	2	2.25	2.5	2.75
15NiCuMoNb5 (WB36) 15MnNiMoR	580~600	1	2	2.5	3	4	5	—
0.5Cr-0.5Mo (12CrMo)	650~700	0.5		1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo (15CrMo、 ZG20CrMo)	670~700	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
07Cr2MoW2VNbB (T/P23)	720~740	0.5	1	1.5	2	3	4	5
1Cr-0.5Mo-V (12Cr1MoV、 ZG20CrMoV) 1.5Cr-1Mo-V (ZG15Cr1Mo1V) 1.75Cr-0.5Mo-V 2.25Cr-1Mo (10CrMo910)	720~750	0.5	1	1.5	2	3	4	5
1Cr5Mo、12Cr13	720~750	1	2	3	4	—	—	—
2Cr-0.5Mo-WV (12Cr2MoWVTiB) 3Cr-1Mo-V-Ti (12Cr3MoVSiTiB)	750~770	0.75	1.25	2.5	4	—	—	—
9Cr-1Mo (T/P9)、 12Cr-1Mo (F12)		1	2	3	4	5	—	—
10Cr9Mo1VNbN (T/P91)	740~760	1	2	3	4~5	5~6	6~7	8
10Cr9MoW2VNbBN (T/P92)	750~770	1.5	2	4	5~6	6~7	8~9	10
10Cr11MoW2VNbCu1BN (T/P122)	740~760	2		4	5~6	6~7	8~9	10

注 1: 表内的恒温时间是推荐值, 当合同或其他技术文件有要求时按照其规定执行; 经技术验证并获得建设单位批准时, 可以按照批准的技术文件执行。
注 2: 如采用中频感应加热, 恒温时间可按 6.4.4 规定的计算方法计算。
注 3: 对已运行过的管道焊接接头, 宜选用较低的温度或较短的恒温时间。
注 4: “—”表示不规定。

附录 E
(规范性附录)
焊后热处理质量评价表

焊后热处理质量评价表见表 E.1。

表 E.1 焊后热处理质量评价表

工程名称			评价表编号
部件名称			材 质
规 格			焊口编号
序号	评 价 项 目		单 项 评 价 结 论
1	测量、控温仪表、记录仪表的计量是否有效		
2	实际安装热电偶____支, 安装位置: _____		
3	实际安装热电偶固定方法: _____		
4	是否使用补偿导线: _____		
5	实际加热宽度: _____ mm; 是否分区控温: _____		
6	实际的保温宽度: _____ mm; 厚度: _____ mm		
7	实际的升温速率: _____ °C/h, 降温速率: _____ °C/h		
8	实际的焊后热处理恒温温度: _____ °C, 恒温时间: _____ h		
9	是否有自动记录		
10	记录曲线是否符合(指曲线无中断, 无非正常的波动、乱打点)		
11	焊件表面无异常(指无氧化皮严重、裂纹等)		
12	其他		
评价结论:			
符合作业指导书: <input type="checkbox"/> 不符合作业指导书: <input type="checkbox"/>			
进一步检测意见:			
是否硬度检测: <input type="checkbox"/> 是否金相检验: <input type="checkbox"/>			
处理建议:			
重新焊后热处理: <input type="checkbox"/> 割管返修: <input type="checkbox"/> 其他方式: _____			
说明:			
1) 焊后热处理质量评价由热处理技术人员或其与质量检查人员联合进行。			
2) 单项评价结论分符合、不符合分别用 Y、N 表示。			
评价人: _____			日期: _____