



# 油井高压管汇的焊接

刘疆辉

**【摘要】**对高压管汇常用材料进行了焊接性分析，拟制了多种焊接工艺，以适应不同的制造环境和工作环境。按选定的焊接标准对各种工艺进行评定，各项考核指标均符合标准要求。通过评定的工艺已广泛应用于生产，大量产品的长期使用验证了工艺的正确性和可靠性。

**关键词：**高压管汇；焊接工艺；全自动焊

## 1. 概述

在油田油井的开发、生产过程中需要利用专用的钻井、固井设备，而这些设备必不可少地包含一系列管汇系统：钻井液管汇、压井管汇、固井管汇及节流管汇（见图1）等。这些管汇系统由阀体、管线和接头法兰等部件组成，其常用工作压力：14~105MPa，常用环境温度：-29~121℃。特殊情况下，工作压力更高（140MPa），环境温度更低（-46℃、-60℃），所以管汇系统的使用性能应满足高压和低温的环境。而管汇系统中管线与阀体、接头法兰等一般采用焊接的方式连接，为此我们必须对



图1 节流管汇

焊缝和焊接工序严格控制，以适应设备恶劣的使用工况。

## 2. 油井高压管汇的焊接标准

考虑到国内外钻井设备市场的准入制和认可程度，我厂制造的油井高压管汇系统均按美国石油协会API的相关标准设计、生产（API Spec 6A 井口装置和采油树设备规范、API Spec 16C 节流压井系统规范），并取得了API颁发的证书。根据上述设计规范的要求，油井高压管汇系统

焊接时应执行“ASME 锅炉及压力容器规范IX 焊接和钎焊评定标准”。

## 3. 高压管汇的材料

根据高压管汇的额定压力和使用环境，我厂使用的材料基本有两种：MS01、MS02。两者管径为63~150mm，壁厚为8~19mm，化学成分及力学性能如表1、表2所示。

## 4. 高压管汇的焊接工艺

（1）管汇材料的焊接性分

表1 MS01的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%） |             |              |              |             | 力学性能       |            |                                 |
|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|---------------------------------|
| C            | Mn          | P            | S            | Nb+V+Ti     | 屈服强度/MPa   | 抗拉强度/MPa   | $A_{KV}(-29^{\circ}\text{C})/J$ |
| $\leq 0.22$  | $\leq 1.40$ | $\leq 0.025$ | $\leq 0.015$ | $\leq 0.15$ | $\geq 414$ | $\geq 517$ | $\geq 27^*$                     |

注：\*表示为满足低温冲击吸收能量，实际购买的MS01钢管P、S含量 $<0.009\%$ 。

表2 MS02的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%） |      |      |      |      |              |              | 力学性能       |            |                             |
|--------------|------|------|------|------|--------------|--------------|------------|------------|-----------------------------|
| C            | Mn   | Si   | Mo   | Cr   | P            | S            | 屈服强度/MPa   | 抗拉强度/MPa   | $KV(-29^{\circ}\text{C})/J$ |
| 0.26~0.34    | 0.40 | 0.17 | 0.15 | 0.80 | $\leq 0.035$ | $\leq 0.035$ | $\geq 550$ | $\geq 690$ | $\geq 27$                   |
|              | ~    | ~    | ~    | ~    |              |              |            |            |                             |
|              | 0.70 | 0.37 | 0.25 | 1.10 |              |              |            |            |                             |

析 MS01是一种低合金钢，合金由于含量少，碳当量<0.4%，焊接冷裂纹和热裂纹敏感性都不大，所以MS01钢的焊接性较好，加之通常采用的管子壁厚<20mm，因此，MS01钢焊前一般不需预热，焊后也不进行热处理。

MS02是一种含碳量较高的合金钢，焊前为调质态，碳当量为0.75%，焊接性较差。焊接时，热影响区会脆化和软化，具有较大的氢致冷裂纹敏感性。为了防止氢致冷裂纹的产生，通常采用焊前预热、焊后及时热处理。此外，为减少热影响区，降低脆化倾向，焊接时宜采用小数

值、低热输入的焊接参数。

(2) 接头形式 油井高压管汇接头一般为对接接头。焊接工艺评定时，常用等壁厚的薄壁管进行试验，试样的焊接坡口如图2所示。

(3) 焊接方法的选择 根据标准要求，所有承压焊缝应在焊后进行100%的射线或超声波检测。由于油井高压管汇的管径较小(<150mm)，所以根焊时必须单面焊双面成形，而且焊缝外观及内在质量必须过硬，否则达不到无损检测的要求。

分析各种常用的焊接方法，钨极氩弧焊可以满足上述要求，

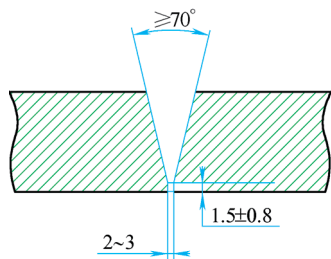


图2 坡口形式

其焊接熔池可控性好，焊缝质量高，但效率较低。为到达优质高效焊接的目的，在高压管汇的制造过程中，我们使用以下几种焊接工艺：氩弧焊打底，气体保护焊或焊条电弧焊填充、盖面（氩弧焊+焊条电弧焊工艺适合油田现场作业），或者全自动气体保护焊打底、填充及盖面（适合直管焊接）。

(4) 焊接材料 我们使用了下列几种匹配管材MS01和MS02的焊材：氩弧焊丝为

HS01，化学成分和力学性能如表3所示。气体保护实芯焊丝HS02用于焊接MS01钢管，化学成分和力学性能如表4所示。气体保护实芯焊丝HS03用于焊接MS02钢，化学成分和力学性能如表5所示。焊丝HS04是焊接MS01的低温药芯焊丝，化学成分和力学性能如表6所示。焊条HS05是焊接MS01的低温焊条，化学成分和力学性能如表7所示。

(5) 焊前预热温度及层间

表3 HS01的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%，典型值） |      |      |       |        | 力学性能     |          |            |
|------------------|------|------|-------|--------|----------|----------|------------|
| C                | Mn   | Si   | P     | S      | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | KV（-29℃）/J |
| 0.06             | 1.36 | 0.06 | 0.015 | ≤0.012 | ≥400     | ≥480     | ≥27        |

表4 HS02的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%） |         |         |         |         |       |        |        | 力学性能     |          |            |
|--------------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|----------|----------|------------|
| C            | Mn      | Si      | Mo      | Ni      | Ti    | P      | S      | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | KV（-20℃）/J |
| ≤0.12        | 1.2~1.9 | 0.4~0.8 | 0.2~0.5 | 0.2~0.5 | ≤0.02 | ≤0.025 | ≤0.020 | 520      | 650      | 平均168      |

表5 HS03的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%，典型值） |      |      |      |      |      |        |        | 力学性能     |          |            |
|------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|----------|----------|------------|
| C                | Mn   | Si   | Mo   | Ni   | Cr   | P      | S      | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | KV（-20℃）/J |
| 0.09             | 1.57 | 0.42 | 0.27 | 0.76 | 0.19 | 0.0 12 | 0.0 05 | 635      | 735      | 平均150      |

表6 HS04的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%） |           |       |           |       |       | 力学性能     |          |            |  |
|--------------|-----------|-------|-----------|-------|-------|----------|----------|------------|--|
| C            | Mn        | Si    | Ni        | P     | S     | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | KV（-60℃）/J |  |
| ≤0.15        | 0.50~1.57 | ≤0.80 | 1.00~2.00 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≥470     | 550~690  | 例值59       |  |

表7 HS05的化学成分和力学性能

| 化学成分（质量分数，%） |      |      |         |         |         |        |        | 力学性能     |          |            |
|--------------|------|------|---------|---------|---------|--------|--------|----------|----------|------------|
| C            | Mn   | Si   | Cr      | Ni      | Cu      | P      | S      | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | KV（-40℃）/J |
| ≤0.1         | ≤2.0 | ≤0.6 | 0.3~0.9 | 0.2~0.9 | 0.2~0.4 | ≤0.025 | ≤0.020 | ≥500     | ≥600     | ≥60        |

温度 MS01焊前一般不预热。层间最高温度要求<316℃。如果产品在-46℃的环境中使 用，焊接时层间温度要求 ≤150℃。MS02焊前最低预热 温度为149℃，层间温度不低 于最低预热温度，层间最高温 度 ≤316℃。

(6) 焊接参数 由于油井 高压管汇均要求有低温韧性，焊 接试样需进行低温冲击试验，所 以焊接时应采用小的焊接参数， 焊接电流<220A，电弧电压< 30V，热输入<25kJ/cm。

5. 焊接工艺评定

(1) 焊接工艺评定的指 标 ①抗拉强度试件2件，合格 标准：不低于母材规定的最小抗 拉强度。②导向弯曲试件4件， 合格标准：焊缝和热影响区不得 有超过3.2mm的开口缺陷。③缺 口韧性测试需焊缝及热影响区试 件各3件，最小平均冲击吸收能 量 ≥20J。④硬度试验。在母材 金属、焊缝和热影响区各进行4 次。合格标准：MS01的最低硬 度值 ≥174HBW和HBWc（零件 的最低可验收布氏硬度值）中 的较小者，MS02的最低硬度值 ≥197HBW。

(2) 焊接工艺评定I 母 材：MS01+ MS01；焊丝： HS01+HS02；保护气体：焊 丝HS01的保护气为氩气，焊 丝HS02的保护气为80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>，焊接参数和试验结果 如表8、表9所示。由表9可知， 其中的硬度值低于174HBW，计 算HBWc= 135HBW，所以可接 受的最低硬度值为135HBW。

(3) 焊接工艺评定II 母

材：MS02+ MS02；焊丝： HS01+HS03；保护气：焊丝 HS01保护气为氩气；HS03保护 气体为80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>；焊后 热处理：580~600℃，保温2h， 焊接参数和试验结果分别如表 10、表11所示。

(4) 焊接工艺评定III 母

材：MS01+ MS01；焊丝： HS04；保护气体：CO<sub>2</sub>，焊接 参数和试验结果如表12、表13 所示。由表13可知，其中的硬 度值低于174HBW，同样计算出 HBWc= 141HBW，因此可接受 的最低硬度值为141HBW。

(5) 焊接工艺评定IV 母

表8 焊接参数

| 层数 | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 热输入/kJ·cm <sup>-1</sup> |
|----|---------|--------|-------------------------|
| 底层 | 95      | 11     | 12.5                    |
| 填充 | 210~220 | 28~30  | 17.2~17.6               |
| 盖面 | 220     | 30     | 16.7                    |

表9 试验结果

| 抗拉强度 /MPa | 弯曲 (180°) | KV(-29℃)/J |            | 硬度HBW              |                    |                    |
|-----------|-----------|------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|           |           | 焊缝         | 热影响区       | 母材                 | 焊缝                 | 热影响区               |
| 591、595   | 合格        | 63、40、77   | 115、88、140 | 148、152<br>152、152 | 158、160<br>160、162 | 152、149<br>147、152 |

表10 焊接参数

| 层数 | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 热输入/kJ·cm <sup>-1</sup> | 层间温度/℃  |
|----|---------|--------|-------------------------|---------|
| 底层 | 110     | 13     | 14.4                    | 185     |
| 填充 | 210~220 | 28~30  | 16.3~17.8               | 230~260 |
| 盖面 | 220     | 30     | 16.4                    | 271     |

表11 试验结果

| 抗拉强度 /MPa | 弯曲 (180°) | KV(-29℃)/J |          | 硬度HBW              |                    |                    |
|-----------|-----------|------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
|           |           | 焊缝         | 热影响区     | 母材                 | 焊缝                 | 热影响区               |
| 695、701   | 合格        | 28、48、34   | 30、33、35 | 235、238<br>241、241 | 212、220<br>228、230 | 225、228<br>230、236 |

表12 焊接参数

| 层数 | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 热输入/kJ·cm <sup>-1</sup> | 层间温度/℃ |
|----|---------|--------|-------------------------|--------|
| 底层 | 100     | 12     | 10.3                    | 12     |
| 填充 | 190~210 | 27~29  | 12.9~19.8               | 65~140 |
| 盖面 | 200     | 28     | 17.1                    | 145    |

表13 试验结果

| 抗拉强度 /MPa | 弯曲 (180°) | KV(-46℃)/J |             | 硬度HBW              |                    |                    |
|-----------|-----------|------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|           |           | 焊缝         | 热影响区        | 母材                 | 焊缝                 | 热影响区               |
| 565、560   | 合格        | 54、57、59   | 139、150、150 | 152、148<br>150、152 | 160、162<br>158、162 | 150、147<br>147、147 |

材：MS01+MS01；焊条：HS05， $\phi 3.2\text{mm}$ ，焊接参数和试验结果分别如表14、表15所示。由表15可知，其中的硬度值 $<174\text{HBW}$ ，同样计算出 $\text{HBWc}=137\text{HBW}$ ，因此可接受的最低硬度值为 $137\text{HBW}$ 。

(6) 焊接工艺评定V 母材：MS01+ MS01；焊丝：HS02；保护气：80%Ar+20%CO<sub>2</sub>；自动焊接系统：HH—008。焊接参数如表16所示。

根据标准的规定，焊接方式从半自动改为全自动不需重新进行焊接评定。上述试验是为了验证焊接参数是否合适，也就是焊接的接头能否通过外观和内部的无损检测。试焊的接头焊缝如图3、图4所示，焊缝正面和背面成形美观，经射线探伤均合格。

6. 结语

到目前为止，我厂已生产油井高压管汇几百套，上述各种焊接工艺已成功应用于钻井、压

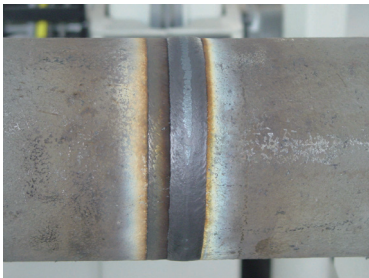


图3 自动焊缝正面成形

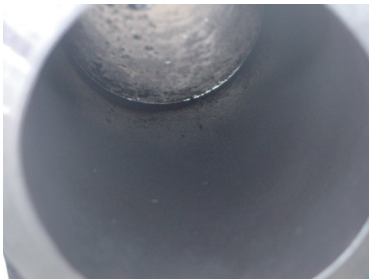


图4 自动焊缝背面成形

井、固井及节流等管汇系统中，遍布国内外陆地、沙漠和海洋平台等区域，甚至有的地区环境温度达到了 $-45^{\circ}\text{C}$ ，但产品经受了高压和低温的严格考验，赢得了客户的信赖。

作者简介：刘疆辉，中石化石油机械工程有限公司第四机械厂。

MW 20160502

表14 焊接参数

| 层数 | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 热输入/ $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ |
|----|---------|--------|-------------------------------------|
| 底层 | 110     | 12     | 7.0                                 |
| 填充 | 100~110 | 20~27  | 16.9~21.6                           |
| 盖面 | 102     | 24     | 21.6                                |

表15 试验结果

| 抗拉强度/MPa | 弯曲(180°) | KV(-29℃)/J |           | 硬度HBW   |         |         |
|----------|----------|------------|-----------|---------|---------|---------|
|          |          | 焊缝         | 热影响区      | 母材      | 焊缝      | 热影响区    |
| 565、585  | 合格       | 21、24、30   | 90、96、112 | 150、150 | 158、158 | 149、147 |
|          |          |            |           | 150、152 | 162、160 | 149、145 |

表16 焊接参数

| 层数 | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 热输入/ $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ |
|----|---------|--------|-------------------------------------|
| 底层 | 95      | 22     | 8.3                                 |
| 填充 | 140~180 | 24~26  | 15.6~18.3                           |
| 盖面 | 160     | 25     | 16.0                                |



《金属加工（热加工）》2016年第14期广告目次

|                       |     |      |                |     |      |
|-----------------------|-----|------|----------------|-----|------|
| 昆山京群焊材科技有限公司          | 封面A | 5123 | 凯天环保科技股份有限公司   | 前彩3 | 5028 |
| 第二届轨道交通先进金属加工及检测技术交流会 | 封二A | 8000 | 洛阳双瑞特种合金材料有限公司 | 前彩4 | 5276 |
| 深圳市瑞凌实业股份有限公司         | 封面B | 1254 | 泰佰亿（山东）工业有限公司  | 前彩5 | 5032 |
| 北京时代科技股份有限公司          | 封二B | 1258 | 北京振威展览有限公司     | 前彩6 | 6189 |
| 威特仕焊接（深圳）有限公司         | 封三  | 2538 | 北京华巍中兴电气有限公司   | 前彩7 | 5258 |
| 法国液化空气焊接公司上海代表处       | 封底  | 1404 | 北京金威焊材有限公司     | 前彩8 | 1161 |
| 伊达新技术电源（昆山）有限公司       | 前彩1 | 1925 | 上海ABB工程有限公司    | Ⅲ   | 5176 |
| 上海镭赛文化传媒有限公司          | 前彩2 | 5386 | 现代重工（中国）投资有限公司 | V   | 5668 |