

Cr9Mo 炉管焊接工艺分析

中国石化集团第十建设公司 （山东淄博 255438） 王振国

【摘要】分析 Cr9Mo 炉管的化学成分、力学性能及焊接特点，制定合理的焊接工艺，焊前预热、焊接顺序及焊后热处理是保证焊缝质量的关键，提出质量检验及焊缝返修的要求。

1. 概述

在石油化工装置中，加热炉是比较关键的装置之一。由于加热炉内的操作温度和操作压力比较高，且介质多为临氢介质，炉管的安全性对加热炉乃至整个装置的安全运行起着重要作用，所以在选材上多考虑抗高温能力强且具有良好的抗硫和氢腐蚀能力的 Cr-Mo 耐热钢。目前国内石油化工装置中辐射段炉管大都采用进口的 Cr9Mo 钢管（ASTM 标准中的 T9），本文针对 $\phi 114.3\text{mm} \times 6.02\text{mm}$ 的 Cr9Mo 炉管，从焊接特点、焊接工艺及焊接检验进行了简要的分析。

2. 材质介绍

（1）Cr9Mo 炉管的化学成分及力学性能如表 1 所示。

表 1 Cr9Mo 炉管的化学成分及力学性能

化学成分（质量分数，%）							拉伸试验/MPa	
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	σ_s	σ_b
≤ 0.15	0.25 ~ 1.00	0.30 ~ 0.60	≤ 0.03	≤ 0.03	8.00 ~ 10.00	0.90 ~ 1.10	≥ 211	≥ 422

（2）焊接材料选用 为了保证焊缝性能、金相组织与母材基本相同，具有必要的热强性和耐腐蚀性，焊缝成分应力求与母材相近。目前 Cr9Mo 炉管焊接多用进口焊材：焊丝 TGS—9CM，焊条 CM—9CB。焊材的化学成分及力学性能如表 2 所示。

表 2 焊材的化学成分及力学性能

名称	化学成分（质量分数，%）							拉伸试验/MPa	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	σ_s	σ_b
TGS—9CM	0.07	0.38	0.52	0.004	0.009	9.05	1.0	523	663
CM—9CB	0.06	0.34	1.48	0.006	0.001	9.35	1.06	—	—

3. 焊接特点

T9 合金含量比较高，淬硬性比较大，在焊接中易产生冷裂纹。冷裂纹的产生与钢种的淬硬倾向、焊接接头含氢量以及焊接接头的拘束应力状态有密切关系。钢种的淬硬倾向主要取决于化学成分、板厚、焊接工艺和冷却条件；焊接接头含氢量与坡口清洁程度、焊条的类型、烘干温度和焊后冷却速度有关；接头的拘束应力有不均匀加热及冷却过程中产生的热应力、金属相变时产生的组织应力、结构自身约束条件所造成的应力（刚度、焊缝位置、焊接顺序等）。由于化学成分及壁厚是不可改变的，因此在焊接过程中主要针对焊接工艺采取相应措施，从而避免冷裂纹的产生，以保证焊接质量。

4. 焊接工艺要求

（1）焊接方法及坡口加工 采用氩电联焊，坡口形式如图 1 所示，其中 $c = 1 \sim 3\text{mm}$ ， $p = 0 \sim 2\text{mm}$ ， $\alpha = 60^\circ \pm 5^\circ$ 。

坡口加工时，采用氧乙炔焰切割，清除熔渣、氧化皮，并将表面凸凹处打磨平整，坡口表面不得有裂纹、分层等缺陷。

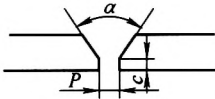


图 1 坡口形式

（2）组对与定位 组对前将坡口及其内外表面 $\geq 20\text{mm}$ 范围内的油漆、污垢、铁锈等清除干净。管子或管件对接焊缝组对时，内壁应平齐，内壁错边量 $\leq 0.5\text{mm}$ 。若定位焊缝作为焊缝组成部分时，定位焊的焊接工艺与正式焊接时相同。定位焊缝应均匀分布，焊缝高度宜 $< 3\text{mm}$ ，焊缝长度为 $6 \sim 10\text{mm}$ 。

(3) 焊前预热 由于 T9 合金含量高, 淬硬倾向比较大, 为了减慢焊后冷却速度, 避免产生硬脆组织、减少组织应力, 焊前应对坡口两侧各 $\geq 50\text{mm}$ 范围内预热。预热温度越高, 防止裂纹产生的效果越好。但是超过所需的预热温度会恶化工作条件, 并且使熔合线附近的晶粒粗化, 降低钢的塑性和冲击韧性。预热温度设在 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ 之间, 加热区域以外的 100mm 范围内予以保温, 以减少温度梯度。

(4) 焊接施工 达到预热温度后立即用钨极氩弧焊进行底层焊道的焊接, 为了避免焊缝根部过度氧化, 管内应充氩气进行保护。底层焊道焊接完后进行第二和第三层焊道的焊接, 并且保证层间温度等于或略高于预热温度。如果中断焊接, 应采取后热、缓冷措施, 再次焊接前应进行检查, 确认无裂纹后方可预热施工。第二层焊接可采用焊条电弧焊或钨极氩弧焊进行焊接, 但由于焊条电弧焊焊后需进行清渣、打磨等工作, 中断焊接时间较长, 层间温度不易保持, 所以第二层焊接一般采用钨极氩弧焊, 面层焊道采用焊条电弧焊进行, 焊接参数如表 3 所示。

表 3 焊接参数

焊接方法	焊接材料		焊接电流		电弧电压 /V	焊接速度 /cm · min ⁻¹
	牌号	直径/mm	极性	电流/A		
手工 氩弧焊	TGS— 9CM	2.4	正	90 ~ 130	10 ~ 12	5 ~ 10
焊条 电弧焊	CM— 9CB	3.2	反	95 ~ 135	21 ~ 24	12 ~ 14

注: 不同壁厚的焊道层数: $n = (\text{壁厚}/3) + 1$ 。

(5) 后热 当焊接完成后无法立即进行热处理或无法连续焊完而中断焊接时, 要立即进行后热, 后热温度为 $300 \sim 350^\circ\text{C}$, 时间 30min , 并保温缓冷至常温。

(6) 热处理 焊接热循环在一定程度上改变了母材金属的组织 and 性能, 使得焊接接头产生很大的应力, 热处理的目的是消除焊接残余应力, 降低接头硬度, 增加塑性和韧性, 为扩散氢的逸出创造有利条件, 从而减小冷裂倾向, 所以焊后要立即进行焊后热处理。当采取后热措施后, 24h 内应进行焊后热处理, 焊后热处理参数如下: ①温度及保温时间: 热处理温度为 $750 \sim 780^\circ\text{C}$, 恒温时间为 1h 。②升温速度: 300°C 以下可以不控制, 升温到 300°C 后, 升温速度 $\leq 180^\circ\text{C}/\text{h}$ 。③降温速度: 恒温后的冷却速度 $\leq 180^\circ\text{C}/\text{h}$, 300°C 以下自然冷却。④热处理措施: 焊后热处理采用电加热, 在热处理过程中准确地控

制加热温度, 使得焊件温度分布均匀, 恒温时, 在加热范围内任意两点温差应 $< 50^\circ\text{C}$ 。⑤热处理范围: 以焊缝中心为基准, 两侧各 $\geq 25\text{mm}$, 加热区以外 100mm 范围要予以保温, 管口两端要封堵, 焊接时要避免穿堂风。⑥热处理质量检验: 焊接接头的热处理质量应用硬度测定法进行检查, 焊缝、热影响区硬度 $\leq 241\text{HBW}$, 否则要重新进行热处理。

5. 焊接检验

(1) 外观检查 焊后先对焊缝的外观质量进行检查, 检查前要将焊缝表面的熔渣、飞溅等清理干净, 焊缝外观质量应符合表 4 要求。

表 4 焊缝外观质量要求

焊缝外观尺寸			焊缝表面缺陷		
焊缝成形	余高 /mm	焊缝每侧 增宽/mm	裂纹、气孔、 夹渣	咬边	
				深度/mm	长度
与母材圆滑过渡	0 ~ 2	≤ 2	不允许	< 0.5	$\Sigma S \leq 10\% L$

注: ΣS 为焊缝两侧咬边的累积长度; L 为焊缝总长。

(2) 无损检测 无损检测要在焊后 24h 后进行, 以免延迟裂纹漏检。检测方法选用射线检测, 采用双壁单影分段透照。检测比例 100% , 合格级别 JB 4730—1994 II 级。

(3) 返修 返修程序如图 2 所示, 注意事项如下: ①缺陷消除宜采用砂轮打磨, 磨槽需修整成适合补焊的形状, 并经 PT 检测, 确认缺陷已经完全消除后方可补焊。②返修时采用与正式焊接相同的焊接工艺, 且预热温度取上限。③同一部位返修次数不应超过两次。

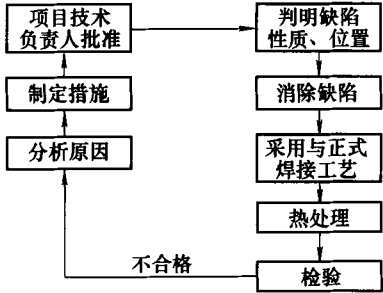


图 2 返修程序

6. 结语

Cr9Mo 炉管具有较好的高温强度、抗氧化性和抗原油中硫化物腐蚀和抗氢腐蚀的性能, 是石油化工行业高温装置的重要材料。虽然焊接性较差, 但只要采取合理的工艺和措施, Cr9Mo 钢焊接接头的质量完全可以保证。MW (20120316)