

# HQ-8M型气体进料乙烯裂解炉辐射段炉管 整体更换技术探讨

李 浩

宁夏煤业煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750411

**摘要:** 本文针对某化工厂HQ-8M型气体进料乙烯裂解炉辐射段炉管展开研究。阐述了炉管结构材质、工作环境与受力情况,分析损坏原因及更换时机判断方法。详细介绍辐射段炉管整体更换技术,涵盖新炉管预制、吊装装置制作安装、旧炉管下线与新炉管安装及组对焊接等工序,旨在为相关工程技术人员提供全面且系统的气体进料乙烯裂解炉辐射段炉管整体更换技术参考与实践经验,提高更换作业的效率、质量与安全性,保障乙烯裂解装置的稳定运行与可持续发展。

**关键词:** 乙烯裂解炉; 辐射段炉管; 整体更换技术

## 前言

某化工厂HQ-8M型气体进料乙烯裂解炉为单炉膛结构,经过7年的连续运行,检测结果显示辐射段炉管的渗碳深度介于0.1至0.7毫米之间,并出现了严重的变形和鼓胀。为防止渗碳深度的进一步增加导致炉管的脆性断裂,确保裂解装置的长周期稳定运行,实施整体更换炉管成为必要措施。鉴于检修项目的紧迫性和任务的复杂性,制定科学的施工计划并严格控制焊接质量显得至关重要。

## 1 乙烯裂解炉辐射段炉管概述

### 1.1 炉管的结构与材质

HQ-8M型气体进料乙烯裂解炉为单炉膛结构,辐射段的外形尺寸为13.2m×3.66m×12.1m;炉膛中央布置8组M型炉管,炉管两侧均设有一排燃烧器,燃烧器为全底烧结构,火焰垂直向上,炉管受双面辐射。辐射段“M”型炉管包括3程入口管及3程出口管,其中第一程入口管采用二合一结构,后两成出口管采用强化传热元件专利技术。炉管间通过铸造回弯头连接,最后一根出口管通过一段过渡管与急冷锅炉对焊连接。辐射段炉管采用上悬挂形式,辐射段炉管的一部分重量通过位于横跨管和两个上部回弯头的恒力弹簧吊挂在辐射段炉顶框架上。另一部分重量将通过线性急冷锅炉的固定支点支撑在炉子对流段框架上。因此整个M型炉管的重量均在顶部支撑,炉管受力较好,炉管受热后可以自由向下膨胀及蠕变。

辐射段的入口管金属设计温度为1010℃,出口管的

**作者简介:** 李浩(1993—),男,汉族,宁夏固原人,本科,助理工程师,研究方向:化工设备检修

金属设计温度为1125℃,设计寿命均为10万小时,因此入口管和出口管分别选用耐高温,具有较高的抗渗碳性能、抗氧化性能及较高的高温蠕变性能的HPMICRO离心铸造管和35Cr-45Ni离心铸造管。

### 1.2 炉管的工作环境及受力分析

在乙烯裂解过程中,辐射段炉管内部处于高温和高压工艺介质环境,同时承受着热应力、内压应力、自重应力以及因炉管与管架之间的热膨胀差异而产生的机械应力等复杂应力作用。这些恶劣的工作环境和复杂的受力情况是导致炉管损坏和性能下降的主要原因。

## 2 辐射段炉管损坏的原因

(1) 高温蠕变: 炉管在长期高温运行中,材料内部晶体结构逐渐变化,原子结合力减弱,导致壁厚缓慢减薄、强度降低,承载能力下降,威胁运行安全。

(2) 渗碳作用: 裂解反应中碳元素渗入炉管晶格间隙,使其脆化,韧性和抗疲劳性能显著降低,导致炉管在压力或冲击下易破裂,缩短使用寿命。

(3) 结焦现象: 反应生成的焦炭在炉管内壁沉积,阻碍热量传递,造成局部过热,进一步加速材料老化与结焦增厚,形成恶性循环,最终可能引发炉管破裂。

(4) 热疲劳: 频繁启停或工况波动导致炉管反复经历温度骤变,内部热应力超过材料疲劳极限时,产生微小裂纹并逐渐扩展,最终引发泄漏或破裂。

## 3 辐射段炉管整体更换技术

### 3.1 新炉管预制

新炉管的预制焊接在炉外进行,需将零散的管段备件成组焊接,共预制8组管排。

(1) 为保证管排组对的平面度、直线度、形位公差

和尺寸等技术要求，应针对相应规格的炉管制作适配工装夹具。

(2) 现场预制时，以氩气作保护气体，采用整体充氩方式，于两根入口管处充入。组对完毕，用纸质胶带缠绕坡口密封，防止管内氩气泄漏，保障焊缝根部不被氧化。焊接期间，落实防风防雨举措，必要时搭建防风棚。

(3) 焊接完成后焊缝表面做渗透检测和射线探伤，PT一级合格，RT二级合格。管口部位用胶带、水溶纸或管帽封堵，防止异物进入。

(4) 无损检测合格后，将每组炉管用夹具固定，一组炉管装四排夹具。

### 3.2 炉管吊装装置制作及安装

(1) 炉管的吊装装置由导轨、电动葫芦与卷扬机等构成。导轨选用HW150×150×7×10mm热轧H型钢，两段拼接而成，全长12.6米，装于距炉顶2.25米处的钢结构上。

(2) 两台卷扬机置于炉顶南侧，底座与框架及算子板焊接，2t卷扬机垂直滑轨安装，用于提升炉管底部，1t卷扬机在炉管西侧，以牵引滑块。轮组协同卷扬机运作，与2t卷扬机相连的有2个滑轮，定滑轮(2t)装在右侧框架，钢丝绳绳头固定于炉顶中间框架，动滑轮(3t)在绳头与定滑轮间，助力炉管底部提升；与1t卷扬机相连的有3个(2t)滑轮相互协作，起吊时牵引滑块。

(3) 导轨上装有4个滑块，各滑块分别装1个5t倒链，南北两侧是手拉倒链，中间两个为电动倒链，以便垂直起吊炉管并使其底部脱离炉底托盘，炉顶北侧上方框架装有1个3t倒链，用于炉管水平移动。

### 3.3 炉顶及炉底附件拆除

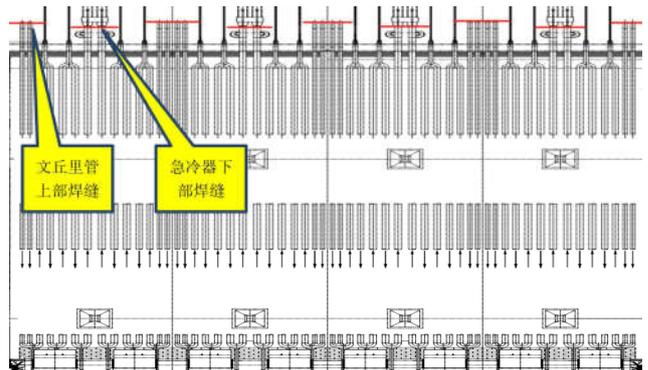
(1) 保护性拆除炉顶盖板并标识部件，螺栓预处理松动液，锈蚀螺栓采用切割法拆除，确保盖板无损伤，移除后南北通透。

(2) 选定炉顶西北角为吊装口，按需拆除局部围栏。拆除恒力弹簧吊架固定架时，先拔销钉调至非受力状态，电动倒链临时固定炉管排后安全拆除吊架。

(3) 拆除炉顶出口管热偶管线(机械切割)及炉膛底部火墙，以满足炉管吊装、底部弯头焊接与检测需求。

### 3.4 旧炉管下线

(1) 炉管分组整体(7根为一组)下线，共需切割三道焊缝，用等离子切割机将文丘里管上部焊缝割开(2道)，第三道焊缝切割部位在急冷器下方焊缝部位，切割过程中整组炉管上方两侧各用5t倒链固定，防止炉管突然下坠。具体切割位置如下图。



在管线割除前，操作人员一定要有技术人员的技术交底，或者认清割除标记，确定好要割除的管线位置，才能切割，若不清楚具体位置，不允许切割。

(2) 使用吊带固定捆绑炉管，将与2t卷扬机连接的动滑轮勾在炉管最下方，两个电葫芦分别勾在炉管上方和中上方，北侧手拉葫芦挂在炉管顶部，南侧手拉葫芦挂在炉管中间，1t卷扬机钢丝绳绳端连接滑块(牵引哪个连哪个)。

(3) 卷扬机、滑轮组、手拉葫芦和电动葫芦相互配合，将炉管从垂直位置拉至水平位置，炉管在炉顶水平吊挂。

(4) 炉管在炉顶水平放置后，用倒链和滑块将炉管向北移动，移动至可以挂吊车钢丝绳的位置，先将吊车(50T)第一根钢丝绳挂在炉管中上部位，然后再用倒链和滑块将炉管向北移动，直至吊车第一根钢丝绳可以挂的位置，将炉管从炉顶吊出，整个过程北侧炉管(头部)位置略高，南侧炉管(尾部)较低。

(5) 吊装作业步骤：倒链固定→炉管管排上捆绑吊带→4个倒链同时起吊炉管离炉底约1m→依次提升倒链起吊至炉管管排垂直→松开炉管尾部吊带→炉管管排上部吊杆临时固定。

### 3.5 新炉管安装

#### (1) 新炉管吊装

每组旧炉管拆除下线后，随即开展新管排吊装作业。新炉管管排从辐射室炉膛顶部空间吊入炉膛，必要时拆除部分钢结构。吊装前全面检查新炉管外观质量，且需采用吊装带，严禁使用钢丝绳，以防损伤炉管。用专用夹具固定炉管管排，使其成刚性整体，吊带捆绑夹具进行吊装，起吊时沿管排长度方向每2米捆绑吊带，倒链固定于炉顶钢结构，依次提升吊带以保管排均匀受力，避免炉管变形。一组炉管重约4T，需吊至15米高炉顶，选用50T吊车。炉管上线过程与下线相反，先捆绑两侧吊带，吊车钢丝绳分别挂于北侧吊带及与挂在吊带的

2T倒链连接。提升时管排与水平面成约20°角，至15米炉顶位置后缓慢水平移动，挂倒链一侧先入炉顶平台，用最南侧倒链勾住，再由卷扬机、滑轮组、手拉葫芦与电动葫芦协同作业，将炉管从水平拉至垂直位置，最后在炉顶用两个倒链垂直吊挂。新炉管管排安装完毕，依图纸或设计要求开展预检验。

### (2) 组对焊接

在组对前，采用水溶纸将管口焊口两侧距离焊口10-15cm塞水溶纸，进行封堵形成气室。因焊缝金属在液态下流动性、浸润性较差，熔深较小，为了防止未焊透，应相应增大坡口角度和对口间隙，减小钝边尺寸，坡口角度为 $37.5^\circ \pm 2.5^\circ$ ，钝边1.6mm左右，对口间隙约2-4mm，型式V型，外观表面不得有裂纹、分层等缺陷，坡口两侧需打磨10mm~15mm至金属光泽且油、漆、污、锈、等清除干净，打磨清理的时候必须使用不锈钢砂轮片。组对时采用搭桥法在坡口中间点焊不少于3点，点焊应均匀分布，点焊固定完成后用水平尺测量炉管平直度，裂解炉炉管错口量应小于壁厚的10%，管线组对要确保无任何附加应力，防止应力导致变形严重，影响运行寿命。炉管组对定位后，对焊缝根部进行充氩保护，并在坡口处用纸胶带缠绕密封，防止管内氩气外流而降低对焊缝根部的保护，避免焊缝根部氧化。开始焊接时打开排气孔，开大氩气流量充气1~2min，然后从密封处撕开1段胶布开始焊接<sup>[1]</sup>。打底过程中将点焊部位打磨清理干净，焊缝焊完后，应对焊缝表面的咬边、收弧点进行修磨，修磨时应圆滑过渡，周围的飞溅物应清理干净，焊缝应保证焊透及融合良好，且无气孔、夹渣等缺陷。

### (3) 焊接注意事项

高温合金25Cr35Ni和35Cr45Ni钢都是面心立方晶格结构，焊缝金属易产生热裂纹。焊缝易产生弧坑裂纹、焊道裂纹及显微裂纹。热裂纹成因包括冶金杂质与应力双重作用，硫、磷等低熔点共晶物在晶界形成液态膜，受收缩应力引发开裂。因此，需采取以下措施控制焊接质量：

①焊接工艺优化：采用全氩弧焊及多层多道窄焊道

工艺，控制焊接速度6-9cm/min，层间温度100-150°C。采用小线能量输入，保持短电弧、不摆动或小摆动操作，降低热输入量。

②充氩保护：确保管内空气完全置换，焊接时降低氩气流量并保持稳定，避免背面成型凹陷。打磨后需延迟施焊，待管内氩气充分置换空气。

③焊接过程控制：打底层需完全焊透且熔合良好，焊缝平滑过渡母材以减少应力集中；收弧时缓慢息弧并多填丝，填满弧坑防止凹陷与裂纹；引弧采用高频引弧（禁止划擦引弧），避免母材表面电弧擦伤；层间接头与弧坑需用不锈钢专用磨片打磨。施工中采用了高频引弧和电流衰减功能的WSM-400型氩弧焊机。

## 3.6 无损检测

### (1) 外观检验

焊缝成型良好，焊缝与母材圆滑过渡，无裂纹、气孔、夹渣和飞溅，焊缝表面余高不大于1.6mm，焊缝宽度均匀，偏差 $\pm 2\text{mm}$ ，咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$ 。

### (2) 无损检测

炉管对接焊缝需进行液体渗透检测及射线检测，渗透检测和射线检测按NB/T 47013.5-2015执行，PT I级合格，RT II级合格（I级片率不低于95%。若探伤不合格，需要进行返修或者更换处理，并对返修的部位做好记录。

结束语：本次裂解炉检修共焊接80道焊口（预制焊口48道，现场焊口32道），探伤合格率100%，用时10天，特别是吊装方案的合理选择，在工期短、任务重的情况下，优质高效完成施工项目，对同类型裂解炉辐射段炉管整体更换方案提供参考。

## 参考文献

- [1]马广宇,莫晓军.USC-16W型裂解炉辐射段炉管改造安装工艺探讨[J].炼油与化工,2016(05):45-47
- [2]叶娟,连晓明,陈涛,陈中官.SL-I型乙烯裂解炉辐射段炉管的损伤规律[J].机械工程材料,2025,49(01):97-103.
- [3]朱孝忠,房韡,赵毅.基于深度VGG模型在乙烯裂解炉装置的预测应用[J].化工进展,1-14.