

HQCF-G_IV56 型裂解炉 IV 型炉管的技术分析

王国栋 闫雄雄

(中石油兰州石化榆林化工有限公司机动设备部 陕西 榆林 719000)

摘要: 本文通过对长庆乙烷制乙烯装置气体裂解炉炉管的构型、材料、布局、制造工艺及强化传热技术的应用等的分析,使得乙烷裂解制乙烯的合格率及炉管的清焦周期得到了最优化,突出了IV型炉管作为国内气体炉管的优越性,有望在乙烯生产工艺中得到进一步应用。

关键词: 裂解炉辐射段炉管; IV型炉管; 乙烷裂解制乙烯

0 引言

在化工行业,裂解炉占据着举足轻重的地位,尤其是乙烯生产中。只有通过裂解炉对原料进行裂解,后续的设备才能进行相应的工艺操作。想要提高裂解过程中的选择性,很大一方面是通过改进辐射段炉管的结构型式等来实现的。

近年来,我国乙烯行业的规模和产能在不断扩大,乙烯裂解炉的规模也逐步扩大,不同的裂解炉型,面对不同的工况,其运行状态也各有差别。但裂解炉炉管的完好、长周期运行,是所有乙烯装置安全运行的先决条件。目前,由于炉管在炉膛中长期在高温、腐蚀介质环境下工作,其工作条件十分恶劣,因此对于炉管的抗渗碳性、耐腐蚀性、抗高温蠕变断裂性、抗氧化性、抗热疲劳性、导热性以及焊接性能,都有严格的要求。任何一个性能劣化都会使炉管产生损伤,进一步会导致炉管的失效和裂解炉的突然停车,从而影响裂解炉的安全平稳运行。

80万吨/年长庆乙烷制乙烯项目中,共新建5台气体原料乙烯裂解炉(以下简称裂解炉),炉型为HQCF-GIV56型裂解炉,用于乙烷裂解制乙烯。

1 辐射段IV型炉管的构型、材质和制造安装

本项目裂解炉采用双辐射室门型结构,主要由辐射段、对流段、尾部烟道、引风机及烟囱组成。辐射段炉管排布置于炉膛中心位置,管排两侧炉底的位置各布置一排燃烧器。对流段位于双辐射室顶部。原料烃、稀释蒸汽等工艺介质经过对流段预热后,通过炉外横跨管(进料线)进入辐射段进行高温裂解。烟气由下而上通过对流段管束,并依次通过尾部烟道、引风机、烟囱排入大气。由此可见,炉管在裂解炉中就显得至关重要。为了提高裂解炉的操作性能,在设计裂解炉

辐射段炉管时应满足耐高温、短停留时间和低烃分压的要求,因此辐射段炉管的型式和材质非常关键。

1.1 辐射段IV型炉管的基本参数

通常,在乙烯裂解炉辐射段内,根据炉型不同均配置了不同结构型式的炉管。而炉型的选择是根据提供的裂解原料特性,先确定裂解工艺条件,再确定产品收率分布等得到的。进而选择对应合适的辐射段炉管构型、结构参数和组数,以及排布对流段炉管。

在80万吨/年长庆乙烷制乙烯项目中,裂解炉均选用HQCF-G_IV56型裂解炉,表1是该裂解炉辐射段的工艺参数及设计参数。

表1 裂解炉工艺参数及设计参数

裂解炉辐射段		
热负荷/MW	51.4628	
介质名称	乙烷+蒸汽	
操作温度(进/出)/℃	636/863	
物料压力(进/出)/MPa	0.439/0.187	
设计温度(进/出)/℃	1050/1125	
设计压力/MPa(g)	0.42/0.931	
炉管材料形式 设计寿命	离心铸造管 10万小时	
炉管规格 内径×厚度 (MSW)	入口管 出口管	ID.55×5.5 (M.S.W) ID.87×10 (M.S.W)
炉管材料	入口管 出口管	HP Micro 35Cr45Ni Micro

1.2 辐射段IV型炉管的构型

辐射段炉管是炉膛内完成裂解反应的核心部件。燃料燃烧产生1200℃左右的高温烟气,加热炉管管壁温度高达1000~1100℃,经管壁传热提供管内物料裂解反应所需热量,反应后的物料出口温度高达860℃左右。伴随着高温裂解反应的同时,会在管壁内表面高温区发生二次反应,导致管内壁结焦,影响管壁传热,堵塞炉管。

HQCF-G_IV56型裂解炉辐射段炉管采用中石油自有技术(EHTET®),辐射段炉管采用了停留时间适中的IV程炉管,图1所示是HQCF-G_IV56型裂解炉辐射段的2根IV型炉管示意图,每根IV型炉管上进上出共4程,每根炉管的入口端为双支结构,采用二合一的形式。2-1管段是底部炉管的铸造定位销,2-5管段上面通过弹簧吊架固定,2-8管段是入口管的文丘里管,保证进料的均匀分配,2-9管段是辐射段的出口,出口也采用二合一的形式,2根炉管二合一进入同一个集箱,辐射段出口连接管有热电偶套管。炉管相对较长,处理能力较大,使得清焦周期和热效率达到了最优化。据当下运行的独山子石化9号裂解炉采用中国石油自主研发的G_IV48型炉管,其也是双炉膛设计,主要裂解原料为丙烷、循环乙烷和循环丙烷,独山子石化4程炉管的清焦周期已经超过90天。基于长庆乙烷制乙烯,乙烷原料的优越性,HQCF-G_IV56型裂解炉IV型炉管的清焦周期也将有所保证。

HQCF-G_IV56型裂解炉辐射段IV型炉管与其他的IV型炉管(表2、表3)所独具的优势在于,该炉管采用了分支变径技术。考虑到第一程管径过小,会存在压力降增大、动力消耗增大、小管径的结焦敏感性大而缩短炉子的操作周期等影响,IV型炉管在第一程就使用直径相对较小的管径,增加比表面积,大大减小了在此段发生的二次反应,因此结焦也较小。而在主反应场所,即IV型炉管的第二程、第三程、第四程使用直径相对较大的管径,这样就大大降低了炉管的结焦对流体流速、停留时间的影响,避免了全部使用小管径,使结焦堵塞成为制约炉管长周期运行的瓶颈问题,同时在大管径处流体体积增加,也能充分提高反应物的转化率。

通常,为了保证乙烯裂解反应所需传热量的前提下,降低炉管内壁温度是抑制结焦速度的方法之一。

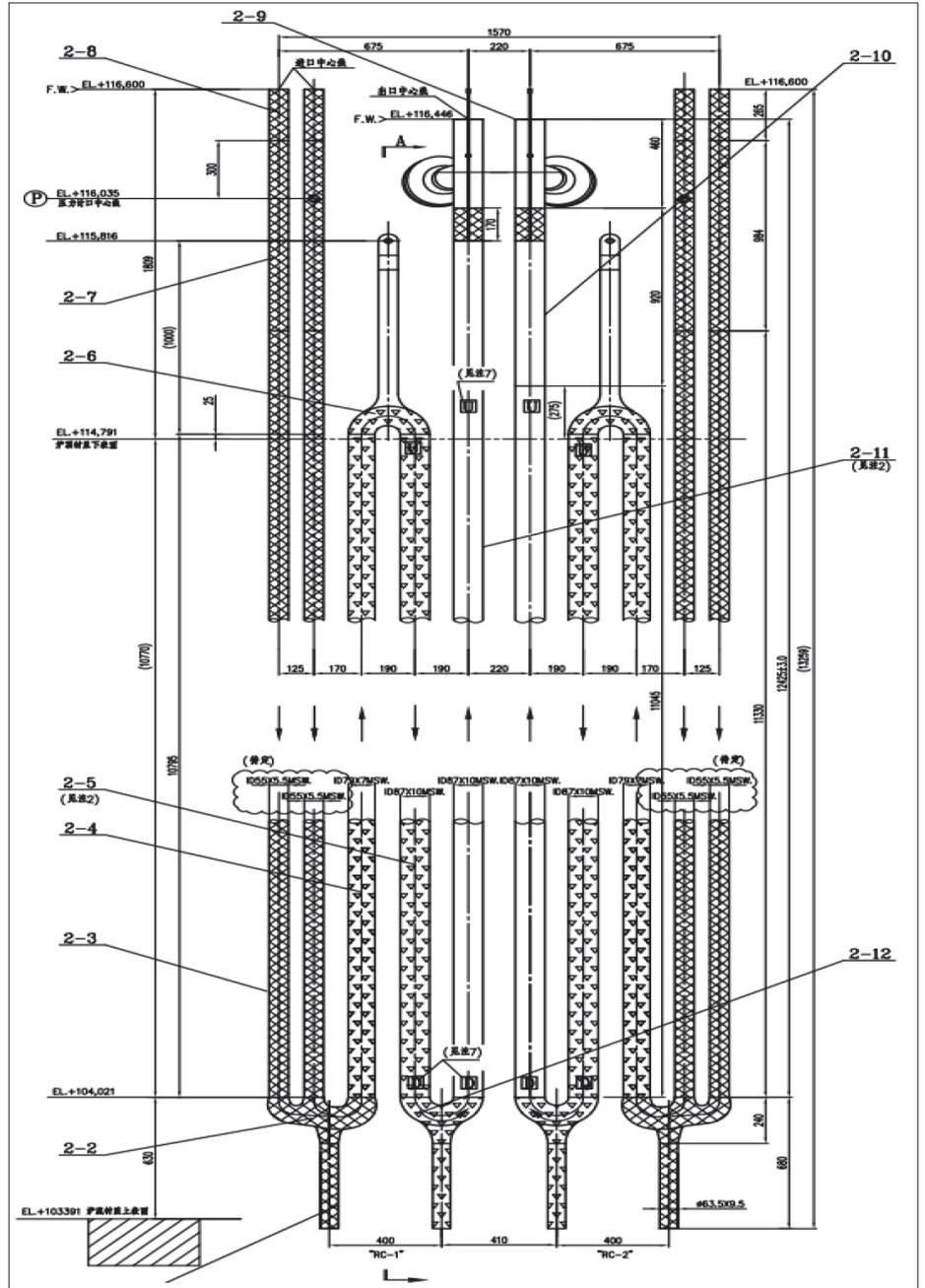


图1 辐射段炉管的构型

例如KBR公司采用内翅片管技术,中石化采用扭曲翅片技术强化传热。而本项目HQCF-G_IV56型裂解炉辐射段IV炉管采用中石油自有专利技术:带强化传热元件炉管技术(EHTET®),即图2中2-5、2-11管段将采用强化传热元件专利结构,具有强化传热元件的换热管,即强化传热元件为水滴状离散地布置在炉管的内壁(图3)上。利用强化传热元件对流体的扰动作用,使流体的雷诺数数值增大,湍流效果更明显,破坏流体在管内壁的滞留层。从而加大管壁对管内物料的传热,提供足够热量的同时,降低管壁内表面的温度,抑制结焦速度。此技术有安全可靠、适用性强、寿命长等

表2 不同炉型的IV型炉管的结构参数及工艺参数比较

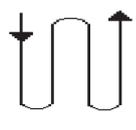
项目	炉型	
	HQCF-G_IV56 型裂解炉 IV 型炉管	某公司 USC 型裂解炉 IV 型炉管
炉管构型		
停留时间 /s	0.3 ~ 0.4	0.35
管径形式	分支变径管	不分支变径管
炉管排列	2-1-1-1	1-1-1-1
裂解原料	乙烷	液体、轻烃
烧嘴形式	底部烧嘴	底部、侧部烧嘴
程数	4	4
炉管最高允许温度 /°C	1125	1100
对炉管的评述	能力高、高选择性	高选择性

表3 两种炉管的内径对比 /mm

炉管构型	第一程	第二程	第三程	第四程
HQCF-G_IV56 IV 型炉管	55	79	87	87
USC IV 型炉管	63.5	69.9	76.2	82.9

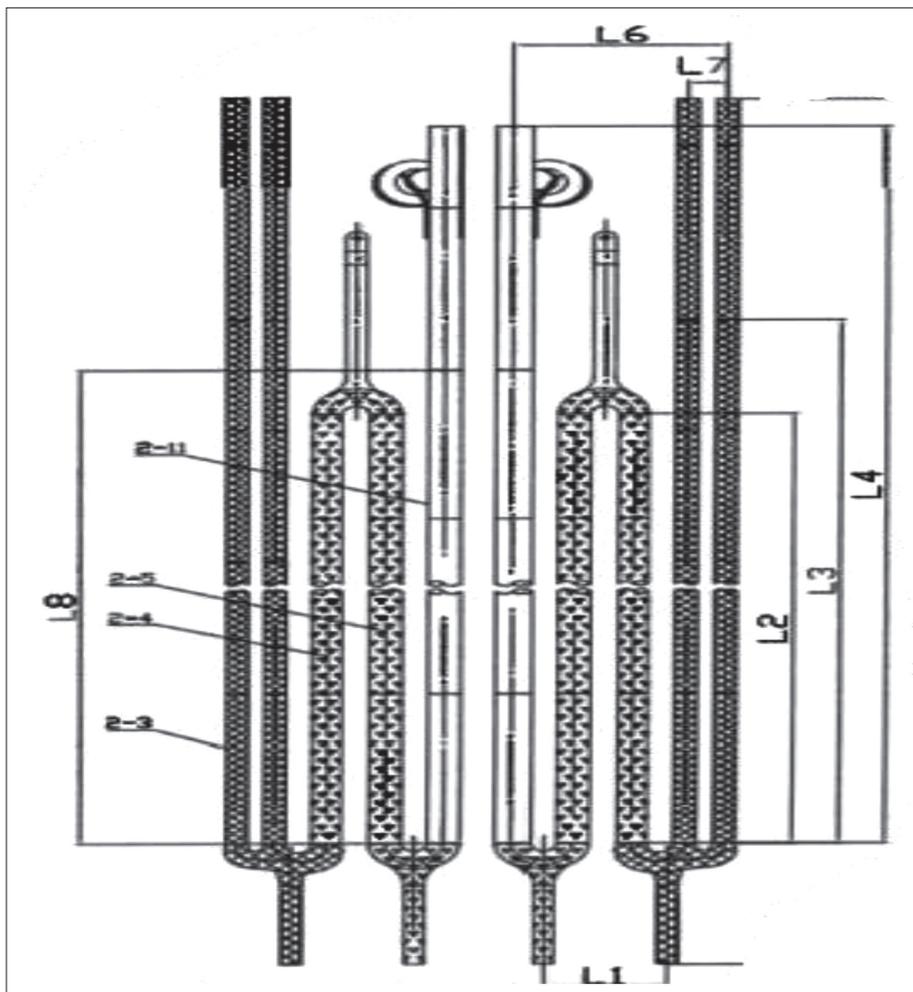


图2 炉管中的强化传热元件

特点。

1.3 辐射段IV型炉管的材质

近年来,各家装置都在已定的乙烯产能下,不断优化,提高产量。而减少裂解炉的烧焦次数、延长在线时间、保证一定的出口温度是提高产量的有效途径。这就要求在设计时,对辐射段管件材料的综合性能要严苛把关,根据裂解炉工作环境的特点,优质的炉管组件材料必须满足以下条件:

- (1) 具有较强的抗渗碳性能、抗氧化性能;
- (2) 具有较强的抗高温蠕变断裂性能(不产生大量蠕变损伤和变形,包括蠕变伸长及鼓胀);
- (3) 具有较强的抗热疲劳性能和良好的焊接性。

根据炉管温度不同,在第一程和第二程炉管选用HP Micro 离心铸造管,第三程和第四程选用35Cr45Ni Micro 离心铸造管,辐射段出口与急冷换热器之间的清焦三通及连接管均采用具有较好的抗高温蠕变性能及延展性更好的HP Low Carbon,其加工方法为静态铸造。这样,通过加入一定量的Cr来保证钢具有较高的高温强度和抗高温氧化性能,Ni的加入,能使管件获得稳定奥氏体组织,同时也能抑制 σ 相的形成,在此基础上,更多微量元素Si、Mn等的添加,也会提高管件的铸造性和抗渗碳能力。

1.4 辐射段IV型炉管的制造

离心铸造管段采用中频快速定量熔炼,这样更有利于微量合金的有效加入及控制。冶炼上应用了微合金均一化专用冶炼技术,采用特殊造渣工艺,使得中频冶炼的钢水纯度接近真空冶炼的水平。

所有检验项目按规范要求实施,对炉管进行外观检查、化学成分检测、力学性能检测、金相试验、无损检测、压力试验等。在炉管组焊前对各部件进行称重并记录;管束需要进行悬挂测试,保证炉管直线度,炉管的顶部、中部及底部炉管的中心距满足设计要求;最终产品采用刚性支架支撑运输,保证炉管在起吊、运输过程中不变形,各组合部件受力均匀。

1.5 辐射段IV型炉管的布置

由于裂解炉的形式不同,其炉管组件的管径、材质、壁厚各不相同,

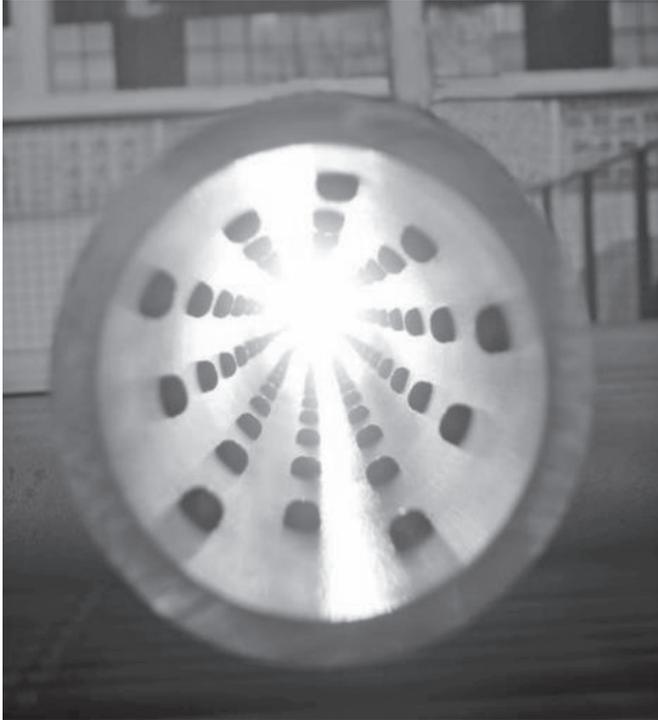


图3 水滴状强化传热元件的炉管

在日常操作状态下,不同管径分程内流体的流速、温度、反应状态等也不相同;加之燃烧器底烧、侧烧的布置策略不同,管程外受到的辐射热也不同,炉管发生应力形变是很难避免的。因此,为了减轻炉管发生的变形,炉管的布局就显得尤为重要。

本项目裂解炉为立管式、双面辐射箱式炉,采用双辐射室门型结构,辐射段为对称的双辐射炉膛结构,共56根IV型炉管。每个炉膛内悬挂单排28根炉管,辐射段炉管并排布置于炉膛中心位置。炉管在顶部和底部通过静态铸造合金弯头连接,在对流段预热过的增湿原料由4根横跨管分别引入4个辐射段入口集合管中,每个集合管连接14根。

炉管两侧炉底的位置各布置一排燃烧器。28组IV型辐射段炉管直线型布置在炉膛中间,炉管两侧均匀布置一排燃烧器,共56台燃烧器为全底烧结构,火焰垂直向上,炉管双面辐射,全部底部烧嘴,可保证各个烧嘴的流量分配均匀可靠,也便于日常集中对烧嘴风门开度调整、对燃烧火焰观察。炉管位于两侧炉墙中间,炉管进、出辐射室均穿过炉顶钢板,炉管悬挂在炉顶外

部的弹簧吊架上,随着负载的变化弹簧吊架有位移量,以保证炉管自由地伸缩,炉管下部置于炉膛导向槽中间位置,受热后可向下自由膨胀。

2 结语

辐射段炉管作为裂解反应的主要场所,是乙烯生产的核心零部件,其设计、选材等各个环节都对装置安全长周期运行起到了关键作用。该型炉管通过改进裂解炉管的结构、排布等参数,具体体现在采用分支、变径、组合程数等方法来改善辐射传热,同时炉管强化传热元件的应用将在很大程度上改善炉管的换热效率。HQCF-G_IV56型裂解炉采用了具有较好的抗高温蠕变、抗渗碳、抗氧化性能的HP Micro和35Cr45Ni Micro材料,有效地巩固了裂解炉管的在役安全状态。同时降低炉管因缺陷导致过早失效,从而造成非计划停工带来的损失。该型裂解炉作为国内单体最大气体裂解炉,其IV型气体炉管的优势也得到充分体现。裂解炉从开工运行至今近7个月,从目前的清焦周期来看,这5台炉的清焦周期平均在87天。炉管的清焦周期达到了设计要求,取得了较好的应用效果,且乙烯产品的合格率持续超99.99%,均达到了预期目标。裂解原料的轻质化、优质化成为乙烯行业的发展趋势,作为长庆乙烷制乙烯使用的HQCF-G_IV56型裂解炉,也将会得到越来越多的推广应用。

参考文献:

- [1] 何细藕. 乙烯裂解炉技术进展[J]. 现代化工, 2001, 21(09): 13-17.
- [2] 何细藕. 国外大型裂解炉的发展[J]. 乙烯工业, 1999(03): 1-8.
- [3] 王国清, 曾清泉. 乙烯裂解炉管强化传热[J]. 石油化工, 2001, 30(07): 528-530.
- [4] 江镇海. 扭曲片管强化传热技术在乙烯裂解炉上的应用[J]. 节能, 2010, 29(06): 76-77.
- [5] 王富岗, 李德俊, 谭家隆, 等. 乙烯裂解炉炉管材料的性能及其选用[J]. 石油化工设备, 1989(06): 37-40.
- [6] 唐广清. 裂解炉辐射段炉管的材质选择和安装探讨[J]. 乙烯工业, 19(04): 58-62.