

炼油化工设备维护检修案例丛书

催化裂化装置 设备维护检修案例

■ 胡安定 主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

炼油化工设备维护检修案例丛书

催化裂化装置设备 维护检修案例

胡安定 主编



中国石化出版社

内 容 提 要

本书从炼油化工企业催化裂化装置设备维护检修入手,精选了催化裂化装置多年来设备维护检修的有关案例,将其分类划分为反应再生设备、烟机机组、烟气管道、特殊阀门、余热锅炉、加热炉、腐蚀防护、机泵设备及电气仪表设备等九章。精选的案例紧密结合生产实际,具有很好的示范性和可操作性。

本书可供炼油化工企业的厂长、经理,从事生产、设备、技术、科研、安全、环保工作的管理人员和技术人员,以及催化裂化装置的生产操作和维护检修人员学习、交流和借鉴,从而对提高和加强催化裂化装置的设备管理和维护检修水平起到积极的促进作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

催化裂化装置设备维护检修案例 / 胡安定主编.
—北京:中国石化出版社,2015.1
ISBN 978-7-5114-3110-3

I. ①催… II. ①胡… III. ①石油炼制-催化裂化-
化工设备-检修 IV. ①TE966

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 283654 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 563 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:70.00 元

前言

催化裂化是石油炼制最重要的二次加工工艺。催化裂化装置设备维护检修的好坏，直接影响着催化裂化设备能否经常保持完好，装置能否安全、稳定、长周期运行。而催化裂化装置的运行好坏，直接决定着炼油企业最大的经济效益。

多年来，广大从事炼油生产操作、设备管理、维护检修人员、以及为炼油化工企业服务的有关科研、制造、维修单位的设备工作者，为搞好催化裂化的设备，做出了积极的努力，付出了辛勤的劳动。其中不少通过自身反复的实践，创造了不少的好作法，积累了不少的好经验。他们通过归纳总结，构成了十分可贵的具体的案例。

根据炼油化工企业广大设备工作者的要求，为了便于更好地交流、借鉴和相互学习，我们从中精选了70篇，汇集编制而成《催化裂化装置设备维护检修案例》专辑出版。精选的案例具有很好的示范性和可操作性，期望对炼油化工企业广大设备工作者，特别是从事催化裂化设备维护检修人员有所帮助，并能对提高和加强催化裂化装置的设备管理和维护检修水平起到积极的促进作用。

为便于读者查找，我们将其分类划分为九章，即：反应再生设备、烟机机组、烟气管道、特殊阀门、余热锅炉、加热炉、腐蚀与防护、机泵设备、电气仪表设备等维护检修案例。其中反应再生设备及烟气能量回收系统的烟机机组案例较多，这也是催化裂化装置大家最关心的重点。

由于编者水平有限，在编写过程中难免有不当之处，敬请读者给予批评指正。

编者

目 录

第一章 反应再生设备维护检修案例

1. 天津石化催化裂化反应再生系统设备检修关键问题分析	(1)
2. 大庆石化重油催化裂化再生器裂纹分布规律及形态分析	(8)
3. 催化裂化反应再生系统旋风分离器存在问题及其对策	(11)
4. 镇海炼化重油催化裂化三级旋风分离器故障分析及改造	(18)
5. 大庆石化重油催化裂化单旋壳体疲劳断裂失效分析	(26)
6. 镇海炼化重油催化裂化第一再生器旋风系统更换	(33)
7. 洛阳石化催化裂化再生器旋风分离器更新改造大件吊装稳定性分析	(40)
8. 上海高桥石化同轴式催化裂化再生器旋风分离器更新施工技术	(45)
9. 上海高桥石化催化裂化设备衬里损坏情况分析及其对策	(53)
10. 济南石化重油催化裂化再生器衬里热点分析及防控对策	(57)
11. 上海高桥石化 3 [#] 催化裂化外取热器连接管道衬里失效分析	(60)
12. 长岭炼化催化裂化两器衬里施工及运行中的问题及对策	(64)
13. 长岭炼化催化裂化反应再生系统设备衬里的维护检修	(70)
14. 中国石油催化裂化衬里专业化施工与专业化管理	(75)
15. 延长催化裂化设备衬里寿命研究	(80)
16. 催化裂化反应再生系统关键装备技术进展	(85)

第二章 烟机机组维护检修案例

17. 中国石化催化裂化烟机机组停机故障原因分析	(99)
18. 镇海炼化重油催化裂化烟机故障原因分析及对策措施	(103)
19. 中国石化催化裂化 GHH 轴流主风机叶片断裂原因调研分析及改进措施	(112)
20. 镇海炼化催化裂化烟机机组振动问题分析及对策措施	(121)
21. 大港石化催化裂化烟机振动的几种常见故障分析	(126)
22. 九江石化催化裂化烟机振动异常原因分析及处理措施	(130)
23. 乌鲁木齐石化重油催化裂化烟机振动原因分析及处理措施	(137)
24. 燕山石化催化裂化烟机振动原因分析及处理措施	(143)
25. 镇海炼化催化裂化烟机机组齿轮箱高速轴振动原因分析及对策措施	(151)
26. 上海高桥石化 3 [#] 催化裂化主风机齿轮箱振动波动原因分析与处理措施	(156)
27. 燕山石化催化裂化烟机长周期高负荷运行的途径和方法	(161)
28. 大连石化催化裂化烟机内催化剂结垢原因分析	(166)
29. 大连西太平洋石化重油催化裂化烟机结垢原因分析与对策	(174)
30. 武汉石化 2 [#] 催化裂化烟机结垢情况及应对措施	(181)
31. 长岭炼化催化裂化烟气粉尘监测在烟机故障诊断中的应用	(186)

32. 大连石化催化裂化烟机入口导流锥挡板破裂失效分析 (189)
33. 乌鲁木齐石化催化裂化烟机机组运行检修技术 (193)
34. 长岭炼化催化裂化双级烟机改造单级对比 (202)
35. 长岭炼化强化管理确保 2[#]催化裂化烟机长周期高负荷运行 (206)

第三章 烟气管道维护检修案例

36. 大庆石化重油催化裂化再生器至三旋烟气管道柔性分析 (212)
37. 大庆石化重油催化裂化再生器顶压力平衡膨胀节平面失稳分析 (215)
38. 大庆石化重油催化裂化烟机入口膨胀节变形分析及应力评定 (220)
39. 镇海炼化催化裂化烟气管道开裂鼓包原因分析及对策 (225)
40. 镇海炼化催化裂化联合装置烟道膨胀节泄漏原因及对策措施 (231)
41. 大庆石化重油催化裂化烟气管道膨胀节波纹管泄漏封堵技术 (237)
42. 大庆石化重油催化裂化烟机入口管道膨胀节检修施工技术 (240)

第四章 特殊阀门维护检修案例

43. 镇海炼化重油催化裂化高温蝶阀典型故障分析及处理措施 (243)
44. 锦西石化催化裂化特阀软填料动密封装填新技术 (248)
45. 催化裂化能量回收低压降水封阀的开发应用 (253)

第五章 余热锅炉维护检修案例

46. 沧州炼化重油催化裂化余热锅炉运行中存在问题及对策 (257)
47. 催化裂化余热锅炉烟气侧翅片管的化学清洗实例 (261)

第六章 加热炉维护检修实例

48. 天津石化抓好精细管理维护检修确保加热炉高效运行 (268)
49. 提高加热炉热效率的有效途径 (273)
50. 炼油化工企业管式加热炉燃烧器维护与检修 (278)
51. 加热炉对流段炉管外表面化学清洗技术 (281)

第七章 腐蚀与防护案例

52. 催化裂化装置的腐蚀风险分析 (286)
53. 催化裂化装置加工高酸油的腐蚀与监测 (291)
54. 重油催化裂化膨胀节的腐蚀成因分析与对策 (298)
55. 上海高桥石化重油催化裂化烟气管道膨胀节腐蚀原因及改进措施 (303)
56. 大庆石化重油催化裂化分馏塔顶后冷器腐蚀与防护 (307)
57. 青岛石化催化裂化乙醇胺再生塔底重沸器腐蚀失效原因分析 (312)
58. 催化裂化余热锅炉综合防腐节能改造技术实例 (318)
59. 大连石化催化裂化污水汽提装置的腐蚀泄漏原因分析 (323)

第八章 机泵设备维护检修案例

- 60. 天津石化催化裂化富气压缩机异常停机原因分析及处理措施 (328)
- 61. 格尔木炼油厂干气密封在催化裂化富气压缩机上的应用 (332)
- 62. 燕山石化催化裂化增压机组振动的故障诊断及解决措施 (335)
- 63. 镇海炼化催化裂化分馏塔顶循泵振动问题攻关实例 (341)
- 64. 乌鲁木齐石化 2 套催化裂化油浆泵的失效分析及修复对策 (347)
- 65. 济南石化催化裂化锅炉上水温度调节泵的改造 (349)

第九章 电气仪表设备维护检修案例

- 66. 镇海炼化催化裂化烟机发电的探索与实践 (352)
- 67. 烟气轮机组运行的电气技术分析 (357)
- 68. 长岭炼化 2[#]催化裂化主风机电机温度超高原因分析及对策 (359)
- 69. 福建炼化重油催化裂化烟机机组控制系统基本原理与维护 (362)
- 70. 吉林石化重油催化裂化气压机转数非接触测量和多地显示 (366)

第一章 反应再生设备维护检修案例

1. 天津石化催化裂化反应再生系统 设备检修关键问题分析

天津石化 2008 年 9 月 5 日~10 月 20 日催化装置进行了设备大检修工作,其反应再生系统是催化静设备的核心,结构复杂,检修涉及到衬里的检修更换、设备内构件的检修更换等几部分。由于反再系统操作温度高,为 500~720℃,操作介质为以 Al_2O_3 为构架的催化剂和高温油气,对设备的磨损非常严重。在检修过程中发现多个设备构件存在比较严重的磨损和破坏,现就各设备单元的主要问题进行讨论分析。

1 外取热器

外取热器检修过程的主要问题为衬里失效和外取热芯子老化。

1.1 外取热衬里维修

1) 外取热衬里的表现

在上周期生产期间,外取热出现了壁温局部超高的问题。开始壁温超高的部位在外取热器壁与催化剂返回管的连接处,温度表现为 270~300℃,当时采取了外取热外壁用厚 8mm 的 1Cr18Ni9 钢板补板加强。但随着装置的继续运行,外取热器壁超温范围在不断扩散,从器壁与催化剂返回管的连接处向上扩散到外取热催化剂入口,温度也逐渐升高,最高部位达到 420℃,在继续采用钢板补强措施外,在温度较高部位为防止器壁磨穿,在补板外采用了 10~15mm 单层耐磨衬里保护。检修时外取热打开后发现外取热衬里的耐磨层没有明显损坏的部位,只有少量的裂纹,但衬里挡板处裂痕较大。将耐磨衬里拆除后发现衬里隔热层有明显的催化剂磨损痕迹,已经形成从外取热底部到顶部的贯穿性磨损。拆除衬里隔热层后发现外取热内壁存在贯穿性磨痕(见图 1),磨损密集区有 5 处,磨损最严重处磨痕深 3~4mm,未见穿透性磨痕。

2) 外取热衬里失效原因分析

外取热器内工作介质主要为 700℃ 左右的高密度催化剂,介质冲刷非常严重。2005 年检修前运行期间也出现外取热壁温超高的问题,2005 年检修对外取热衬里进行了整体更换,仍然采用双层龟甲网耐磨隔热衬里结构,设备连接部位使用了端板过渡,为了防止端板的高温膨胀应力,端板采用膨胀缝结构。本周周期衬里失效的状况为,筒体耐磨衬里并未出现明显磨损,隔热衬里从外取热筒体衬里与催化剂返回管衬里搭接



图 1 内壁贯穿性磨痕

的端板处到筒体衬里与下流段衬里端板处形成了贯穿性磨损,衬里端板发生变形,端板与耐磨衬里的连接出现了较大间隙。由此得出结论,衬里失效的原因是催化剂从衬里端板的接缝处磨损,从磨损缺陷处进入隔热层,在隔热层中不断旋磨最终导致隔热层大面积缺陷,随着磨损加剧,催化剂进入隔热层的量逐渐增加,表现为筒体外壁超温面积不断增加,温度也越来越高,端板经长期高温磨损产生变形。

3) 外取热衬里修复方案的确定

通过对前两个生产周期运行中发现问题的分析,可见双层龟甲网结构的衬里形式很难解决耐磨衬里与带膨胀缝的端板搭接问题。建议改变外取热筒体的衬里结构,采用高密度的单层耐磨隔热衬里解决因双层耐磨隔热衬里与端板搭接缺陷导致的衬里失效问题。

1.2 外取热芯子维修

1) 外取热芯子缺陷的表现

抽出外取热芯子进行检查发现外取热芯子表面氧化层(见图2)较厚而且脱落严重、脱落不均匀;外取热芯子发生变形,7个单管之间距离不均匀;外取热芯子顶部的耐磨保护板开焊而且耐磨板表面堆焊的高耐磨合金有明显的磨损痕迹(见图3)。

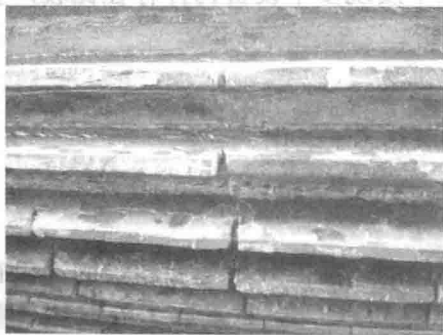


图2 表面氧化

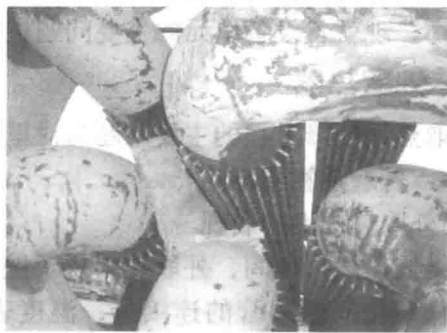


图3 耐磨保护板磨损

2) 外取热芯子缺陷的原因分析

外取热芯子缺陷产生的原因主要为外取热芯子老化及工作环境恶劣。1998~2008 年外取热芯子已经使用了 10 年,加之 MIP 改造后反应生焦量增加,导致外取热一直在满负荷甚至超负荷状况下工作,工作温度长期保持在 710℃ 的高温,外取热芯子表面的冲刷及氧化比较严重;外取热流化风环由于催化剂冲刷损坏,导致外取热内催化剂床层不稳定,催化剂流化经常偏流,温度分布变化剧烈,致使外取热 7 个单管的受热长期不均匀。

3) 外取热芯子维修的解决方案

对外取热芯子进行材质检验,检验项目中包括对外取热芯子顶部的耐磨保护板表面堆焊的高耐磨合金的成分分析,外取热外表面成分分析和外取热芯子水压试验。依据检测结论确定是否更换芯子。

2 沉降器

沉降器检修过程的主要问题为衬里损坏严重和单旋局部冲刷严重。

2.1 沉降器衬里维修

1) 沉降器衬里损坏状况

沉降器打开后发现与以前历次检修衬里损坏程度不同,本次大修衬里表面的结焦较少,

很多部位直接可以看到衬里。进行衬里表面清焦后沉降器筒体衬里基本都能显露,沉降器器壁的双层龟甲网耐磨隔热衬里鼓包(见图4)、开裂(见图5)比较严重。较大的鼓包面积在 0.5m^2 左右,鼓包高度在150mm左右,而且都严重开裂,衬里与器壁间都结有大量坚硬的焦碳(见图6)。严重的衬里鼓包处有4处,小些的衬里鼓包有8处。衬里开裂也比较严重,衬里错位开裂在3~5mm的有2处,长度达到1m,衬里较小的开裂有10余处。



图4 衬里鼓包



图5 衬里开裂



图6 衬里的焦炭

2) 沉降器衬里损坏的原因分析

造成沉降器衬里损坏严重的原因因为衬里老化及生产工艺改变后衬里承受的冲刷增加。沉降器衬里已经连续使用15年以上,以前由于衬里表面在生产期间结有较厚的致密焦碳层,衬里直接受冲刷腐蚀程度较轻,耐磨衬里损坏不严重,从未对衬里进行大面积更换;长期的高温环境使用导致耐磨衬里内龟甲网碳化十分严重,抗冲刷能力下降;2005年催化反再进行MIP改造后约95%的高密度待生催化剂从待生斜管直接进入沉降器汽提段,沉降器上部待生催化剂密度大幅降低,筒体衬里表面的结焦减少,缺少坚硬焦碳保护的衬里表面直接接受的催化剂冲刷相对以前要增加。

3) 沉降器衬里修复方案的确定

由于沉降器筒体衬里整体老化严重,耐磨衬里的抗冲刷能力明显下降,新的生产工艺导致催化剂对衬里冲刷加剧,需要将沉降器衬里进行整体更换。由于衬里缺陷情况远远超出预期,施工材料准备和施工工期对沉降器上部衬里整体更换都不满足,最终确定采取局部更换损坏衬里的施工方案。由于旧衬里使用周期较长,若仍采用双层龟甲网结构修复衬里,修补过程新旧衬里的搭接难度很大,如果施工上不能保障龟甲网搭接过渡的焊接质量,新旧衬里的整体性就得不到保障,下周期生产期间沉降器衬里出现问题的可能性将大幅增

加。采用中高密度的单层耐磨隔热衬里进行衬里修复能够较好的解决新旧衬里的搭接问题,在 2005 年 MIP 改造时沉降顶部环缝就采用了使用中高密度的单层耐磨隔热衬里进行修复的方案,此次大修检查发现 2005 年修复的这部分衬里未出现明显磨损尤其是新旧衬里的搭接部分保持较好的衬里完整性。使用中高密度的单层耐磨隔热衬里进行修复必须保障更换衬里的单块修复面积,最终根据衬里损坏状况及施工需要确定了沉降器筒体衬里分 7 块(约占筒体衬里面积的 40%)进行中高密度的单层耐磨隔热衬里修复,新旧衬里搭接部分通过增加保温钉密度解决衬里完整性问题。

2.2 沉降器单旋维修

1) 沉降器单旋冲刷的状况

沉降器内三个单旋面向沉降器中心的部位表面非常光亮(见图 7、图 8),尤其是从反应器来油气分配倒锥水平高度以下 2m 左右的高度。磨损属于均匀冲刷,没有沟痕。



图 7 均匀冲刷部位



图 8 均匀冲刷部位

2) 沉降器单旋冲刷的原因分析

2005 年大修反再 MIP 改造后沉降器内三个单旋由原来的封闭进料改为开放式近料,反应产生的油气携带约 5% 的待生催化剂从沉降器顶部进入,由倒锥分配后均匀分布沉降器内,由于高温油气经过倒锥分配以约 70° 的角度直接冲刷到三个单旋的面向沉降器中心的外壁,三个单旋处于沉降器稀相段,外壁没有采用耐磨衬里保护,油气中携带的约 5% 的待生催化剂直接冲刷磨损单旋外壁,由于催化剂密度小流速也较低,并未造成单旋外壁的严重磨损。

3) 沉降器单旋的维修方案的确定

虽然本周期催化剂的冲刷并未造成单旋的器壁磨穿,但长期冲刷会造成单旋器壁损坏。为了对单旋外壁进行有效保护,采用了对三个单旋的催化剂冲刷面采用贴板保护的措施,使用 10mm 的 15CrMo 钢板对冲刷面进行保护,补板与单旋接触面顶部焊接,焊道在冲刷面外,防止催化剂冲刷磨损焊道,补板与单旋接触面两侧只焊接上面 $1/3$,采用间断焊接,防止热膨胀应力影响单旋结构,影响焊道,补板高度为 2.2m。

3 MIP 反应器

MIP 反应器检修中的主要设备问题为专利人孔拆装困难、VQS 旋流头外壁与器壁间磨损严重、MIP 反应器内提升管拉筋与器壁连接部分磨损严重和提升管底部莲蓬头磨损严重。

3.1 MIP 反应器专利人孔维修

1) 专利人孔检修的问题

检修停工后沉降器及反应器 2005 年 MIP 改造增加的 7 个快开专利人孔都无法将人孔塞 (见图 9) 从人孔中取出, 最后经过与设计院、制造厂家联系确认后采用破坏的方式将 7 个专利人孔破坏打开。

2) 专利人孔无法开启的原因分析

快开专利人孔无法打开的直接原因是在人孔塞与人孔壁的间隙中结有焦炭, 根本原因是专利人孔的结构设计不合理, 人孔塞为圆柱结构, 人孔塞与人孔壁间隙很小, 而且整个间隙是均匀的, 一旦间隙中存在焦炭, 人孔塞无法抽出。

3) 专利人孔检修的解决方案

为了避免因结焦导致人孔塞无法取出, 将人孔塞的结构进行改动, 将原圆柱状的人孔塞改为锥形结构, 方便人孔塞的抽出, 同时在人孔塞与人孔的间隙中塞满陶纤毡, 避免油气进入人孔塞与人孔间隙结成致密的焦炭。

3.2 MIP 反应器 VQS 旋流头外壁与器壁间磨损维修

1) VQS 旋流头外壁与器壁间磨损状况

VQS 出口外壁与二反应器壁间只有 20mm 左右的间隙, 间隙内器壁衬里磨损失效露出器壁, 但器壁金属本体并未出现严重磨损, VQS 出口与器壁间隙内衬里有明显的冲刷磨损痕迹 (见图 10)。



图 9 专利人孔塞



图 10 衬里冲刷

2) VQS 旋流头外壁与器壁间磨损的原因分析

由于经过反应后的高温油气携带待生催化剂沿二反应器壁切线方向喷出 VQS 旋流头, 在反应器内壁形成螺旋路径将油气与催化剂分离, 而 VQS 与提升管器壁的间隙导致高密度的催化剂不断对间隙两面的耐磨衬里进行冲刷, 长期的冲刷最终导致 B01 级耐磨衬里局部失效。

3) VQS 旋流头外壁与器壁间磨损的检修方案的确定

由于 VQS 与器壁间只有 20mm 左右的间隙, 这么小的施工空间是无法修复间隙中磨损的耐磨衬里。必须将 VQS 旋流头从内提升管顶部切除, 提升一定的高度, 给修复器壁磨损衬里提供施工空间。根据反应器内整体施工空间及 VQS 旋流头起重吊起支撑点的选择, 决定在反应器顶部制作 3 个吊装吊耳, 利用 3 个吊耳将 VQS 旋流头吊起 500mm 并顺时针旋转 60°, 为器壁磨损衬里的修复提供空间, 器壁衬里修复后再将 VQS 旋流头恢复原位。由于原先提升管内壁选用的 B01 级耐磨衬里在高线速冲刷下的耐磨性能一般, 此次对高速冲刷部位耐磨衬里修复采用了高等级的 TA218 刚玉耐磨衬里料 (见图 11)。

3.3 MIP 反应器内提升管拉筋与器壁连接部分维修

1) MIP 反应器中内提升管拉筋与器壁连接部分磨损的状况

内提升管拉筋与器壁连接部分磨损缺肉减薄严重,原12mm厚的钢板磨损最薄处只有1mm,一共4个连接铰链,磨损都非常严重(见图12)。

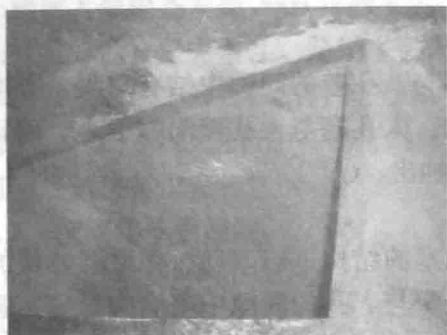


图11 衬里修复



图12 拉筋与器壁连接磨损

2) MIP 反应器中各拉筋与器壁连接部分磨损的原因分析

在原设计中铰链材质选用20#,耐高温磨损的能力差,而且铰链与器壁连接部分未采取耐磨保护措施。

3) MIP 反应器中各拉筋与器壁连接部分检修方案的确定

维修方案采用对铰链部分进行材质升级,选用15CrMo材质,增加高温耐磨性能,在铰链与器壁连接部分采取护板及耐磨衬里保护措施,减少高密度待生催化剂与铰链的直接接触,最大限度的减少催化剂的磨损。考虑到热胀力对铰链连接部分结构的影响,护板结构采用上下2个少半圆结构,直接与反应器内壁焊接,迎催化剂冲刷面用TA218刚玉耐磨衬里料进行耐磨保护。

3.4 MIP 反应器提升管底部莲蓬头维修

1) 提升管底部莲蓬头磨损状况

提升管底部的莲蓬头拆下后发现莲蓬头的流化蒸汽盘管耐磨衬里严重损坏(见图13),流化蒸汽盘管已多处泄漏,蒸汽喷嘴全部严重磨损,磨损面十分锋利;流化蒸汽盘管下的蒸汽管线已经断开;莲蓬头蒸汽连接法兰的螺栓全部断开,法兰面多处磨损沟痕;莲蓬头耐磨衬里局部冲刷。

2) 提升管底部莲蓬头磨损的原因分析

提升管底部莲蓬头的作用是用蒸汽或干气将700℃左右的再生催化剂均匀的提升带入提升管反应器参加与油气进行的催化裂化反应。莲蓬头流化蒸汽盘管下方为催化剂磨损蒸汽盘管供了空间,最终导致流化蒸汽盘管耐磨衬里失效,流化蒸汽盘管磨损泄漏,蒸汽管线磨损断裂,蒸汽喷嘴严重损坏;蒸汽管线断开及蒸汽喷嘴严重损坏后盘中喷出的介质直接吹向莲蓬头的内部连接法兰,使大量高密度催化剂对连接法兰进行磨损冲刷,导致莲蓬头蒸汽连接法兰的螺栓全部断开,法兰面多处磨损沟痕。

3) 提升管底部莲蓬头维修方案的确定

避免流化蒸汽盘管不被催化剂冲刷磨损必须改变结构(见图14)。将流化蒸汽盘管及蒸汽管线直接保护在耐磨衬里中,耐磨衬里的高度与蒸汽喷嘴上端高度平齐,将莲蓬头底部排凝管加高与莲蓬头耐磨衬里高度平齐,这样将流化蒸汽盘管下方的催化剂磨损空间去除,保护了流化蒸汽盘管,同时也确保了开工初期整齐凝结水的排放。



图 13 莲蓬头磨损



图 14 修复的莲蓬头

4 结论

2008 年检修 MIP 改造后反再系统内构件第一次进行检查维修。以上采用的解决方案是车间与炼油部设备部、设计院、施工部门共同讨论制定的。受检修时间限制很多内构件没有进行专项检验,内构件的寿命不能得到准确的评估。下次检修这类关键内构件的使用寿命必须得到准确的评价。

2009 年 3 月催化装置一次开车成功,反再系统未出现催化剂流化不正常或跑损催化剂的情况,设备内构件工作是正常的。外取热、沉降器、MIP 反应器的外壁温度都在 200°C 以下,无过热点,器内各处衬里的工作也是正常的。以上情况说明检修中采用内构件及衬里的维修方法是可行的,这些经验可以在以后检修中借鉴。

(中国石化天津分公司 张福胜)

2. 大庆石化重油催化裂化再生器 裂纹分布规律及形态分析

近十年来再生器应力腐蚀裂纹已成为困扰全国重油催化裂化装置安全生产的共性问题。纵观国内发生再生器应力腐蚀的十几套装置,从裂纹分布位置看可分为两类:一种分布在保温钉焊口处,如延安 0.3Mt/a 催化;另一种分布在壳体焊缝、熔合线或热影响区,如大庆炼油厂 1Mt/a 的催化装置。产生再生器应力腐蚀裂纹的应力为焊接残余应力。下面以大庆 1Mt/a 催化装置为例,从应力角度对裂纹分布规律及其形态进行分析。

1 裂纹分布规律

从 1997 年 1 月出现裂纹到 2000 年 5 月在烧焦罐及再生器上部相继发现裂纹 1200 余道,其中 1998 年 7 月后发现裂纹 754 处,其分布见表 1;再生器简图见图 1,裂纹典型照片见图 2。

表 1 再生系统裂纹统计

	再生器 上部	外集 气室	升气 管	烟道	三旋	外循 环管	外取热 下料管	膨胀节	小计
横裂纹	350	10	23	154	97	25	33		702
纵裂纹	8			5	4	1			18
热影响区	9			5	1				15
母 材		2		4		10		3	19
小 计	377	12	23	168	102	36	33	3	754
总 计	754								

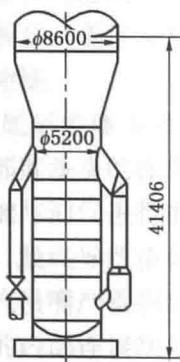


图 1 再生器简图

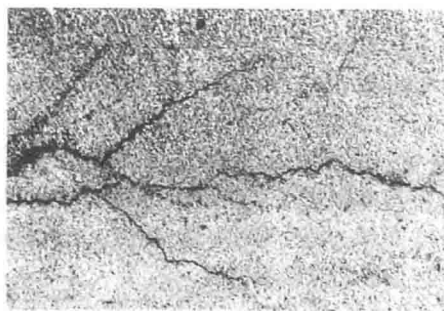


图 2 再生器裂纹的树枝状结构(40×)

表 1 显示裂纹数量多且有以下分布规律:

- (1) 纹较集中,主要分布在焊缝及其热影响区上,极少数出现在母材上。
- (2) 焊缝裂纹主要集中在环焊缝上;横向裂纹(即与焊缝成角 90°)数量多,长度短;纵向(平行于焊缝)裂纹较少,但长度较长。

2 焊接残余应力

在应力腐蚀中,裂纹的产生与焊接残余应力密切相关。残余应力是在无外力的作用时,以平衡状态存在于物体内部的应力。焊接残余应力是焊接部位局部急速加热时由温度梯度产生弹性应变表现出来的热应力(弹性应力),弹性应力在屈服强度变化时会因塑性应变出现应力松弛;冷却终了时经松弛后剩余的弹性应变产生的弹性应力就是焊接残余应力。发生应力腐蚀时的焊接残余应力一般为 $(70\% \sim 90\%) \sigma_s$ 。

3 焊接残余拉应力与纵裂纹的产生

3.1 裂纹型式

其对裂纹的影响可用图3简述,拉应力垂直作用于裂纹扩展面,裂纹沿作用力方向张开,沿裂纹面扩展,为张开型裂纹。

3.2 裂纹尖端应力分析

由于裂纹扩展是从尖端开始向前进行的,对张开型裂纹尖端附近的应力应变进行了分析,提出了应力、应变场的数学解析式,用图4简述。

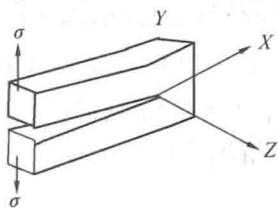


图3 张开型裂纹

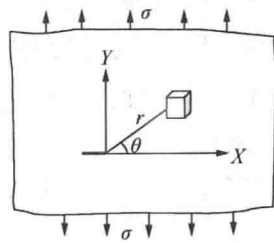


图4

1) 应力分量

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_y &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_z &= \nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{平面应变}) \\ \sigma_z &= 0 \quad (\text{平面应力}) \\ \tau_{xy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{aligned} \right\}$$

上式都是近似表达式,越接近裂纹尖端,其精度越高。由上式可知,在裂纹延长线上, $\theta=0$,则上式可变为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \\ \tau_{xy} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

可见,在X轴上裂纹尖端的切应力分量为零,拉应力分量最大,裂纹易延X轴扩展。式(1)中的“ K_I ”为应力场强度因子。由式(1)可得其一般表达式:

$$K_I = Y\sqrt{\sigma a}$$

式中, Y 为裂纹形状系数, a 为裂纹长度。

2) 环境介质的影响

考虑到环境介质的影响, 将 K_1 改为腐蚀应力场强度因子, 就适用于腐蚀环境下的应力分析。

3) 焊接残余拉应力 σ 对环焊缝上纵裂纹的影响

焊接残余拉应力 σ 是产生再生器露点应力腐蚀裂纹的主要应力, 裂纹主要分布在环焊缝上。一种为纵裂纹, 数量少, 长度长; 一种为横裂纹, 数量多, 长度短。以下分析应力对两种裂纹的影响。

4) 焊接残余拉应力 σ_1 对环焊缝上纵裂纹的影响

据应力腐蚀理论中的保护膜破坏(阳极溶解)理论, 拉应力 σ_1 的主要作用是使金属基体蚀坑或缺陷(裂纹源、裂纹核心)边缘产生应力集中, 而应力集中促进了蚀坑或裂纹的生成及扩展。环焊缝及其热影响区附近金属缺陷处所受拉应力大于基体所受拉应力, 故在此附近率先形成大量的蚀坑或裂纹源。对于再生器器壁可用有限宽板单边直裂纹如图 5 表示。

图 5 中 A、B 为裂纹的两个尖端, 均产生应力集中, 裂纹由内壁沿 X 轴(壁厚)方向扩展, 最终裂透; 裂纹沿 Y 轴扩展, 最终与相邻裂纹源断续连接, 这样两条 Y 方向扩展的裂纹形似一条, 最终造成了环焊缝纵裂纹数量少而长度长的特点。

4 焊接残余拉应力 σ_1 及工作应力 σ_2 对环焊缝上横裂纹的影响

环焊缝纵裂纹沿 Y 方向扩展, 经金相组织照片观察其扩展途径包括沿晶扩展, 即沿晶界扩展; 大量晶粒的晶界角并不与 Y 向平行, 这样在环焊缝纵裂纹沿 Y 方向扩展过程中, 在纵裂纹主体上形成许多沿 Z 向细小分枝。以下分析细小分枝边缘的应力状态如图 6 表示。

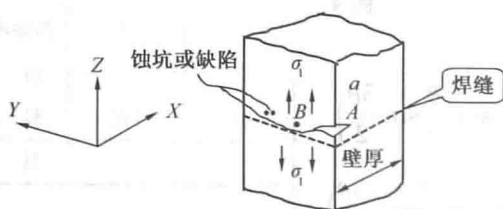


图 5

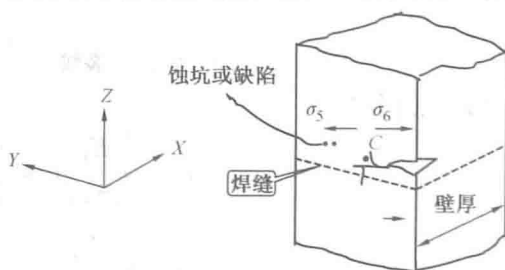


图 6

图 6 中 C 为纵裂纹 Y 向扩展过程中的横向细小分枝, C 点尖端金属受周向薄膜应力 σ_θ , 则

$$\sigma_\theta = P \cdot R / t \quad (2)$$

P 为工作压力(0.25MPa), R 为壳体半径(2.3~4.3m), t 为壳体壁厚(24~26mm), 代入数据求得 σ_θ 在 22~40MPa 之间。

σ_θ 即为 C 点尖端所受的 Y 向拉应力, 产生应力集中(在操作波动时尤其明显), 按应力腐蚀理论产生 Z 向裂纹扩展, 即形成横向裂纹。

上述横向裂纹是以环焊缝纵裂纹沿 Y 方向扩展为基础的。如果在环焊缝及其热影响区存在缺陷, 将在缺陷处形成应力集中, 直接形成裂纹, 这一过程不依赖环焊缝纵裂纹沿 Y 方向扩展。这两个过程同时存在, 但现场可能以第一种(环焊缝纵裂纹沿 Y 方向扩展为基础)为主。

(中国石油大庆石化分公司炼油厂 罗杰英, 傅向民, 王雷, 刘立林, 孟昭月)