

# 甲醇制烯烃反-再系统衬里损坏原因分析及解决办法

赵亚伟\*, 苟荣恒, 何源, 潘海涛

(国能新疆化工有限公司, 新疆乌鲁木齐 831400)

**摘要:**在甲醇制烯烃装置中,反应再生系统(反-再系统)是整个装置的核心单元。反-再系统设备结构趋于大型化、异型化、运行长周期化,由衬里冲刷、脱落、内构件磨损造成的非计划停工是制约甲醇制烯烃装置连续运行的瓶颈之一。结合某厂目前反-再系统衬里存在的损伤、失效的不同情况,从规范工艺操作、衬里型号选材、施衬方式、养护、测温等方面出发,提出针对性的解决方法,保证了衬里在使用中的质量;对衬里已发生的热点、泄漏点提出有效的紧急处置措施,避免衬里泄漏点扩大,危及人员生命安全,降低了装置紧急停产停工带来的不可控风险。

**关键词:**甲醇制烯烃;反-再系统;衬里;损坏;泄漏;施工方法;监测

**中图分类号:**TE966;TQ052.6

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2024)S1-0345-06

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S1.062

## Causes and solutions of lining damage in reaction-regeneration system of methanol-to-olefin plant

ZHAO Ya-wei\*, GOU Rong-heng, HE Yuan, PAN Hai-tao

(Xinjiang Chemical Company Limited, CHN Energy, Urumqi 831400, China)

**Abstract:**In the process of coal-based methanol to olefin plant, the reaction-regeneration system is the core unit of the whole plant. The equipment structure of reaction-regeneration system tends to be large-scale, special-shaped and long-cycle, and the unplanned shutdown caused by the scouring, falling off and internal component wear of lining is one of the bottlenecks restricting the continuous operation of the process. Based on the different forms of damage and failure of the lining of reaction-regeneration system in a certain plant, targeted solutions are proposed from standardizing process operation, lining specification selection, lining application mode, maintenance and temperature measurement, which ensures the quality of the lining in use. Some effective emergency disposal measures are put forward for hot spots and leakage points existed at the lining, so as to avoid the expansion of the leakage points to endanger the life safety of personnel and reduce the uncontrollable risks caused by the emergency shutdown of the unit.

**Key words:** methanol to olefins; reaction-regeneration system; lining; damage; leakage; construction method; monitor

甲醇制烯烃是在催化剂的作用下将原料甲醇转化为乙烯、丙烯等产品。某MTO装置反应器和再生器采用同轴式结构,反应器和再生器采用连续循环流化反应和再生技术。反应主要发生在反应器底部的湍动流化床密相区;再生器内通入空气烧去待生催化剂上的部分积炭,恢复催化剂的活性。某企业装置自2016年开车以来,反-再两器器壁衬里鼓包脱皮,待生-再生立管、重锤阀、翼阀、旋分入口、出口料腿、灰斗、格栅磨损破坏程度日趋严重,每次检修都要投入大量的人力、财力、时间去修补、更换损坏的衬里及内构件,但在生产运行期间仍会有局部设备外壁过热情况发生,严重制约着装置的高效连续运行。

结构示意图,主要包括反应器、再生器、待生立管、再生立管、外取热器等。反应器设置16组两级QY型旋风分离器,料腿采用重锤阀,旋分器料腿出口埋在反应器密相床层内。再生器稀相设置4组QY型旋风分离器,旋分料腿出口埋在密相床面内,料退采用翼阀。

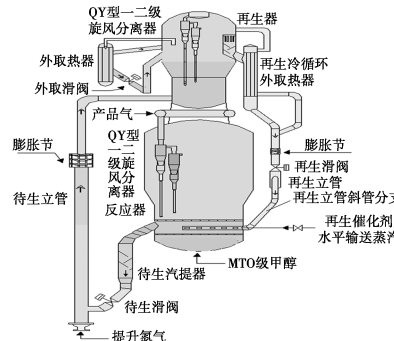


图1 反应器再生器系统结构图

## 1 MTO装置和反-再两器运行工况参数

### 1.1 0.60 Mt/a MTO装置

图1为某企业0.6 Mt/a MTO装置反-再系统结

### 1.2 反-再两器运行工况参数

反-再两器操作条件苛刻,正常运行时内部衬

收稿日期:2024-02-19;修回日期:2024-06-01

作者简介:赵亚伟(1989-),男,本科,工程师,主要从事甲醇制烯烃技术领域设备管理工作,通讯联系人,18599175591,1304174119@qq.com。

里要承受 470~670℃ 的高温,还要抵抗高速催化剂的磨损、冲刷,极易损坏。因此,反应器、再生器、立管和斜管及弯管均按冷壁原理设计<sup>[1]</sup>,使用的衬

里分为双层衬里和单层耐磨衬里,双层衬里包括隔热层和耐磨层,反-再系统高温设备衬里技术参数见表 1。

表 1 反-再系统各部件衬里技术参数

设备	设备金属壁厚/mm	设备金属材质	衬里规格	衬里型号	厚度/mm
反应器	36	Q245R	隔热耐磨单层衬里	QC3 级	125
再生器	24	Q245R	隔热耐磨单层衬里	QC4 级	150
外取热器	26	Q245R	隔热耐磨单层衬里	QC3 级	100
外取热器入口圆弧段	26	Q245R	耐磨衬里+隔热衬里	QC3+QB1 级	20+105
外取热器气体平衡管线	16	20 <sup>#</sup>	耐磨衬里+隔热衬里	B2 级+D1 级	25+75
外取热器 Y 型返回管线	12	Q245R	高耐磨衬里+隔热耐磨衬里	QA+QC4 级	20+80
待生立管	12	Q245R	隔热耐磨单层衬里	QC3 级	100
再生立管	12	Q245R	隔热耐磨单层衬里	QC2 级	100

反-再系统高温设备使用衬里厚度获取过程如式(1):

$$\delta = [(t_i - t_w)\lambda_2] / [(t_w - t_0)a_0] - (\lambda_2/\lambda_1)\delta_1 + \delta_1 \quad (1)$$

式中: $\delta$  为衬里总厚度, m;  $t_i$  为反应器(再生器)内介质温度, °C;  $t_w$  为反应器(再生器)器壁壁温, °C;  $t_0$  为该地区平均气温, °C;  $\lambda_1$  为高耐磨衬里导热系数, W/(m·K);  $\lambda_2$  为隔热衬里导热系数, W/(m·K);  $\delta_1$  为高耐磨衬里厚度, m;  $a_0$  为反应器(再生器)金属器壁与空气间的对流和辐射传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K)。双层衬里其目的一是隔热,减少热量损失及避免外壁温度过高,降低热膨胀及热应力,降低设备壳体材质使用等级;二是耐磨,保护隔热层或金属不受流化状态的催化剂颗粒的磨损,保护设备延长使用寿命。表 2 为反-再两器运行工况。

表 2 反-再两器运行操作工况

项目	数据
反应器压力/kPa	122
反应器温度/°C	480
反应器密相流化密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	107
反应器稀相流化密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	11
反应器一级旋分入口线速/(m·s <sup>-1</sup> )	20
反应器二级旋分入口线速/(m·s <sup>-1</sup> )	22.5
再生器压力/kPa	82
再生器温度/°C	670
再生器密相流化密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	164
再生器稀相流化密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	15
再生器一级旋分入口线速/(m·s <sup>-1</sup> )	14
再生器二级旋分入口线速/(m·s <sup>-1</sup> )	15

## 2 反-再系统设备衬里损坏原因分析

### 2.1 应力与裂隙

衬里和金属器壁在一起是一种复合结构,衬里形态受容器结构的限制。衬里、锚固件、金属器壁三者材质膨胀系数不同,高温状态下三者呈现出不同的热膨胀比发生不同的相对位移,位移受到彼此复合结构的相互约束。三者间相互限制产生相应的拉应力、压应力、内应力,不均匀的应力造成三者挤压或分离,出现鼓包、翘皮、脱皮、掉皮、裂纹、夹层现象,到一定程度衬里出现无次序隆起,与金属器壁脱开。由于流化床催化剂密度沿径向呈现“中心稀、边壁浓”<sup>[2]</sup>的特征,床层温度、压力梯度差分明,当衬里、锚固件之间出现裂隙时,裂隙方向为纵向或斜纵向时,裂隙与催化剂整体流化方向平行,裂隙被高速流催化剂反复冲刷,逐渐演变为空隙、沟槽,衬里会出现多处减薄,呈坑状、流道状磨损痕迹,随催化反应的持续最终形成贯通性回路直至设备磨穿失效。

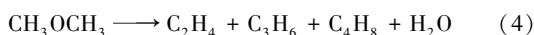
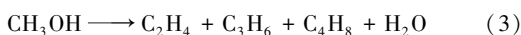
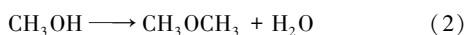
### 2.2 高温热点与焦炭侵入

热点即为设备外壁实测温度超出器壁材质能够承受的温度,主要存在于人孔和装卸孔与两器相贯线、各斜管下料口与两器相贯线、Y 型段与弯头弓背处、两器不连续变径处、外取热器脱气线<sup>[3-4]</sup>等部位。衬里存在裂纹、裂隙时,空速较大的高温催化剂细粉或烟气穿透衬里裂纹侵入金属器壁,在金属器壁与衬里之间形成涡流,导致器壁外部出现热点。同时催化反应中间产物不饱和碳氢化合物也会渗透进衬里以及衬里与金属之间的空隙中,缩合生成焦

炭并逐步累积膨胀,累积到足够力量时造成衬里逐层剥落,或使锚固钉与金属壳体间的焊接处胀裂、脱焊失效,造成衬里整体脱落。

### 2.3 负荷波动与衬里的冲蚀

甲醇制烯烃反应是一个去氧过程,生成轻烯烃产品的同时,会副产约 56% 的水,主反应方程式为:



反应器内除生成的 470℃ 高温蒸汽外,还会补入 200℃ 的 1.1 MPa 的低压蒸汽;①进料气化甲醇中补入低压蒸汽,保证旋风分离器二级的入口流速,降低烃分压调节反应平衡;②反应外取热器利用低压蒸汽的流化和提升保证持续取热;③再生催化剂在水平输送蒸汽作用下进入分布器连续反应。再生器内进行贫氧再生烧焦时也会外补 0.7 MPa 的常温氮气;①通入外补氮气维持旋风分离器效率;②利用氮气保证再生外取热器的流化和提升的换热效率;③待生立管利用提升氮气将待生催化剂送至再生器烧焦。反应生成的 470℃ 高温水蒸气与外补的低压蒸汽存在极大的温度差,外补的蒸汽在反应器内瞬间升温体积膨胀,常温氮气在再生器内被瞬时加热至 670℃,压力瞬间降至 82 kPa,根据理想气体状态方程  $PV=nRT$  得知,低压蒸汽/氮气急剧膨胀会在衬里表面形成扩张力、冲击波,反复的热膨胀及冷收缩使衬里形成疲劳裂纹,表面结构逐渐劣化,耐磨层形成麻面、点坑,粗糙度增加,耐磨衬里逐渐消耗减薄。加之甲醇负荷升降及两器转剂不畅时,两器催化剂内稳定层流状态被破坏,呈现出不稳定波浪状的摆动,耐磨衬里在急热、急冷的磨蚀下冲刷加剧。表 3 为反-再两器外补蒸汽与氮气参数。

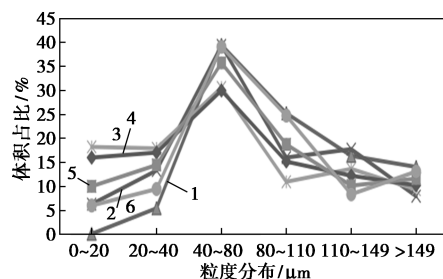
表 3 反-再两器外补蒸汽与氮气参数

项目	实际值	设计值
反应器外补蒸汽 A/(kg·h <sup>-1</sup> )	3600	0~60000
反应器外补蒸汽 B/(kg·h <sup>-1</sup> )	5507	3090~3633
反应器外补蒸汽 C/(kg·h <sup>-1</sup> )	2600	1000~3000
再生器外补氮气 A/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	850	—
再生器外补氮气 B/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	5630	1800~4500
再生器外补氮气 C/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	2700	2000~4000

### 2.4 更换不同型号催化剂对衬里的破坏

2022 年期间因采购另一厂家催化剂,需要在线对反-再两器内现有平衡催化剂逐步替换,两种催

化剂粒度、硬度、磨损指数、堆积密度区别较大,通过边加入新鲜催化剂边卸出两器内平衡剂来完成两种催化剂的更换,置换时间 1 年,置换初期硬度较高的平衡剂在系统中占比较高。催化剂置换完成率 40% 时,两器内催化剂粒度 0~20 μm、20~40 μm、>149 μm 占比持续升高,粒度分布呈现出突变性向两极化发展,此时对衬里的机械磨损、腐蚀磨损、高温磨损、疲劳磨损<sup>[5]</sup>成线性增加。置换率达到 40%~80% 时粒径在 40~80 μm、80~110 μm 的催化剂占比缓慢降低,中位粒径的催化剂颗粒处于跑损状态,对衬里的磨损速率减缓并达到波峰。置换率达到 80%~90% 时 40 μm 以下及 149 μm 以上催化剂颗粒占比线性降低,如图 2 所示,此时表明 2 种不同催化剂基本更换完成;衬里在稳定的、均匀的催化剂粒度分布下磨损率趋于平稳,如图 3 所示。



1—新鲜催化剂粒度;2—平衡催化剂粒度;3—置换完成 40% 催化剂粒度;4—置换完成 50% 催化剂粒度;5—置换完成 80% 催化剂粒度;6—置换完成 90% 催化剂粒度

图 2 2 种催化剂替换时粒度分布

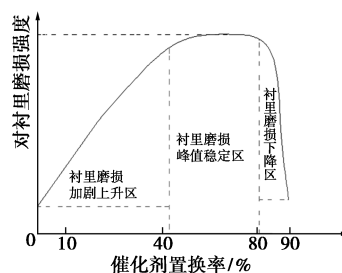


图 3 催化剂置换完成率对衬里的磨损趋势

### 2.5 衬里选型错误及施工质量差

由于再生催化剂为密相输送,待生催化剂为稀相输送,根据检修情况统计待生立管弯头、再生立管分支处衬里损坏更换频次最高,此两处衬里为 QC2 级单层隔热耐磨衬里,经研究分析衬里选型及强度不符合实际工况。对现场设备衬里存在鼓包、冲刷、脱落处进行破拆维修,发现衬里损坏原因基本有以下 4 种情况:①锚固钉与器壁未圆周焊接,垂直度不够,焊接强度不牢固;②龟甲网与器壁焊接时,焊缝

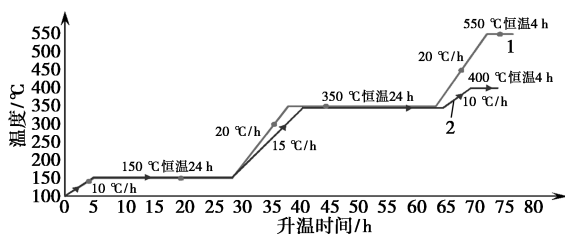
未布置在两龟甲网的拼接处和两条钢带交接处；  
③龟甲网端部未全部与器壁焊接，焊材选型错误；  
④施衬时浇注方式错误，衬里水分不符合标准、涂抹振捣不实，衬里薄厚不一，存在气孔、空洞、夹渣、架桥<sup>[6]</sup>、相贯线<sup>[7]</sup>处不光滑等情况。衬里任何部件出现缺陷在运行中会急剧恶化失效，这也是导致装置无法长周期运行的根本原因。

### 3 防止衬里损坏的方法与应对措施

#### 3.1 反-再系统烘衬及平稳操作

##### 3.1.1 反-再系统烘衬

反-再两器烘衬时，恒温至 150℃ 脱出衬里中的游离水，升温速率 5~10℃/h。恒温至 350℃ 脱出衬里中的结晶水，升温速率 10~20℃/h。恒温至 550℃ 对衬里进行烧结，升温速率 10~20℃/h。不同时间段的恒温让衬里在不同温度下发生化学反应，衬里胶结的更致密。反-再两器联合升温时要将整个系统贯穿在一起，根据设备不同的部位和结构，制定针对性的升温方案，对某段热源流动不畅或难以流动的空间，应延长烘衬时间和设置放空口等措施。避免出现烘衬盲区、死区，并严格按照升温曲线进行，绘制实时烘衬的升温曲线图，见图 4。



1—再生器升温曲线；2—反应器升温曲线

图 4 反-再两器联合升温曲线

##### 3.1.2 稳定系统操作及合理置换催化剂

生产中要平稳操作，调节参数要稳步缓慢，幅度要小，避免两器温度、压力突变引起热应力造成热震破坏。提降反-再两器生产负荷要按照操作规程逐步推进，禁止短时间内大幅度提降负荷。非计划性紧急开停工会产生较大的破坏力，会引起衬里结构强度<sup>[8]</sup>变差，应减少或避免非计划开停车频率。在线更换不同催化剂时，要先分批加新剂卸平衡剂，及时分析待生、再生催化剂定碳、旋分细粉粒度分布，根据实际工况及时优化主风量稳定流化烧焦与结焦，避免因置换不当导致反-再两器设备反复升降压、温度出现极冷极热等工况发生，并及时调整一二级旋风分离器线速，保证分离效率<sup>[14]</sup>，及时脱出

催化剂超细粉及含烟催化剂，保证中位粒径的催化剂颗粒保持较高占比。

#### 3.2 衬里更换修复材料的选择

##### 3.2.1 衬里料的选择

衬里料要具备良好的容重、抗压强度、抗折强度、线变化率等性能要求。高耐磨衬里料分为水硬性结合和化学结合两种。水硬性结合高耐磨衬里料由高强度铝酸盐水泥、电熔刚玉、超细粉及复合外加剂等组成，加水搅拌后成可塑性泥料。化学结合高耐磨衬里料由电熔刚玉、氧化铝粉、磷酸盐组成，混拌成面团状，两种结合方式凝结硬化后均成为具有高耐磨性的衬里。根据设备材质、操作工况、工艺参数、使用部位选择不同的高耐磨衬里料。

##### 3.2.2 锚固件的选择

锚固件是受力元件，其类型有柱形、Ω形、Y形、V形、S形、单层侧拉型圆环、双层侧拉型圆环。器壁为碳钢或铬钼钢时龟甲网、端板、柱型保温钉应采用 0Cr13 材质。器壁为不锈钢时应采用 0Cr18Ni9，不能用材质 18-8 和 1Cr13 代替 0Cr13，18-8 材质膨胀系数高，易产生鼓包现象。1Cr13 材质含碳量高，可焊性差，焊口易开裂。锚固件材质为 0Cr13 时，应退火处理，硬度值 ≤ 180 HB。锚固件使用要求见表 4。

表 4 不同锚固件使用要求

锚固钉类型	衬里总厚度/mm	间距/mm	用量/(个·m <sup>2</sup> )	使用部位
柱形	任意	200~250	16~25	筒体、封头、过渡段、大直径开孔接管
Ω	任意	150~200	25~45	筒体、顶封头、过渡段、开口接管
Y形	≤25	40	625	异形结构部位
V形	≤25	40	420	异形结构部位
S形	≤25	45	300	异形结构部位
单层侧拉型圆环	≤25	90	143	任意
双层侧拉型圆环	≥100	120	80	任意

反-再两器过渡段、异型部位、提升管“Y”型部位等衬里容易损坏的特殊部位，锚固件应适当加密。再则由于锚固钉不连续特性，在催化反应有鼓泡床、湍流床、流化床的设备内衬里应选择 DL 侧拉型圆环结构，侧拉圆环因独特的单体独立结构，避免了热变型叠加<sup>[9]</sup>，其环部的里大外小结构，避免了耐磨

衬里的脱落。

### 3.2.3 钢纤维的选择

衬里中加入不锈钢钢纤维,衬里的韧性增加,抗裂性提高,钢纤维能吸收能量,使得衬里整体峰值应力降低。钢纤维的防拉脱力能阻隔裂纹的产生和扩大,抑制宏观裂纹产生。钢纤维有平直形钢纤维、弓形钢纤维、波形钢纤维、弯钩形钢纤维等。弓型钢丝纤维抗裂性是直线钢丝纤维的4倍,韧性是直线钢丝纤维的2倍。介质温度小于或等于800℃时钢纤维材质应采用Cr18-Ni8型,大于800℃时应采用Cr25-Ni20型,每立方米衬里混凝土钢纤维的掺入量为40~50 kg,钢纤维不得沾有油污。

## 3.3 衬里更换修复施工质量控制

### 3.3.1 金属表面处理

施衬前要对反-再两器设备内部钢板表面所有焊渣、浮锈<sup>[10]</sup>、疏松氧化物及油污进行清除。可采用喷砂(丸)除锈,局部可采用动力工具除锈,除锈达到标准Sa3级或St3级。除锈后将作业面清理干净,禁止用水冲洗,对成品做好防雨防潮保护,并尽快施衬。

### 3.3.2 选择合适的衬里施工方法

衬里混凝土搅拌应使用强制式搅拌机,盛装衬里混凝土的器具保持清洁,搅拌前衬里料混合均匀,掺入的钢纤维分布均匀,不得有成团<sup>[11]</sup>现象。衬里的施工方法有3种:①手工捣制法、机械喷涂法、支模振捣法。手工捣制法应一次填满并捣实,且应使其表面与龟甲网或侧拉型圆环平齐,但因操作人员技能水平不同,施工质量不易保证;②机械喷涂法多采用半湿法工艺,预润湿的衬里料必须在30 min内用完,施工速度快,但喷涂中易产生回弹料污染附件设备器壁,回弹料不得回收使用,喷涂损耗大;③支模振捣法可用异形模板或斜模对特殊部位施衬,能使加水量减少2%,振捣棒移动间距小振捣密集强度高,但振捣时易碰撞模板和锚固件,造成定位件脱落或爆模,再则过度振捣也易使混凝土发生离析。因此,根据衬里更换、修复的不同形状、大小、位置、使用工况选择合适的施衬方法。

### 3.3.3 衬里保养方法

环境温度在5~35℃时,施衬完要防止暴晒和雨淋。施衬环境温度高于35℃时,保持良好通风并采取降温措施。手工捣制法和机械喷涂法施衬完工,在手不沾浆时开始雾湿养护,养护时间≥48 h。支模振捣法施衬浇注完2~4 h后淋水降温,拆模后雾湿养护≥48 h。

环境温度低于0℃时,衬里中游离水开始结冰,当游离水全部冻结成固态冰晶体时,体积增大9%,衬里的水化和硬化反应停止,衬料内形成冰聚体引起局部结构破坏,强度损失20%~40%,耐久性和强度降低,可在施衬前添加防冻剂和结合剂,降低水的冰点加快混凝土硬化,并安装热风幕加热养护升温,但必须避免衬里反复冻融。

### 3.3.4 衬里更换修复完成后的成品保护

施衬完成后的设备和管道在烘衬前尽量避免在器壁进行焊接作业,分段施衬的管道和设备养护完毕后,采取防止衬里开裂的措施后才能进行运输、吊装、组焊。未能按时进行烘衬的,跨越冬季应采取冬期保护措施。

## 3.4 优化反-再系统外补蒸汽/氮气操作

对于外补蒸汽要保证其品质,避免蒸汽带液进入反应器,外补氮气可以适当加热后再利用,对于2种外补介质要核算好其使用量,在保证两器正常流化的情况下减少外补量。对于部分衬里有蒸汽/氮气持续冲刷的部位,可以在其直吹衬里表面增加刚玉衬里,提高局部耐磨<sup>[12]</sup>强度。

## 3.5 反-再系统高温设备衬里热检

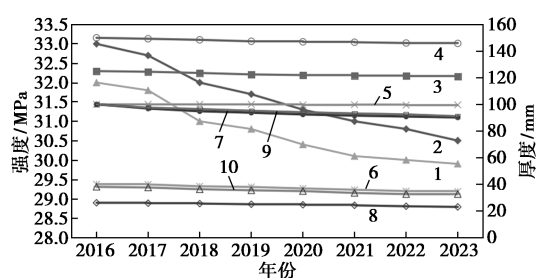
反-再两器设备外表面整体涂刷高温变色有机漆,油漆中含有一种热敏颜料的物质,温度升高时,热敏颜料会发生化学变化,温度越高的部位颜色对比越突出。夜间采用闭灯目测法进行检查,高温热点会导致器壁有发红、发亮的现象,热检可以第一时间更直观、更准确地发现衬里失效<sup>[13]</sup>的部位。

## 3.6 反-再系统高温设备测温

制定严格的高温设备测温检查制度,利用测温枪与手持式红外线热像仪相结合的方式对反再系统设备器壁定期测温并记录,绘制温升曲线趋势图,根据温升曲线图及结合相关密度、压差、热电偶等仪表参数,判断衬里损坏磨损的严重程度,对于异常的热点及时分析原因并采取必要的补救措施,同时通过温升曲线趋势图为下一周期设备检修提供必要的参考依据。

## 3.7 反-再系统衬里强度监测

利用回弹法与超声波测量法定期监测记录隔热耐磨衬里强度和厚度,确定强度和厚度损耗速率,图5为反-再系统衬里强度和厚度监测趋势图,通过监测数据反映出反-再系统衬里强度和厚度呈线性相关下降趋势,为衬里预防性修复、备件整体更换提供了参考依据。



1—反应器衬里回弹强度;2—再生器衬里回弹强度;  
3—外取热器衬里回弹强度;4—再生立管衬里回弹强度;  
5—待生立管衬里回弹强度;6—反应器衬里厚度;  
7—再生器衬里厚度;8—外取热器衬里厚度;  
9—再生立管衬里厚度;10—待生立管衬里厚度

图 5 反-再系统衬里强度和厚度监测趋势图

#### 4 反-再系统衬里泄漏后处理措施

反-再系统设备器壁材质均为普通碳钢,其外壁最高耐温极限 $\geq 450^{\circ}\text{C}$ ,出现温度较高的热点时,必须采取相对应的措施。

(1)设备壁温 $< 300^{\circ}\text{C}$ ,可采取热点外壁强制给风冷却措施。

(2)设备壁温 $< 400^{\circ}\text{C}$ ,可采取热点外壁强制喷蒸汽冷却措施。

(3)设备外壁有贯穿孔、不规则的裂缝导致介质泄漏,或壁温 $> 450^{\circ}\text{C}$ 时,贴不锈钢板或包盒子处理。根据衬里损坏程度及运行周期盒子内又可填充耐磨衬里,避免冲刷泄漏加剧,待检修期间更换备件或修复衬里,实现预见性维护、维修。预防及处理衬里泄漏的费用和维持的时效见表 5。

表 5 不同的应对措施费用及维持的时效

项目	费用/万元	可使用年限
涂刷高温变色漆	300	5 年
风冷降温	据实	短期
蒸汽降温	据实	短期
贴不锈钢板	5	1~2 年
包盒子	10	2~4 年

#### 5 结论

(1)衬里反复磨损泄漏修复的部位,应对其内部流化状态和缺陷原因进行分析,选择新型锚固钉,校核衬里强度选型,优化结构设计,增加防磨损

结构。

(2)强化衬里施工中施工方法、施工工艺的质量管控,前期衬里施工质量的高低直接决定了设备能否长寿命运行。

(3)目前对于催化裂化装置衬里磨损和应对措施的研究已比较成熟,对于 MTO 工艺装置衬里的磨损研究成果相对较少,二者在催化剂选型、流化态变化、操控精细度等方面存在一定区别。MTO 工艺装置反应生成的 C5+ 以上的副产物、不同占比粒径的催化剂、外补蒸汽/氮气的基数对衬里的磨损研究还处于基础阶段。

(4)随着科学技术的快速发展,衬里浇注料的技术发展较快,各项指标性能有极大提高,隔热、耐磨混凝土体积密度减小,耐压强度提高,衬里材料向轻质高强度低收缩方向发展,相信不久的将来会大面积应用在甲醇制烯烃工艺装置中。

#### 参考文献

- [1] 马伯文.催化裂化装置技术问答(第二版)[M].北京:中国石化出版社,2007.
- [2] 高婷.甲醇制烯烃装置衬里磨损分析及优化措施[J].石油化工设备技术,2023,44(6):37-40,6.
- [3] 彭威,王进,齐宏伟,等.催化裂化装置再生立管输送催化剂不畅的原因分析[J].石油炼制与化工,2018,49(5):22-26.
- [4] 韩二纯.催化裂化装置再生器衬里热点分析及防控对策[J].石化技术,2018,25(10):126,130.
- [5] 何超辉,王亮.催化装置反再系统衬里常见问题及控制措施[J].全面腐蚀控制,2019,33(8):25-29.
- [6] 付春辉.催化裂化装置衬里损坏情况分析及其措施[J].石油化工设备技术,2010,31(5):26-28,30.
- [7] 王冬冬,高婷,苟荣恒,等.甲醇制烯烃装置外取热器磨损分析与优化设计[J].天然气化工(C1 化学与化工),2020,45(6):58-62.
- [8] 胡涛.催化裂化装置反应再生系统衬里冲刷风险分析[J].石油化工腐蚀与防护,2018,35(1):32-34.
- [9] 李铁斌.催化装置反再系统隔热耐磨衬里损坏原因及解决办法[J].中国设备工程,2018,(19):62-63.
- [10] 奚伟光.催化裂化装置两器衬里施工的技术改进措施[J].化工管理,2019,(22):189-190.
- [11] 华泽醇.催化裂化反应器和再生器隔热-耐磨衬里的研制及应用[J].石油炼制与化工,1990,(1):43-46.
- [12] 高岱巍,高金森,徐春明,等.重油催化裂化沉降器结焦的研究进展[J].现代化工,2003,23(7):23-26,29.
- [13] 王翔.甲醇制烯烃装置再生器热点成因及其对设备安全影响的探究[J].天津化工,2023,37(1):112-116.■