

减缓闪蒸塔改质沥青积渣的研究与应用

黄海炎

广西 防城港 538000

DOI:10.61369/ME.2025080015

摘 要： 通过闪蒸塔器塔底形成积渣机理分析研究，提出减缓改质沥青积渣技术方案，通过提高液体沥青闪蒸塔内流速与布置返冲洗装置，减缓沥青渣在闪蒸塔塔底形成速度，并在积渣形成初期进行在线“干扰”清理，进而延长生产周期。

关 键 词： 改质沥青；沥青闪蒸塔；减缓积渣；返冲洗装置；生产周期

Research and Application on Slowing Down the Deposition of Slag From Modified Pitch in Flash Column

Huang Haiyan

Fangchenggang, Guangxi 538000

Abstract： Through the analysis and research on the mechanism of slag formation at the bottom of the flash column, a technical solution for slowing down the slag accumulation of modified pitch is proposed. By increasing the flow rate inside the liquid pitch flash column and arranging backwashing devices, the growth rate of pitch slag at the bottom of the flash column is slowed down. Moreover, online "interference" cleaning is carried out at the initial stage of slag formation, and then to extend production cycle.

Keywords： modified pitch; pitch flash column; slowing down sludge deposition; backflush device; production cycle

引言

广西恒港化工有限公司（简称恒港化工）30万吨/年煤焦油深加工项目（二期）于2023年6月正式投产。其改质沥青工序采用单炉双塔热缩聚及闪蒸工艺，相较于传统的常减压热聚合法，该工艺在煤沥青改质过程中，通过高温高压条件诱导焦油中不稳定组分的聚合反应，不仅显著提高了热缩聚程度，还有效抑制了热分解反应，从而大幅改善了煤沥青 β 树脂含量等关键质量指标^[1]。由于沥青由低分子量组分逐步聚合成高分子量物质，且热裂解产物较少，改质沥青的软化点通常较低。在获得相同质量的改质沥青时，加压操作可显著缩短热聚合时间或降低热聚合温度，同时提高焦油的收率。然而，由于改质沥青工序采用先加压热缩聚后闪蒸分离轻组分（闪蒸油）的工艺流程，改质沥青在进入闪蒸塔前已基本完成改质，导致其热流变特性较常规常减压热聚合工艺的中间产品稍逊。生产运行40~50天后，闪蒸塔逐渐出现积渣堵塞现象，进而影响焦油加工量，甚至导致生产被迫中断。

一、恒港化工闪蒸塔生产工况描述

闪蒸原理是指高压饱和液体进入低压容器后，因压力骤降，部分液体转化为容器压力下的饱和蒸汽和饱和液体的现象。该过程利用物质沸点随压力变化而升降的特性，通过调控压力实现流体的热能转换与气液两相分离^[2]。广西恒港化工有限公司煤焦油深加工（二期）改质沥青工序采用加压热缩聚工艺。中温沥青首先在滞留塔内特定条件下进行热缩聚与裂解反应，塔顶逸出反应活性较低的二萜油馏分及部分裂解气。通过调节油气采出量，滞留塔顶压力稳定维持在0.40 MPa~0.60 MPa。经加压热缩聚改质的煤沥青从滞留塔底通过沥青闪蒸泵变频调节，连续输送至沥青闪蒸塔的油气进料口。在闪蒸塔内，由于压力突然解除，沥青中的轻组分迅速汽化，引发流体沸腾并实现气液两相分离，生

成气相闪蒸油和液相改质沥青产物。释放轻组分后，液相煤沥青的软化点进一步提升至工艺要求值。液相改质沥青聚集于闪蒸塔底，通过塔底液位联锁调节改质沥青的采出量。塔底液相经改质沥青泵加压输送，与蒸馏系统循环无水焦油在沥青换热器中进行换热，并通过导热油进一步冷却降温后，切入改质沥青产品槽。

二、闪蒸塔塔底积渣组分分析

在停工检修期间，严格遵循受限空间作业安全规范要求，对闪蒸塔塔壁积渣进行定点取样。采样点包括槽底球罐封头内侧（A1、A2）、闪蒸塔塔底液相出口同标高处（A3、A4、A5、A6），直接采集塔壁粘连的积渣样品。同时，同期采集液体改质沥青产品储罐（V2705 C/D）样品（B1、B2）。通过化验分析闪

蒸塔塔内积渣与液体改质沥青产品的软化点、结焦值、甲苯不溶物（TI）、喹啉不溶物（QI）及灰分等质量指标，对比其组分及性质差异。积渣取样仅限于直接粘连于闪蒸塔罐体的部分，以区分塔内积渣与降温后自然凝固的固体沥青产品。每批次取样2000 g，并缩分至300 g，通过多点、多层次取样确保样品代表性。液体改质沥青产品因质量分布均匀，可直接取样300 g并自然凝固，无需缩分处理。所有样品在同一化验室使用相同仪器进行检测分析，并依规进行平行试样对比以消除偶然误差。

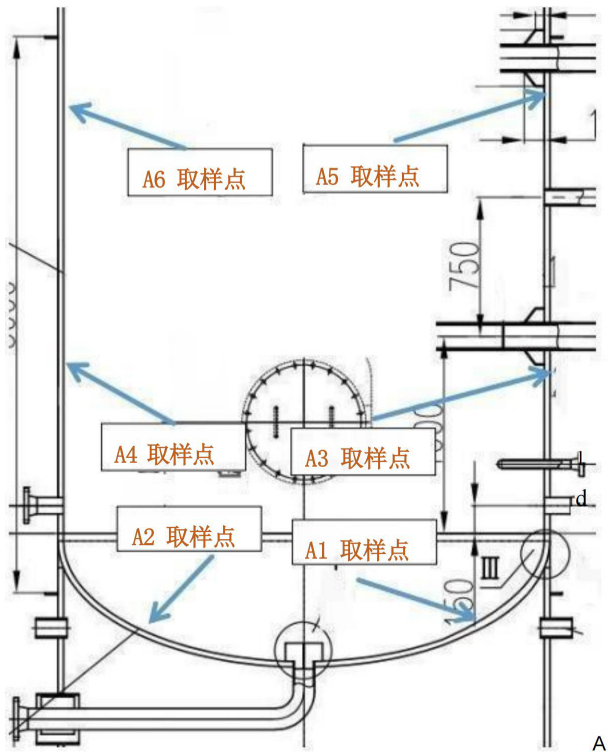


图1 闪蒸塔积渣取样分布图

通过对闪蒸塔塔底不同标高积渣的取样对比试验，分析积渣的组分及特性分布，并通过同标高不同部位积渣的对比试验，验证积渣组分的可预测性，旨在探究积渣形成机理，进而制定减缓积渣形成及初期积渣在线处理的有效措施。塔内积渣及液体改质沥青产品的质量检测分析结果如下表所示：

表1 沥青渣及沥青指标对比分析结果

| | A1 A2 偏差 | A3 A4 偏差 | A5 A6 偏差 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| SP (环球法 /°C) | 111.8/114.0/0.4 | 不熔 /11.4 | 115.6/112.7/2.9 |
| TI (质量分数 /%) | 37.21/8.13/0.92 | 38.96/37.83/1.13 | 34.11/39.96/5.85 |
| QI (质量分数 /%) | 8.86/8.47/0.39 | 9.07/8.67/0.40 | 7.81/9.07/1.26 |
| Cv(质量分数 /%) | 69.46/68.84/0.62 | 68.93/67.54/1.39 | 71.38/69.93/2.45 |
| Ad(质量分数 /%) | 0.59/0.81/0.22 | 1.13/0.91/0.22 | 1.21/0.80/0.41 |
| | B1 平行样 偏差 | B2 平行样 偏差 | 规程允许偏差值 |
| SP (环球法 /°C) | 109.2/108.5/0.7 | 107.2/106.9/0.3 | 1.5 |
| TI (质量分数 /%) | 29.04/28.47/0.67 | 29.08/28.47/0.61 | 1.0 |

| | | | |
|--------------|------------------|------------------|------|
| QI (质量分数 /%) | 6.70/7.32/0.62 | 6.75/6.35/0.40 | 1.0 |
| Cv(质量分数 /%) | 56.25/56.53/0.28 | 56.28/56.43/0.28 | 1.0 |
| Ad(质量分数 /%) | 0.10/0.08/0.02 | 0.10/0.08/0.02 | 0.05 |

从表1 分析结果可知，闪蒸塔塔底同标高积渣（A1/A2、A3/A4、A5/A6）的主要指标偏差均超出规程允许值，表明积渣为非稳定均匀组分。初期积渣（A5/A6）组分差异较大，而经静置沉积后，组分趋于稳定（A1/A2）。积渣的主要分析指标与改质沥青整体较为接近。改质沥青生产过程中不产生灰分，焦油渣是矿物杂质的主要载体，其存在导致沥青及沥青焦中灰分含量增加，但改质沥青仍为积渣的主要成分。根据改质沥青的物化特性，在特定温度下，沥青保持良好流动性，可顺畅从塔底采出。然而，由于闪蒸塔内塔壁处流速远低于塔中央，运行一段时间后，高温碳化的原生喹啉不溶物（QI）可能粘附于塔壁。煤沥青导热系数极低，塔壁粘连的沥青温度逐渐降低，黏度等指标随之变化，最终形成积渣。

三、闪蒸塔塔底积渣成因分析

闪蒸塔塔底积渣的本质是焦炭状固体物质的沉积。喹啉不溶物（QI）是煤沥青中不溶于喹啉的残留物。煤焦油中的原生 QI 主要包括煤中的灰分颗粒、炼焦过程中混入煤焦油的无机杂质，以及煤热解生成的类似炭黑的大分子芳烃热聚产物 [3]。这些以 QI 为代表的杂质因表面活性较高，焦油中的油质组分常附着其表面，并在蒸馏过程中全部转移至沥青中。次生 QI 则由沥青质及某些重质芳烃在高温下进一步热聚合和缩合生成，形成分子量更大、氢碳比更低、溶解度极差的芳烃聚合物，以固体颗粒形式存在于沥青中 [3]。

原生 QI 中的煤粉颗粒较大，在沥青中难以均匀分散。在管式炉高温处理后，这些颗粒易发生碳化。当流速降低时，物质间相互反应或发生物理变化（如结晶、沉淀）的概率增加，颗粒受重力作用易沉降于闪蒸塔底侧壁。由于煤沥青导热系数极低，塔壁附着的沥青温度逐渐降低，黏度急剧升高，流变性能变差，最终形成积渣。沥青作为无定形非结晶高分子化合物，其力学性质由分子运动决定，并显著受温度影响 [4]。在低温范围内，沥青分子活化能量低，分子链无法自由运动，呈现类似玻璃的脆硬状态，称为“玻璃态”。随温度升高，分子获得一定活化能量，大分子链开始运动，沥青表现出塑性。温度进一步升高时，分子活化能量足以实现自由运动，分子间发生相对滑动，沥青进入黏流态，呈现液体般的黏性流动 [5]。

沥青的黏结性质源于其热塑性，主要由高分子量化合物引起。高温（≥ 250℃）下，沥青黏度快速下降，且因芳香族化合物和杂环化合物的极性特征，能有效润湿无机矿物质、天然碳、合成碳及焦炭等物质，并与其紧密结合 [3]。然而，当温度低于 150℃ 时，各类焦块易与改质沥青脱离，导致积渣形成。过量积渣可能

堵塞出料口、管道或其他部件,造成物料流动不畅,甚至堵塞闪蒸塔出口,影响改质沥青采出。严重情况下,设备无法正常运行,被迫停产检修。从产品质量角度看,塔壁结焦会减少塔内有效容积,限制闪蒸空间,进而影响改质沥青的质量。针对这一故障根源,拟对闪蒸塔进行针对性技术改造。

四、减缓闪蒸塔塔底积渣技术改造

恒港化工煤焦油深加工(二期)改质沥青生产具有热缩聚增强、热分解减弱的特点。在确保结焦值等产品质量的前提下,改质沥青保持相对较低的软化点和较好的热流变特性。因此,理论上可适当降低热聚合温度以减少结焦生成风险。在特定温度下,沥青保持良好流动性,可顺畅从塔底采出。然而,闪蒸塔内中间流速高于塔壁处,低流速增加物质间反应或物理变化(如结晶、沉淀)的机会,导致流体剪切力减弱,无法及时冲刷微小焦粒,使其附着于设备表面并持续生长。此外,低流速易导致固体杂质沉降,从而诱发积渣形成。因此,提高闪蒸塔内液体沥青流速可有效减缓积渣生成。

原闪蒸塔底出口管径为 DN100,由 6 mm 厚防涡流挡板分隔为四部分,易被稍大的沥青焦块堵塞。将出口管径扩至 DN150,确保即使存在少量积渣也能维持足够的通过量。通过加大塔底排放量,提升液体沥青在闪蒸塔内的流速,可有效防止沥青渣沉积并减少管道堵塞。根据物料平衡原则,改质沥青产量在加工量及原料构成确定后相对稳定,不宜大幅波动。因此,除正常采出改质沥青产品外,塔底排出的其余沥青通过返冲洗装置循环回流至闪蒸塔内。

为防止沥青渣累积,采用对塔底液体沥青的冲洗措施。闪蒸塔设有底部一个及侧线两个液相出口,可将底部出口反向用作冲洗返入口。返冲洗进口位于闪蒸塔最底部,可使初期浮渣悬浮,避免沉积于罐底,但无法完全防止封头罐壁处的积渣。循环打入的改质沥青冲击塔底积渣,使其与新流入的改质沥青混合,减缓沉积速度。然而,受液相出口位置限制,塔底存在积渣“死角”,且塔底容积较小,对延长生产周期作用有限。因此,利用塔底侧壁出口与塔釜封头间的备用压差接口,从侧壁引入返冲洗沥青。冲洗入口位于塔东北侧,塔内设置分布器,分布器侧下朝塔壁斜开冲洗孔,作为返吹改质沥青的出口。改质沥青喷射冲击塔底,搅拌沥青中的焦渣,使其保持动态状态,避免快速沉积,从而实

现在线清理塔侧壁初期积渣。循环打入的改质沥青与塔体新流入的液体沥青混匀,经最低处物料出口引出。只要出料持续畅通,生产周期即可显著延长。

改质沥青液相出口保留“一底部两侧面”设计。开工初期使用底部出口,侧壁引出口延伸至塔体中部并加装防堵帽。若底部出口出现引料不畅,可由下向上依次启用侧向出口,确保持续大出料,减缓初期积渣沉积速度,延长单次生产周期。

针对塔底液相出口管道中改质沥青散热降温可能导致积渣沉积,进而损伤泵机封、叶轮及轴承等问题,在采出泵前增设保温型蓝氏过滤器,并定期切换清理,以确保设备稳定运行。返冲洗分布器示意图如下。

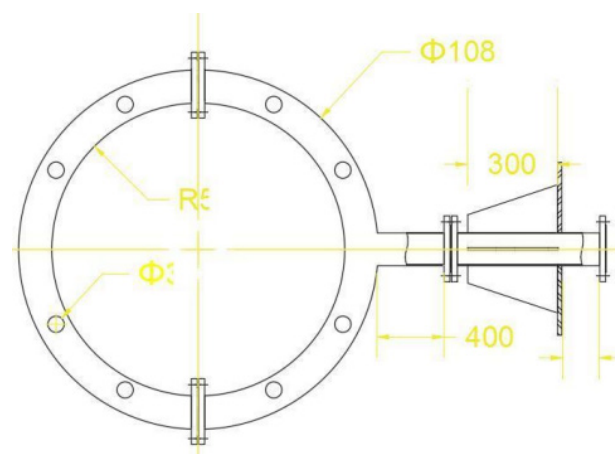


图2 闪蒸塔返冲洗分布器示意图

五、结论

通过分析闪蒸塔塔内积渣形成机理,在沥青渣形成初期实施在线“干扰”清理,结合涡流搅拌将未成型的沥青焦均匀分散于液体改质沥青中,随液体沥青引出闪蒸塔,避免集中沉积。加大闪蒸塔塔底排放量,除正常采出改质沥青产品外,其余塔底沥青通过返冲洗装置循环回流至闪蒸塔内,冲洗初期形成的沥青积渣,为改质煤沥青系统的稳定运行提供科学依据和有效保障。

返冲洗操作对闪蒸塔塔顶操作无显著影响。沥青软化点等质量指标主要取决于反应塔来料进入闪蒸塔后的气液分离效果。返冲洗投用后仅影响塔底液相沥青,尽管塔底温度略有降低,但不会对改质沥青的软化点等质量指标产生不利影响。

参考文献

- [1] 黄雪均,等.低温煤焦油沥青在改质沥青加工的应用[J].广东化工,2023,491(50):22-23 55.
- [2] 水恒福,张德祥,张超群.煤焦油分离与精制[M].北京:化学工业出版社,2007,01.
- [3] 郭明聪,张冬冬,郑海峰,等.喹啉不溶物数量对中间相炭微球形成的影响[J].炭素,2020(2):13-15.
- [4] 郑仕跃,邹卓民,周权峰,等.基于12成分模型和分子动力学的沥青材料性质模拟研究[J].铁道科学与工程学报,2022,19(5):1331-1338.
- [5] 杨晓涛主编,炼焦化工产品回收利用及质量检测(控制)标准实用手册[M].安徽文化音像出版社,2004.03.