

## 工艺与设备

# 基于伴热优化的物料结壁缓解技术的 研究与应用

戚学贵<sup>1</sup>, 徐 宏<sup>1</sup>, 谭晓勇<sup>1</sup>, 许林云<sup>2</sup>

(1. 华东理工大学机械与动力工程学院化机所, 上海 200237;  
2. 中国石化扬子石油化工股份有限公司化工厂, 江苏 南京 210048)

**摘要:**降低伴热介质与被伴热介质之间的热阻是提高外伴管伴热系统抑制物料结壁效果的关键。利用自建的对比传热试验装置,进行了蒸汽和热水伴热传热动态特性试验,结果表明优化后传热系数可提高 7 倍以上,此时提高伴热热水流量可明显增强伴热能力。将该优化措施应用于发生闪蒸的对苯二甲酸母液罐及附属管道,结果表明设备和管道的壁面温度及其均匀性得到了显著提高,物料结壁减缓。

**关键词:**结壁;伴热优化;缓解技术;导热胶泥;对苯二甲酸;节能

中图分类号:TK124

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2006)07-0049-03

## Study of material attachment alleviating technology based on heat tracing optimization and its application

QI Xue-gui<sup>1</sup>, XU Hong<sup>1</sup>, TAN Xiao-yong<sup>1</sup>, XU Lin-yun<sup>2</sup>

(1. Institute of Process Equipment, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;  
2. Yangzi Petrochemical Co., LTD., SINOPEC, Nanjing 210048, China)

**Abstract:** For improving the performance of material attachment alleviation by external pipe heat tracing system, it is the key factor to reduce the thermal resistance between tracing medium and traced material. With the experimental equipment established by the authors, dynamic characteristics of heat tracing with steam and hot water were investigated. The result indicated that, after optimized by heat transfer cement, the heat transfer coefficient between tracing medium and traced material could be increased by more than seven times and heat tracing capability could be obviously raised at a larger mass flow rate of tracing water. The optimization was then applied in the mother liquid evaporation tank and the attached pipe in PTA unit. It was shown that wall temperatures of the tank and the pipe were obviously raised and their uniformity as well, resulting in lower material attachment rate.

**Key words:** material attachment; heat tracing optimization; alleviating technology; heat transfer cement; terephthalic acid; energy conservation

伴热是通过热量补偿来调控生产及物料停产、输送期间管道与设备内物料的温度<sup>[1]</sup>,从而防止温度过低和由此产生的物料的黏度增大、运输困难、凝固和结壁。蒸汽伴热和电伴热<sup>[1-2]</sup>是 2 种主要的伴热方式,其中蒸汽伴热更为传统,在未来较长时期内也仍将是多数石化和化工企业的首选伴热方式<sup>[3-4]</sup>。但是常见的光滑外伴管结构中蒸汽伴热系统存在伴热效果不佳等问题。模拟研究结果表明,光滑外伴管体系中伴管与被伴物料管道(主管)或设备之间依靠空气传热,传热热阻比夹套体系大 20 倍以上,使蒸汽热量无法有效传递到物料<sup>[5]</sup>。因此,降

低伴管与设备或主管间的传热热阻是提高外伴管体系伴热能力的关键。

在伴管与主管或设备之间敷设高导热系数材料(如导热胶泥),代替传热性能差的空气,形成连续的热结合体,可有效地增加接触面积,降低传热热阻和工程量。该优化技术在国内外已有应用,但关于该优化体系的传热特性、优化效果以及参数匹配的试验、理论和数值研究工作比较匮乏。为此,笔者通过自行搭建的伴热对比试验装置,首次对系统动态传热特性、伴热优化效果进行了定量的研究与分析,并首次对对苯二甲酸(PTA)装置中发生闪蒸过程的母

液罐及附属管道应用导热胶泥进行了伴热优化,对壁面温度的提升和结壁缓解效果进行了讨论。

## 1 伴热优化试验研究

### 1.1 试验说明

蒸汽外伴管伴热用于设备时通常采取外盘管结构。为了定量评价导热胶泥优化伴热的效果、分析优化机理,并为设备伴热系统的优化设计提供参考,基于传热计算与设计,笔者搭建了一套伴热对比试验装置。试验主体即测试对象为结构尺寸完全相同的 2 个被伴热容器,其区别在于伴热盘管是否使用导热胶泥。该导热胶泥材质为有机型,它与伴管、容器外壁面和保温层之间的结构关系如图 1 所示,导热胶泥在容器外壁面的宽度约为伴管直径的 3 倍。伴热热源为蒸汽发生器产生的蒸汽或来自恒温水箱的热水。蒸汽伴热流程中盘管出口安装疏水阀以排走冷凝水。容器中被伴热介质为水,试验中采取搅拌措施使水温均匀。测量参数包括伴热介质流过盘管时的进出口温度及压力、伴热热水流量、容器中水的温度和容器内表面、保护层外表面温度等。装置及流程详情参见文献[6]。

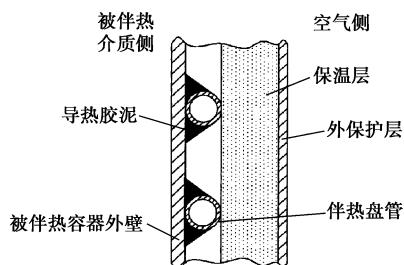


图 1 导热胶泥优化设备伴热示意图

### 1.2 伴热优化效果讨论

首先以蒸汽为伴热介质,在不同蒸汽压力下分别对 2 系统进行伴热加热试验,每隔一定时间记录 1 组试验数据,从而获得 2 系统伴热升温的动态特性。对未采取优化措施的伴热系统,设定表压分别为 0.6、0.5 MPa 和 0.3 MPa 的蒸汽作为热源;对优化后的伴热系统,以表压分别为 0.5、0.4 MPa 和 0.3 MPa 的蒸汽作为热源,来加热初温为环境温度的被伴热介质。

在试验过程中发现,在采用导热胶泥的系统中,初始阶段盘管进口的伴热蒸汽温度较低,即蒸汽发生器产生的蒸汽压力低于设定值,随着试验进行而逐渐升高到设定值。而在未优化的伴热系统中,初始阶段产生的蒸汽温度和压力就接近设定值。这说

明采取优化措施后,伴热系统传热能力提高,加之初始阶段传热温差较大,使得蒸汽冷凝速度高于蒸汽发生器的供给速度。

图 2 所示比较了不同蒸汽压力下被伴热介质温度随时间的变化情况。由图 2 可知:①以相同压力蒸汽作热源时,在开始阶段,优化的伴热系统中被伴热介质的升温速度大大高于未采用导热胶泥优化的系统。在 0.3 MPa 的蒸汽压力下,前者在 114 min 时容器内的被伴热介质(水)就被加热至沸腾,而后者在相同时间内,温度只能达到约 60℃。②对于未优化的伴热系统,尽管提高蒸汽压力能增加被伴热介质的温升,但效果远不如原压力下采用导热胶泥进行优化的明显。③采取导热胶泥优化显著地提高了被伴热介质所能达到的平衡温度。在 0.3 MPa 压力下,光滑盘管系统中被伴热介质的平衡温度约为 83℃,而优化系统高于 100℃,温度至少提高了 17℃。④若要维持相同的平衡温度,系统优化后可采用较低压力和温度的蒸汽甚至热水即可实现,从热损失数量和能级匹配利用 2 方面均具节能效果。

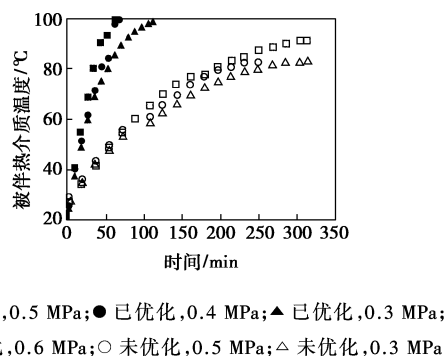


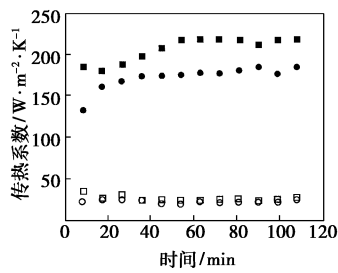
图 2 被伴热介质温度随时间的变化

### 1.3 伴热优化机制分析

鉴于蒸汽压力、温度波动,流量较小时不便准确计量,优化后容器内介质沸腾等原因,为了从传热性能角度分析导热胶泥优化伴热的机制,以热水为伴热热源,在不同流量下进行了动态传热试验,从而依据系统热平衡关系获得伴热介质与被伴热介质之间的传热系数及热阻的变化。

图 3 所示为使用相同温度但不同流量的热水分别对 2 系统进行伴热加热时测定的传热系数。由图可知,使用相同的伴热介质,采用导热胶泥进行传热优化后,伴热介质与被伴热介质之间的传热系数显著提高,提高幅度可达 7 倍以上。

从图 3 还可看出,对于采用导热胶泥进行优化的系统,流量提高时传热系数增加的绝对值明显高于未优化系统。通过基于传热学基本原理的热阻分



■ 268 L/h, 80℃, 已优化; ● 160 L/h, 80℃, 已优化;  
□ 268 L/h, 80℃, 未优化; ○ 160 L/h, 80℃, 未优化

图3 2系统不同流量时的伴热传热系数

析,可得到伴热传热的“瓶颈”和产生以上差异的主要原因:①对于未优化的系统,总热阻  $r$  主要由盘管外表面向被伴热容器外表面传热的热阻  $r_1$  决定,而此时  $r_1$  较大,所以传热系数  $K(K=1/r)$  较小。采用导热胶泥优化后,  $r_1$  显著降低,传热系数可提高数倍。②对于未优化系统,通过提高伴热介质流量来提高伴热介质与盘管内表面间的热阻  $r_2$ ,对总热阻影响很小,故传热系数增加不明显。而对于优化后的伴热系统,热阻主要集中在盘管内表面和被伴热容器内表面的对流换热热阻,此时提高伴热介质流量可以显著提高传热系数。

## 2 伴热优化技术在对苯二甲酸母液闪蒸罐上的应用分析

### 2.1 母液闪蒸罐结壁原因分析

PTA 是生产聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)的重要原料。某企业 PTA 装置采用阿莫柯法,以对二甲苯为原料生产 PTA。该过程中产生的母液为含有粗对苯二甲酸(TA)、PTA 等成分的水溶液,其中的水分需通过母液闪蒸罐进行降压闪蒸回收。降压闪蒸过程中母液的温度由入口时的 149℃降低到 100℃,闪蒸后的母液去后处理环节。降压闪蒸过程水分蒸发、温度下降必然产生 TA、PTA 浓度升高的现象。

PTA、TA 在水中的溶解度均随温度下降而减小,但前者的溶解度下降得更快。这样在闪蒸降温后母液中水分减少,杂质浓度达到饱和,PTA 将大量析出。由于 PTA 具有较强的黏性,而母液闪蒸罐又没有采用搅拌措施,所以很容易附着在罐壁上,加之母液流量大,因此尽管已经采用了普通蒸汽外伴管伴热系统对母液闪蒸罐及附属管道进行了伴热,但物料结壁速度仍然非常快。为了不影响母液罐和附属管道及泵的运行,一般约每隔 8 天就需将其切换至备用罐以进行碱洗处理。

### 2.2 导热胶泥优化伴热及缓解结壁的效果分析

为解决 PTA 母液罐的结壁问题及其附属管道的结晶问题,基于对结壁原因的分析及伴热系统的现状研究,采取在原有光滑外伴热管上敷设导热胶泥的措施来优化伴热效果。实际所用导热胶泥为无机双组分型,导热系数约为 10 W/(m·K)。通过使用导热胶泥前后母液罐中部和管道外壁上特征点温度的变化以及结壁情况来分析优化效果。图 4 表示了无机型导热胶泥实施应用的示意图及红外测温仪测温方向与测温点的具体位置。

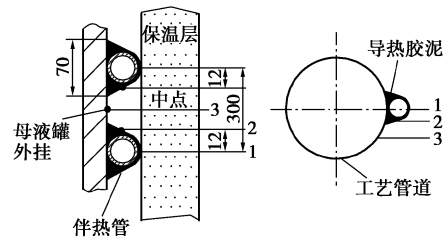


图4 导热胶泥应用及测温点示意图

表1 伴热优化前后的温度比较 ℃

测罐	罐	优化前	优化后	管道	管道	优化前	优化后	
温	温	与环境	与环境	优化前	优化后	与环境	与环境	
点	测	温	温	测	测	温	温	
	温	差	差	温	温	差	差	
	值			值	值			
1	120	105	98	89	94	91	72	75
2	79	86	57	70	52	85	30	69
3	72	84	50	68	50	70	28	54

注:优化前后测温时的环境温度分别为 22、16℃。

表 1 给出了对每个测温点进行 3 次测温得到的平均值。可知:①在采取优化措施前后母液罐和管道体系均表现为伴热管上的第 1 点温度最高、壁面上的第 3 点温度最低;②优化后伴管上第 1 点的温度测值有所降低,这主要是由于环境温度降低、胶泥覆盖伴热管表面和测温点裸露于风口;③对于母液罐和管道,测温第 2、3 点的温度在优化后均明显提高,说明导热胶泥的使用提高了被伴热设备、管道壁面的温度,其中未发生闪蒸的管道体系提升幅度更为明显;④采取导热胶泥优化前母液罐和管道体系中测温第 1 点和第 3 点之间的温差分别高达 48、44℃,而采取优化措施后,这 2 个温差均降低至 21℃,说明导热胶泥的使用提高了设备与管道壁面温度的均匀性;⑤从与环境之间的温差看,母液罐和管道上的测温第 3 点温度分别由 50、28℃提高到 68、54℃,温度提升比例分别高达 36%、93%。

(下转第 53 页)

聚不饱和酸的羧基进行部分酯化反应,从而得到体形结构的聚合物。这种聚合物同时具有破乳和絮凝的双重功能,可以解决破乳剂在使用过程中存在的乳化层厚以及水质浑浊,现有破乳剂不能使凝析油很好破乳的问题。表1列出了新型破乳剂 ERlxxxx 同前述6种破乳剂的对比试验结果。

表1 新型破乳剂和6种常规破乳剂对凝析油的破乳效果

破乳剂	出水量/mL		出水水质
	5 min	10 min	
GT940	8.0	11.0	浑浊,有厚乳化层
2040	9.0	11.0	浑浊,有厚乳化层
FC961	8.0	11.5	浑浊,有厚乳化层
AE1910	8.0	11.5	浑浊,有厚乳化层
ERl1136	9.0	11.0	浑浊,有厚乳化层
ERl1127	9.0	11.0	浑浊,有厚乳化层
ERlxxxx	11.5	—	水质清,无乳化层

注:试验条件为50 mL凝析油,含水质量分数3.0%,加10 mL水,破乳剂质量分数 $5.0 \times 10^{-5}$ ,温度50℃。

由表1中数据可以看出,改性后的新型破乳剂 ERlxxxx 不仅使破乳后出水速度有所加快,而且水质清、无乳化层,达到了破乳剂结构设计所要求的性能,对于凝析油油样,破乳剂 ERlxxxx 的破乳性能明

(上接第51页)

采用导热胶泥对伴热系统进行优化一段时期后运行的结果表明结壁现象得到了减缓。在环境温度降低的情况下,结壁清洗周期仍可延长至10天,结壁速率降低约20%。结壁问题未完全解决的原因在于闪蒸特性、盘管间距过大以及环境温度的变化。考虑到现行盘管间距过大(伴管外径的20倍以上),故为了进一步抑制物料结壁,除采取搅拌外,在原有盘管基础上再增设一组平行盘管是可行的。

### 3 结语

(1)采用普通光滑外伴管进行伴热、消除物料结壁效果不佳,主要原因在于伴热介质与被伴热介质之间的传热热阻过高,降低热阻是提高外伴管体系伴热能力的关键;

(2)利用自行建立的实验装置首次进行了伴热传热对比实验,结果表明设备外盘管伴热体系采用导热胶泥后传热系数可提高7倍以上,伴热能力极大增强;

(3)伴热系统优化后,使用较低品味的热源就可达到相同伴热效果,节能效果明显;

显优于其他破乳剂,可以满足凝析油脱盐工艺的要求。

## 2 电脱盐工艺条件优选

在确定合适的破乳剂之后,需要对电脱盐工艺条件进行优选,并在此基础上对装置实施改造。电脱盐工艺条件优选试验是一种多因素、多级级试验,包括破乳剂注入量、反应温度、压力、电场强度、破乳剂的停留时间等参数,试验时不仅要了解某一因素的特殊作用,又要考虑其他因素的影响,尤其要考虑到凝析油易气化,电脱盐温度不能太高、压力不能太低,否则脱盐过程中容易造成油水乳化。表2所示给出了经凝析油电脱盐试验后得出的最佳工艺条件。

表2 凝析油电脱盐最佳工艺条件

破乳剂注入量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	温度/℃	压力/MPa	电场强度/ $\text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$	停留时间/ min
30	80	1.0 ~ 1.1	800	30

注:破乳剂注入量指每克水所需加入破乳剂的量。

## 3 装置改造方案及应用的新技术

### 3.1 工艺流程的改造

凝析油由原料泵加压至1.0~1.1 MPa,与换热

(4)伴热系统优化后,伴热传热“瓶颈”转移到伴热介质和被伴热介质与壁面之间的对流换热,提高伴热介质流量可以较明显地提高传热系数和伴热性能;

(5)首次将导热胶泥应用于优化PTA装置母液闪蒸罐及附属管道的伴热,结果表明壁面温度及其均匀性都有明显提高,物料结壁减缓。基于导热胶泥优化伴热的物料结壁缓解技术可值得推广应用。

### 参考文献

- [1] 张德善,王怀义,刘绍叶.石油化工装置工艺管道安装设计手册[M].北京:中国石化出版社,2000.
- [2] Johnson B C, Maurin J L. Electric heat tracing[J]. IEEE Industry Application Magazine, 2002(11): 9-11.
- [3] Pitzer R K, Barth R E, Bonorden C. Steam tracing: new technologies for the 21st century[J]. Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineers, 2000, 97(2): 21-42.
- [4] Radle J. Steam tracing keeps fluids flowing[J]. Chemical engineering, 1997, 104(2): 94-97.
- [5] 戚学贵,谭晓勇,徐宏.外伴管伴热系统传热特性及优化的数值研究[J]. 炼油技术与工程, 2006, 36(3): 43-47.
- [6] 谭晓勇.外伴管伴热强化技术研究及应用[D].上海:华东理工大学, 2006. ■