

## 采用泡沫玻璃材料延长隔热油管寿命的分析

文/周成龙 徐永香 盛宏至

## 摘要

主要讨论海上稠油热采隔热油管延长使用寿命的问题。论文探讨了真空隔热油管的氢渗问题及导致失效的机理,提出通过在隔热空间充填闭孔型泡沫玻璃,阻止因渗入隔热空间的氢分子自由运动导致的隔热效果急剧下降而失效,有可能大幅度降低因氢渗造成的真空隔热油管提前失效的现象,并对此进行了定性分析。

【关键词】氢渗;真空隔热油管;泡沫玻璃

## 1 保温管道中氢气的来源

工程实践中降低稠油粘度的主要手段是蒸汽吞吐技术,此时会发生稠油水热裂解反应,产生氢气。氢气的来源有两个方面:第一,稠油水热裂解直接产生氢气,是氢气的主要来源;第二,是水热裂解反应产生了CO,CO与水蒸气发生水煤气变换反应,生成了氢气<sup>[1]</sup>。张贵才等人分别就草桥稠油和轮古稠油在300℃和350℃情况下通过蒸汽吞吐技术反应4h时裂解产生的裂解气的组成成份在高压釜中进行相关实验,实验数据表明,在蒸汽吞吐的实际工作温度350℃情况下,两种稠油裂解生成气中氢气的质量分数都达到了2%以上。<sup>[2]</sup>由于反应时间很长,稠油裂解的量很大,而氢气的分子质量又非常的小,产生的氢气的体积是不可忽视的。

## 2 真空隔热油管失效分析

原真空隔热油管出厂时导热系数最好可以做到0.006 W/m·K,失效的主要原因是由于氢渗导致保温层真空度下降。需要指出的是,在此如果简单使用真空度的概念是不够准确的,没有区分容器内气体的种类。不同气体的导热性能差异很大,分子越小导热系数越大,用各种气体的分压分别描述更准确。

由于氢气的分子极小,因而分子运动速度极快,与壁面撞击频率数远多于空气中的氮气和氧气。在常压下,0℃的氢气的导热系数大约为空气的7倍多,达到0.17 W/m·K,温度升高时,导热系数还要上升,是导热能力最好的气体,其导热系数远高于隔热管的视导热系数。当真空隔热油管在长期使用过程中真空保温层由于氢渗会逐渐积聚一定量的氢气,氢气分子可以在真空隔热管内自由运动传递热量,如不采取有效措施阻止氢气

的自由运动,真空隔热油管的保温性能就大大降低,提前失效。

## 3 泡沫玻璃隔热油管

针对目前稠油热解石油管道陆上作业和海上作业普遍使用的真空隔热油管氢渗导致油管保温性能大幅下降以致失效的现状,为了大幅度提高油管的使用寿命,设法阻止氢气分子在隔热油管内壁之间自由运动导热,考虑在隔热层充填闭孔泡沫材料,以延长隔热油管的实际使用寿命。

考虑到隔热油管的工作温度和材料成本,能满足井下350℃左右高温的有机材料过于昂贵,且有机材料的微孔较大,氢气对有机材料的穿透能力较强,难以有效阻止氢气自由运动,因此在满足保温性能要求的前提下选择了无机泡沫材料—泡沫玻璃。

为了解泡沫材料能否起到阻止渗入隔热油管隔热空间的氢分子自由运动,起到延缓保温失效的问题,设计了泡沫玻璃隔热油管模型进行定性的传热分析。如下图所示:

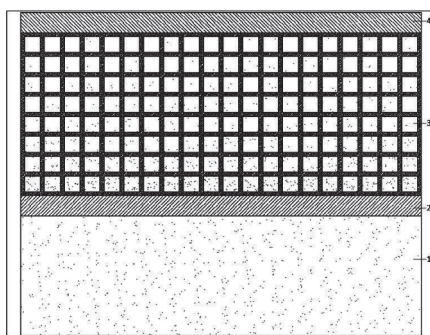


图1 泡沫玻璃隔热油管模型

为简化分析,采用二维截面图(图1)表示,该图为油管截面图的上半部分,该图中,1表示油管管道,2表示内管,3表示保温层结构,4表示外管,黑点表示氢气分子和其他气体分子。需要指出的是,该图为了更加明确的表示出保温层结构,增加了保温层的比例,此模型比例并不是实际管道的制造比例。保温层中的闭孔结构实际情况一般为球形,但我们关心的仅是沿法线方向的导热,为简化分析,该模型假设闭孔为方形。

氢气的分子直径约为0.23 nm,含纯二氧化硅的石英玻璃微孔孔径约为0.4 nm,是玻璃类材料中分子间孔径比较大的材料,泡沫玻璃块加工过程中通过添加一些碱金属离子(钾、钠、钡等)填充于分子之间的微孔之中,可以减小有效孔径的大小,因此,泡沫

玻璃块分子之间的微孔孔径可以做到与氢气分子直径相当,甚至有可能小于氢气分子直径。<sup>[3]</sup>由此可以得出结论:泡沫玻璃块微孔孔径与氢气分子相比不会是一个很大的量,不会由于泡沫玻璃块分子间微孔孔径过大导致氢气分子不受泡沫玻璃块里面气泡的限制。

泡沫玻璃块可以制作成空心圆柱形状,填充于内管和外管之间,并用密封材料封闭间隙。

在注汽过程中,随着稠油加热产生一定的裂解,油管管道(结构1)中会产生一定量的氢气,氢气通过氢渗过程穿过内管管壁(结构2)进入保温层(结构3),由于保温层是闭孔发泡材料,其结构如图所示,因此,氢气首先被限制在保温层的第一层闭孔发泡材料里面,随着该过程的继续,氢气会不可避免的穿过泡沫玻璃壁面向保温层的深层渗透,最终在各层深度上基本均匀分布。但是,由于存在泡沫材料,氢气在隔热层的内外壁之间运动要多次穿越固体材料,不能自由运动,因而不能成为良好的热导体。相对原先存在气泡中的气体,氢增加导热的比例也较小。因此,闭孔泡沫玻璃作为隔热空间的充填物可以很大程度上提高油管的使用寿命。

## 4 结论

本文通过对氢渗现象的分析,提出通过在隔热空间充填闭孔型泡沫玻璃,阻止因渗入隔热空间的氢分子自由运动导致的隔热效果急剧下降而失效。闭孔型泡沫材料不仅能阻止氢分子自由运动,减缓氢分子在隔热空间的均匀化分布,而且将由于氢分子的自由运动直接从内壁向外壁导热的过程阻断,使其需要一层层向外扩散,有可能大幅度降低因氢渗造成的真空隔热油管提前失效的现象。

## 参考文献

- [1] 刘永建,钟立国,范洪富,刘喜林.稠油的水热裂解反应及其降粘机理[J].大庆石油学院学报,2002,03:95-98+122
- [2] 张贵才,潘斌林,葛际江,张焕芝.稠油蒸汽吞吐热裂解行为研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,05:46-49+92
- [3] 张以忱.真空技术及应用系列讲座 第十一讲:真空材料[J].真空,2001,06:50-53

## 作者单位

中国科学院力学研究所 北京 100190

## 采用泡沫玻璃材料延长隔热油管寿命的分析

作者: [周成龙](#), [徐永香](#), [盛宏至](#)  
作者单位: [中国科学院力学研究所 北京 100190](#)  
刊名: [中国石油和化工标准与质量](#)  
英文刊名: [China Petroleum and Chemical Standard and Quality](#)  
年, 卷(期): 2014(13)

引用本文格式: [周成龙](#). [徐永香](#). [盛宏至](#) [采用泡沫玻璃材料延长隔热油管寿命的分析](#)[期刊论文]-[中国石油和化工标准与质量](#) 2014(13)