

## 含氚泵油处理技术研究

刘学军, 苑国琪, 成琼, 邓玥, 张东, 赵军, 马俊格

(中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 本文选择粘土、硅藻土、蛭石粉、Nochar 4 种材料作为泵油的吸收质, 通过实验, 确定了它们的吸油率分别为 0.316 : 1、1.079 : 1、1.196 : 1、2.0 : 1; 渗油率为 2.099%、8.155%、3.90%、0.028%; 体积膨胀率为 398%、266%、312%、437%。经综合考虑, 推荐采用 Nochar 处理比放较高的含氚泵油; 而蛭石粉、粘土处理比放较低的含氚泵油。

**关键词:** 含氚泵油; 吸收质; 渗油率; 体积膨胀率

中图分类号: TL941 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931 (2010) S0-0124-04

## Treatment Technology for Pump Oil With Tritium

LIU Xue-jun, YUAN Guo-qi, CHENG Qiong, DENG Yue,  
ZHANG Dong, ZHAO Jun, MA Jun-ge

(China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** Based on investigation, adopting clay, diatomite, vermiculite powder and Nochar as absorbent of oil, the capability of absorbent were studied. The result shows that optimum bonding ratios (oil : absorbent) are 0.316 : 1, 1.079 : 1, 1.196 : 1 and 2.0 : 1 respectively; oil leaching rates are 2.099%, 8.15%, 3.90% and 0.028% respectively; volume expansions are 398%, 266%, 312% and 437%, respectively. So, Nochar is a favourable absorbent for treating high-radioactivity pump oil, lennilite and clay are favourable absorbents for treating low-radioactivity pump oil.

**Key words:** pump oil with tritium; absorbent of oil; oil leaching rate; volume expansion

目前阶段, 国内外对含氚泵油处理的一般流程为: 先用吸收质对含氚泵油进行吸收处理, 将流动态的泵油转变成易于固化处理的固定状态, 然后再将包装体置于钢桶中进行多重包装处理<sup>[1]</sup>。在退役活动中, 对含氚泵油的处理已积累了部分经验, 但对不同吸收质的吸油率、渗油率、体积膨胀率、长期稳定性、包装体的优化等方面还缺乏深入具体的研究, 而吸收质的选择是较为关键的环节, 国内在该领域的研究却很少。

通过调研发现, 蛭石粉和 Nochar 是两种较好的含氚泵油吸收质。Nochar 在美国普遍应用于对液体含氚废物的处理, 但该物质目前为注册商标, 制备技术难于获得, 只能通过该商品在中国的代理获得少量实验物质来进行实验室性能确定。

国内有采用粘土和硅藻土对废油进行吸收与固化的实例, 因此, 本工作在基于上述两种物质的基础上, 再增选蛭石粉和 Nochar 两种物质作为实验吸收质, 并从吸油率 (油和吸收质

的质量比)、渗油率、体积膨胀率、长期稳定性等方面进行实验验证,并综合考虑性价比,最终选定最为合适的吸收质。

## 1 吸油原理

吸收质的吸油及保油过程基本属于物理过程。有机吸收质与无机吸收质的吸油过程有所不同。

### 1.1 无机吸收质吸油原理

无机吸收质的吸油及保油过程主要是借助吸附、包容、毛吸现象来完成。如果无机吸收质的颗粒较大,油份主要保持在以颗粒为吸油单元的颗粒内部及颗粒表面,吸油主要靠毛吸及吸附;如果无机吸收质的颗粒较小,吸油过程不仅靠毛吸和吸附,油份还将被包容在互相胶凝在一起的若干微小颗粒之间,形成游离的油份,油质混合物在长时间放置后,游离扩散将达到平衡,形成较稳定的吸油胶凝团。

### 1.2 有机吸收质吸油原理

有机吸收质主要利用聚合物内部的亲油基与油分子的相互作用力,即范德华力作为推动力而吸油。一般而言,有机合成吸收质有包藏型、凝胶型、包藏-凝胶复合型3种。包藏型吸收质是利用毛细管现象将油吸收保持在空隙间;凝胶型吸收质是利用分子间或物理间的凝聚力,在网络结构形成过程中所产生的空隙空间包裹吸收油;复合型则是这两者的结合。

## 2 实验方法及过程

根据实验设想,每种吸收质按照装桶总高度0.5 m进行模拟。

4种吸收质的实验过程相似,以粘土为例的实验过程如下。

1) 吸油率确定:称取约3 kg粘土,放置在干燥箱中于40℃恒温下加热3 h待用;称取烘干后的粘土100 g于500 mL烧杯中,循序滴加泵油并充分混合,通过表现现象观察油质混合物饱和程度,确定大致的油质配比(0.3:1);称取粘土5份(每份100 g),按照0.26:1、0.28:1、0.30:1、0.32:1、0.34:1油质配比充分混合,混合物放置于500 mL磨口玻璃瓶中(底部铺垫滤纸)密封保存48 h,通过滤纸质量变化观察各种配比条件下的粘土渗油情

况,根据渗油的变化规律来确定粘土的吸油率,最终渗油率确定为0.316:1。

2) 渗油率确定:按照吸油率配制约2 kg油质混合物,按照总高0.5 m进行模拟实验。容器底部铺垫30张滤纸,于通风柜内保存,分别在实验开始的第1、2、5、8、14、20、30 d取出滤纸,观察滤纸的质量变化情况,计算0.5 m高度吸收质的渗油率。

3) 体积膨胀率确定:根据渗油率实验过程数据,按照公式 $\eta = (V_2 - V_1) / V_1 \times 100\%$ 计算粘土在吸油率配比条件下的体积膨胀率。式中: $V_1$ 为泵油体积, $V_2$ 为按照吸油率进行配比的油质混合物体积(mL)。

## 3 结果与讨论

不同吸收质在不同模拟段的吸油率、渗油率、体积膨胀率的实验结果列于表1。表中所列的渗油率分别为实验进行到第30 d(粘土)、32 d(硅藻土)、32 d(蛭石粉)、30 d(Nochar)的渗油率。

表1 吸油率、渗油率、体积膨胀率

Table 1 Absorbing ratio, leaching ratio and volume expansion ratio of oil

吸收质	吸油率	渗油率/%	体积膨胀率/%
粘土	0.316:1	2.099	398
硅藻土	1.079:1	8.15	266
蛭石粉	1.196:1	3.90	312
Nochar	2:1	0.028	437

### 3.1 粘土实验

粘土渗油率(累计渗油率)与时间的关系曲线如图1所示。从图1中可看出,随着时间的增大,渗油率也逐渐增大,但增加的幅度有下降的趋势,即单位时间内的平均渗油率逐渐降低。从吸油机理来说,充分混合后的油质混合物,处于游离态的油的总量基本固定,随着放置时间的增加,游离态的油逐渐析出,因此累计渗油率有随时间增大的趋势。但随着游离态油总量的逐渐减少,单位时间内的平均油析出量逐渐减少,并最终趋于平衡。如果实验时间足够长(约大于6个月),从某一时间开始,累计渗油率将无限接近某值,该值将作为粘土

在该油质配比条件下的最终渗油率。本实验在油质配比 0.316 : 1 的条件下第 30 d 累计渗油率为 2.099%，体积膨胀率为 389%。

充分混合的油质混合物多成团状（图 2），包容现象明显。

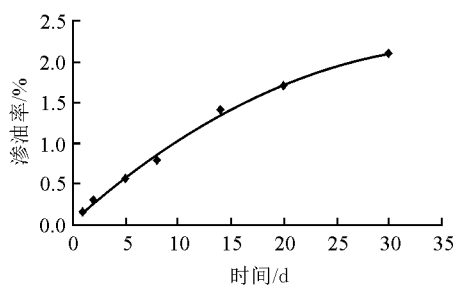


图 1 粘土渗油率与时间的关系曲线

Fig. 1 Relationship between leaching ratio of oil for clay and time



图 2 粘土油质混合物外观

Fig. 2 Image of mixture of clay and oil

### 3.2 硅藻土实验

硅藻土渗油率与时间的关系曲线如图 3 所示。累计渗油率和时间的关系曲线与粘土具有相同的规律，机理也基本相同。

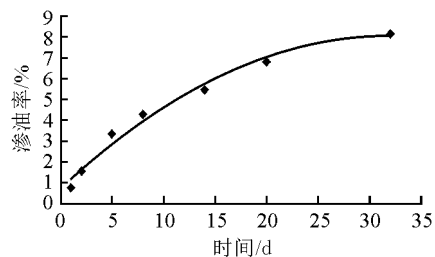


图 3 硅藻土渗油率与时间的关系曲线

Fig. 3 Relationship between leaching ratio of oil for diatomite and time

充分混合的油质混合物与粘土有相似的现象（图 4），但包容颗粒较小，且包容的大小颗粒团共存。实验在油质配比 1.079 : 1 的条件下第 32 d 累计渗油率为 8.15%，体积膨胀率为 266%。



图 4 硅藻土油质混合物外观

Fig. 4 Image of mixture of diatomite and oil

### 3.3 蛭石粉实验

蛭石粉渗油率与时间的关系曲线如图 5 所示。累计渗油率与时间的关系曲线与粘土具有相同的规律，机理也基本相同。实验在油质配比 1.196 : 1 的条件下第 32 d 累计渗油率为 3.90%，体积膨胀率为 312%。

充分混合的油质混合物如图 6 所示，混合物为均匀的小颗粒。

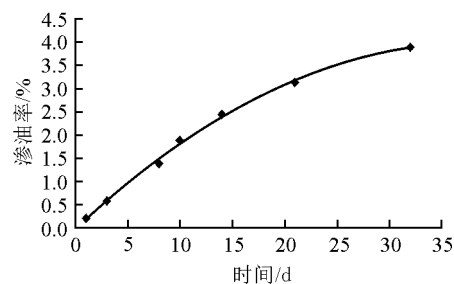


图 5 蛭石粉渗油率与时间的关系曲线

Fig. 5 Relationship between leaching ratio of oil for vermiculite powder and time



图 6 蛭石粉油质混合物外观

Fig. 6 Image of mixture for vermiculite powder and oil

### 3.4 Nochar 实验

本产品按照代理商推荐的油质配比 2 : 1 进行实验, 渗油率小于 0.1%, 体积膨胀率为 437%。

油质混合物如图 7 所示。吸收质吸油前后在外观上几乎未改变, 油份被稳定包藏在 Nochar 产品的分子内部。



图 7 Nochar 油质混合物表现

Fig. 7 Image of mixture for Nochar and oil

## 4 结论

粘土、硅藻土、蛭石粉、Nochar 的吸油率依次为 0.316 : 1、1.079 : 1、1.196 : 1、2.0 : 1。根据该比例, 在废物处理过程中粘土的使用量为最大, 而 Nochar 在吸收质使用量方面占据了绝对优势。如果在工程应用中考虑吸收质的使用成本, 可将吸收质的价格与吸收率的乘积作为评价标准。

吸收质的渗油率是油-固转化后稳定性的表征, 是衡量一种吸收质性能好坏的关键指标, 一般认为渗油率在 1% 以内的吸收质具有

很强的工程适用性。粘土、硅藻土、蛭石粉、Nochar 模拟 0.5 m 吸收质高度的渗油率依次为 2.099%、8.15%、3.90%、0.028%, Nochar 产品的适用性明显为最强, 硅藻土高达 8.15% 的渗油率在适用性方面处于劣势。

体积膨胀率将直接影响废物的产生量。根据废物最小化原则<sup>[2]</sup>, 体积膨胀率是吸收质应用于放射性含氟废油处理的一个重要指标。粘土、硅藻土、蛭石粉、Nochar 的体积膨胀率分别为 398%、266%、312%、437%, 增幅在 64% 以内, 优劣较为不明显。

综合考虑吸油率、渗油率、体积膨胀率 3 个特征参数, Nochar 的性能最好, 应用在含氟泵油处理上可保证废物长期放置的稳定性, 但 Nochar 的购置费用昂贵, 从工程应用角度推荐使用在比放较高的含氟泵油的处理过程中; 蛭石粉、粘土各项特征参数基本符合含氟泵油处理的工程应用要求, 且购置费用较低, 可批量使用, 推荐使用在比放较低的含氟泵油处理过程中; 硅藻土的渗油率过高, 不适宜应用在含氟泵油处理过程中。

### 参考文献:

- [1] 杨怀元. 氟的安全与防护[M]. 北京: 原子能出版社, 1997: 3.
- [2] 徐志成. 含氟废物的处理与处置[M]. 北京: 原子能出版社, 1986.