

DOI: 10.3969/j.issn.0254-0150.2014.011.011

## γ 射线辐照对液压油性能的影响\*

雷明<sup>1,2</sup> 邹树梁<sup>2</sup> 唐德文<sup>1,2</sup> 谢宇鹏<sup>1,2</sup>

(1. 南华大学机械工程学院 湖南衡阳 421001;

2. 核设施应急安全技术与装备湖南省重点实验室 湖南衡阳 421001)

**摘要:** 研究在 γ 射线辐射剂量率为 2 kGy/h, 不同辐照剂量下对液压油运动黏度、倾点、酸值等理化指标的影响。结果表明: 辐照剂量对液压油的运动黏度影响比较小, 随着辐照剂量的增加, 液压油的运动黏度小幅增加; 随着辐照剂量的增加液压油的倾点降低, 即辐照使得液压油的低温流动性变得更好; 辐照剂量对液压油的酸值影响较大, 随着辐照剂量的增加液压油的酸值大幅增加; 随着辐照剂量的增加, 液压油的色度增大, 透光率变差。

**关键词:** γ 射线; 液压油; 辐照剂量; 理化性质

**中图分类号:** V519.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-0150(2014)11-051-4

## Effect of Gamma Ray Irradiation on the Performances of Hydraulic Oil

Lei Ming<sup>1,2</sup> Zou Shuliang<sup>2</sup> Tang Dewen<sup>1,2</sup> Xie Yupeng<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China; 2. Hunan Key Laboratory of Nuclear Facilities Emergency Safety Technology and Equipment, Hengyang Hunan 421001, China)

**Abstract:** The effect of Gamma ray radiation on the kinematic viscosity, pour point, acid value and other physical and chemical indicators of hydraulic oil were researched under the dose rate of 2 kGy/h and different radiation doses. The results show that the impact of the radiation dose on the kinematic viscosity of the hydraulic oil is relatively small and the kinematic viscosity is increased slightly with the increasing of radiation dose. The pour point is reduced with the increasing of radiation dose, which makes the low temperature fluidity of hydraulic oil better. The acid value of the hydraulic oil is greatly affected by the radiation dose, and the acid value is increased significantly with the increasing of radiation dose. With the increasing of radiation, the chromaticity is increased, the color is deepened, and the light transmittance is deteriorated.

**Keywords:** γ-ray irradiation; hydraulic oil; irradiation dose; physical and chemical property

核辐射广义上指电磁波辐射、贯穿辐射和带电粒子辐射等。核辐射与物质碰冲作用时发生质量转移, 从而引发物理和化学反应<sup>[1]</sup>。基于这种效应已经形成了辐射化学和辐射加工工艺学, 并得到了广泛的应用。霍丽霞等<sup>[2]</sup>利用<sup>60</sup>Co-γ射线辐照使MoS<sub>2</sub>基黏结润滑干膜与PTFE基黏结润滑干膜内物质官能团发生变化, 使膜表面变粗糙; 张立祥和黄文浩<sup>[3]</sup>利用M200型环-块磨损试验机对γ射线辐照后的聚四氟乙烯进行摩擦磨损实验表明, 结果表明, 随着辐照剂

量的增加, 磨屑从粗长的片状变为细小纤维状, 辐照使聚四氟乙烯的硬度有所增加; 吴高峰等<sup>[4]</sup>利用γ射线辐射使聚乙烯材料发生交联反应, 改变了材料的分子结构; 田扬捷和晏乃强<sup>[5]</sup>利用γ射线辐射对油品进行了脱硫处理。

<sup>60</sup>Co-γ放射性核素是核电站污染核素之一, 在放射性的环境下<sup>60</sup>Co-γ射线核粒子流会与物质相互作用使物质发生物理或化学变化, 液压油作为液压传动系统的传动介质, 核辐射会使液压油运动黏度、倾点、酸值等产生变化, 出现液压油泵磨损, 油温过高, 阀件、密封件损坏严重以及液压系统动作无力行动迟缓、发热、产生噪声等故障。而目前γ射线辐照对液压油性能的影响研究比较少。

为了模拟核电站放射性元素γ射线对安全作业装置液压传动系统中液压介质的影响, 本文作者选用

\* 基金项目: 核设施退役和核泄漏安全处理技术及装备的研发(2012FJ1007)。

收稿日期: 2014-03-25

作者简介: 邹树梁(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 从事退役核设施与核泄漏事故的安全处理处置技术及装备研究。

E-mail: zousl@126.com.

3 种品牌 HM46 抗磨损液压油为试样油, 研究在  $\gamma$  射线辐射剂量率为 2 kGy/h, 辐照剂量为 50、100、200 kGy 时 3 种油液的运动黏度、倾点、酸值等理化指标的变化情况。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 主要材料

实验所用的 3 种 HM46 抗磨损液压油分别为液压油 A、液压油 B、液压油 C。其中液压油 A 为山河智能的特种液压油, 液压油 B 为长城液压油, 液压油 C 为昆仑液压油, 其典型参数见表 1。

表 1 3 种液压油的典型参数

Table 1 The typical parameters of three hydraulic oils

Items	A	B	C
Kinematic viscosity $\nu/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	43.20	45.74	46.64
Viscosity index	100	102	102
Pour point $t/^\circ\text{C}$	-30	-12	-15
Flash point $t/^\circ\text{C}$	230	204	210
Acid value $c/(\text{mgKOH} \cdot \text{g}^{-1})$	0.39	0.03	0.34
Density $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.87	0.86	0.8
Chroma/号	<0.5	<1.0	<1.5

### 1.2 实验方法

将试样(500 mL)在室温 25  $^\circ\text{C}$ 、标准大气压下, 采用湖南省核农学与航天育种研究所双栅 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线板源(见图 1), 约 28 万居里, 进行辐照。样品的辐射剂量率  $R$ (单位时间的辐射剂量)和辐射剂量  $D$  通过改变反应器与放射源间的距离和辐照时间  $t$  来调整, 其关系式为

$$D = Rt \quad (1)$$



图 1 双栅  $\gamma$  射线板源

Fig 1 Dual grid source of  $\gamma$ -ray irradiation

每个位置点的辐射剂量率采用化学剂量计测量。

设置辐照剂量率为 2 kGy/h, 辐照累计剂量分别为 50、100、200 kGy。

### 1.3 性能检测

#### 1.3.1 运动黏度的测定

采用 SVM3000/G2, SYP1003-VII(温度 40  $^\circ\text{C}$ )和 JSR1104(温度 100  $^\circ\text{C}$ )黏度测定仪, 根据 GB/T265《石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法》测定液压油的运动黏度。

#### 1.3.2 倾点的测定

采用 DSY-006 B 倾点、冰点和冷滤点试验器, 根据 GB/T3535《石油产品倾点测定法》测定液压油的倾点。

#### 1.3.3 酸值的测定

直接采用 T70 自动测量仪, 根据 GB/T4945《石油产品和润滑剂酸值和碱值测定法(颜色指示剂法)》测定液压油的酸值。

#### 1.3.4 色度的测定

采用 PFX195 色度测定仪, 根据 GB/T6540《石油产品颜色测定法》测定液压油的色度。

## 2 结果与讨论

辐照条件下 HM46 抗磨损液压油性能变化主要包括运动黏度、倾点、酸值等的变化。

### 2.1 $\gamma$ 射线辐照对液压油运动黏度的影响

在室温下 25  $^\circ\text{C}$ 、空气中, 3 种液压油经 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照后, 其运动黏度随辐照剂量的变化曲线如图 2 所示。

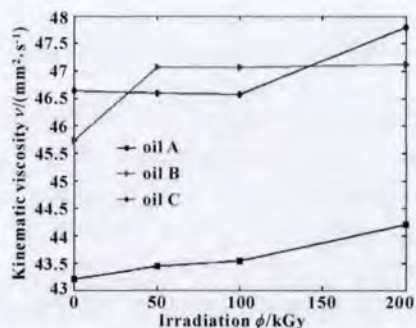


图 2 液压油 40  $^\circ\text{C}$  运动黏度随辐照剂量的变化

Fig 2 Changes of the kinematic viscosity of the hydraulic oil at 40  $^\circ\text{C}$  caused by  $\gamma$ -ray irradiation

从图 2 可见, 液压油 A 经辐照后, 运动黏度随着辐照剂量的增加而增加, 在辐照剂量为 0 ~ 100 kGy 时运动黏度增速较慢, 在辐照剂量为 100 ~ 200 kGy 时运动黏度增长速度加快; 在辐照剂量 0 ~ 200 kGy 之间运动黏度增幅在 5% 左右。液压油 B 经辐照后,

运动黏度随着辐照剂量的增加而增加,在辐照剂量为 50 kGy 时出现一个极大值点;随后运动黏度下降,而在辐照剂量为 100 kGy 时又开始增加至最大值。液压油 C 的运动黏度在辐照剂量未达到 100 kGy 前呈下降趋势;在辐照剂量为 100 kGy 时达到最小值;随后运动黏度随辐照剂量的增加而增大,达到最大值。

液压油运动黏度的变化,是由于  $\gamma$  射线产生的电磁波同时发生了热效应和非热效应,热效应体现在温度和压强的增大使得液压油分子间的间距增大,分子间的内聚力下降,从而导致液压油的运动黏度下降<sup>[6-7]</sup>,非热效应体现在液压油中化合物分子间发生裂解反应,饱和烃及芳烃成分质量分数降低,非烃组分的质量分数增加,从而导致黏度增加<sup>[8-10]</sup>。从实验结果来看,辐照产生的非热效应对油液运动黏度的影响比热效应产生的影响要大;辐照对液压油 B 运动黏度的影响比液压油 A、C 的要大。

## 2.2 $\gamma$ 射线辐照对液压油倾点的影响

倾点表示油品在规定条件下冷却时能够流动的最低温度,油品中的非烃物质蜡含量直接影响液压油的倾点<sup>[11]</sup>。3 种液压油倾点随辐照剂量的变化关系如图 3 所示。

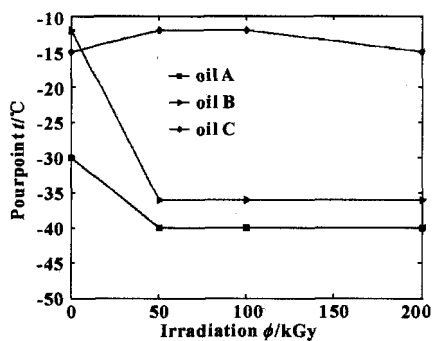


图3 液压油倾点随辐照剂量的变化

Fig 3 Changes of the pour point of the hydraulic oil caused by  $\gamma$ -ray irradiation

由图 3 可见,液压油 A 的倾点随着辐照剂量的增加而下降,在辐照剂量为 50 kGy 时达到稳定,说明经辐照后,液压油 A 中蜡含量降低,其低温流动性得到改善;液压油 B 的倾点随着辐照剂量的增加而下降,也在辐照剂量为 50 kGy 时达到稳定,说明经辐照后,液压油 B 中蜡含量也降低了,其低温流动性变好;液压油 C 的倾点先随着辐照剂量的增加先增加随后下降,即倾点先从 -15 °C 上升至 -12 °C 左右,随后又从 -12 °C 下降至 -15 °C,这表明液压油 C 中蜡含量随着辐照剂量的增加先增加后降低。

比较实验的 3 种液压油倾点的变化情况可知,液压油 C 辐照倾点值随辐照过程有起伏波动,辐照前后倾点保持不变,说明 C 中蜡含量基本保持不变;液压油 A 倾点值从 -30 °C 下降到 -40 °C,变化幅度为 33.3%;液压油 B 倾点值从 -12 °C 下降到 -36 °C,变化幅度为 200%,说明辐照对液压油 B 的影响较大,即液压油 B 受辐照效果最好。

## 2.3 $\gamma$ 射线辐照对液压油酸值的影响

酸值是衡量液压油氧化程度的一个重要指标。3 种液压油酸值随辐照剂量的变化曲线如图 4 所示。

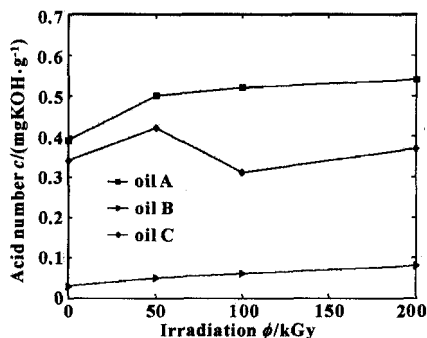


图4 液压油的酸值随辐照剂量的变化

Fig 4 Changes of the acid number of the hydraulic oil caused by  $\gamma$ -ray irradiation

从图 4 可以看出,液压油 A、B 的酸值随着辐照剂量的增加而增大,液压油 C 的酸值随着辐照剂量的增加,在辐照剂量为 50 kGy 时出现了一个最大值,随后减小,在辐照剂量为 100 kGy 时出现了一个最小值,随后随着辐照剂量的增加而增加。

从图 4 所示的酸值变化情况可知,3 种液压油都发生了氧化反应,油液中酸性非烃成分增加,液压油 A 的运动黏度相对于液压油 B、C 来说较低,油的馏分轻,流动性好,因此与氧气接触的程度就大,氧化程度高。

## 2.4 $\gamma$ 射线辐照对液压油色度的影响

液压油的透光率可以用液压油的色度号来衡量。3 种液压油色度随辐照剂量的变化值如表 2 所示。

表 2 液压油的色度随辐照剂量的变化

Table 2 changes of the chromaticity of the hydraulic oil caused by  $\gamma$ -ray irradiation

Samples	Chromaticity			
	0 kGy	50 kGy	100 kGy	200 kGy
oil A	<0.5	<1.5	<1.5	<2.5
oil B	<1.0	<1.5	<1.5	<2.5
oil C	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5

可见,随着辐照剂量率的增加,液压油 A、B 的色度增大,颜色加深,透光率变差;液压油 C 的色度没有明显的变化。这表明经过辐照后,液压油的透光性能变差。

### 3 结论

(1) 辐照剂量对液压油的运动黏度影响比较小,随着辐照剂量的增加,液压油的运动黏度小幅增加。

(2) 随着辐照剂量的增加液压油的倾点降低,即辐照使得液压油的低温流动性变得更好。

(3) 辐照剂量对液压油的酸值影响较大,随着辐照剂量的增加液压油的酸值大幅增加。

(4) 随着辐照剂量的增加,液压油的色度增大,透光率变差。

### 参考文献

- [1] 傅依备,许云书,黄玮,等.核辐射技术及其在材料科学领域的应用[J].中国工程科学,2008,10(1):12-22.  
Fu Yibei, Xu Yunshu, Huang Wei, et al. Application of radiation techniques in the field of materials science [J]. Engineering Science, 2008, 10(1): 12-22.
- [2] 霍丽霞,周晖,桑瑞鹏,等.两种黏结润滑干膜耐 $\gamma$ 射线辐照研究[J].润滑与密封,2011,36(10):77-80.  
Huo Lixia, Zhou Hui, Sang Ruipeng, et al. Survey of Gamma radiation effects on two kinds of bonded dry film lubricants [J]. Lubrication Engineering, 2011, 36(10): 77-80.
- [3] 张立祥,黄文浩. $\gamma$ 射线辐照 PTFE 的摩擦磨损性能研究[J].实验力学,2005,20(1):151-155.  
Zhang Lixiang, Huang Wenhao. The friction and wear behaviors of  $\gamma$ -irradiated PTFE [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2005, 20(1): 151-155.
- [4] 吴高峰,刘金龙,孙建华,等. $\gamma$ 射线辐照对超高分子量聚乙烯性能的影响[J].润滑与密封,2010,35(11):53-57.  
Wu Gaofeng, Liu Jinlong, Sun Jianhua, et al. Effects of Gamma ray radiation on the properties of ultra-high molecular weight polyethylene [J]. Lubrication Engineering, 2010, 35(11): 53-57.
- [5] 田扬捷,晏乃强. $\gamma$ 射线辐射脱除油品中的硫醇[J].化学学报,2003,54(9):1279-1283.  
Tian Yangjie, Yan Naiqiang. Removal of dodecanethiol in simulated petroleum product by radiation of Gamma rays [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2003, 54(9): 1279-1283.
- [6] 张起豪,熊攀,丁鲁振.微波辐射稠油降粘机理的研究进展[J].广东化工,2013(15):76-77.  
Zhang Qihao, Xiong Pan, Ding Luzhen. Research Progress of the mechanism on viscosity reduction of the heavy oil radiated by the microwave [J]. Guangdong Chemical Industry, 2013(15): 76-77.
- [7] 王会东,韩志群,王仁安,等.不同紫外线光照条件下加氢基础油性质变化研究[J].润滑油,2003,18(1):47-50.  
Wang Huidong, Han Zhiqun, Wang Renan, et al. Research on the Variation of the composition and the physical properties of the hydro-treated lube base oils under different ultraviolet radiation conditions [J]. Lubricating Oil, 2003, 18(1): 47-50.
- [8] 汪双清,沈斌.稠油粘度与化学组成的关系[J].石油学报:石油加工,2010,26(5):795-799.  
Wang Shuangqing, Shen Bin. Correlation for the viscosity of heavy oil and its chemical composition [J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2010, 26(5): 795-799.
- [9] 汪双清,沈斌.微波作用下稠油粘度变化及其化学因素探讨[J].石油实验地质,2010,32(6):615-620.  
Wang Shuangqing, Shen Bin. Viscosity and chemical composition changes of heavy oils after microwave processing [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(6): 615-620.
- [10] 汪双清,沈斌.微波辐射对稠油化学组成的影响[J].特种油气藏,2011,18(1):109-112.  
Wang Shuangqing, Shen Bin. The impact of microwave radiation on chemical composition of heavy oil [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2011, 18(1): 109-112.
- [11] 陈玉,张秀娟,蒙猛,等.影响润滑油倾点的静电降凝理论[J].润滑油,2012,27(1):61-64.  
Chen Yu, Zhang Xiujian, Meng Meng, et al. Theory of pour point depression of lubricating oil caused by static electricity [J]. Lubricating Oil, 2012, 27(1): 61-64.
- [12] Aleksendric D, Barton D C, Vasic B. Prediction of brake friction materials recovery performance using artificial neural networks [J]. Tribology International, 2010, 43(11): 2092-2099.
- [13] 罗广恩,崔维成.金属疲劳裂纹扩展速率的贝叶斯正则化 BP 神经网络预测[J].船舶力学,2012,16(4):433-441.  
Luo Guang'en, Cui Weicheng. Prediction of fatigue crack growth rate of metal based on Bayesian regularized BP neural network [J]. Journal of Ship Mechanics, 2012, 16(4): 433-441.

(上接第 18 页)

- [9] 马玉宁.硅酸锆在半金属和无金属摩擦材料中的作用和摩擦机理研究[D].北京:北京化工大学材料科学与工程学院,2006.
- [10] 焦龙.磨料对陶瓷摩擦材料摩擦性能的影响[D].北京:北京化工大学材料科学与工程学院,2008.
- [11] 凡艳丽,吕亚非.制动摩擦材料摩擦性能的模糊综合评价[J].润滑与密封,2008,33(1):73-75.  
Fan Yanli, Lv Yafei. Fuzzy comprehensive evaluation of friction performance of brake friction materials [J]. Lubrication Engineering, 2008, 33(1): 73-75.