

文章编号: 1007-4627(2005)01-0122-03

## 射线检测管道垢厚方法的研究进展\*

丁小平, 刘圣康

(南京大学物理系, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 报告了我国开展射线检测原油管道垢厚的研究进展. 介绍了  $\gamma$  射线透射检测垢厚的基本原理、模拟实验装置及主要研究成果. 研究表明, 研制透射型测垢仪是可行的. 另外, 还给出了南京大学关于表面型中子测垢仪和  $\gamma$  射线测垢仪的初步预研结果.

**关键词:** 石油管道; 油垢厚度;  $\gamma$  透射;  $\gamma$  散射; 中子散射

**中图分类号:** O571.33 **文献标识码:** A

### 1 引言

油田内外输送原油大量采用管道. 有些原油含蜡高, 在管道内壁上会结垢, 减弱输油能力, 甚至阻塞. 结垢速度与原油成分和环境条件有关. 无法预测何时何地发生阻塞. 需要在管道外部能检测油垢的仪表. 1998 年起, 南京大学开始利用  $\gamma$  射线检测油垢的预研. 正好要开发大西北, 新疆有克拉玛依油田, 因此南京大学又与新疆大学联合, 于 1999 年向国家自然科学基金委申请《 $\gamma$  射线透射检测管道油垢的方法研究》项目, 并获得批准. 该项目已于 2002 年底结题. 2003 年起, 南京大学又开展表面型中子和表面型  $\gamma$  射线测垢方法的预研.

### 2 $\gamma$ 射线透射检测垢厚的预研实验<sup>[1]</sup>

#### 2.1 原理

当一束准直的  $\gamma$  射线透过油垢时, 它的强度会被减弱, 其衰减规律为

$$N = N_0 \beta \exp \left[ - \left( \frac{\mu}{\rho} \right) D \rho \right], \quad (1)$$

$$\text{或 } Y = A + BD, \quad (2)$$

式中,  $N_0$  和  $N$  分别为无油垢和有油垢时  $\gamma$  探测器的计数率,  $\mu/\rho$  为油垢的质量减弱系数,  $\mu$  为线性减弱系数,  $\rho$  为油垢密度,  $D$  为油垢厚度,  $\beta$  为修正因子.  $Y = \ln N$ ,  $A = \ln N_0 + \ln \beta$ ,  $B = -\mu$ . 通过实验标

定可以确定  $A$  和  $B$  两个常数. 因此只要测得计数  $N$  就可以得到垢厚  $D$  了.

#### 2.2 模拟实验和结果

模拟实验装置见图 1. 典型的模拟实验仿管道直径为 160 mm, 壁厚为 5 mm. 采用  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  源, 活度为  $1.48 \times 10^8$  Bq, 圆柱体状. 源的铅屏蔽体为圆柱体形, 外径为 8 cm, 长度为 8 cm. 准直孔直径为 1 cm, Cs 源位于屏蔽体中心. 探头采用 NaI(Tl) 晶体. 由于油垢的主要成分与石蜡相似, 因此采用石蜡代替油垢. 管壁用铁板代替.

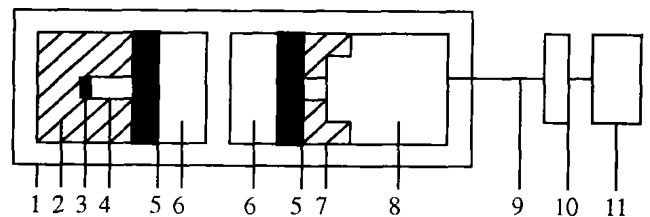


图 1 模拟实验装置(俯视图)

1 装置支架, 2 铅屏蔽准直体, 3  $\gamma$  源, 4 准直孔, 5 仿管壁(铁板), 6 油垢, 7 铅准直体, 8  $\gamma$  探头, 9 电缆, 10 电源与放大器, 11 多道谱仪.

将实验测得的康普顿效应计数率  $N_C$  ( $\text{min}^{-1}$ )、光电效应的计数率  $N_P$  ( $\text{min}^{-1}$ ) 和全谱的计数率  $N_T$  ( $\text{min}^{-1}$ ), 分别按  $Y = \ln N$  算出康谱、光谱及全谱的  $Y_C$ ,  $Y_P$  和  $Y_T$  值. 再对数据进行  $Y = A + BD$  线性拟合, 拟合结果见表 1. 表中,  $R$  为线性相关系数,

收稿日期: 2004 - 08 - 31

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19965001)

作者简介: 丁小平(1965-), 男(汉族), 江苏秦兴人, 副教授, 博士, 从事核技术及应用研究; E-mail: dingxp@nju.edu.cn

$SD$  为  $Y$  值的标准差,  $SD/B$  (其中  $B$  取绝对值) 为油垢厚度的准确度. 由表 1 的拟合结果可见, 对于  $\phi 160$  mm 管道, 利用光谱和康谱测垢的准确度均好, 但用全谱测垢的精度则很差.

由于油田的石油管道有的埋在地下, 有的架在地上. 管道外还加保温层. 需要深入研究才能开发管道油垢测厚仪表.

表 1  $\gamma$  射线透射法的典型实验数据的线性拟合结果

谱区	A	$B/\text{mm}^{-1}$	R	SD	$SD/B$ /mm
T	14.025 9	0.000 06	0.498 5	0.001 94	32.33
C	13.372 1	0.003 39	0.998 5	0.003 36	0.99
P	13.294 8	-0.004 13	-0.999 0	0.003 40	0.82

### 3 装置开发研究的主要结果

主要成果有 6 点: (1) 采用图 1 的装置,  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{60}\text{Co}$  不同  $\gamma$  射线源均可测仿油垢 (石蜡) 的厚度<sup>[1, 2]</sup>; (2) 实验证明用石蜡仿油垢研究是可行的<sup>[2]</sup>. 采用图 1 的装置, 用新疆克拉玛依油田提供的实际油垢样与石蜡仿油垢样进行对比实验, 结果表明: 油垢石蜡的响应直线均有很好的线性关系. 线性减弱系数  $\mu$ , 油垢的大于石蜡的, 因油垢中还有沥青和无机盐.  $\Delta\mu/\mu=4.74\%$ , 可见油垢的厚度响应比石蜡更灵敏. 由实验结果算出  $\beta=1.004 6$ , 因此在  $0.46\%$  误差范围内,  $\beta=1$ . 表明图 1 所示的模拟实验装置的准直系统是比较好的; (3) 在图 1 的实验装置中, 采用 BH1224 微机多道谱仪所显示的幅度谱, 对其中的康普顿谱 (C 谱)、光电峰谱 (P 谱) 和全谱 (T 谱) 的油垢厚度响应<sup>[3]</sup> 进行研究, 结论是在好的准直条件下, C, P 和 T 谱均可用来测垢厚; (4) 管道腐蚀对测油垢厚度响应是有影响的, 但其影响是有规律的. 将管道加热使油垢熔化后, 放掉该管段油, 可以用测垢仪测其腐蚀后管壁的实际厚度, 因而用软件可以修正油垢响应关系; (5) 在实际测垢时要考虑到仪表重量, 要去掉  $\gamma$  探测器的准直器. 所以研究了宽束对  $\gamma$  透射测垢厚响应的影响. 研究表明: 在宽束条件下, 各种直径管道的光谱区响应的斜率仍是负的, 而康谱区响应的斜率是正的, 因此用全谱测垢是不灵敏了; (6) 在图 1 装置上, 管壁两侧都加了保温层, 研究管道保温层对测垢响应的影响. 实验结果显示: 有无保温层,

两条垢厚响应直线斜率的相对偏差为  $1.28\%$ . 计数的相对偏差为  $1.62\%$ . 而该实验的测量误差为  $3\%$ . 因此, 保温层对测垢影响不大.

## 4 目前正在预研的情况

鉴于大部分石油管道埋在地下, 用透射型测垢仪, 开挖土方工作量很大, 使用很不方便. 南京大学正在开展表面型测垢仪的预研工作.

### 4.1 表面型 $\gamma$ 射线测垢方法<sup>[4]</sup>

利用准直的射线束透射铁板 (仿管道) 和石蜡板 (仿油垢) 反射到  $\gamma$  源附近, 准直的  $\gamma$  探测器上, 初步实验结果显示探测器的  $\gamma$  射线的康谱顿计数与石蜡厚度有关, 而且响应直线有很好的线性关系 (见表 2 和图 2). 研制表面型  $\gamma$  射线测垢仪是可行的.

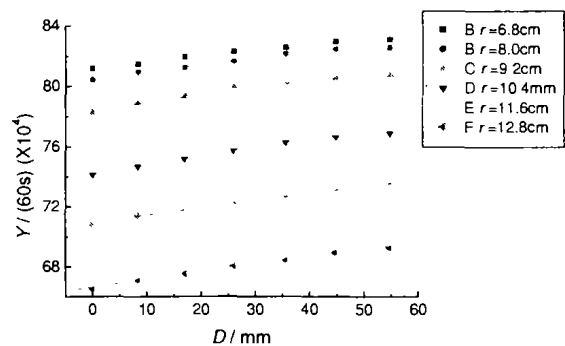


图 2 在不同的源和探测器距离下  $\gamma$  射线散射幅度谱对石蜡厚度的响应

表 2  $\gamma$  射线散射法的典型实验数据的线性拟合结果

图号	A	$B/\text{mm}^{-1}$	R	SD	$SD/B$ /mm
B	812 470	353.671	0.991 3	1 011.20	2.86
C	805 545	394.529	0.988 7	1 287.22	3.26
D	784 876	453.655	0.980 4	1 967.26	4.34
E	742 823	509.948	0.990 4	1 534.96	3.01
F	709 709	472.118	0.987 1	1 631.64	3.46
G	666 488	499.926	0.996 4	922.09	1.844

### 4.2 表面型中子测垢方法<sup>[5]</sup>

利用快中子源发射的快中子入射石蜡板, 用热中子探测器记录经石蜡慢化后反射回来的热中子. 其初步实验结果显示计数率与石蜡厚度有关, 中子散射幅度谱的响应直线有很好的线性关系 (见表 3 和图 3). 研制表面型中子测垢仪是可行的.

表 3 中子散射法的典型实验数据的线性拟合结果

图号	A	B /mm <sup>-1</sup>	R	SD	SD/B /mm
B	23 308	267.9	0.992 2	724	2.7
C	18 199	297.8	0.993 5	735	2.47
D	11 450	274.5	0.994 1	648	2.36
E	6 081	138.0	0.991 2	398	2.88

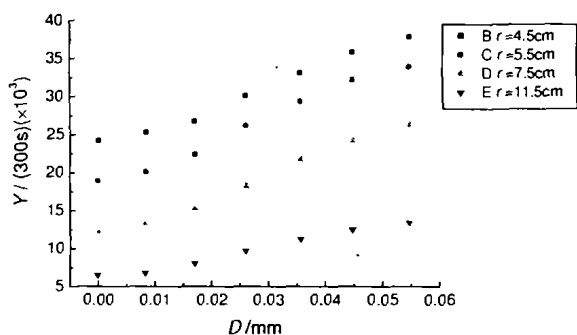


图 3 在不同的源和探测器距离下中子散射幅度谱对石蜡厚度的响应

参 考 文 献:

[1] 王世亨, 刘圣康. 新疆大学学报(自然科学版), 2002, 19(1): 9.  
 [2] 王世亨, 刘圣康. 原子能科学技术, 2002, (6): 535.  
 [3] 刘圣康, 张治平, 郭大男等. 核技术, 2003, 20(8): 595.  
 [4] 丁杰, 丁小平, 刘圣康.  $\gamma$  散射法测量石蜡厚度研究, 第七届全国中子计学术会议论文集, 2004.  
 [5] 时飞跃, 张治平, 刘圣康. 中子散射幅度谱研究石蜡厚度的响应. 第七届全国中子计学术会议论文集, 2004.

4.3 结束语

用  $\gamma$  射线透射幅度谱研究管道油垢和石蜡仿油垢厚度的响应表明: 在响应的对数与油垢厚度间存在很好的线性关系, 油垢的测量精度在 mm 量级. 在研究中还发现, 管道腐蚀、管道保温层和宽束对测油垢厚度响应分别有一定的影响, 但该影响有一定规律或在实验测量的误差范围内. 因此, 研制透射型测垢仪在技术上是完全可行的.

另外, 南京大学用  $\gamma$  射线散射幅度谱和用中子散射幅度谱分别研究管道石蜡仿油垢厚度响应的最新预研工作表明: 在不同的源和探测器距离下,  $\gamma$  射线的康谱顿计数或锂玻璃热中子探测器的计数均与石蜡厚度有关, 而且响应直线有很好的线性关系. 这为研制表面型  $\gamma$  射线测垢仪和表面型中子测垢仪提供了可行性依据. 但是还需结合实际管道情况等进一步的详细研究.

## Status of Study on Measurement of Grease Stain Thickness in Petroleum Pipeline by Gamma and Neutron Rays\*

DING Xiao-ping, LIU Sheng-kang

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Status of the study on the measurement of grease stain thickness in petroleum pipeline by gamma and neutron rays is reported. The basic theory, test experiment system and main results for the  $\gamma$ -ray transmission method are discussed. The study shows the possibility to design a  $\gamma$ -ray transmission device in technique. In addition, the preliminary experiment results for the  $\gamma$ -ray surface scattering method and neutron surface scattering method in the measurement of grease stain thickness in petroleum pipeline are also presented.

**Key words:** petroleum pipeline; grease stain thickness;  $\gamma$ -ray transmission;  $\gamma$ -ray scattering; neutron scattering

\* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(19965001)