

用 γ 射线透射幅度谱研究管道油垢厚度的响应

刘圣康¹ 张治平¹ 郭大永¹ 王世亨²

1 (南京大学物理系 南京 210093)

2 (新疆大学物理系 乌鲁木齐 830046)

摘要 用 γ 射线透射幅度谱研究石油管道内油垢厚度响应的模拟实验装置由 ^{137}Cs γ 射线的准直束与准直的NaI(Tl)探测器组成。模拟装置使用了BH1224型多道谱仪,油垢样品来自新疆。实验结果表明:在响应的对数与油垢厚度间存在很好的线性关系;油垢的测量精度为0.19cm。

关键词 石油管道,油垢厚度, γ 射线,透射,幅度谱

中图分类号 O571.323

油田内外输送原油大量采用管道。对于一些含蜡高的原油,在输送过程中会在管道内壁形成油垢,而且会愈积愈厚,减弱管道输油能力,甚至产生阻塞。输油管道的结垢速度与原油的成分以及环境温度等因素有关。由于很难预测何时何地的管道会被堵塞,而用破坏法来观察管道的结垢情况又是不现实的,因此,急需研制在管道外部能检测油垢的仪表。因超声法和微波法无法使用,我们想用 γ 射线透射法来测垢厚。理论上我们已作过探讨^[1],在实验上我们用石蜡代替油垢也已作过模拟研究^[2]。本文利用微机多道谱仪,对测垢方法进行了详细的实验研究。

1 原理

当一束准直的 γ 射线透过油垢时,它的强度会被减弱,其衰减规律为

$$N = N_0 \beta \exp[-(\mu/\rho)D\rho] \quad (1)$$

式中, N_0 为没有油垢时的 γ 射线束强度, N 为透过厚度为 D 的油垢后的 γ 射线束强度, μ 为线性减弱系数, ρ 为油垢密度, D 为油垢厚度, β 为修正因子。在实际测量时,因探测器的探测效率为常数, N 和 N_0 可以用计数率来表示。如果已知 μ 、 ρ 和 β ,则只要测出 N 和 N_0 就可以根据(1)式确定油垢厚度 D 。对于已知化学成分的油垢,可以从文献[3]中查到元素的质量减弱系数(μ/ρ),进而计算出油垢的质量减弱系数(μ/ρ)。可是 β 很复杂,它与测量装置和油垢厚度有关。在理想的测量条件下,当油垢样品很薄时,则 $\beta=1$,此时

$$D = (\ln N_0 - \ln N) / \mu \quad (2)$$

实际上 $\beta \neq 1$, (1)式可以写成

$$Y = A + BD \quad (3)$$

式中, $Y = \ln N$, $A = \ln N_0 + \ln \beta$, $B = -\mu$ 。通过实验标定可以确定 A 和 B 两个常数,从而可以根据测得的计数率 N 求出垢厚 D 。

2 实验方法

2.1 实验装置

实验室的模拟管道装置见图1。模拟管道的外径为22cm,壁厚0.6cm。管道以铁板代替,油垢是克拉玛依油田提供的。将油垢加工成8cm×8cm×1cm的方块。标定实验时,根据叠加的块数来确定油垢的厚度 $D(\text{cm})$ 。

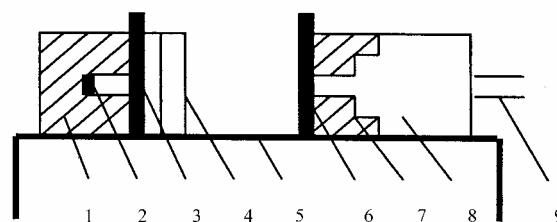


图1 模拟管道装置

1. 铅准直体, 2. ^{137}Cs γ 源, 3. 铁板, 4. 油垢样品,
5. 装置支架, 6. 铁板, 7. 铅准直体, 8. NaI(Tl) γ 探头, 9. 电缆

Fig.1 Simulator of pipeline

1. Pb collimator, 2. ^{137}Cs γ source, 3. Fe plate, 4. Grease stain sample,
5. Support of device, 6. Fe plate, 7. Pb collimator,
8. NaI(Tl) γ detector, 9. Cable

国家自然科学基金(19965001)资助

第一作者:刘圣康,男,1930年出生,1955年毕业于南京大学,物理专业,教授

收稿日期:2002-03-28,修回日期:2002-04-28

本装置所用的 γ 源为 ^{137}Cs ,活度为 $1.48\times 10^8\text{Bq}$,圆柱体状,源的铅屏蔽体的直径为8 cm,厚度为8 cm。 γ 探头采用碘化钠探头,碘化钠晶体的铅屏蔽体的直径为8 cm,厚度为6 cm。

本装置采用北京核仪器厂生产的BH1224型微机多道一体化能谱仪。由探头输出的讯号经线性放大后输入谱仪。

2.2 实验方法

实际上在管道内壁上处处都可能存在油垢,而且垢厚不一定均匀。因而在标定实验时,必需进行两次实验。第一次,油垢安放在靠 γ 源一边的铁板内,油垢从1块、2块、...逐次增加到20块。第二次,油垢安放在探头一边的铁板内,也是从1块增加到20块止。

每次测量的 γ 幅度谱,要分开为康普顿效应和光电效应两个区,关键是选定谷的道。本次实验中谷道选定为445道。从0到444道的总面积代表康普顿效应的计数率 $N(\text{min}^{-1})$,从445—1023道的总面积代表光电效应的计数率 $N(\text{min}^{-1})$ 。

3 结果和讨论

3.1 标定结果

标定实验的数据按线性关系 $Y=A+Bx$ 进行拟合,式中, $Y=\ln N$, $x=D(\text{cm})$,拟合结果见表1。表1中,拟合组a代表样品放在放射源一边,b代表样品放在探测器一边,c代表对a和b两次测量值的平均值进行拟合。谱区T代表全谱,C代表康普顿,P代表光电峰。拟合曲线及其数据点见图2。

从表1所列9条曲线的拟合结果可见,它们的线性关系系数都接近1,原则上都可以用作测油垢厚度。但是从测垢的灵敏度 B 来看,源边a与探头边b差异很大,而平均值c则在它们两者之间。由图2可见,(1)利用康普顿效应测量油垢厚度时油垢在源边标定的响应呈向上弧形(曲线2);在探头边标定的响应明显呈向下的弧形(曲线5);平均值的响应也呈向下的弧形(曲线8),但线性比较好了;(2)利用光电效应测量时,油垢在源边,响应与康普顿相反,略呈向下弧形(曲线3);(3)利用全谱测量响应的线性关系均较好(曲线1、4、7)。

表 1 标定实验数据的线性拟合结果

Table 1 Linear fitting results of calibration test data

拟合组 Fitting group	谱区 Spectral range	曲线 Curve	$Y=A+Bx$				
			A	B $/\text{cm}^{-1}$	线性相关系数 Linear correlation coefficient	标准偏差 Standard deviation	厚度准确度 Thickness accuracy $/\text{cm}$
a	T	1	14.835	-0.0295	-0.9998	0.0039	0.13
	C	2	14.475	-0.0253	-0.9992	0.0060	0.24
	P	3	13.648	-0.0409	-0.9992	0.0103	0.25
b	T	4	14.852	-0.0274	-0.9985	0.0093	0.34
	C	5	14.506	-0.0226	-0.9961	0.0122	0.54
	P	6	13.634	-0.0417	-0.9997	0.0059	0.14
c	T	7	14.844	-0.0284	-0.9997	0.0044	0.16
	C	8	14.490	-0.0239	-0.9995	0.0046	0.19
	P	9	13.640	-0.0413	-0.9996	0.0076	0.18

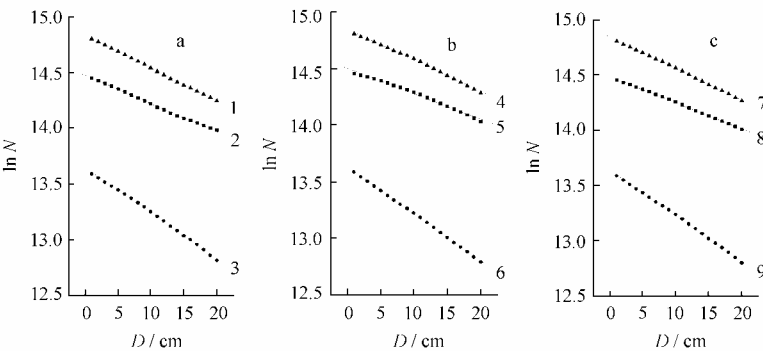


图 2 标定数据及拟合曲线

Fig.2 Calibration data and their fitting curve

考虑到实际测量时，两边都可能有油垢，因此建议采用平均值的全谱来测油垢。

3.2 实验考核

为了验证利用全谱标定的平均值拟合直线来测量油垢厚度的可信性，还进行了实验考核。考核的实验数据列于表 2。表 2 中样品厚度 D 是由 D_1 和 D_2 两部分组成的， D_1 为样品在源边的厚度， D_2 为样品在探头边的厚度。对表中 10 点的统计，垢厚测量误差为 0.19cm。

表 2 考核实验数据

Table 2 Data of the check experiments

样品厚度 Sample thickness $D_1+D_2=D$ / cm	全谱 Total spectrum / min^{-1}	$\ln N$	计算厚度 Calculated thickness / cm	误差 Error / cm
1+1=2	2614714	14.7759	2.39	0.39
2+2=4	2492508	14.7288	4.05	0.05
3+3=6	2374506	14.6803	5.75	-0.25
4+4=8	2246311	14.6248	7.70	-0.30
5+5=10	2101370	14.5581	10.05	0.05
6+6=12	2002887	14.5101	11.74	-0.26
7+7=14	1890591	14.4524	13.77	-0.23
8+8=16	1784234	14.3945	15.80	-0.20
9+9=18	1675463	14.3316	18.01	0.01
10+10=20	1578681	14.2721	20.11	0.11

实验结果表明，用 γ 射线透射法测量管道油垢厚度的方法是可行的。在实际测量油垢时，由于管道直径、管壁厚度和油垢成分等都会影响标定曲线，因此将来对测垢仪必需进行实际标定。

参考文献

1 王世亨, 刘圣康. 新疆大学学报 (自然科学版), 2000, 17(4): 22—29

WANG Shiheng , LIU Shengkang. J Xinjiang University (Natural sciences), 2000, 17(4): 22—29

2 王世亨, 刘圣康. 新疆大学学报 (自然科学版), 2002, 19(1): 9—12

WANG Shiheng, LIU Shengkang. J Xinjiang University (Natural sciences), 2002, 19(1): 9—12

3 Hubeell J H. J Appl Radiat Isot, 1982, 33: 1269—1290

Study on response of grease stain thickness in petroleum pipeline
using amplitude spectrum of transmitted γ -ray

LIU Shengkang ZHANG Zhiping GUO Dayong
(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093)
WANG Shiheng
(Department of Physics, Xinjiang University, Urumqi 830046)

Abstract The response of the grease stain thickness in petroleum pipelines using the amplitude spectrum of the transmitted γ -ray was studied. The simulated experimental device consists of a collimating beam of ^{137}Cs γ -ray and a collimating NaI(Tl)scintillation detector. The BH1224 multichannel spectrometer was used in the simulated experiment. The grease stain sample was from Xinjiang. The experimental result exhibited a very good linear relationship between the logarithm of the response and the grease stain thickness. The measuring accuracy of the grease stain thickness was 0.19 cm.

Key words Petroleum pipeline, Grease stain thickness, γ -ray, Transmission, Amplitude spectrum

CLC O571.323