

磁性分离技术中的微粒分析仪试验

陈 又 玲^①

(机械工程学院)

摘 要 利用磁性分离的作用原理,对微粒分析仪的性能和使用效果进行了实验室评定。试验结果表明:微粒分析仪的性能稳定,完全能满足机器故障诊断的技术要求;磁性分离技术不失为机器故障诊断的一种有效方法。

关键词 磁性分离;微粒分析仪;准确性;重复性;重现性

中图分类号 TH117.1

Test of Wear Debris Analyser in Magnetic Separation

Chen Youling

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract The performance and measuring effects of wear debris analyser are evaluated based on the principles of magnetic separation at laboratory. The test results show that wear debris analyser has stable characteristics and can fully meet the technique requirements in mechanical fault diagnosis and magnetic separation technique is an effective method for mechanical fault diagnosis.

Key words magnetic separation; wear debris analyser; precision; reproducibility; repeatability

近 20 多年来,科技工作者进行了许多技术尝试,用油样分析的方法判断油样中磨损微粒的浓度和特征,来监视机器的工况。磁性分离是利用“磁性”分离出油中磁性物质的一种技术。这种技术的应用在逐渐扩大,技术本身也在不断发展和完善。

1 作用原理与分析仪

磁性微粒在磁场中受到磁力、微粒之间的引力或斥力,以及阻抗力(重力、摩擦力和液体粘性力等)这几种力的作用,其结果将铁磁性物质分离出来。微粒分析仪就是利用高梯度磁场,使油中的磨损颗粒克服了重力、液体粘性力和微粒间的作用力而被分离出来,然后通过检测装置确定微粒的浓度和成分。

收稿日期:1996-03-21

①陈又玲,北京清华东路 17 号中国农业大学(东校区)42 信箱,100083

文[1,2]作者的研究结果表明:磁力与微粒半径的二次方成正比,重力与微粒半径的三次方成正比,液体粘性力与微粒半径成正比;微粒尺寸较大时,重力的影响占优势,相反,液体粘性力起主要阻力作用。磁性分离装置就是根据这一结论选材和设计的。

磨损微粒分析仪是一种利用磁性分离技术,将铁磁性物质从油液中分离出来的仪器,具有测量准确、灵敏度高(10^{-7})和测量范围大($1\sim 100\ \mu\text{m}$)等优点。其工作原理见文[3]。

仪器的捕获率与微粒的直径有关。假设微粒直径为 $D(95)$,它表示当油液以 $2\ \text{滴}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度通过过滤器时捕获率达到 95% 的微粒直径。4 种过滤器所对应的微粒直径如下^[3]:

| 过滤器 | $D(95)/\mu\text{m}$ | 过滤器 | $D(95)/\mu\text{m}$ |
|-------|---------------------|-------|---------------------|
| FION1 | 0.5 | FION3 | 10 |
| FION2 | 2.0 | FION4 | 1 |

不同尺寸的磁性纤维和不同油液粘度,对应着不同的微粒直径 $D(95)$ 。其对应关系列于表 1^[3]。

表 1 纤维直径 d 、油液粘度 η 与微粒直径 $D(95)/\mu\text{m}$ 的对应关系 μm

| $d/\mu\text{m}$ | $\eta/\text{mPa}\cdot\text{s}$ | | | |
|-----------------|--------------------------------|-----|------|------|
| | 1 | 3 | 10 | 20 |
| 20 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 1.1 |
| 50 | 0.9 | 1.5 | 2.7 | 4.7 |
| 128 | 5.2 | 8.9 | 16.0 | 28.0 |

2 磨损微粒分析仪的实验室评定

通过试验对仪器的准确性、重复性和重现性进行技术评定。数据统计值包括平均值 \bar{x} 、标准差 S 和变异系数 ν 。

2.1 准确性与重复性试验(第 1 组试验)

在纯净油 5606 中加入标准铁粉 C(直径 $0\sim 25\ \mu\text{m}$),分别以质量浓度 $\rho(\text{Fe})=100, 200, 300\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标准配制试样。选用 3 种过滤器(FION1, FION2 和 FION3)分别试验,测量范围为 $30\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,油样体积为 $15\ \text{cm}^3$ 。

试验结果如表 2(a, b, c)所示,表中微粒含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为分析仪测量结果,微粒质量/ mg 为称重法测量结果。由表 2 可以看出,分析仪测量结果与称重法所得数据的变化趋势是一致的。过滤器不同时,尽管微粒含量不同,但任何一种过滤器所测数据的变异系数都比称重法的小。其中 FION3 型过滤器试验数据的重复性好而且准确,在各种微粒含量下的变异系数均低于另外 2 种过滤器。

2.2 仪器对非磁性物质的敏感度(第 2 组试验)

在这组试验中,为模拟机器中流体系统的实际工况,试样的制备仍以 5606 纯净油为基体,其中加入不同量的标准铁粉和非磁性材料。试样 I, II, III 是在 $100\ \text{mL}$ 油中分别加入 1, 2, 3 mg 的标准铁粉和非磁性材料制备而成。选用 FION3 型过滤器。试验结果如表 3 所示。可以看出微粒分析仪对非磁性材料不灵敏,试验中非磁性材料对试验结果影响不大。

表 2(a) 第 1 组试验结果(FION1)

| 序号 | $\rho(\text{Fe})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|
| | 100 | | 200 | | 300 | |
| | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg |
| 1 | 7.6 | 1.07 | 14.0 | 2.54 | 17.9 | 3.23 |
| 2 | 6.0 | 1.64 | 14.1 | 2.04 | 19.2 | 3.20 |
| 3 | 7.2 | 1.10 | 12.0 | 2.71 | 17.2 | 2.84 |
| 4 | 8.8 | 1.04 | 14.8 | 2.38 | 20.8 | 3.21 |
| 5 | 8.1 | 1.13 | 14.3 | 2.25 | 19.9 | 3.15 |
| 6 | 8.4 | | 13.9 | | 20.4 | |
| 7 | 8.1 | | 14.8 | | 22.0 | |
| 8 | 7.4 | | 15.4 | | 23.2 | |
| 9 | 7.9 | | 14.4 | | 21.5 | |
| 10 | 8.8 | | 15.0 | | 20.6 | |
| \bar{x} | 7.83 | 1.20 | 14.27 | 2.38 | 20.27 | 3.12 |
| S | 0.83 | 0.25 | 0.92 | 0.25 | 1.82 | 0.16 |
| $\nu/\%$ | 10.6 | 20.6 | 6.44 | 10.5 | 8.97 | 5.1 |

表 2(b) 第 1 组试验结果(FION2)

| 序号 | $\rho(\text{Fe})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|
| | 100 | | 200 | | 300 | |
| | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg | 微粒含量 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 /mg |
| 1 | 6.4 | 1.18 | 13.7 | 1.77 | 18.4 | 3.42 |
| 2 | 6.5 | 0.96 | 12.4 | 1.62 | 19.6 | 3.04 |
| 3 | 6.6 | 0.94 | 13.6 | 1.64 | 19.8 | 3.69 |
| 4 | 6.8 | 0.85 | 14.2 | 1.53 | 19.8 | 1.81 |
| 5 | 4.9 | 0.91 | 13.1 | 0.98 | 18.3 | 1.92 |
| 6 | 6.3 | | 12.7 | | 19.4 | |
| 7 | 7.0 | | 13.8 | | 22.2 | |
| 8 | 6.8 | | 15.0 | | 20.8 | |
| 9 | 7.1 | | 13.0 | | 19.1 | |
| 10 | 6.9 | | 14.1 | | 18.4 | |
| \bar{x} | 6.53 | 0.96 | 13.56 | 1.50 | 19.58 | 2.77 |
| S | 0.629 | 0.12 | 0.779 | 0.30 | 1.200 | 0.86 |
| $\nu/\%$ | 9.63 | 12.5 | 5.74 | 20.00 | 6.12 | 31.00 |

2.3 重现性评定

采用同一种油样,由甲、乙、丙 3 位试验者做试验,结果见表 4。可以看出,变异系数 ν 均不超过 7%,说明重现性较好。

表 2(c) 第 2 组试验结果(FION3)

| 序号 | $\rho(\text{Fe})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| | 100 | | 200 | | 300 | |
| | 微粒含量 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 $/\text{mg}$ | 微粒含量 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 $/\text{mg}$ | 微粒含量 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 微粒质量 $/\text{mg}$ |
| 1 | 11.8 | 1.18 | 23.1 | 2.09 | 35.1 | 3.53 |
| 2 | 13.1 | 1.36 | 23.2 | 2.33 | 31.8 | 3.02 |
| 3 | 11.9 | 1.22 | 23.1 | 2.24 | 33.1 | 3.31 |
| 4 | 11.7 | 1.20 | 21.0 | 1.95 | 28.6 | 2.90 |
| 5 | 11.8 | | 19.6 | | 30.0 | |
| 6 | 11.4 | | 19.2 | | 31.6 | |
| 7 | 11.0 | | 21.9 | | 31.9 | |
| \bar{x} | 11.81 | 1.24 | 21.58 | 2.15 | 31.72 | 3.19 |
| S | 0.646 | 0.08 | 1.696 | 0.16 | 2.08 | 0.28 |
| $\nu/\%$ | 5.46 | 6.4 | 7.85 | 7.4 | 6.5 | 8.7 |

表 3 仪器对非磁性物质敏感度的试验结果

| 序号 | $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | | |
|-----------|--------------------------------|-------|--------|
| | 试样 I | 试样 II | 试样 III |
| 1 | 1.48 | 2.25 | 3.17 |
| 2 | 1.28 | 2.41 | 3.35 |
| 3 | 1.30 | 2.31 | 3.43 |
| \bar{x} | 1.35 | 2.32 | 3.32 |
| S | 0.11 | 0.08 | 0.13 |
| $\nu/\%$ | 8.15 | 3.40 | 3.90 |

表 4 重现性试验结果

| 试验者 | 序 号 | | | | | | | | $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | \bar{x} | S | $\nu/\%$ |
| 甲 | 7.0 | 7.6 | 8.1 | 8.3 | 7.6 | 7.4 | 7.5 | 7.1 | 7.58 | 0.446 | 5.89 |
| 乙 | 7.7 | 7.9 | 8.0 | 7.4 | 7.9 | 8.5 | 8.7 | 7.6 | 7.96 | 0.440 | 5.53 |
| 丙 | 7.4 | 6.8 | 7.0 | 7.5 | 8.1 | 7.1 | 6.6 | 7.2 | 7.20 | 0.464 | 6.45 |

3 结束语

磁性分离是监测机器运行工况的一种有效方法。微粒分析仪可用来快速测定油中铁磁性物质的质量浓度,实验室评定结果表明它具有较高的准确性、较好的重现性和较稳定的重复性。FION3 型过滤器的综合性能较好。由试验结果发现,捕获的铁磁性物质的多少与油样所含的铁粉量呈直线关系。微粒分析仪适用于机器磨合、油液污染、添加剂性能等方面的分析与研究。

参 考 文 献

- 1 Obertevffer J A. Magnete separation. Trans on Magenetics, 1976,10:223
- 2 Obertevffer J A. A review of principles, devices, and applications. Trans on Magenetics, 1974, MAG-10 (2):227