润滑油分析检测数据在发动机检修维护中的应用

杨再云 李文有 杨绍辉 陶玄 (云南华联锌铟股份有限公司 云南 文山 663701)

摘要:发动机系统在工作过程中,由于系统磨损以及外界污染物的影响,将会导致润滑油中不同参数指标的变化。对润滑油中的微量元素、运动黏度、水分、酸碱值以及污染度等指标进行检测,能够对发动机健康状态进行有效监控和指导发动机维修。本文对国内外相关的主要检测方法进行总结,并对某个润滑油试样进行检测,通过检测数据对发动机的健康状态进行评价。检测结果表明:该汽车系统中含铜类摩擦件,如青铜轴承、铜止推环、含铜瓦片等可能存在异常磨损,需要进行相关维护;该系统中润滑油达到了换油标准。

关键词: 润滑油; 分析检测; 发动机检修

0 引言

通过对润滑油进行各项数据检测, 然后对数据进行 分析,不仅可以对发动机的健康状态进行评价,还可以 针对其状态提出维修措施。随着现代检测技术的发展, 润滑油检测技术在发动机检修维护中已经广泛应用。众 多学者对润滑油分析检测数据在发动机检修维护中的应 用展开大量研究, Bernd Eckerd 根据润滑油中的发动机 磨损元素含量和磨损增量的变化, 对发动机的检修状态 进行评估,并针对不同状态提出相应的解决措施;鲁湘 湘以矿业汽车为研究对象,对铁谱检测法在发动机的磨 损颗粒检测方法进行详细介绍,并根据检测结果对发动 机状态进行评估,并对发动机进行故障诊断;王宝有基 于矿用汽车发动机润滑油状态的监测数据, 对汽车发动 机的磨损规律和磨损机理进行研究,并根据磨损元素浓 度对发动机的状态进行评估,通过数学方法对发动机的 未来运行状态进行预测; 阎岩等以矿用汽车发动机的润 滑系统保养周期为研究对象,根据润滑油不同的指标参

含量进行分析,对发动机的健康状态进评估,并针对可能出现的故障进行分析,提出维修保养措施。

1 润滑油分析检测

1.1 微量元素检测

微量元素检测是润滑油的一个重要指标,通过对润滑油中的元素的检测数据能够对发动机的健康状态进行评估。为了对发动机磨损情况进行评估,首先得润滑油中不同微量元素的来源进行分析,微量元素的来源主要有三个方面:一是机械磨损和腐蚀,由于机械在工作过程会产生摩擦以及会受到一定的腐蚀作用,进而导致润滑油中微量元素的增加;二是添加剂,油品添加剂被油品单位用来增加润滑油的使用效果,其中会包含一定量的微量元素,这也是润滑油微量元素的重要来源;三是污染物,其中包括空气中的油污,以及机械系统修理后产生的杂质。参考有关文献以及部分润滑油公司相关资料了解到,润滑油中不同微量元素的来源主要如表1所示。

表 1 发动机润滑油不同元素主要来源

	以 · 及初加品值品 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							
检测 元素	来源	检测 元素	来源	检测 元素	来源			
Fe	来自于钢铁类摩擦副,如钢 套、齿轮等	Ba	来自于油品添加剂	V	来自于重油(催化剂残留物)			
Cu	来自于含铜类摩擦副,如青 铜轴承、铜止推环等	Ni	来自于油品中含钼添加剂, 如 MoS2	В	来自于冷却水处理 剂			
Cr	来自于镀铬摩擦副,如活塞 环	Ag	来自于含银摩擦副,如银合 金轴承等	Р	来自于油品添加剂			
Pb	来自于含铅类摩擦副,如铅 锡合金轴承等	Ca	来自于油品添加剂	Мо	来自于油品中含钼添加剂,如 MoS ₂			
Sn	来自于含锡类摩擦副,如铅 锡合金轴承等	Si	来自于空气中的尘埃和油中 的消泡剂	Mg	来自于油品添加剂			
Al	来自于铝合金摩擦副,如铝 活塞	Na	来自于油品添加剂中的钠盐, 或冷却水中处理剂	Zn	来自于油品添加剂			

1.2 运动黏度检测

运动黏度是液体在重力作用下流动时内摩擦力的量 度。其值为相同温度下液体的动力黏度与其密度之比。 在国际单位制(SI)中,运动黏度的单位以 m²/s 表示。 通常使用的单位为 mm²/s。润滑油黏度对润滑油的使用 具有重要的影响, 其值不能太大, 也不能太小。通过润 滑油运动黏度对汽车的保养周期进行确定由于汽车生产 厂家不同的而会有所不同。美国三大家柴油机公司推荐 的通过润滑油运动黏度对汽车的保养周期如表 2 所示。

参考我国的汽油机油换油指标 表 2 美国三家柴油机公司润滑系统保养运动黏度指标 (GB/T 8028-2010), 其中对于汽 车的保养周期运动黏度指标如 表 3 所示。

1.3 水分

当润滑油中的水分升高时, 将会导致润滑油的使用质量发 生明显改变。对润滑油中的含水 率进行检测对润滑油的质量控 制具有重要的意义。参考我国的 表 4 GB/T 8028-2010 汽车保养周期含水率指标 汽油机油换油指标 (GB/T 8028-2010),其中对于汽车的保养周期 含水率指标如表 4 所示。

1.4 酸碱值

酸值是指中和1g试样中 全部酸性组分所需要的碱量 (KOH),以 mg (KOH)/g 表示。 碱值是指中和 1g 试样中全部碱 性组分所需要的酸量, 换算为 等量的碱量,以mg(KOH)/g 表示。对润滑油中的酸碱值进 行测量能够对发动机的状态进 行评估,对于在用油,酸值表 示氧化变质的程度。在用油碱 值的变化, 可以表示油中碱性 添加剂的消耗和油品性能的下 降。润滑油中的酸碱值是影响 润滑油使用性能的一个重要指 标, 当酸碱值变化时, 将会导 致润滑油的使用质量发生明 显改变。对润滑油中的酸碱 值进行检测对润滑油的质量控 制具有重要的意义。参考我国 的汽油机油换油指标 (GB/T 8028-2010), 其中对于汽车的 保养周期酸值变化指标如表5 所示。

1.5 污染度

润滑油中的污染度是影响润滑油使用性能的一个重 要指标。当污染度增加时,将会导致润滑油的使用质量 发生明显改变。对润滑油中的污染度进行检测对润滑油 的质量控制具有重要意义。该项指标是指导选油、换油 的重要依据。国际标准化组织(ISO)提出的 NAS-1638 标准如表 6 所示。通过试验设备对润滑油试样进行颗粒 检测,参考表 6 中的 NAS-1638 标准能够对润滑油污染 度的等级进行评价。

生产厂家		康明斯	底特律	卡特彼勒
润滑油运动黏度变化率(100℃)/%	>	±10	±20	±10

表 3 GB/T 8028-2010 汽车保养周期运动黏度指标

西日		试验方法		
项目 	SE、SF	SG、SH、SJ(SJ/GF-2)、SL(SL/GF-3)	以巡力 法	
运动黏度变化率 (100°C)/% >	±25	±20	GB/T 265 或 GB/T 11137	

	项目			试验方法	
			SE、SF	SF SG、SH、SJ(SJ/GF-2)、SL(SL/GF-3)	
	含水率 /%	>		0.2	GB/T 260

表 5 GB/T 8028-2010 汽车保养周期酸值变化指标

项目	换油指标	试验方法
	SE、SF SG、SH、SJ(SJ/GF-2)、SL(SL/GF-3)	一位 100
酸值(以 KOH 计)/ (mg/g) 增加值 >	2.0	GB/T 7304

国际标准化组织(ISO)提出的 NAS-1638 标准 表 6

代号的组成	固体颗粒污染等级由 14 个等级的数字代号组成,相邻两等级颗粒浓度的递增比为 2,其中的颗粒数表示 100mL 中的颗粒数								
	污染度等级	颗粒尺寸范围 / μ m							
	乃采反守纵	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 100	> 100			
	00	125	22	4	1	0			
	0	250	44	8	2	0			
	1	500	89	16	3	1			
	2	1000	178	32	6	1			
	3	2000	356	63	11	2			
七旦的坝中	4	4000	712	126	22	4			
标号的规定	5	8000	1425	253	45	8			
	6	16000	2850	506	90	16			
	7	32000	5700	1012	180	32			
	8	64000	11400	2025	360	64			
	9	128000	22800	4050	720	128			
	10	256000	45600	8100	1440	256			
	11	512000	91200	16200	2880	512			
	12	102400	182400	32400	5760	1024			

国际标准化组织(ISO)提表7 出的 ISO 4406 标准如表 7 所示, 通过试验仪器对润滑油样品进 行不同尺寸颗粒进行检测,通 过检测数据能够对油样的污染 度进行等级进行评定。相对于 NAS-1638 标准, 国际标准化组 织(ISO) 提出的 ISO 4406 标准 具有一定的改进优势。

2 实例分析

2.1 润滑油试样微量元素检测

用油料光谱分析仪表8 发动机润滑油不同元素含量检测表 (Spectroil 120C) 对某台汽车发 动机的润滑油进行不同时段的 检测,其元素含量随时间变化的 情况如表 8 所示。由表 8 检测数 据可知,该油样中磨损金属元素 Na、Cu (钠、铜) 元素含量偏高, 表明汽车系统中含铜类摩擦副, 如青铜轴承、铜止推环等可能存 在异常磨损, 有冷却液进入发动 机舱,需要进行停机维修。

2.2 润滑油试样运动黏度检测

国家标准 GB/T 11137-1989

是石油产品运动黏度的测定方法(逆流法): 测定一定体积的液体在重力作用下流过一个经 校准的玻璃毛细管黏度计(逆流黏度计)的时 间来确定深色石油产品的运动黏度。由测得的 运动黏度与其密度的乘积, 可得到液体的动力 黏度。用便携式运动黏度计 (MiniVisc 3050) 直接检测上述润滑油结果如表9所示,由表9

可知,随着使用时间的增加,发动机中润滑油中运动黏 度(100℃)随之增加,当使用时间达到1个月时,运 动黏度变化率(100℃)达到10.84%,参考我国的汽 油机油换油指标 (GB/T 8028-2010), 运动黏度变化率 (100℃) 小于 20%, 结果表明润滑油使用还未达到换油 标准。

2.3 润滑油试样含水量检测

国家标准 GB/T 260-2016 是石油产品含水量的检测 方法:将被测试样和与水不相溶的溶剂共同加热回流, 溶剂可将试样中的水携带出来。不断冷凝下来的溶剂和 水在接收器中分离开, 水沉积在带刻度的接收器中, 溶 剂流回蒸馏器中。用便携式油液状态分析仪(FluidScan 1100) 检测上述润滑油含水量结果如表 10 所示。由表 10 可知,随着使用时间的增加,发动机中润滑油中含

国际标准化组织(ISO)提出的ISO 4406标准

等级	每毫升	颗粒数	等级	每毫升	颗粒数	等级	每毫升颗粒数	
守纵	大于	上限值	守纵	大于	上限值	守纵	大于	上限值
0.9	0.0025	0.005	8	1.3	2.5	17	640	1300
0	0.005	0.01	9	2.5	5	18	1300	2500
1	0.01	0.02	10	5	10	19	2500	5000
2	0.02	0.04	11	10	20	20	5000	10000
3	0.04	0.08	12	20	40	21	10000	20000
4	0.08	0.16	13	40	80	22	20000	40000
5	0.16	0.32	14	80	160	23	40000	80000
6	0.32	0.64	15	160	320	24	80000	160000
7	0.64	1.3	16	320	640	_	_	_

检测元素 (mg/kg)	Fe	Cu	Cr	Pb	Sn	Al	Ва	Ni	Ag
新油	2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2022.02.15	10.62	37.08	0.71	2.13	0.00	2.11	0.00	0.10	0.00
2022.03.03	3.72	5.23	0.217	0.36	0.00	1.48	0.00	0.00	0.00
2022.03.15	9.38	29.24	0.51	1.95	0.12	1.64	0.02	0.23	0.00
检测元素 (mg/kg)	Ca	Si	Na	V	В	Р	Мо	Mg	Zn
新油	3886	5	< 1	< 1	< 1	934	< 1	18	1184
2022.02.15	3903	14.36	457.93	0.31	62.24	957	0.41	18.19	1435
2022.03.03	3657	3.38	160.69	0.12	26.09	968	0.06	16.12	1440
2022.03.15	3412	14.14	350.64	0.25	45.71	1000	0.00	18.45	1287

表 9 发动机润滑油运动黏度检测结果

试样	运动黏度(100℃)/%	运动黏度变化率(100℃)/%
新油	15.22	_
2022.02.15	15.78	3.68%
2022.03.03	16.38	7.62%
2022.03.15	16.87	10.84%

水率(%)随之增加,当使用时间达到1个月时,含 水率(%)达到0.21%,参考我国的汽油机油换油指标 (GB/T 8028-2010), 含水率(%)小于20%, 结果表明 润滑油使用已经达到换油标准。

2.4 润滑油试样酸值检测

国家标准 GB/T 7304-2014 是石油产品酸值的检测 方法: 将试样溶解在滴定溶剂中, 以氢氧化钾异丙醇标 准溶液为滴定剂进行电位滴定, 所用的电极对为玻璃指

表 10 发动机润滑油含水率检测结果

试样	含水率 /%
新油	0.01
2022.02.15	0.08
2022.03.03	0.12
2022.03.15	0.21

- 64 -

示电极与参比电极或者复合电极。手动绘制或自动绘制电位 mV 值对应滴定体积的电位滴定曲线,并将明显的突跃点作为终点,如果没有明显突跃点则以相应的新配水性酸和碱缓冲溶液的电位值作为滴定终点。用便携式油液状态分析仪(FluidScan 1100)检测上述润滑油检测结果如表 11 所示。由表 11 可知,随着使用时间的增加,发动机中酸碱值增加值随之增加,当使用时间达到1个月时,酸碱值增加值达到 0.43mg/g,参考我国的汽油机油换油指标(GB/T 8028-2010),酸碱值增加值小于 2mg/g,结果表明润滑油使用未达到换油标准。

2.5 润滑油试样污染度检测

230 多功能磨粒分析仪内置 NAS1638、ISO4406 等污染度评价标准,通过分析检测可以得出 NAS1638、ISO4406 等污染度及颗粒数。采用 230 多功能磨粒分析仪润滑油样品进行污染度检测,检测结果如表 12 所示。由表 12 所示,按照污染度 NAS1638 标准,试验润滑油样品污染度等级为 12,按照污染度 ISO4406 标准,试验润滑油样品污染度等级为 21/19/16,结果表明润滑油使用达到换油标准。

根据该油样的微量元素含量、运动黏度、水分、酸 碱值以及污染度的检测结果综合分析可以知道,该系统 中润滑油达到了换油标准。

3 结语

本文对润滑油中微量元素、运动黏度、含水率、酸碱值以及污染度等主要的检测方法进行简要介绍,基于规范标准,对某台汽车的润滑油的相关检测结果进行分析,得出以下结论。

- (1) 该汽车发动机润滑系统中含铜类摩擦副,如青铜轴承、铜止推环等可能存在异常磨损,需要进行相关 检测。
- (2)基于规范标准,该油样运动黏度检测表明润滑油使用还未达到换油标准,该油样含水分检测表明润滑油使用已经达到换油标准,该油样酸碱值检测表明润滑油使用未达到换油标准,该油样污染度检测表明润滑油使用达到换油标准。
- (3) 对检测结果进行综合分析,该车辆发动机系统中的润滑油达到了换油标准。

表 11 发动机润滑油酸碱值增加值检测结果表

试样	酸值(以 KOH 计)/(mg/g)增加值
新油	0
2022.02.15	0.14
2022.03.03	0.28
2022.03.15	0.43

表 12 试验润滑油样品污染度检测结果

检测单位(污染度)	试验样品	检测单位	试验样品	
污染度 NAS1638	(检测结果)	污染度 ISO4406	(检测结果)	
5 ~ 15 μ m	672432	> 4 µ m	70561	
15 ~ 25 μ m	25915	> 6 µ m	2541	
25 ~ 50 μ m	9218	> 14 μ m	608	
50 ~ 100 μ m	1562	_	_	
> 100 μ m	303	_	_	

参考文献:

- [1] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学 [M]. 北京: 机械工业出版社,2007.
- [2] 屈梁生. 机械设备故障理论与方法 [M]. 西安: 西安交通大学出版社,2009.
- [3]Bernd Eckerd. 通过滑油分析检测 5D49 柴油机故障 [J]. 柴油机,1990(02):48-50.
- [4]鲁湘湘.铁谱检测技术在矿用汽车状态监测与故障诊断中的实践[J].中国矿业,1995,4(5):77-80.
- [5] 王宝有. 矿用柴油发动机机油油液分析的研究 [D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2004.
- [6] 阎岩,施杰,赵红.矿用汽车发动机润滑系统保养周期的研究[J].黄金,2006,8(27):28-32.
- [7] 韩晓,徐广,张卫华,等.重载车辆发动机润滑油失效机理分析及检测[J].设备管理与维修,2012(10):49-52.
- [8] 铃村淳一,彭惠民.利用移动式润滑油分析装置进行内燃动车发动机及变速器的异常诊断[J]. 国外机车车辆工艺,2021(04):40-45.
- [9] 高育一, 熊远喜. 矿用汽车驾驶员 [M]. 北京: 气象 出版社, 2001.
- [10]GB/T 8028-2010, 汽油机油换油指标 [S].