

航空润滑油寿命期的确定方法

张桐凤 孙秀娟

摘要: 本文综述了确定航空润滑油寿命期的几种方法,着重指出了润滑油中添加剂含量对其寿命的影响,结论是:添加剂含量低于0.2%时,润滑油寿命期中止,即需更换新油。

航空润滑油是航空工业所用三大油(燃油、液压油、润滑油)之一。矿物润滑油和合成润滑油则是涡轮喷气发动机必须使用的油品。正确地使用润滑油和科学地确定润滑油的寿命期,对保证发动机可靠地工作具有实际意义。目前,润滑油的更换期限过短是不合理的。这不仅增加发动机的维修量,而且无谓地加大润滑油的消耗量。为了发挥润滑油的最大效益,以提高经济合理性,需要对润滑油的寿命期做出恰当的判定。

国外确定润滑油寿命期的方法很多。通常采用的方法是在实验室台架试验和使用试验过程中,不断检测润滑油的各项理化性能指标及组分的变化,最后根据试验结果定出润滑油的寿命期。这种方法相当可靠,在实际中早已应用,并得到满意的效果。

另一种方法是根据实验室试验结果,采用台架试验和使用试验进行验证后,预测出润滑油的寿命期。该方法是在专用试验仪器上进行的。润滑油的寿命期是根据其达到选定的理化性能和使用性能(如测定滑油的粘度、润滑性或添加剂含量变化等)极限值的时间来评定的。

通过定期测定发动机中润滑油的金属含量来确定润滑油的寿命期,这又是一种评定方法。测定金属含量的方法有直接读数光谱法(以下简称“直读光谱法”)、原子吸收光谱法、原子发射光谱法等。其中尤以直读光谱法操作简便、分析结果准确。

使用直读光谱法分析发动机中润滑油的金属含量,可以检查出采用常规检查方法难以查出的发动机的初期损坏情况。美国贝尔德公司生产的FAS-2C型直读光谱仪,操作方法简单,能够在一分钟之内同时测出20种元素。检测时在仪器的油盘中放入少量的油样,然后将其置于蒸发室内,利用两个电极之间所产生的弧光,将油样蒸发。在蒸发过程中,油样中的金属元素发出特定波长的光,通过分光光栅和光电倍增管将光色散,仪器便迅速、准确地记录下滑油中的金属含量(以百万分之几计)。

确定润滑油的寿命期时,需定期从发动机中取油样,用上述方法测定其中各种金属的含量及变化情况,根据测定结果,经过分析,确认是正常磨损还是磨伤、划伤或剥落,从而定出润滑油的使用工作期限(即寿命期)。

发动机的磨损情况可以在润滑油的金属含量中反映出来。金属含量越高,说明发动机的磨损越严重。测定金属含量可以掌握发动机的工作状态,预测发动机的故障。

据资料报道,曾对JT3D发动机用润滑油使用光谱分析法进行金属测定。在39次油样分析中,发现了30次释出金属故障,从而避免了发动机的继发性损坏,保证了飞机的正常飞行。表1列出了使用该方法测出的一些常见元素及其可能来源。

从表1可以看出,润滑油中出现的金属除因磨损产生外,还有可能来源于润滑油本身(如污染)及添加剂。尽管金属元素的来源不同,使用光谱分析法也能将其准确地测出。因此该方法也是一种确定润滑油寿命期的方法。

测定润滑油寿命期最有效的方法,是利用润滑油性能的一项指标进行评定。添加剂含量

表 1 使用光谱分析法测出的
各种元素及其可能来源

元 素	可 能 来 源
镍	轴承、涡轮叶片等
铁	滚珠轴承等
铜	滑油散热器等
银	轴承保持架等
铬	发动机镀铬层等
镁	滑油添加剂等
铅	轴承等
硅	滑油添加剂等
钛	压缩机盘等
铝	垫圈等

最低极限值便是航空润滑油使用性能的一个重要指标。

为了确定润滑油在使用中的工作期限，可周期性地从发动机中取出5~10ml的润滑油油样，并用薄层色层分离法测定其中的添加剂含量。如果该种润滑油中的最主要添加剂（或数种添加剂）含量低于实验室氧化过程中取得的最低允许数值，则润滑油需要更换。

苏联对Б-3B润滑油和ИПМ-10润滑油的寿命期进行了测定。

Б-3B合成润滑油具有较高的热氧化安定性（200℃）和良好的润滑性能（临界负荷 $P_k=900\sim 1000\text{N}$ ）。该油在直升机发动机中的温度可达150℃或更高。由于齿轮啮合处的负荷大（达到 1300MN/m^2 ），所以减速器内润滑油的工作条件非常苛刻。因此，热氧化安定性和由润滑油中抗氧化添加剂和抗划伤添加剂的含量所决定的临界负荷，是该种润滑油最重要的使用性能。

Б-3B润滑油氧化后，周期性地提取油样，测定其中ПОДФА添加剂和卡普塔克斯添加剂的含量，以及润滑油的抗氧化性能和润滑性能指标。实验室条件下Б-3B润滑油氧化时的质量指标测定结果见图1。

从图1可以看出，当卡普塔克斯添加剂含量低于0.2%时，临界负荷便开始下降。可见此

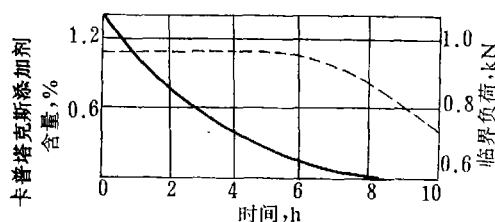


图 1 实验室条件下,Б-3B 润滑油氧化时卡普塔克斯添加剂含量（实线）和临界负荷（虚线）的变化

浓度是最低允许浓度，浓度低于此，润滑油便不能保证减速器和发动机可靠地工作。因此可以说，卡普塔克斯添加剂的含量低于0.2%时，此种润滑油必须更换。

为了保证上述结论的正确性，在米-8直升机上进行了试验。以往，米-8直升机使用的Б-3B润滑油每隔200~300h更换一次，在这段期间内卡普塔克斯添加剂的含量下降到0.65%，而图1表明，卡普塔克斯添加剂含量降低到0.2%时，润滑油仍能保证减速器和发动机可靠地工作。为证实此点，使用Б-3B在发动机上做了连续工作900h不换油的试验，并按其工作时间的不同，测定了Б-3B润滑油内的卡普塔克斯添加剂的含量（见表2）。

表 2

润 滑 油 工 作 时 间 h	卡普塔克斯 添加剂含量 %
100	0.93
200	0.70
300	0.65
400	0.62
500	0.51
600	0.48
700	0.44
800	0.41
900	0.36

从表2中得知，当Б-3B润滑油不更换而连续使用900h时，油中卡普塔克斯添加剂含量降低到0.36%，仍高于极限浓度（0.2%）。米-8直升机在民航使用的经验也证实了该润滑油可以在发动机和减速器上连续

工作900h而不更换。

ИПМ-10合成润滑油应用在米格-23飞机

的发动机上。它也具有较高的热氧化安定性（200℃）和良好的润滑性能。该油耐温可达200℃以上，因此热氧化安定性便是它的最重要的使用性能。

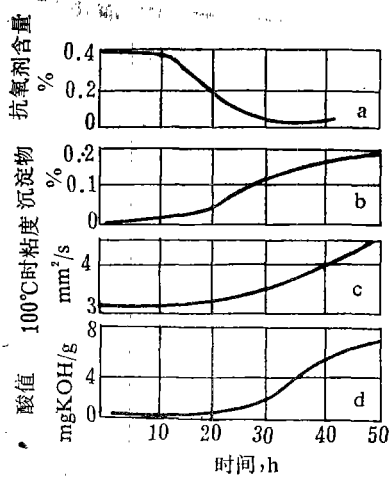


图 2 实验室条件下，ИИМ-10润滑油氧化时抗氧剂含量(a)、沉淀物含量(b)、100℃时粘度(c)以及酸值(d)的变化

对氧化后的ИИМ-10润滑油定期取样，测定其中的抗氧化添加剂的含量以及与其有关的粘度、酸值和沉淀物的含量（见图2）。由图2可知，当添加剂含量低于0.1%时，其余三项指标均急剧增加。此时的抗氧化添加剂含量便是ИИМ-10润滑油寿命期的极限允许值。只要添加剂含量不低于0.1%，润滑油就可以保证发动机可靠地工作。

以上是Б-3В和ИИМ-10两种合成润滑油寿命期的确定方法。由此可见，对于任何一种含有添加剂的润滑油来说，用以上介绍的方法进行测定，在很短的时间内均能准确、可靠地测出其寿命期。

国外在“提取润滑油油样进行分析，以确定其寿命”方面做了大量的研究工作。而国内在这这方面的工作尚待开展。为了建立我国的“航空发动机润滑油寿命期的确定方法”，必须综合研究各种监控手段，并结合我国的实际情况，制定出一套完善的措施，以满足我国航空技术发展的需要。

氧化物弥散强化高温合金

用氧化钇（ Y_2O_3 ）弥散强化的高温合金已形成商品系列。其中第一个合金MA-753是由Nixonic 80A合金演变而成。它的高温持久强度优于Nimonic 80A和TD镍，但因中温强度不足未能用于涡轮叶片。

随后出现的MA-754合金用以代替TD镍制造导向叶片。其特点是熔点较高，形变热处理后热疲劳强度优越。现已达到年产50吨的规模。

在研究 In-100 弥散强化合金时，由于一位技术员使用了错误的基体合金而诞生了B-合金，从而提供了组元空位的新观点。在部分复现实验中用13种合金元素三种含量进行了研究，用40个炉号进行了上百万次筛选，结果制成了

著名的MA-6000合金(INCO/NASA大纲)。

MA-6000合金中 γ' 含量约占50%，在基体和 γ' 相中都有弥散氧化物。它的1000小时持久强度达到了单晶合金的水平。由于它的钛、钽、铝含量较高，具有很好的抗腐蚀、氧化和硫化的能力。

组元空位新领域的探索之一是研制51合金，其目的是调整性能平衡，以利于发挥中温强度。51合金是一种含铝极高的镍-铬-铝合金。人们希望稍降低含铬量，虽然有损于抗硫化性，但中温强度却大大提高。此外，由于铝含量高，其可涂性优于MA-6000合金。

目前弥散强化高温合金研究的重点是控制织构，以提高中温强度和改善形变热处理性能。现将上述各合金的成分列于下表。

合金牌号	Cr	Mo	W	Co	V	Al	Ti	Ta	Zr	B	C	Y_2O_3
MA-753	20.0					1.5	2.5		0.07	0.007	0.05	1.3
MA-754	20.0					0.3	0.5				0.05	0.6
B合金	12.5	2.4		17.7	0.58	4.7	2.0		0.07	0.007	0.085	1.2
MA-6000	15.0	2.0	4.0			4.5	2.5	2.0	0.15	0.01	0.05	1.1
51合金	9.5	3.4	6.6			8.5			0.15	0.01	0.05	1.1

（应其摘自《Advanced High-temperature Alloys》MIT, 1985）