

液压传动系统综合污染分析与控制方法研究

Study of Analysis and Control for Integrated Pollution of Hydraulic Drive System

中航工业第一飞机设计研究院 王定卯 薛 锋 高承雍 黄泽平 王朝晖

[摘要] 详细分析了工作油液中的固体颗粒、水、气、氯污染物的特征及其对系统的影响。通过多年污染控制实践,以及在汲取国内外先进的污染控制技术的基础上,阐述了各种污染物的控制方法及测试技术,提出了全面污染控制的设想。

关键词: 固体颗粒污染 水污染 气体污染 氯污染

[ABSTRACT] The features of pollution of solid grain, water, gas, chlorine in the working oil and its effects to the system are analyzed detailedly; Based on years of pollution control practice, and by absorbing the advanced pollution control technology over the world, the control methods and measure technology for all kinds of pollution are illuminated, the ideas are proposed in overall pollution control.

Keywords: Solid grain pollution Water pollution Gas pollution Chlorine pollution

在液压传动系统的研制过程中,通过宣贯国军标污染度检测标准(GJB420A),采取了一系列油液固体颗粒污染控制措施,使液压传动系统的油液固体颗粒污染度与关键液压附件的污染耐受度达到适当的平衡,给液压传动工业设计、生产、使用带来了初步的成效,展现了广阔的应用前景。但是,还应认识到目前液压传动工业在使用中仍然存在着严重的污染,尤其是对气体、水、氯污染的认识还不够充分,导致液压系统由于综合污染而引发的故障仍然不断。这里以全面污染控制的思想,综合剖析了液压传动系统中污染物的危害、特征及控制方法,探求液压系统使用可靠经济的途径。液压传动系统油液的污染划分为4种:固体颗粒污染、水污染、空气污染及氯污染。

1 固体颗粒的污染分析

固体颗粒污染物来源于系统外部的侵入和系统内部的生成,按对系统的影响划分为硬质颗粒和软质颗粒2种。污染研究的重点是高效清除工作油液中的有害污染粒子,净化无害污染粒子。使其达到系统油液污染

度与附件污染耐受度的平衡,确保液压传动设备的安全和可靠寿命。

1.1 固体颗粒对系统的影响

固体颗粒对液压传动系统正常工作有下列严重影响:

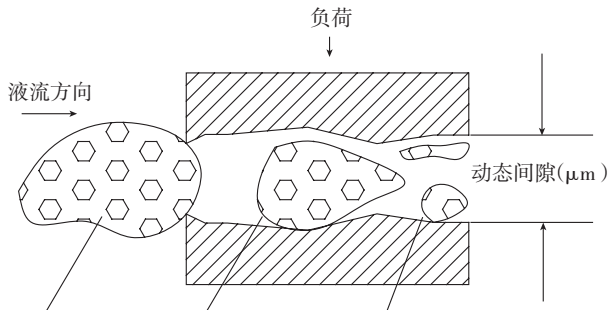
- (1)较大的硬质颗粒可进入工作间隙,使附件卡死。引起系统迅速的突发性失效;
- (2)较小的硬质颗粒磨损附件的工作表面,造成系统或附件响应减缓,性能降低;
- (3)微小的或软质颗粒在动态间隙中堵塞或淤积引起静摩擦,增加作动力甚至导致伺服阀或伺服作动器卡死;
- (4)增大系统内部泄漏量,磨损密封件造成外漏;
- (5)降低工作介质的性能;
- (6)外部侵入的固体颗粒在系统内循环时会产生新的磨损颗粒,形成链式反应,导致系统污染加剧,直至达到过滤系统的纳污容量极限。

1.2 固体颗粒的特征

- (1)颗粒的硬度。颗粒越硬对附件内部工作表面的损坏越严重。
- (2)颗粒的尺寸。较大的颗粒在系统内部循环时被磨碎而成为许多较小的颗粒,所以系统内部的污染并不是固定不变的。

1.3 固体颗粒的控制方法

液压过滤器是当今液压系统中唯一预防固体颗粒污染的重要部件,主要采用机械式阻拦污染物和磁性吸附的原理,来清除系统油液中的有害污染粒子,达到系统油液污染度与系统附件耐污染度的平衡。目前国外液压传动设备一般使用等于或大于 $3\mu\text{m}$ 的精密过滤器,但有些液压传动设备开始采用绝对过滤度为 $1\mu\text{m}$ 的超精油滤。采用超精油滤的目的是为了保持附件活动面间的润滑油膜干净,不含有能损害表面的颗粒污染。如果污染颗粒的尺寸大得进不去润滑油膜中,就不会引起磨损问题;如果污染颗粒尺寸远比润滑油膜小,也不会产生磨损问题,只会引起冲蚀附件表面;只有那些夹在两活动面之间的污染颗粒会引起卡滞,使附件表面产生磨削磨损,这才是最危险的。如图1所示,而只



污染颗粒太大不能进入润滑油膜间隙 介于两表面之间的污染颗粒引起机械磨损 微小的污染颗粒不产生磨损但会冲蚀附件表面

图1 附件活动表面磨损

Fig.1 Abrasion of accessory movable surface

有 $1\mu\text{m}$ 的超精油滤能解决这一问题。

1.4 固体颗粒的测试

(1) 油液取样。

从液压传动系统取出的油样,必须准确和合理地反映该系统内颗粒污染度或分布。取样方式通常有 2 种:一是管路取样,二是油箱取样。取样的方法通常采用等动态法和动态法。

(2) 测试方法。

测试方法主要有 6 种,分别满足不同的测试要求。评定测试值的可靠度必须对测试方法的局限性、取样技术和样品品质的高低予以综合考虑。表 1 为污染颗粒测试方法的比较。

表1 污染颗粒测试方法的比较

测试方法	优点	局限性
显微镜颗粒计数法 / (个数 · mL ⁻¹)	提供最准确颗粒尺寸及颗粒分布,是一个基础标准	检测速度慢,冗长费时,重复性差
自动颗粒计数法 / (个数 · mL ⁻¹)	采用公认的光遮盖原理,测定油液里的颗粒尺寸和数量,快速、重复性好	对颗粒浓度及非颗粒性污染物,如水、气、胶质很敏感
铁谱分析法 (标定大/小颗粒数目)	提供磁性磨损颗粒基本数据,若反常,则表示需要做进一步的精密测试	无法检测非铁金属颗粒(青铜、黄铜、硅)
光谱分析法 / 10 ⁻⁶	磨损颗粒浓度分析,验明污染物种类及含量	无法测定污染颗粒尺寸的大小
重量分析法 / (mg · L ⁻¹)	提供系统油液中的污染物总重量数据	不能确定污染颗粒尺寸的分
便携式颗粒计数器 (NAS1638)	可在线连续实时检测,快速,不受气泡和水的影响	不提供具体颗粒尺寸及含量数值

2 水污染分析

污染试验研究发现液压油的吸附水份的能力会对系统性能产生很大的影响。液压油中的含水量不应超

过 250×10^{-6} (含水饱和度 0.025%),超过该值与抗磨性添加剂会发生化学反应,对结构产生破坏性侵蚀。

2.1 水对系统的影响

(1) 引起液压附件内部腐蚀(生锈)。水粘附在金属材料表面上,会造成附件内表面氧化锈蚀。在液压系统内部游离的水珠,可在附件内部凝聚增长变大,生成锈蚀颗粒。锈蚀使表面性能下降,生成的锈蚀颗粒还会进入系统,影响系统使用寿命。

(2) 增大阀的泄漏量。对伺服作动器而言,阀的泄漏量决定了阀的响应程度。若系统有游离的水,它就可能粘着在阀芯、阀套的表面上,故伺服装置的泄油通道会起变化,阀的泄漏就会增大。

(3) 以酸的形式存在造成侵蚀。在液压油中,水和金属污染物共存,会加速油的氧化,金属颗粒起催化作用,迅速增加酸值。水与氧化物的酸性生成物,能改变油液的化学性能,对工作附件表面产生侵蚀作用。

(4) 降低或失去润滑油膜,增大摩擦力,使预期的粘质退化。

(5) 油液变质,促使某些添加剂氧化,产生沉积物,从而产生新的污染颗粒。

(6) 加剧酸性变化,引起油液的粘度变化,降低耐磨性。

(7) 导致轴承钢氢脆化。

(8) 加速金属表面疲劳失效。

(9) 低温产生冷结,淤塞附件动力间隙。

(10) 降低流体介质的绝缘性。

2.2 水污染的特征

水以 2 种状态存在于工作油液中:即溶解状态(表明水含量低于饱和度)和游离状态(乳化状表明水含量超过饱和度,既有溶解水又有游离水)。

当液压传动系统中进入少量水时,它就溶解于工作液中。在一定的压力和温度下,水的溶解量是一定的,达到极限溶解量时,称为饱和状态。假若再进入更多的水份,就不能再溶解而成为游离状态。当系统温度降低时,溶解水会析出为游离水。为了降低游离水对系统的危害,要尽可能地把油中的含水量控制在远低于饱和度曲线以下(见图 2)。

2.3 水污染的控制方法

(1) 在液压传动设备油箱通气口设置空气干燥过滤器。

(2) 排水法。排水法有聚结法、离心法、吸附法和真空脱水法 4 种。前 3 种方法只除游离水。真空脱水法既能除游离水又能除溶解水,且不会改变原油液的物理化学性能,性价比最优。

(3) 采用油液净化器(真空脱水辅以高性能的过滤

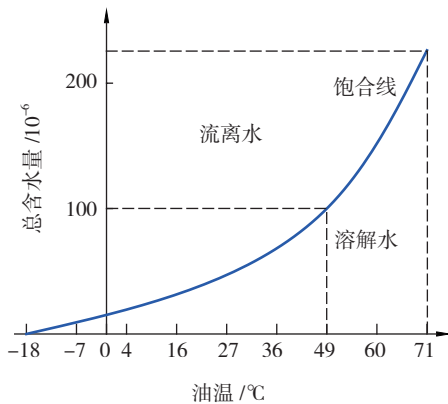


图2 油液游离水溶解水含量-温度曲线

Fig.2 Content-temperature curve of free water and dissolved water in oil

器)。除了可清除水份外,还可以清除氯化物,清除空气,滤除颗粒污染。可排除系统中 100% 的游离水和 95% 溶于油液中的水。

2.4 含水量的测量

国际上采用的测定液压油含水量的方法有 2 种:一是卡尔法,二是离心法。

卡尔法:是航空工业常用的方法,它采用一种广泛应用的标准仪器,将标准卡尔试剂的油液滴定到静电计的最终点,就可以测出一定油液容积中的游离水和溶解水的含量,然后与 GJB3058 给出的性能指标对比,以决定是否超出标准。

离心法:是利用离心力把水分离出来加以测量。离心法对游离水含量高的测量是最为有效的。

3 气体的污染分析

大量的试验研究表明,液压油吸附空气的能力会对系统性能产生很大的影响。油液中的含气量不应超过 2%,超过此值容易形成泡沫产生振动或共振。

3.1 气体对系统的影响

(1)气蚀。气蚀(增加酸值与氧化、改变油液的粘度)时,油泵的响声增大并激励系统剧烈振动。当压力突变时,气泡破裂引起泵的回转摩擦幅表面释放大量的能量,使运动表面恶化。

(2)出现气穴(塞)现象。

(3)引起油箱油位变化。

(4)增加功率损耗。

(5)引起冲刷磨损,造成节流孔及伺服阀的冲蚀。

(6)造成系统执行结构响应迟缓,且产生不稳定或爬行现象。

(7)降低容积弹性模量,引起系统刚度减小。

(8)改变固有频率。

(9)空气会破坏两滑动面的油膜,使其直接接触,引起粘着磨损。从而引起高温,而高温又促使油液氧化,降低油液的润滑性。

(10)增大噪音。

3.2 气体污染的特征

气体在油液中是随环境条件变化而改变其状态,它可能是渗入到油液中成溶解状态,也可能是混入到油液中成气泡状态,或侵入到油液中成分离状态,这 3 种状态能可逆地反复变化。

3.3 气体污染的控制方法

在闭式液压系统中排除空气有以下方法。

(1)采用隔离式增压油箱排气活门(有手动和自动排气)排除任何进入闭式系统的空气。

(2)采用空气排除器来排除系统溶解的空气。空气排除器通常设置在系统靠近油箱的回油路上。当回油油液流经空气排除器时,空气会经顶部小孔排除,周围空气流速越大,空气排出的速度越快。

(3)采用油液净化器排除液压传动系统中的空气。可排除系统 100% 的游离空气及 90% 的溶于油液中的空气。

3.4 含气量测量

(1)音速法。采用应用声速原理的装置测量油液含气浓度。

(2)浊度法。利用浊度计来测量油液中混入空气的浓度。

(3)音响衰减法。采用应用音响衰减原理的装置测量油液含气浓度。

(4)体积排量法。采用改进的密闭式压力计来测量油液中的含气量。

4 氯的污染分析

氯化液是液压油合成中常用的一种脱脂剂,最易受系统温度的影响被分解成氯的化合物,这种化合物会腐蚀伺服阀等附件。当氯化液在油液中达到一定浓度时,就会对液压系统造成较大的危害。

4.1 氯对系统的影响

氯对液压系统正常工作的影响有 2 种。

(1)腐蚀。液压油中所含氯化液是液压油合成中的一种脱脂剂,在受到系统温度的影响被分解成氯的化合物,它会在伺服阀等附件表面局部区域产生酸,这些酸使表面性能下降并产生某种腐蚀。

(2)冲蚀。这种冲蚀与颗粒造成的冲蚀不同,颗粒的冲蚀是冲击附件表面造成的。这种冲蚀是一种称之为流线效应的化学与电的作用,其结果常使伺服作动器

(下转第 89 页)