

提高液压系统工作可靠性的方法

王 峰, 仲米生

(济南铸造锻压机械研究所, 山东 济南 250022)

摘要 : 液压系统的可靠性在很大程度上决定了液压设备的可靠性, 该文就采取哪些预防性设计措施来提高可靠性做了介绍, 并分析了其中的原因。

关键词 : 流体传动与控制; 可靠性; 液压系统; 方法

中图分类号 : TP271+.31

文献标识码 : A

1 前言

以液压传动为设备主传动的机器, 液压系统工作可靠性是这类机器工作可靠的决定性因素。国产液压设备工作可靠性问题比较突出, 主要表现为: 漏油严重, 设备动作失灵, 故障频频发生, 无故障工作时间周期短, 液压元件易卡死, 系统压力失控(无压或超压), 密封件寿命短等等。一些大型液压设备的基础地坑简直就是油池, 积液可达数百毫米深, 根本无法下去维修。漏油造成的环境污染与经济损失异常严重, 使国产液压设备的使用受到严重的影响。

改革开放以来, 液压行业通过与国外技术先进公司的技术合作, 技术改进, 技术水平有了很大改观, 但整体水平仍然与国外有较大差距。一些用户尤其是实力雄厚、技术水平要求较高的用户, 在设备选型时目光向外, 选用国外产品的比例越来越大。实力稍差的用户在选用国产液压设备时, 也要以进口元件配套才用国产液压设备。国内液压设备、元件行业面临市场占有率滑坡的严峻形势。因此, 应采取有效措施解决国产液压设备工作可靠性, 这一行业共性、存亡悠关的重大课题。

液压系统工作可靠性是一项系统工程。在设计、制造、使用的每一个环节都会对系统可靠性产生重大影响, 片面强调某一个环节的重要性都解决不了整个系统工作可靠性问题。本文探讨的液压系统工作可靠性问题仅就液压系统本身而言, 未涉及相应电控系统的可靠性。

2 提高液压系统工作可靠性预防性措施

2.1 控制液压系统的油液污染

收稿日期: 2005-11-10

作者简介: 王峰(1971-), 男, 工程师, 从事机床液压系统的设计研究

众所周知液压系统的可靠性与油液清洁度息息相关, 有 70%~80% 的故障是由于油液污染造成的。因此, 控制了液压系统油液污染, 切断污染途径对液压系统工作可靠性有特别重要的意义。

(1) 控制油液污染首先要确定合理的系统清洁等级

目前国产液压元件、设备大多数未规定有明确的油液清洁度等级与滤芯过滤比要求, 用户也很少有对油液清洁度定期检测的, 也缺乏必要的检测仪器, 使得运行中的液压系统几乎失去对清洁度的监控。因此, 制定合理的系统清洁度等级很有必要。

合理的系统清洁度等级应与设备可靠度要求、系统使用参数、元件相适应。在预期寿命期间内, 在该清洁度等级油液中工作的元件不会因污染而造成元件的失效。ISO4406 油液污染度国际标准采用两个数码表示油液污染度等级: 前面的数码表示 1ml 油液中大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒数的等级, 后面的数码表示 1ml 油液中大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒数的等级, 两个数码之间用一斜线分隔。

根据我国的实际情况, 本文推荐我国锻压机械液压传动系统与稀油润滑系统采用表 1 所列的清洁度等级代号及过滤精度要求。

表中 A 类压机属生产线上用机或最关键性的二班制或三班制连续生产的设备, 可靠性要求极高的机组可选用高一档的清洁与过滤精度, 即 16/13 级和 $\beta_5=100$ 。一般较高的可靠性要求即使清洁度等级为 17/14, 过滤精度 $\beta_{10}=100$, 也能满足采用伺服阀、比例阀、比例泵传动的液压系统对清洁度等级要求。B 类压机亦是如此, 对用户是至关重要的关键设备选高一档的, 即 18/15 级和 $\beta_{20}=100$ 。

需要特别指出的是润滑系统的油液清洁度尚未引起足够的重视, 有的齿轮传动箱仍在沿用传统的、

表 1 锻压机械液压系统和稀油润滑系统

油液清洁度

ISO4406	15/12	16/13	17/14	18/15	19/16	20/17
NAS1638	6	7	8	9	10	11
过滤精度	3	5	10	20	30	40
A 类压机		+	+	+		
B 类压机				+	+	

注 :A 类压机—数控折板机、辗环机、精锻机、回转头压力机、粉末制品液压机、精冲液压机、快锻液压机、金属挤压液压机、大型单、双动拉伸液压机、全自动瓷砖液压机、高速液压机等以及高速压力机、多工位压力机、大型机械压力机等。

B 类压机—液压剪板机、折板机、压砖机、人造板热压机、四柱液压机、单柱液压机、塑料制品、粉末制品液压机、小型单、双动液压机等。

未经净化处理的飞溅式润滑。现有人提出轴承润滑清洁度要求甚至高于比例阀、伺服阀的要求,其理论依据是轴承的滚动传动与内外圈之间典型间隙可能小于 $2\mu\text{m}$ 。在滚动轴承和滑动轴承中,一层薄油膜把钢球与套圈或轴瓦表面与轴分开,只要在运动件之间没有直接接触,轴承的预期疲劳寿命就几乎是无限的。发生直接接触的最常见现象是颗粒卡进油膜,同时直接接触运动表面和固定表面,造成擦伤或表面裂纹,导致剥落过程的产生。因此,在大多数轴承中,小于 $3\mu\text{m}$ 的颗粒对轴承或系统的寿命就有不利影响。许多机械压力机都在轴承温度、润滑点的油量上花很大的代价进行检测与监控,其实首要的应先控制润滑系统油液的清洁度与净化工作。

(2) 控制油液污染的措施

油液固体颗粒的产生可以是在系统加注不洁的新油时带入,也可因系统内的油缸、元件、管路、油箱等未充分冲洗干净而残留于其中的污物,如切屑、灰尘、纤维、砂子、焊渣、油漆等造成,亦可来自周围环境的污物浸入液压系统中造成,如通过油箱通气口侵入,在维修期间敞开的油口,现场拆装元件的粉尘浸入,通过活塞杆伸缩运动带入的粘附污物等。

更重要、更危险的颗粒污染是系统运行本身所产生的污染。它是由系统运行中各运动摩擦副的磨损,系统应力引起的表面剥落、疲劳、冲刷等产生的细微颗粒。这些微粒如未被及时从系统中清除,将会进一步加速生成污染的产生,危害极大。对此,应该采取如下措施:

①防止侵入

首要的是重视油箱设计。在设备与液压系统设计中主管设计人员往往只重视如何满足工艺动作与性能的系统原理主传动设计,而忽视了辅助与油箱

之类的“简单”设计,甚至形成了一定程度的思维定势。油箱是系统中最容易发生外部侵入污染的部位。在粉尘、高温、环境严重污染的恶劣条件下工作的液压系统,采用全封闭的加压油箱能有效的防止发生外部侵入污染。加压油箱气路气源可用氮气瓶经气源调节装置提供,氮气可防止油液氧化变质,较为安全。加压油箱在最高液位时的充气压力为 $0.15\text{MPa}\sim 0.2\text{MPa}$ 。

一般油箱应采用全密封结构,目的是防止未经过滤的空气进入油箱。从空气中清除颗粒污染物要比从油液中清除容易。油箱液位波动、温度变化造成油箱内外空气交换的呼吸现象,所有交换的空气都必须经过空气过滤器才能进入油箱,空气过滤器应能滤除空气中 $3\mu\text{m}$ 以上的颗粒,国外有的空气过滤器过滤精度可达 $1\mu\text{m}$ 。而国内许多产品差距尚大,有的油箱虽也设有通气过滤口,但过滤精度很差,形同虚设。

其次要把住油箱注油关。油液的储运过程中会受到污染,应通过有高精度过滤器的滤油车向油箱中注油。过滤精度应比系统中过滤器过滤精度更高,为 $10\mu\text{m}$ 或 $5\mu\text{m}$,因为在注油时是全流过滤,比加入油箱后循环过滤更容易清除污染。

②过滤器的配置与选择

过滤器的功能主要是净化系统,保持系统清洁度和保护某些敏感元件。为达到此目的,开式系统过滤方式有:

吸油过滤。在泵的吸油管路上安装吸油过滤器保护液压泵不被较大颗粒的漆片、铁屑、焊渣等大的碎屑所损坏。一般用不带壳体的网式过滤器,但是这种网式过滤器由于安装在油箱内部,不易清洗,又无过滤状态指示器,很容易被不正确清洗元件和侵入系统的纤维状或变质油液中的胶质物、密封胶带的残留物等所堵塞而未被发觉,直至造成吸空泵噪声增大时才发觉。因此,一般应少采用这种过滤器,采用时,其通过流量应大于泵流量 2 倍以上。

压力过滤。在泵的出口压力管路上安装一个高压过滤器。它能保护除泵以外系统下游的元件。不论何种型式的油泵,它的运动都有许多高速、高压、滑动或滚动摩擦接触面,总要产生一些磨屑,尤其是在配油盘或定子发生干摩擦烧盘时,短时间内产生大量磨屑流向下游元件。对于带有伺服阀或比例阀的系统,不论泵的类型如何,是否已有其他过滤措施,都应设有压力管过滤器。

伺服阀一类的具有精密间隙的阀芯和节流棱边的元件需要在其上游设置一个无旁通过滤器,专门

保护这些元件免遭可能在系统维修别的元件时意外进入系统的污染物或上游元件突然失效造成的损失。一个常见的错误是这个过滤器选得比系统主过滤器更精细,例如系统主过滤器选 $\beta_{20} \geq 100$,而这隔离保护用过滤器选 $\beta_5 \geq 100$ 的过滤精度,这迫使该隔离保护用过滤器去实现总系统油液净化功能,造成经常堵塞的事故。

回油过滤。在回油管上配置过滤器能在油液返回油箱之前滤除系统运行产生的颗粒污染,保护油箱油液的清洁度,也就是能对泵起保护作用。回油过滤造成回油管路有一定的背压,应考察这一背压对溢流性能的影响。如果回油管上还汇集有泄油管,也应考虑这一背压影响。

在单杆活塞式油缸系统中,还应考虑回程时的流量放大现象影响。有的系统为了避免回油管路瞬间剩余压力相互干扰的影响,分别设有多处回油管,此时,回油过滤器应布置在冷却的上游。

离线过滤。所谓离线过滤就是系统中有独立于主系统外的单独循环过滤回路也叫循环过滤。只要离线过滤流量大于主系统流量的 20% 就能有效地控制系统油液清洁度。

离线过滤的优点是它不受主系统工作与否的影响,能在主系统工作之前对油箱油液进行过滤,降低泵启动工作时的污染度。更换滤芯也不影响主系统的工作,也能根据需要变化过滤精度或增加过滤的流量而不影响主系统的设计。离线过滤器在较小的压力脉动和稳定的流量下工作,过滤性能稳定,效率更好,滤芯的使用寿命更长。而压力过滤与回油过滤的过滤性能均受系统压力冲击、流量冲击与振动的影响较大。离线过滤往往加入冷却器,构成独立的循环过滤、冷却系统。

过滤精度选择:锻压机械液压系统过滤器的过滤精度可参照表 1 选取。

过滤器规格选择:过滤器主要规格参数是每分钟通过的流量,它与压降和滤芯面积有关。滤芯面积对纳垢容量和使用寿命影响极大, X 面积与 $2X$ 面积滤芯相比,后者实际寿命要高 2.5~3.5 倍。从运行更换滤芯费用的经济性看采用较大规格的过滤器更为有利。

2.2 控制油温与液位

液压系统中油液作为传动介质有着重要的作用:传递功率、形成油膜润滑和带走热量或散热作用,以及利用油的微小压缩性将液压设备的惯性、冲击能量转变成液压,能起阻尼缓冲作用。这些作用都和油的温度与粘度密切相关。由于油温的变化引起

油液粘度的变化会影响油膜厚度与强度及零件间隙的变化,造成对油液的密封、润滑作用、阻尼、缓冲作用,系统压力损失、容积效率、元件流量系数、性能曲线等一系列的变化,引起液压系统性能的波动。因此,高级、精密的液压传动系统除选用油温粘度关系较硬,变化较少的油液外,控制系统油温在一个相对恒定的温度范围内是重要的。这一温度范围视系统的精度要求与重要性而定,一般是 $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 或 $45^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 。

在高温环境下工作的液压系统,潮湿空气会通过通气口进入油箱,在温度较低的油箱内壁上冷凝成水珠侵入油液中,水侵入油液中的另一个来源是冷却器漏水混入油中。水使油液形成乳化液,降低润滑作用,腐蚀金属表面,加速油液氧化变质过程,与添加剂作用生成有害的酸性物质,产生胶质引起阀芯粘滞和堵塞过滤器。因此,有所谓的“星期天装置”控制油箱油温在机器停止工作时保持油温恒定。

防止箱壁产生冷凝水的另一方案是采用具有防湿、排湿功能油箱过滤器,如 Vickers 公司的 $\text{H}_2\text{O}-\text{GATE}$ 排湿阀。

2.3 控制振动与泄漏

振动的产生:高压液压系统尤其是大直径、长行程的液压缸系统,油液的压缩产生的液压弹簧的效应不可忽视,特别是在系统中混入有游离状态的气体后,油液的体积弹性模量显著降低,压缩率增大,使系统温度降低,增大噪声。气泡在进入泵吸油管时,因负压作用而膨胀,使容积效率降低。在压油区,气泡压缩,溃灭时产生热量加快油液氧化,产生噪声和气蚀生成酸质。在高压下,压力 25MPa 时油的压缩率约 1.8%,压力 32MPa 时,压缩率约 2.2%,集聚了很大的液压能和弹性变形能,在系统换向时,如果不受控制,压力将在 10ms~20ms 内由最大工作压力降至接近零压,迅速释放的这些能量造成很大的瞬间流量,产生巨大的冲击振动与噪声,对系统各种元件造成损害。因此,在设计系统原理时,换向过程应细加分析,换向时应能吸收运动部件惯量,先卸压后换向或控制换向速度,选择换向过渡中位阀芯机能等,以尽量减轻换向造成的冲击振动。

隔振措施:任何设计都不能完全消除系统中机械的与液压的振动。只有采取一些隔振设计来防止振动的传递和相互影响:电机、油泵和联接采用法兰式比脚架式或支架式更易于保证同轴度避免产生振动,油泵吸排油管采用一段软管,底座上加弹性垫以隔振;系统中必要时可加设吸振蓄能器或阻尼容腔以消减压力波动,以及加固管夹等都是减振与隔振

的有效设计。

控制泄漏:泄漏造成的油液损耗、环境污染、系统容积效率降低,严重的泄漏会造成系统工作压力上不去而失效。泄漏(外漏)多发生在管路接头、元件、阀块结合处、密封面等处。

减少结合面:系统集成化设计采用整体块式集成取代多层回路块式集成能消除阀块间结合面,防止因O型圈沟深浅不一、平面度差、密封圈弹性消失、拉紧螺杆受力伸长变形等因素造成的泄漏。同时也应尽量减少管接头数量来减少结合面。

用法兰式管接头代替螺纹式管接头:在连接尺寸允许情况下,选用法兰式管接头的耐震性更好,还可避免螺纹式管接头螺纹对端面垂直度误差引起的密封不良造成的泄漏。受位置限制或小通径管道可选用锥螺纹式管接头代替直螺纹。

圆柱面密封代替端面密封:垫片、O型圈类的端面密封受压紧螺钉状况的影响。当螺钉松动、伸长时端面易产生间隙泄漏,而圆柱面上的密封则不受此影响,密封较为可靠。

控制泄漏的另一要点是管道要有一定的柔性,勿使管道因温度、压力变化造成的伸缩,压力直接作用到阀块、阀体上,而应由管道的柔性(弯曲)来吸收。

2.4 提高控制油路的可靠性

在滑阀控制系统与二通插装阀控制系统中,先导控制油源都是系统设计中关系可靠性的一个重要问题。

在滑阀控制系统中采用主系统内部供油控制的较少,大多数采用独立的低压先导控制油源。独立先导控制油源工作中的主要问题是在换向动作过程中,尤其是大通径($D_g \geq 32$)多个滑阀同时动作时会产生控制油路的短时降压过大,甚至失压,造成阀的误动作,引起系统故障。这时可在油路中加入一个低压蓄能器,以维护控制油路的压力稳定,避免故障和提高换向速度。

在二通插装阀控制系统中,先导控制油源有三种方式:独立先导控制油源(外控式);主系统内部控制油源(内控式);内、外结合先导供油式。二通插装

阀系统要求控制压力必需保持稳定,否则会造成插件工作不可靠。当插装阀通径大,关闭速度快,同时动作的插件数量多时,瞬间控制量很大,控制油源应满足最大瞬间流量要求。与滑阀控制系统一样,这时也会造成短时压力不足、失压,造成误动作。上述三种先导供油方式都可在先导油路中加入蓄能器来满足控制压力稳定与瞬时流量大的要求,提高控制油路工作的可靠性。

控制油源的工作特点是间断工作:工作时间短,停顿时间长,瞬时流量大。独立先导油源能量利用率低,大部分化为热量消耗了。因此,独立先导油源采用限压变量泵加蓄能器的方案能充分满足对控制油源压力稳定,瞬时流量大,工作可靠的要求,是最好选择。

2.5 设置双回路系统

一些工作可靠性要求特别高的工作母机,如冶金设备中的大部分设备,要求高的可靠性和安全性,不允许停机,不能发生安全事故,所以,这类母机对液压系统的可靠性要求非常高。为此,这种液压系统通常选用高质量的国际名牌产品,除此之外,为确保万无一失,液压系统的设计者应考虑设置双回路备用系统。设备在运行中万一出现液压系统故障,立即将备用系统投入工作,保证工作母机正常工作,避免造成严重的不可挽回的经济损失。值得注意的是,为了提高这种双回路系统的可靠性,保证备用系统投入工作时,能够正常运行,在正常工作时,应使双回路在一定的时间间隔内交替投入工作,避免长期放置后出现粘滞现象,造成元件动作不灵活、误动作,失去双回路的保障作用。

3 结束语

如何提高系统可靠性涉及的面比较广,因素比较复杂,本文只就其中的某些方面作一探讨,愿有更多的朋友对这个课题进行研究,最终解决这个问题。

【参考文献】

- [1] 雷天觉.编.液压工程手册 [M].北京理工大学出版社,1998.
- [2] 田少民.液压油污染检测技术现状 [J].工程机械,2002(4)
- [3] 路甬祥.液压气动技术手册 [M].北京:机械工业出版社,2002.

Methods to Improve Work Reliability of Hydraulic System

WANG Feng, ZHONG Misheng

(Jinan Foundry & Metalforming Machine Research Institute, Jinan 250022, Shandong China)

Abstract: Protective measures designed for improvement on hydraulic system reliability influencing hydraulic plant reliability to great extent have been introduced with analysis of the causes.

Keywords: Control pollution; Control oil temperature & leakage; Control oil path