

电液伺服阀高低压油反接影响可视化仿真分析

马智勇 陈灿
(海装驻南京地区第四军事代表室 江苏 南京 10000)

摘要: 本文主要对射流偏转板型两级电液伺服阀由于误操作导致高低压油反接的条件下, 伺服阀输出情况、伺服阀零组件受力、弹簧管薄壁受力和流向改变对伺服阀前置级对污染敏感零件的影响进行了分析, 并给出了这类伺服阀修理的一般流程作为参考。

关键词: 电液伺服阀; 射流偏转板; 高低压油反接; 弹簧管; 污染

0 引言

射流偏转板型两级电液伺服阀具有体积结构小, 输出功率密度大这一电液伺服阀普遍优点, 同时兼具抗污染能力强和失效对中功能。相比于射流管阀, 射流偏转板型两级电液伺服阀还具有动态响应好的优点, 因此在液压控制系统、能源传动系统和发动机控制系统中得到了愈加广泛的应用。电液伺服阀表面多设置有高低压油标识以及底面定位销方式, 可避免安装出错导致高低压油反接。然而, 当伺服阀安装于油缸、液压马达等附件时, 由于人为操作等原因, 电液伺服阀高低压油反接的情况时有发生。

某型射流偏转板型两级电液伺服阀随系统在主机试验时, 因操作人员失误, 导致高低压油管路反接, 以额定进油压力 21MPa, 回油压力约 0MPa, 并多次开关车进行通压试验, 其间给伺服阀输入电流信号。根据这一现象, 本文针对电液伺服阀高低压油反接对产品性能影响进行可视化仿真分析。

1 射流偏转板型电液伺服阀原理

1.1 组成和结构

射流偏转板型两级电液伺服阀主要由力矩马达级、偏导射流液压放大器、功率滑阀级和阀芯位置传感器组成。力矩马达级主要由上导磁体、下导磁体、磁钢、线圈、衔铁组件等零组件组成; 偏导射流液压放大器主要由射流片和偏导板组成, 偏导板加工在衔铁组件的反馈杆上, 插在射流片中间, 射流片上开有一个射流喷嘴和两个对称的接受口。射流喷嘴与供油口相通, 两个接受口分别与阀芯两端的控制腔相连; 功率滑阀级主要由阀芯、阀套及壳体等零组件组成。电液伺服阀结构原理图见图 1 所示。

1.2 工作原理

当没有控制信号输入时, 偏导板位于射流片中位, 由射流片喷嘴射出的液流被两个接受口均等接收, 在滑阀两端产生的恢复压力相等, 阀芯处于中位。当给力矩马达线圈输入控制电流时, 由于线圈产生的控制磁通和磁钢产生的固定磁通相互作用, 在衔铁上产生一个力矩。该力矩使衔铁组件绕弹簧管旋转中心旋转, 从而使偏导板运动, 导致射流片

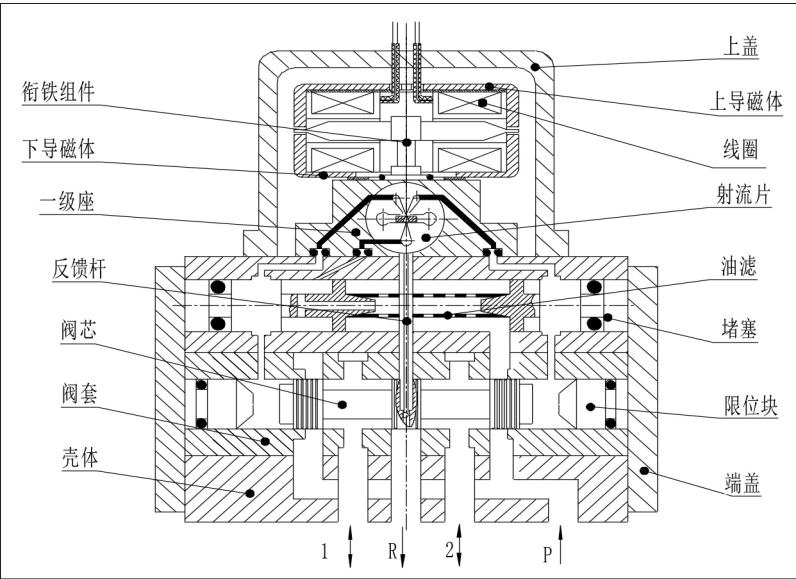


图 1 电液伺服阀结构原理图

上一接收口的接受面积增大, 另一接收口的接受面积减小, 液流在两个接受口内产生的恢复压力不等, 从而在阀芯两端产生压差推动阀芯运动。阀芯运动带动反馈杆和偏导板产生变形, 以力矩和位移的形式分别反馈到力矩马达的衔铁及偏导板上, 与控制电流产生的电磁力矩相平衡。由于力矩马达力矩与输给阀的控制电流基本成正比关系, 反馈力矩与阀芯位移成正比, 在诸力矩达到平衡状态时, 便得到一个与输入控制电流成正比例的阀芯位移, 即在阀压降为恒值情况下, 输出流量与输入控制电流之间成比例关系。

2 高低压油反接影响分析

2.1 正常条件下伺服阀各容积腔油压分析

在正常使用条件下, 伺服阀各油路压力分布容腔情况如图 2 所示。壳体进油管路和阀套进油路及前置级油滤腔组成了供油压力容腔, 如图 2 红色部分所示; 进油油液在前置级节流孔处进行降压并进入射流片喷嘴腔, 如图 2 橙色部分所示; 射流片两接受孔将射流动能转换为压力能并分别传导至伺服阀阀芯两端控制腔, 如图 2 绿色部分所示, 伺服阀负载腔与上级系统负载腔相连, 如图 2 黄色所示。伺服阀前置级溢流腔与阀套壳体回油部分管路组成回油腔, 与系统回油

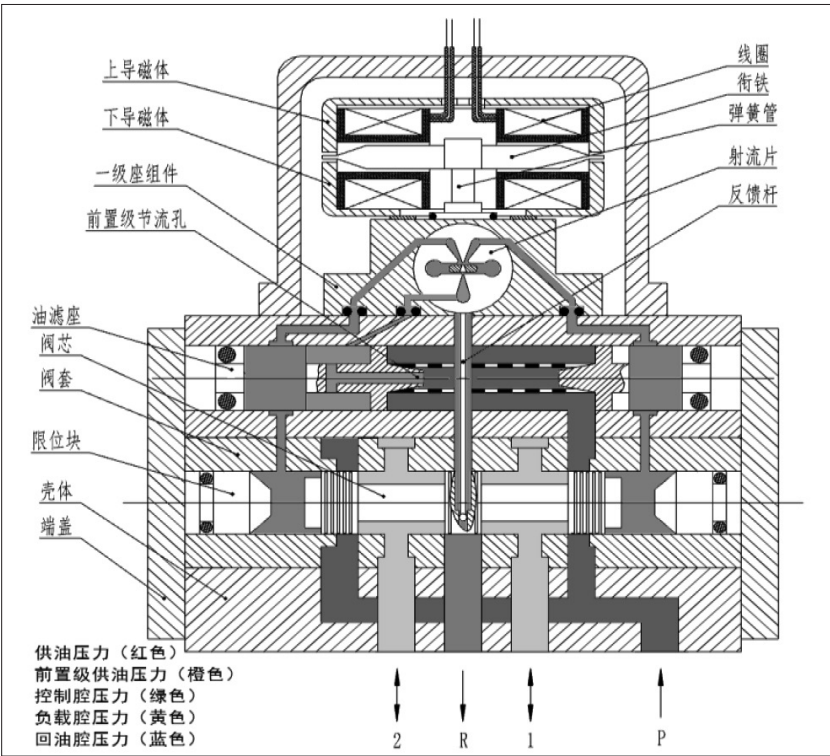


图 2 电液伺服阀正常使用调节压力分布图

管路相连，如图 2 蓝色所示。

2.2 高低压油反接条件下伺服阀油压分析

在高低压油反接异常使用条件下，伺服阀各油路压力分布情况如图 3 所示。由于高低压油反接，回油腔通进油，射流片动能压力能转换失效，控制腔两端为死腔，因此均升压到进油压力，如图 3 红色部分所示；射流片喷嘴口起节流作用，与前置级节流孔组成前置级压力容腔，正常条件下前置级供油压力为 P1，供油压力为 Ps，忽略油液方向改变对流阻的影响，高低压油反接条件下前置级供油压力变为 Ps-P1，如图 3 橙色部分所示；伺服阀壳体进油管路和阀套进油路及前置级油滤腔组成了供油压力容腔与回油管路相连，如图 3 蓝色部分所示；由于阀芯两端均为供油压力 Ps，阀芯端面作用力相互抵消，由于滑阀液动力刚度远大于反馈杆刚度，因此无论力矩马达在电流下衔铁组件偏移引起反馈杆运动，阀芯将始终处于中位，在高低压油边对称条件下，受工作边泄露影响，此时控制腔压力为伺服阀负载对中压力，如图 3 绿色所示。

2.3 高低压油正常与反接条件下伺服阀油压对比分析

正常与高低压油反接条件下伺服阀油压对比分析见下表。伺服阀在出厂前均需要进行进油 31.5MPa，回油打开和进油 21MPa 回油关闭的耐压试验。通过下表对比压力分析可知，高低压油反接导致的压力升高依然满足设计要求，对结构短期无影响。但是，长时间保持交变高压以及开关车过程的压力脉动，会瞬间施加超过 21MPa 的压力，可能

增加衔铁组件头部过盈面、一级座与壳体结合处及密封圈损伤渗漏油风险。

2.4 弹簧管受力分析

衔铁组件上的弹簧管作为力—位移转换的重要零件，其弹簧管薄壁决定了刚度值大小，还兼具密封油液，弹簧管薄壁仅约 0.1mm，弹簧管薄壁发生破裂会导致伺服阀输出不可控并漏油，对系统危害性大，因此有必要单独进行对比分析。

考虑给伺服阀额定电流条件下，高低压油反接对弹簧管薄壁受力分析。

(1) 施力条件

高低压油正常使用：衔铁施加弯矩 5.6N·cm；回油压力 2MPa；反馈杆小球受力 1N。

高低压油反接使用：衔铁施加弯矩 5.6N·cm；回油压力 21MPa；反馈杆小球固定。

(2) 受力分析

正常使用条件下，衔铁组件的应力最大值点在反馈杆偏转板下根部过渡圆弧处，而高低压油反接条件下，最大应力值点在弹簧管薄壁上根部过渡圆弧处。在弹簧管应力最大值所在位置沿圆弧母线方向提取应力值进行对比分析，母线方向应力分布曲线见图 4。

该型伺服阀弹簧管选用铍青铜材料，根据《中国航空材料手册》，其室温力学性能如下：

屈服极限：；强度极限：；弹性模量：

经仿真，弹簧管在高低压油反接使用条件下最大应力值为 380MPa，小于屈服极限，因此短期高低压油反接使用不会对弹簧管薄壁产生显著影响，但其应力值也远远大于正常使

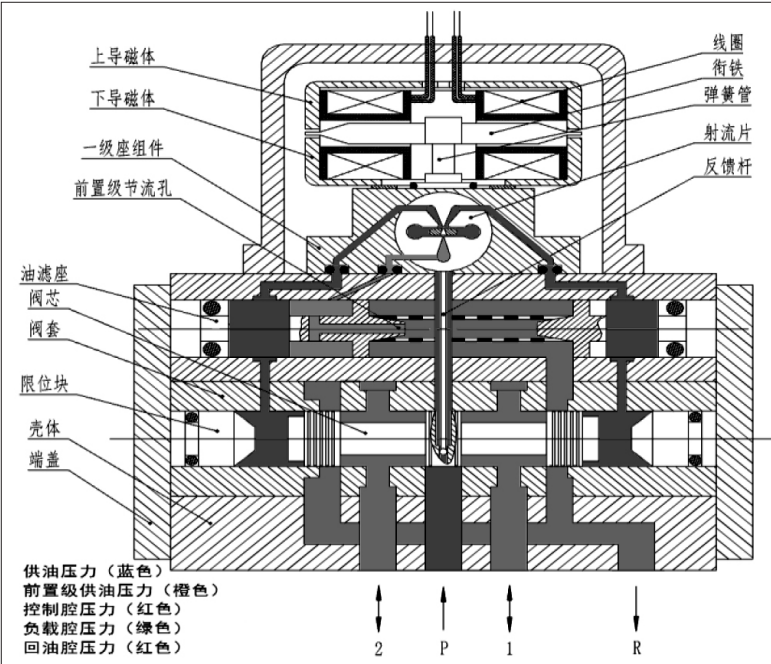


图 3 高低压油反接使用压力分布图

表 正常与高低压油反接压力对比分析表

使用条件 液压组件部位	正常使用下 最大压力 (MPa)	高低压油反接 下最大压力 (MPa)	耐压压力 (MPa)	结论
壳体	21	21	31.5	短期 结构 无损坏
阀芯	21	21	31.5	
阀套	21	21	31.5	
端盖	10	21	21	
传感器密封套	10	21	21	
一级座组件（回油部分）	2	21	21	
衔铁组件（头部过盈 压合面及弹簧管薄壁）	2	21	21	
密封 圈	底面安装面	21	31.5	
	阀芯限位块	10	21	
	油滤座	21	2	
	阀套	21	31.5	
一级座 / 弹簧管		2	21	21

用 59MPa 的应力值，因此会对弹簧管寿命产生不利的影响。

2.5 油液污染分析

在高压油正常条件下，系统供油油液流向为：P 口→油滤→节流孔→射流片射流口→回油腔→R 口；系统供油油液通过绝对过滤进度为 35 μm 的油滤后，进入前置级节流孔并由射流片喷嘴射出，如图 5 所示。

在高低压油反接的条件下，系统供油油液流向为：R 口→回油腔→射流片射流口→节流孔→油滤→P 口；高低压油反接会导致未经前置级过滤的进油油液直接从回油口侵入前置级敏感元件，即射流片喷嘴口和节流孔。

由此可知，在高低压油反接的条件下，进油油液将射流片射流口和节流孔存在被污染可能，若高低压油反接状态保持则油滤内壁会附着较多污染物。

3 高低压油反接后伺服阀修理措施

由于存在伺服阀污染可能，高低压油反接返厂的伺服阀需要进行检修，上文分析结果可以指导具体工作按如下过程开展：

- (1) 返厂外观检查，检查底面和安装面是否存在渗油现象；
- (2) 性能复试，检查伺服阀性能是否正常；
- (3) 分解上盖检查，检查一级座底面，弹簧管底面，衔铁组件头部是否存在渗漏油；
- (4) 分解力矩马达清洗，分解一级座组件，显微镜检查射流片、油滤座节流孔和油滤表面是否存在污染物，检查密封圈表面是否存在损伤；
- (5) 按检查情况视情更换，一级座组件、衔铁组件、油滤座组件、油滤和密封圈；
- (6) 重新装调试验。

4 结语

通过对高低压油正常使用和反接两种状态下，各零组件受油压压力和油液流向进行分析可知，高低压油反接短期内不会对伺服阀结构产生显著影响，同时若长时间保持交变高压可能对衔铁组件头部过盈面和传感器密封套组件过盈面、一级座与壳体结合处增加渗漏油风险、弹簧管薄壁应力疲劳寿命等产生不利影响，并存在系统油液污染射流器喷嘴口和节流孔，油滤内壁也会附着较多污染物。

参考文献：

[1] 方群. 射流管电液伺服阀的研制应用及发展趋势 [C]. 第五届中国船舶及海洋工程用钢发展论坛 2013 船舶及海洋工程甲板舱室机械技术发展论坛论文集 ,2013:94-106.

[2] 田源道. 电液伺服阀技术 [M]. 北京：航空工业出版社 ,2008.

作者简介：马智勇（1981.05-），男，汉族，江苏兴化人，硕士研究生，工程师，研究方向：航空机械；陈灿（1990.10-），男，汉族，江苏淮安人，本科，工程师，研究方向：机械电子。

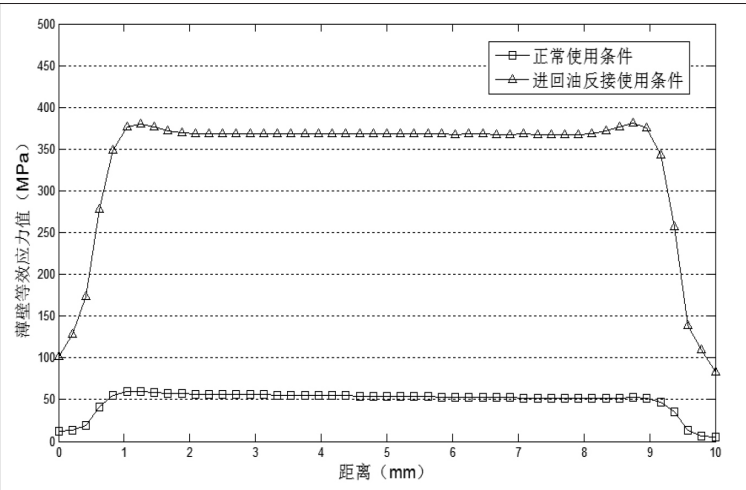


图 4 正常、高低压油反接使用弹簧管薄壁受力图

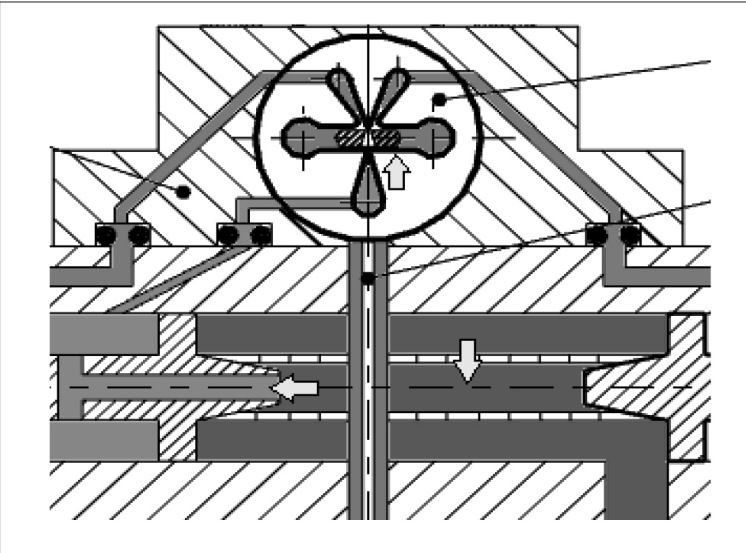


图 5 高低压油正常使用油液流动图