

## 恒压变量柱塞泵压力波动分析

文晓庆 季会群

(上海宏普液压技术有限公司 上海 201109)

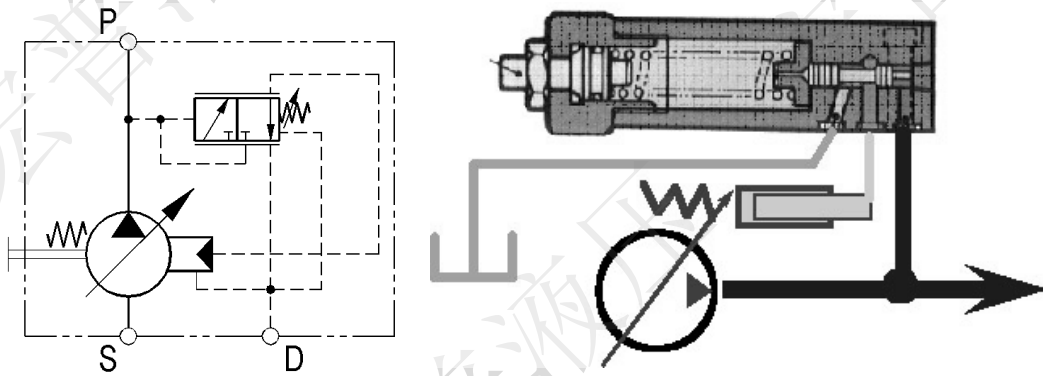
**摘要:** 恒压变量柱塞泵作为液压伺服系统的常用动力源，其压力输出特性直接影响着电液控制系统的品质。本文通过对恒压变量柱塞泵的压力波动故障进行分析，针对故障产生的原因，提出相应的解决办法，为系统设计和维护提供指导帮助。

**关键词:** 恒压变量泵；压力波动；故障诊断

### 1 引言

液压伺服系统广泛采用恒压变量柱塞泵作为动力源，以达到高频响和高精度的控制要求。而恒压泵的压力波动问题却严重地影响着控制系统的品质。本文对恒压变量柱塞泵产生压力波动的原因进行了理论分析和实际检测，提出了改进措施和使用要求，并在实际工作中得到应用。

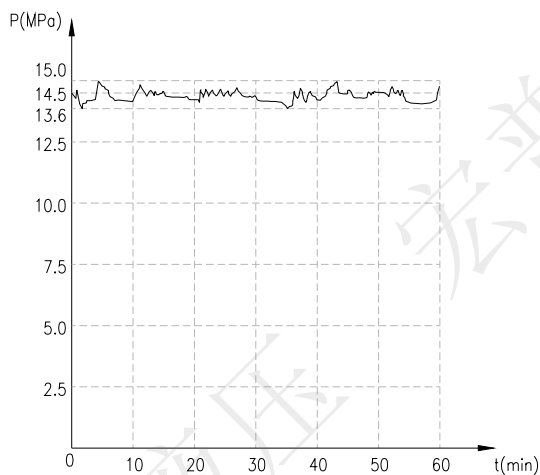
### 2 恒压变量柱塞泵的工作原理及故障现象



图一 恒压变量柱塞泵工作原理图

轴向柱塞泵是高压系统中常用的动力元件，具有压力平稳、噪音低、输出功率大等优点，并且可通过改变斜盘倾角的方法方便地实现变量要求。恒压变量柱塞泵就是在泵的本体上增加调压阀，将泵出口压力反馈到泵体的变量机构上，在保持输出压力不变的条件下，使泵的输出流量随负载需要而变化。图一为恒压变量柱塞泵的工作原理图。泵出口油压作用在调压阀上伺

服阀芯的右端，弹簧力作用伺服阀芯的左端，弹簧预紧力由调压螺钉设定。当泵出口油压升高时，液压力大于弹簧力，伺服阀芯向左移动，使控制油与压力油相通，控制油压升高；当泵出口油压降低时，弹簧力大于液压力，伺服阀芯向右移动，使控制油与回油相通，控制油压降低。该控制油压作用在泵体内部的变量活塞上，变量活塞与泵体内的大弹簧共同决定斜盘的倾角。当控制油压升高时，变量活塞上的液压力大于弹簧力，斜盘倾角变小，泵的输出流量减少；当控制油压降低时，弹簧力大于液压力，斜盘倾角变大，泵的输出流量增加。这样，就可以通过泵出口压力的变化来改变泵的输出流量，以达到保持系统压力恒定不变的目的。



图二 恒压变量柱塞泵压力波动曲线

恒压变量柱塞泵的恒压过程是通过泵输出压力的变化反馈到泵体内改变泵的输出流量来实现的。这是一个压力反馈过程，从理论上讲，泵的输出压力是变化的，但这个变化极其微小，从压力表上很难看出。如果在调节过程中压力偏差值过大，并且超过一定数值时，就可判定该泵存在压力波动故障。图二为某电厂汽轮机电液调节系统的压力输出曲线。

从曲线中可以看出，该泵的设定压力为 14.5MPa，而实际的输出压力最高为 15.0MPa，最低为 13.6MPa。压力波动达 1.4MPa。该泵的额定压力为 21MPa，根据制造商提供的数据，当压力波动超过 1.0MPa 时就可判定该泵存在压力波动故障。

电厂的汽轮机电液调节系统用于控制汽轮机的转速和功率。该系统为电液伺服系统，以计算机作为控制器，以伺服油缸作为执行机构，以伺服阀作为电液转换器。当液压系统的输出压力变化时，会引起油缸的输出力发生变化而影响汽轮机的转速或功率，使调节品质变差，严重时还会引起系统振荡或造成事故。因此，压力波动对汽轮机电液调节系统的危害是巨大的。

### 3 恒压变量柱塞泵的故障分析及处理方法

恒压变量柱塞泵的压力波动主要是由调压阀和变量活塞两部分的故障产生的。

调压阀是压力敏感元件，其伺服阀芯的灵敏度决定了泵输出压力的平稳性。对于伺服阀芯来讲，在理想状态下，力平衡方程为：

$$pA=kx$$

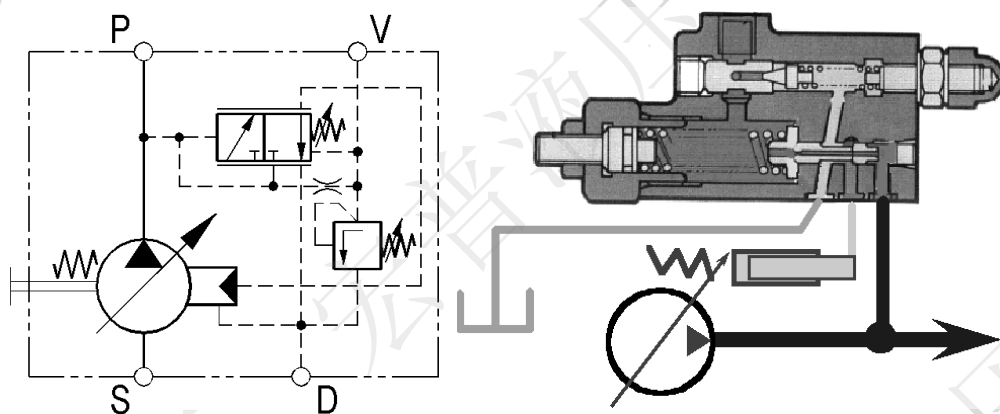
其中  $p$  为泵出口压力， $A$  为阀芯面积， $pA$  表示作用在阀芯右端的液压力。 $k$  为弹簧刚度， $x$  为弹簧预压缩量， $kx$  表示作用在阀芯左端的弹簧力。只要泵出口压力  $p$  发生变化，力平衡遭到破坏，阀芯就会发生移动打开阀口，使调压阀输出的控制油压发生改变。但在实际使用中阀芯移动总是存在一定的阻力，该力平衡方程变为：

$$pA = kx + f$$

其中  $f$  为摩擦阻力。当泵出口压力发生变化时，必须要达到  $\Delta p > f/A$  后阀芯才能运动。对于直径  $d=6\text{mm}$  的阀芯，当摩擦力  $f > 27.7\text{N}$  时，就会使  $\Delta p$  达到  $1.0\text{MPa}$  以上，发生压力波动故障。

摩擦力主要是由杂质卡涩和弹簧力不平衡造成的。当油中杂质进入到伺服阀芯与阀体之间的间隙中以后，势必造成阀芯卡涩，使摩擦阻力增加。另外，泵的工作压力是由弹簧预紧力调定的，而弹簧都有一定的侧倾力。泵出口压力为  $14.5\text{MPa}$  时，弹簧力较大，达  $402\text{N}$ 。它所产生的侧倾力将阀芯压向一侧，也增加了阀芯的摩擦力。

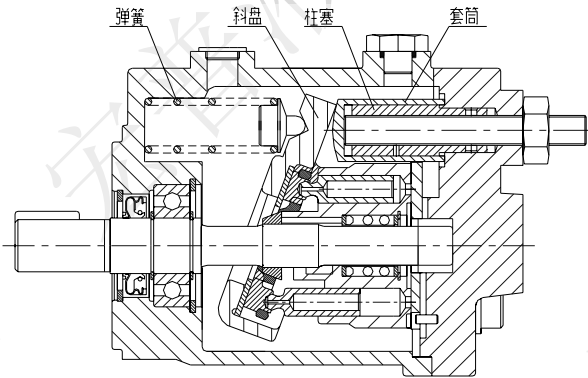
由杂质卡涩引起的摩擦力增大，通过提高并保持油液清洁度，可大幅降低其发生的概率。弹簧力产生的侧向力由于泵结构所致，是不可避免的。但是将调压阀改成先导式调压阀，则可大大减小弹簧力，从而减小阀芯侧向力。图三为先导型调压阀工作原理图。泵出口压力同样作用在伺服阀芯的右侧，左侧的弹簧力很小，只起复位作用，而主要的力为由先导阀设定的液压力。这样在阀芯两端就形成液压平衡。液压的对中作用使阀芯的侧向力很小，从而将摩擦力减为最小，使阀芯调节更灵敏。经实际使用考核，改用先导型调压阀后，出现泵油压波动故障的数量有所减少，压力输出更平稳。



图三 先导型调压阀工作原理图

从泵的调压系统来讲，泵体内的变量活塞就是执行元件。执行元件的不灵敏同样会引起压

力波动故障。变量活塞相当于一个柱塞缸，柱塞和套筒之间机械摩擦和杂质卡涩是引起变量活塞不灵敏的主要原因。通过对故障泵的解体检查也验证了这一点。



图四 恒压变量柱塞泵结构图

图四为恒压变量柱塞泵的结构简图。从结构上分析，变量活塞的压力腔实际上是一个液压死区。一旦大的颗粒杂质进入到该腔室就很难再出去，在反复运动中很容易进入到柱塞和套筒之间形成卡涩。这些颗粒可能是在泵的装配过程中留下的，也可能是油泵刚开始充油时进入的。对于液压伺服系统业内有一个习惯上的使用误区，那就是系统加油时油质较差，通过油循环达到使用要求。虽然满足了伺服阀等控制元件的使用要求，但颗粒杂质进入到泵的控制腔室留下了隐患。所以，在装配时保证好的清洁水平和使用合格油液是防止变量活塞卡涩的有效手段。

由于斜盘对变量活塞产生侧向力，使变量活塞的套筒与柱塞间形成上下两条线的接触区域。且对于长期稳定工作的系统，活塞运动的位置基本固定。经解体检查，在故障泵的活塞套筒上有上下两条明显的磨损痕迹，且存在锈蚀斑点。这是由于表面磨损后油中水分等对其侵蚀产生的，这些锈蚀斑点大大地增加了推动活塞的摩擦力。选用耐磨性与耐腐蚀性更好的材料是解决变量活塞磨损的关键。

由于斜盘对变量活塞产生侧向力，使变量活塞的套筒与柱塞间形成上下两条线的接触区域。且对于长期稳定工作的系统，活塞运动的位置基本固定。经解体检查，在故障泵的活塞套筒上有上下两条明显的磨损痕迹，且存在锈蚀斑点。这是由于表面磨损后油中水分等对其侵蚀产生的，这些锈蚀斑点大大地增加了推动活塞的摩擦力。选用耐磨性与耐腐蚀性更好的材料是解决变量活塞磨损的关键。

## 4 结论

恒压变量柱塞泵出现压力波动是液压伺服系统常见的故障，既有元件制造的因素，也有选型和使用上的原因。选择合适的油泵和使用清洁油液是避免出现压力波动故障的有效手段。

### 参考文献：

- 1、丹尼逊液压技术，轴向柱塞式液压泵。
- 2、季会群，EH 系统的典型故障及处理[J]，《电厂自动化》，2003(4)。

## Pressure Fluctuate Analysis of Constant Pressure Pump

**Abstract:** Constant pressure pump is the most typical power component for hydraulic servo system.

The pump's pressure characteristic affects quality of the control system directly. Through the trouble analysis of the pressure fluctuate for constant pressure pump, the paper finds a

solution to solve the problem, and gives advices for system designing and using.

**Key words:** constant pressure pump pressure undulate trouble diagnose