

自调式同步阀

杨世祥

提要 北京钢铁设计研究总院对同步阀进行了研究，除成功地设计和应用过固定式同步阀和可调式同步阀外，还与长春市曙光五金机械厂合作研制成功多种规格的自调式同步阀。本文详细介绍自调式同步阀的工作原理，分析其同步精度并介绍其应用实例

同步阀是用来保证两个以上的液压执行器（如液压缸）实现同速运动的液压元件。采用同步阀使液压执行器同步的方法具有系统简单、维护方便、使用可靠、精度易保证等许多优点，可广泛用于允许同步误差为1~3%的一般同步系统中。目前生产的同步阀，大都是所谓固定式同步阀，它要求通过阀的流量相对恒定，波动幅度不得超过±30%，否则就不能正常工作。为了克服固定式同步阀的这个缺点，研制了可调式同步阀和自调式同步阀，大大改善了同步阀的使用性能，扩大了应用范围。

工作原理

固定式同步阀的工作原理

国内目前生产的两种典型的固定式同步阀——挂钩阀芯式及换向套筒式同步阀的结构如图1所示。两种同步阀虽然结构不同，

工作原理却完全一样。现以挂钩阀芯式同步阀为例说明固定式同步阀的工作原理。

分流时，压力油从P口进入阀体，压力差将挂钩阀芯拉开，使阀芯上的二次节流口内棱边对准阀体沉割槽内棱边。油液分别经过左右两侧一次节流孔和二次节流口流入两个液压执行器。当两执行器负载相同时，A、B口油压相等，阀芯处于中位，两侧二次节流口阻力相同，A、B两支路流量相等。当A、B口负载压力不等时，流过两侧一次节流孔的流量会发生变化，例如负载大的一侧的流量会有所下降，使该侧一次节流孔压降减小，该侧控制腔压力升高，破坏了挂钩阀芯的平衡，使阀芯向负载小的一侧运动，从而关小负载小侧的二次节流口，增大该侧二次节流口阻力，直到阀芯重新平衡为止。达到平衡时，左右控制腔压力几乎相等，两侧固定节流孔的压降相等，因制造时尽量使两侧固定节流孔面积相等，所以两侧

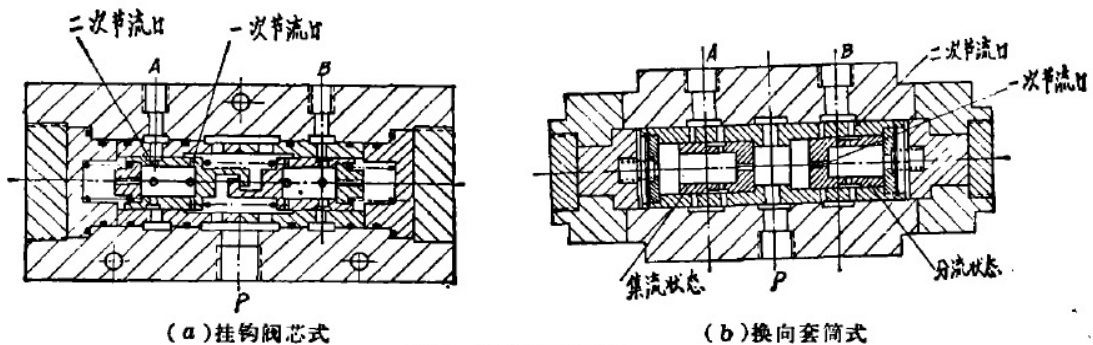


图1 固定式同步阀

流量几乎相等，即油液被等量分流了。

集流时，来自两个液压执行器的油液从 A、B 口进入阀体，压差将挂钩阀芯压拢，使二次节流口外棱边对准阀体沉割槽外棱边。当 A、B 两油口压力不等时，比如 A 侧压力较高，则 A 侧控制腔压力高于 B 侧，阀芯将向 B 侧移动，关小 A 侧二次节流口，使 A 侧液流受阻，从而降低 A 侧控制腔压力，直到建立起新的平衡。于是，A、B 两侧控制腔油压基本相等，两侧一次节流孔的压降相同，所以流量相等，达到不等负载下等量集流的目的。

同步阀的主要性能指标是分流误差 ε ，即两个工作支路 A、B 的流量 q_A 、 q_B 之差 Δq 对通过同步阀的总流量 Q 的比值：

$$\varepsilon = \frac{2\Delta q}{Q} \quad (1)$$

左右支路的流量分别为

$$q_A = CA\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p_A} \quad (2)$$

$$q_B = CA\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p_B} \quad (3)$$

式中 C——流量系数；

A——一次节流孔面积；

g——重力加速度；

γ ——油液重度；

Δp_A ——左侧一次节流孔压降；

Δp_B ——右侧一次节流孔压降。

影响分流精度的因素有液动力、弹簧力、摩擦力和泄漏等。其中影响最大的是液动力，它使得阀芯平衡时两控制腔压力不尽相同，从而造成分流误差。阀芯所受不平衡推力 F 为

$$F = B(\Delta p_A - \Delta p_B) \quad (4)$$

式中 B——阀芯截面积。

从式 (2) 与 (3) 中分别求出 Δp_A 和 Δp_B 代入式 (4)，考虑到 $q_A + q_B = Q$ 、 $q_A - q_B = \Delta q$ 及式 (1) 的关系，并令 $Q = 2CA\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}$ ，则得

$$\varepsilon_F = \frac{F}{2B\Delta p} \quad (5)$$

式中 Δp ——总流量 Q 的一半流过一侧一次节流孔时的压降；

F——阀芯运动阻力，等于前述液动力、弹簧力、摩擦力的总和。

从式 (5) 可以看出，要保证同步阀的精度，就要保持一次节流孔压降 Δp ，也即保证总流量 Q 基本恒定。如果流量减少一半，压降即为原来的四分之一，同步精度就要大为降低，甚至于不能工作。一次节流为固定节流孔的固定式同步阀仅能适用于一定的流量范围，否则同步精度明显下降，这是它的一个缺点。

可调式同步阀的工作原理

可调式同步阀的结构如图 2 所示。用两个可调节流口来代替固定式同步阀的两个一次节流孔，通过调节该节流口的通流面积来适应所要通过的流量，从而保证一定的节流压降 Δp 。实践证明，该阀克服了固定式同步阀的缺点，经过调整可适应 3~4 倍的流量变化范围。但是这种阀还不能适应流量经常发生变化的系统，尤其是流量瞬时发生变化的系统更不能使用。

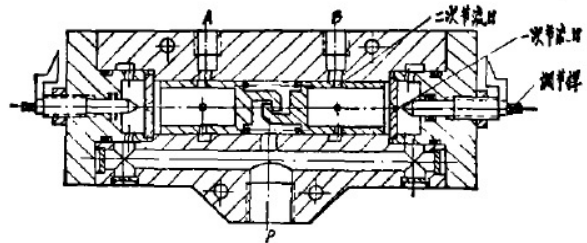


图 2 可调式同步阀

自调式同步阀的工作原理

自调式同步阀的结构如图 3 所示。套阀芯棱边与阀套小孔形成一次节流口。分流时，从 P 口进入阀体的油液通到套阀芯下侧，经一次节流口节流后再通入挂钩阀芯两端。同时，A 侧一次节流后的油液还被引到套阀芯上侧。于是，一次节流口压降受弹簧

控制而几乎保持恒定。集流时，B腔一次节流口上游油液被引到下活塞下侧，下活塞与套阀芯一起向上运动，一次节流口压降仍然受弹簧控制而保持恒定。这样一来，不管是分流工况还是集流工况，也不管流量是大是小，一次节流口的压降始终保持恒定，从而维持了变流量下的同步精度。

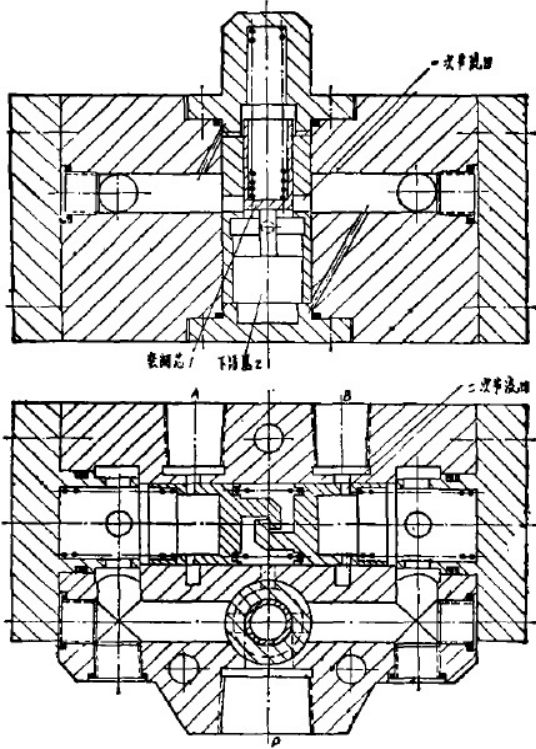


图3 自调式分流阀

影响同步精度的诸因素

阀芯不平衡力

从式(5)可见，分流误差与阀芯不平衡力 F 成正比。阀芯不平衡力是弹簧不平衡力、液动力、摩擦力等的代数和。分析稳态分流误差时，可以不考虑惯性力的影响。

弹簧不平衡力 F_1 为

$$F_1 = 2Kx \quad (6)$$

式中 K ——弹簧刚度；
 x ——阀芯位移。

F_1 指向使阀芯恢复中位的方向。

液动力 F_2 为

$$F_2 = k\sqrt{\frac{2g}{\gamma} |p_A - p_B|} \frac{Q}{2} \quad (7)$$

式中 k ——系数；

p_A ——左侧出口压力；

p_B ——右侧出口压力。

F_2 指向使阀芯离开中位的方向。

摩擦力 F_3 为

$$F_3 = 0.04 \text{kgf/cm}^2 \times B \quad (8)$$

内漏

要想使阀芯运动灵活，阀芯与阀体间就要有一定的配合间隙，从而造成内漏。当A、B口负载不同时，两侧内漏也不一样，这样引起的分流误差 ϵ_L 为

$$\epsilon_L = \frac{\pi D \delta^3 (p_A - p_B)}{6\mu l Q} \quad (9)$$

式中 D ——阀芯直径；

δ ——半径间隙；

μ ——动力粘度；

l ——密封长度。

从式(9)可知， ϵ_L 随A、B口压力之差而加大，随总流量的加大而减小。对于大流量的同步阀来说，内漏造成的分流误差比较小，可忽略不计，但对于小流量(10升/分以下)的同步阀来说，内漏则是引起误差的主要因素，必须给予足够重视。

一次节流孔误差

一次节流孔的制造误差，造成固定的同步误差 ϵ_0 ：

$$\epsilon_0 = \frac{2(d_A^2 - d_B^2)}{d_A^2 + d_B^2} \quad (10)$$

式中 d_A ——A侧一次节流孔直径；

d_B ——B侧一次节流孔直径。

总同步误差 e 为

$$e = \epsilon_F + \epsilon_L + \epsilon_0 \quad (11)$$

提高同步精度的措施

根据以上分析，可考虑以下提高同步精度的措施：

1. 尽量减小弹簧不平衡力。在保证阀芯

能复位的情况下可尽量减小弹簧刚度，如能保证稳定，甚至可以取消弹簧。

2. 采取结构措施消除液动力。

3. 提高阀芯与阀体孔的几何精度和表面光洁度，适当加大配合间隙，可以大大减小摩擦力。不过要注意，间隙不能过大，否则会影响同步阀的正常工作。

4. 加大配合间隙后，必须采取措施防止内漏，对小流量的同步阀尤其要注意这一点。

5. 减轻阀芯重量、适当加大阀芯截面积，可以提高同步阀的灵敏度和反应速度。

6. 提高一次节流孔的精度。

7. 保证一次节流孔压降不低于 $6\sim 8\text{kgf/cm}^2$ 。

采取上述措施设计出的自调式同步阀，当总流量在 $10\sim 60\text{l/min}$ 范围内变化，偏差达 150kgf/cm^2 时，同步误差为 $1\sim 3\%$ 。

应用实例

自调式同步阀曾装在北京化工厂载重卡车货斗落地四缸同步系统（图4）上，效果



图4 货斗落地四缸同步系统

良好。该系统原来采用固定式同步阀，但由于固定式同步阀适应流量范围太窄，而系统流量变化幅度较大，所以虽经多次调试，始终不能正常工作。1979年7月装上北京钢铁设计研究总院设计、长春市曙光五金机械厂试制的自调式同步阀，使同步问题得到解决。该阀经受住 $-10\sim +70^\circ\text{C}$ 温度变化的考验，从未出过故障，经两级分流和集流后，同步误差仍能保持在 $2\sim 3\%$ 以内。长春市曙光五金机械厂已开始接受各单位定货，生产 $2\sim 420\text{l/min}$ 的各种规格的自调式同步阀。

□

行业消息

NXQ型皮囊式蓄能器鉴定会

一九七九年九月十七日至廿二日在南京市由江苏省机械工业局主持召开NXQ型蓄能器系列技术鉴定会。该系列由一机部蓄能器联合设计组设计、经南京锅炉厂等单位试制，公称容积为10、16、25及40升、工作压力为100、200、 320kgf/cm^2 、共12个品种样机。

出席会议的有一机部通用机械总局、省市劳动局等领导机关、大专院校、科研院所及有关生产和使用单位，共53个单位88位代表。

会上，首先由一机部联合设计组负责单位西安重型机械研究所介绍了皮囊蓄能器的选型、设计、计算及光弹试验等情况。接着，分别由南京锅炉厂、南京橡胶三厂和本溪塑胶厂介绍了 $10\sim 40$ 升、

三种压力级、三种钢材的壳体试制情况和 $10\sim 40$ 升胶囊试制情况。

会议分组对样机的技术文件、图纸资料等进行了审查，并对壳体强度进行了复算。认为样机的技术文件和图纸资料基本齐全，各项试验达到鉴定大纲的要求。审查中抽选40升不同材质壳体三种进行了现场爆破试验，试验结果均超过设计工作压力的4倍。

与会代表认为南京锅炉厂已具备生产蓄能器的工艺装备，测试检验工具等条件，可投入批量生产。

（金鼎供稿）