

高压柱塞泵压力脉动分析及抑制措施

Analysis on Pressure Pulsation of High Pressure Plunger Pump and Control Measures

郭健¹ 周凯² 刘振岗^{2/1} 海军驻南京地区航空军事代表室 2 海军航空工程学院青岛校区

摘要: 高压柱塞泵压力脉动影响液压系统工作性能。本文在分析高压柱塞泵压力脉动机理与现象的基础上,介绍了抑制压力脉动的四种措施,即壳体内设置缓冲瓶、配油盘带有节流孔、柱塞采用封闭薄壁结构、在泵的变量机构处增加一个补偿器。实践表明,这些抑制措施是有效可行的。

关键词: 柱塞泵; 压力脉动; 缓冲瓶; 节流孔

Keywords: plunger pump; pressure pulsation; buffer bottle; throttling orifice

0 引言

柱塞泵具有压力高(可达32~40MPa)、结构紧凑、效率高(一般在90%以上)以及流量调节方便等优点,因此在飞机液压系统中常采用柱塞泵作为压力源。但是,柱塞泵的流量脉动是客观存在的,并且会引起压力脉动。当压力脉动率超过流量脉动率时,压力脉动会影响液压系统的工作稳定性,有时甚至会引起液压元件和液压管路系统的振动与损坏。因此在设计高压柱塞泵时,必须考虑压力脉动的影响,并对其加以抑制。本文在分析高压柱塞泵压力脉动机理与现象的基础上,提出了抑制压力脉动的措施。

1 高压柱塞泵压力脉动分析

柱塞泵是容积式泵,通过密闭容腔体积的变化实现吸、压油任务。柱塞泵的脉动问题可通过理论分析计算,在脉动较为明显的柱塞泵中,斜盘式轴向柱塞泵的理论瞬时流量 Q 如式(1)所示。

$$Q = \sum_{i=1}^{4 \sim 5} q_i = \frac{\pi d^2}{4} R \omega \lg \beta \sum_{i=1}^{4 \sim 5} \sin[\varphi + (i-1)\alpha] \quad (1)$$

式(1)中, d 是柱塞直径, R 是柱塞分布圆直径, ω 是缸体旋转角速度, β 是斜盘倾角, φ 是缸体转角, α 是柱塞间的夹角($\alpha=2\pi/9$)。

描述理论瞬时流量品质的指标,流量脉动频率 f_q 如式(2)所示

$$f_q = \frac{Z\omega}{k\pi} \quad (2)$$

式(2)中, k 是奇偶系数,奇数为1偶数为2。

由上可知,柱塞泵轴每转一转,各个工作油腔内液体流量及压力都在发生着周期性的变化。在吸油区,工作腔的容积由小变大,在排油区则由大变小,从而带来柱塞泵流量的周期变化,这就是流量脉动。由此,也就引起油压的周期脉动,即压力脉动。这种脉动的幅度和频率取决于柱塞泵的旋转速度、液体流速和工作腔数(柱塞数)。在管道中,压力脉动以流体声波的形式传播出去,有时听到的间隙声响就是液体流动产生的脉动^[1]。

2 高压柱塞泵压力脉动抑制措施

柱塞泵的压力脉动是客观存在

且不可避免的。压力脉动直接影响液压系统的工作性能,为了获得平稳强劲的液压力,在高压泵的设计过程中,应充分对其进行抑制。以下是某型高压航空柱塞泵抑制压力脉动所采取的主要措施。

2.1 在柱塞泵壳体内设置缓冲瓶

在保证产品功率重量比的前提下,泵中内置体积匹配的缓冲瓶^[2],可有效降低该泵的压力脉动。

缓冲瓶,亦称亥姆赫兹谐振器,具有结构简单、消振频带宽、体积小、重量轻和工作可靠等优点。其基本结构如图1所示,压力脉动由1点输入,经过1-2段油路进入缓冲瓶中后,往返于2-3段油路之间,2-3段油路起到液感和液阻的作用,缓冲脉动波的变化,同时消耗一部分脉动能量。容腔 V 起到液容的作用,吸纳来自于3点的压力脉动。当脉动频率和缓冲瓶固有频率吻合时,缓冲瓶将产生谐振,此时往返于2-3段管路中的压力脉动幅值最大,缓冲瓶衰减压力脉动的效果最好。这就是缓冲瓶的消振机理。

缓冲瓶在液压系统中不易找到谐

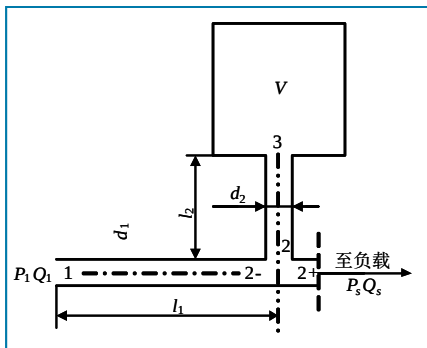


图1 缓冲瓶结构示意图

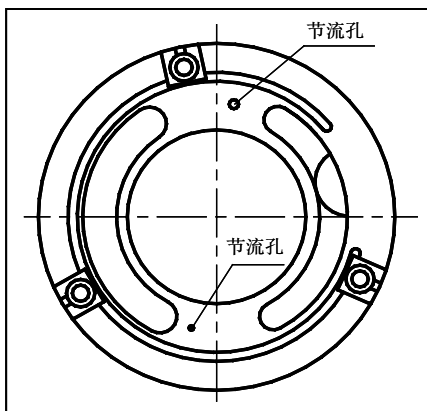


图2 配油盘结构简图



图3 柱塞结构图

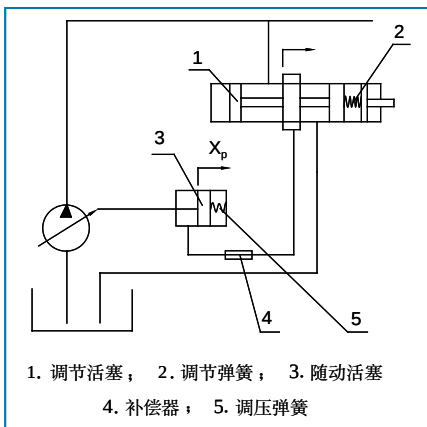


图4 变量泵结构简图

振点，但是在一个较宽的频率范围内均有减弱压力脉动的作用，且瓶体的

形状对减弱脉动没有影响。缓冲瓶的体积越大，减振效果越明显。由于缓冲瓶内置在壳体内，缓冲瓶体积的增大，必将增加产品的重量，因此缓冲瓶体积也不宜过大。

2.2 配油盘带有节流孔

在配油盘上增设节流孔，如图2所示。由于节流孔与排（吸）油腔相通，当柱塞孔内的压力与排（吸）油腔压力不等时，油液通过节流孔注入（或泄出）柱塞孔的流动就不会停止，而会继续进行。两者压力差别越大，流过节流孔的液体流量就越大，因而柱塞孔内压力上升（或下降）的速度也快，这就使柱塞孔内的压力和排（吸）油腔压力很快接近。当工况发生变化后，如负载压力高于额定压力后，柱塞孔在接近排油腔时，两者压力差将比额定工况时大，此时由节流孔注入柱塞孔的流量比额定工况下同一位置上注入柱塞孔的流量大，直到柱塞孔的压力接近于排油腔压力，注入流量才变小，柱塞孔内的压力上升也随之缓慢。因而，当柱塞孔与排油腔接通时，两者压力相差不大，也能有效地降低泵的压力脉动。

2.3 柱塞采用封闭薄壁结构

高压柱塞泵的压力高，受油液可压缩性能的影响，工作腔内会产生无效容积，从而会降低泵的容积效率，增加泵的压力脉动。

如果该泵的柱塞采用封闭薄壁结构，如图3所示，工艺上采用电子束焊接。这种结构不仅有足够的刚度，而且可以减轻柱塞的重量，同时还可最大限度地减少柱塞在吸排油过程中的剩余无效容积，因而也能够降低泵的压力脉动。

2.4 变量机构处增加补偿器

该泵为变量柱塞泵，结构简图见图4。通过动态误差分析，在调节活

塞与随动活塞油道之间增加一个补偿器^[3]，有利于减小稳态动态误差值，并且半径较小的补偿器的动态误差也较小。因此，在满足柱塞泵动态性能的前提下，采用半径尽可能小的补偿器，可提高斜盘的工作管稳定性，对压力脉动有一定的抑制作用。

通过两种不同半径的补偿器（ $r_0=1\text{mm}$ 和 $r_0=0.8\text{mm}$ ），在同一台泵及相同的试验条件下进行的对比试验，测得压力脉动双幅值分别为4.68MPa、3.72MPa，表明对柱塞泵的变量机构处增用适当的补偿器，可减小其压力脉动自身的误差，从而减小压力脉动的双幅值。

3 结束语

在某型28MPa高压航空柱塞泵的研制过程中，通过综合应用上述四种压力脉动抑制措施，有效地降低了柱塞泵的压力脉动。在额定转速变流量状态，压力脉动双幅值仅为1MPa，为额定压力的 $\pm 1.8\%$ ，远小于柱塞泵通用规范压力脉动小于4.2MPa的要求。

AST

参考文献

- [1] 姚新. 柱塞泵压力脉动分析及衰减措施[J]. 机床与液压, 2004(8): 171-172.
- [2] 王占林. 飞机高压液压能源系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [3] 郭生荣,等. 直轴式恒压泵的脉动分析与研究[C]. 中国航空学会控制与应用第十届学术年会论文集, 2002: 325-328.

作者简介

郭健, 高级工程师, 主要从事流体传动与控制研究和装备质量管理工作。