

大排量径向柱塞泵滑靴与定子的运动分析

李少年,代鹏云,常露丹,王煜

(兰州理工大学 能源与动力工程学院,甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对大排量径向柱塞泵定子特殊安装方式,首先假设滑靴与定子固接,分别从单柱塞、双柱塞等几个方面,画出运动机构简图,进行自由度分析,得到定子与转子角位移和角速度之间关系。然后分析滑靴沿定子内表面运动时,滑靴与定子之间的运动关系。结果发现,吸油区滑靴对定子内表面作用力相对较小,可以认为受到滑靴为一数值较小且阻碍定子运动的摩擦力作用。定子主要由排油区滑靴摩擦力驱动,不同位置滑靴对定子运动产生促进和阻碍的作用不同,使得定子将以一会儿增大或者一会儿减小的变化角速度旋转。和传统定子固定形式径向柱塞泵相比,此结构有效降低了滑靴与定子之间因为摩擦而消耗的功率,机械效率得到提升。

关键词: 径向柱塞泵;滑靴;定子;运动

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2020)11-0035-05

Analysis of the Motion between Slipper and Stator of Large Displacement Radial Piston Pump

LI Shao-nian, DAI Peng-yun, CHANG Lu-dan, WANG Yu

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: According to the special installation method of the stator of the large displacement radial piston pump, the slipper is supposed that it's fixed to the stator, and the schematic diagram of the moving mechanism is drawn from the aspects of single piston and double piston respectively. And the degree of freedom is analyzed to get the relationship between the angular displacement and angular velocity of the stator and rotor. Then, the relationship between the slipper and the stator is analyzed when the slipper moves along the inner surface of the stator. It is found that the acting force of the slipper on the stator inner surface is relatively small in the oil absorption area, and it can be considered that the friction effect of the slipper is small and hinder the movement of the stator. The stator is mainly driven by the frictional force of the slippers in the oil discharge area. Different positions of the slippers have different effects on promoting and hindering the stator movement, so that the stator will rotate at a high or a low angular speed for a while. Compared with the traditional radial piston pump which stator is fixed, this structure effectively reduces the power consumption between the slipper and the stator because of friction, and improves the mechanical efficiency.

Key words: radial piston pump; slipper; stator; motion

0 引言

径向柱塞泵因其具有工作压力高、寿命长、噪声低、控制精度高等优点,受到国内外液压行业的青睐,广泛应用于冶金、矿山、锻压、船舶等机械设备的液压系统中^[1-2]。大排量径向柱塞泵主要用在重载领域,在大型钢铁企业,根据产品生产需要,通常使用多台大排量径向柱塞泵组合工作,但是如果某一台泵出现故障,

则引起整个机组不能正常工作,造成较大的经济损失。径向柱塞泵存在三对摩擦副,即缸体-配流摩擦副、缸体-柱塞摩擦副和定子-滑靴摩擦副,它们是保证径向柱塞泵正常工作的基本条件^[3-4]。与其他两对摩擦副相比,滑靴因具有体积小、运动与动力学特性参数数值大和结构特殊等特点而易损坏,使得定子-滑靴摩擦副为三大摩擦副中故障率较高的摩擦副之一,滑靴副摩擦失效引起滑靴损坏则导致泵不能正常工作。

高压大排量径向柱塞泵定子安装形式与传统小排量径向柱塞泵不同,它的定子不再固定,滑靴与定子之间运动关系有很大不同。本文以排量为 1000 mL/r,自摆角式变量径向柱塞泵为研究对象,研究其定子运动情况,研究结论对研究大排量径向柱塞泵滑靴副摩擦机理,提高其性能具有重要的意义。

收稿日期: 2020-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(51565026); 甘肃省高等学校科研项目(2015A-044)

作者简介: 李少年(1977-),男,安徽泗县人,副教授,硕士,主要从事流体传动与流体测控技术方面的科研与教学工作。

1 大排量径向柱塞泵定子安装方式

大排量径向柱塞泵基本构件包括转子、配流轴、驱动轴、十字联轴器、柱塞、定子、滑靴、定子保持架和摆动臂等,其泵芯结构如图1所示。该泵滑靴与柱塞以球铰方式连接,通过两个固定销卡在柱塞头上。滑靴沿着定子内表面滑动,定子两侧分别通过螺栓安装有定子保持架。在定子保持架两侧法兰处安装有大轴承且内嵌于两侧摆动臂上。在泵的运转过程中,定子可在滑靴的摩擦力驱动作用下,与保持架一起绕轴承中心转动,为表述方便本文仍称其为“定子”^[5-6]。变量机构推动横梁水平移动,使得摆动臂绕下端支撑轴中心摆动,使得泵的偏心距发生变化,从而实现泵的变量功能。安装有定子保持架的泵芯和安装有轴承的摆动臂如图2所示。

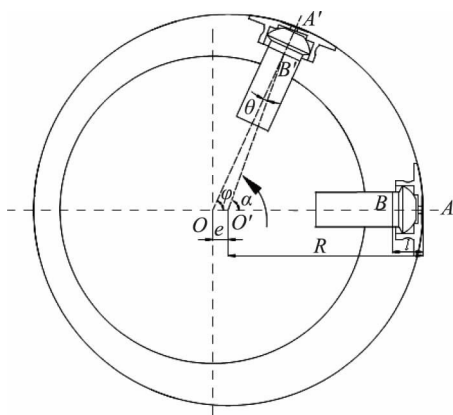


图1 径向柱塞泵泵芯结构示意图

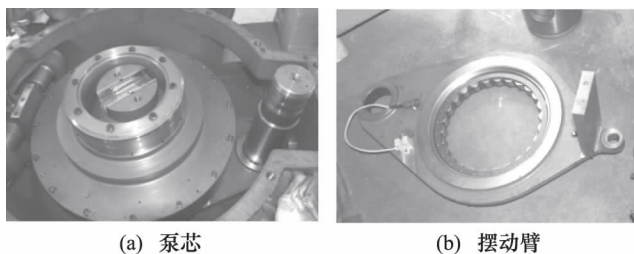


图2 大排量径向柱塞泵泵芯与摆动臂实物

下面主要是结合夹角 θ 、转子角速度 ω 等几个参数,分析滑靴、转子与定子之间的运动关系,部分参数如图1所示。

2 定子的运动分析

为了最终得到定子与滑靴运动关系,这里分为如下三种情况分析:

2.1 假设转子上只安装一个柱塞,且滑靴与定子固接

单柱塞径向柱塞泵的运动可以简化为图3所示的

运动机构简图表示,因为滑靴通过销钉卡在柱塞头部的球铰上,可以看作一个回转副。图3中转子上柱塞腔等效为移动副1,柱塞等效为杆件2,转子和柱塞之间通过移动副连接,定子等效为杆件3。

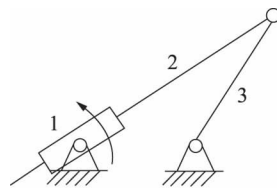


图3 单柱塞径向柱塞泵运动机构简图

按照平面机构自由度计算方法,此处有3个运动件,即 $n=3$;4个低副 $P_L=4$;没有高副 $P_H=0$ 。所以其自由度 F 计算式为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 1$$

该机构有一个原动件,故原动件数与机构自由度相等,有确定的运动。此时,随着转子的运动,柱塞能够驱动定子运动,这里按照偏心距取值情况进行分析:

1) 定子与转子之间偏心距为0

则定子与转子同心,定子在柱塞的驱动下,与转子做同心运动,其角位移与角速度都与转子相同。

2) 定子与转子之间偏心距大于0

此时按照图1所示结构示意图进行分析。以A点为初始位置,当转子转过 φ 角,滑靴此时运动到A'位置。由于存在偏心距 e ,球铰中心至O和O'连线存在夹角 θ ,根据三角函数关系,可以求出定子转角 α 为^[8]:

$$\alpha = \varphi + \theta$$

$$\alpha = \varphi + \arcsin\left(\frac{e}{R-l} \sin \varphi\right) \quad (1)$$

按照式(1),计算得到在排油区和吸油区,定子转角 α 随着转子转角 φ 的变化曲线,且对偏心距 e 从小到大取值,分别带入式(1),得到其变化曲线如图4所示,为了显示清晰,此处只画出 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内,即滑

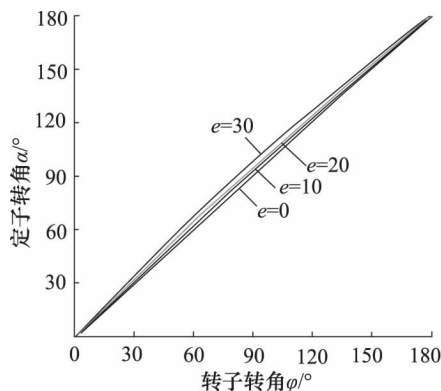


图4 径向柱塞泵定子角位移随转子转角的变化曲线

靴在排油区运动时驱动定子运动的角度值。

从图4可以看出,定子与转子之间存在偏心距 e 时,由于柱塞的驱动作用,定子跟随转子运动,旋转中心不在同一个点,转子绕 O 点运动,定子绕 O' 点运动,且二者角位移大小不相等,存在一定的差值。在转子转角变化过程中,分别计算不同的偏心距时,定子转角与转子转角差值,得到变化曲线如图5所示。

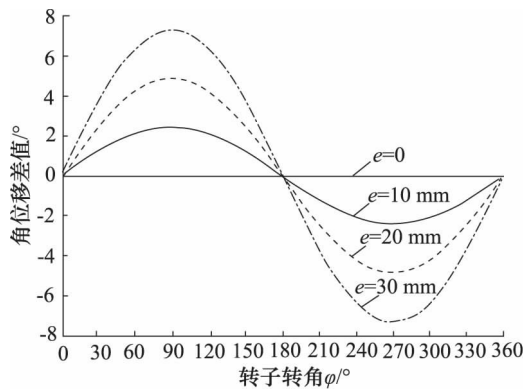


图5 径向柱塞泵转子与定子角位移差值随转子转角变化曲线

从图5可以看出,转子与定子角位移差值随偏心距的增大而增大。在转子旋转一周过程中,在 $\varphi = 0^\circ$ 、 180° 和 360° 三个位置处,差值为零,即 $\alpha = \varphi$;在 $0 \sim 180^\circ$ 范围内 $\alpha > \varphi$,而在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 范围内 $\alpha < \varphi$;在 $\varphi = 90^\circ$ 、 270° 处,二者差值最大。吸油区的定子转角与转子转角差值随转子转角变化关系正好与排油区相反。二者关系用数学式表示为:

$$\begin{cases} \alpha = \varphi, \varphi = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ \\ \alpha > \varphi, \varphi \in (0^\circ, 180^\circ) \\ \alpha < \varphi, \varphi \in (180^\circ, 360^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

对式(1)进行求导,可以得到定子转动的角速度计算公式:

$$\omega_d = \omega_0 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{e}{R-l} \sin \varphi\right)^2}} \frac{e}{R-l} \cos \varphi \right] \quad (3)$$

按照式(3)计算,得到在排油区和吸油区,定子转角速度 ω_d 随着转子转角 φ 的变化曲线,且对偏心距 e 从小到大取值,分别带入式(3),得到其变化曲线如图6所示。

从图6可以看出,在转子以恒定角速度 ω_0 旋转时,定子角速度 ω_d 是变化值,且与转子转角之间不是线性关系。在排油区逐渐减小,到 180° 位置处,降低到

最小,然后从下死点开始进入吸油区,定子角速度逐渐增大。另外可以看出随着偏心距 e 的增大,定子与转子角速度差值也逐渐增大。滑靴跟随定子运动的线速度变化规律与角速度相同,在此不再详细介绍。

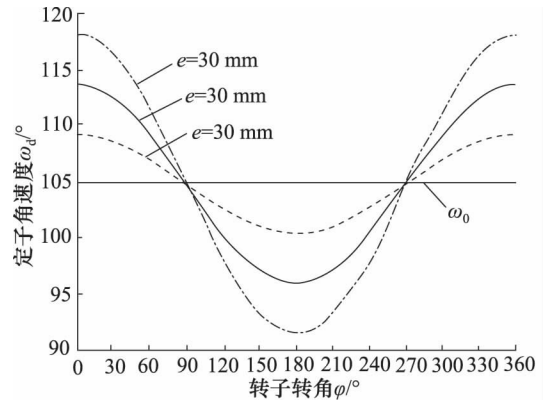


图6 径向柱塞泵定子角速度随转子转角的变化曲线

综上所述,从运动形式上看,转子做匀速运动时,定子在转子上柱塞的驱动下,做先减速后加速的变速运动。

2.2 假设转子上安装两个交角为 β 的柱塞,且滑靴与定子固接

带有两个柱塞的径向柱塞泵可以简化为图7所示的机构运动简图表示,两柱塞安装在一个转子上,二者之间夹角为 β ,可视为1个运动件,包含2个固接的移动副,如图7中的1所示;2、3分别是两个柱塞;4、5分别是两个柱塞连接处转子半径,而且4和5是属于复合铰链,按照2个低副计算。

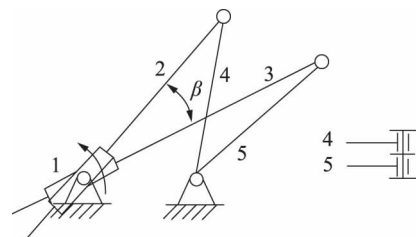


图7 双柱塞径向柱塞泵运动机构简图

按照平面机构自由度计算方法,图7机构有5个运动件 $n=5$;7个低副 $P_L=7$;没有高副 $P_H=0$ 。所以其自由度 F 计算为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 1$$

两柱塞径向柱塞泵运动机构有一个原动件,仍然是原动件数与机构自由度相等,有确定的运动,这里还是从偏心距为0和不为0两个方面进行分析。

1) 定子与转子之间偏心距为0

定子在柱塞的驱动下,同样与转子做同心运动,其角位移与角速度都与转子相同。

2) 定子与转子之间偏心距大于0

因为柱塞头部与滑靴为球铰连接形式,故能够正常运动,两个柱塞之间不会因为产生新的约束而阻碍转子运动。运动过程中,不同位置的两个柱塞滑靴组对于连接处定子驱动作用不同,但它们引起定子运动规律相同。在图5和图6中的曲线,只是沿着水平轴产生一定的平移,平移角度为 β 。

2.3 假设转子上均布安装Z个柱塞,且滑靴与定子固接

当转子周围均匀安装有Z个柱塞时,每个柱塞和定子以连接处的旋转副连接,按照上述分析知道,不会出现过约束现象,原动件个数仍然与自由度相等,柱塞泵能够正常运动。不同位置的柱塞对于定子驱动作用不同,但是定子运动规律还是一样,每个柱塞滑靴组件对定子角位移、角速度作用曲线上,将沿着 $2\pi/Z$ 周期平移。

2.4 滑靴与定子之间存在滑动摩擦,定子的运动分析

径向柱塞泵柱塞沿径向装有多柱塞,柱塞通过球铰与滑靴连接。滑靴与定子之间不是固接,而是以滑动摩擦方式运动,滑靴与定子之间滑动摩擦力可为定子提供驱动力。由于排油区柱塞受到高压油液作用,使得柱塞对定子内表面的作用力远大于吸油区作用力,此处主要分析排油区滑靴对定子的驱动作用。

按照上述分析,排油区不同位置的滑靴对定子滑动摩擦力大小较接近,不同位置柱塞沿着定子内表面运动的角速度不一样,线速度也不一样。从上死点处开始,滑靴运动速度逐渐减小,即沿着转子转动方向看,前面柱塞速度小于后面柱塞速度。此处对定子运动分为如下三种情况分析:

(1) 转子在多个滑靴作用下运动,刚开始运动时,定子角速度小于所有滑靴的角速度,产生全部滑靴向前运动而定子落后的滑动现象,此时滑靴摩擦力对定子有促进作用;

(2) 当某一时刻定子速度达到前面滑靴速度时,因为后面滑靴速度较快,引起后面滑靴向前而定子落后,产生定子与后面滑靴之间的搓动现象,此时只是转速小于定子线速度的滑靴对定子运动有促进作用;

(3) 当定子速度接近后面滑靴速度时,由于前面滑靴速度较慢,则产生前面滑靴落后于定子运动的搓动现象,此时前面滑靴对定子运动又起到阻碍作用,引起定子运动速度降低。

所以在排油区不同位置滑靴的不同作用下,定子将以一会儿增大或者一会儿减小的变化角速度旋转。

在不同时刻,不同位置滑靴对定子产生促进和阻碍作用不同。

吸油区与排油区则相反,由于吸油区滑靴对定子内表面作用力相对排油区小,所以可以认为吸油区滑靴存在一数值较小阻碍滑靴运动的滑动摩擦力,定子运动主要由排油区滑靴驱动。

滑靴与定子内表面之间具有一定厚度的润滑油膜,二者相互搓动现象使得其表面产生线形磨损形貌,如图8所示。

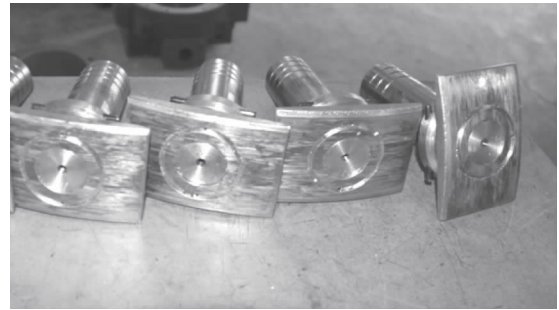


图8 径向柱塞泵滑靴实物磨损情况

3 结论

通过上文对大排量径向柱塞泵定子特殊安装方式下,转子、滑靴和定子运动进行分析,得到结论如下:

(1) 在径向柱塞泵滑靴与定子固接时,每个柱塞和定子以连接处的旋转副连接,不会出现过约束现象,柱塞泵能够正常运动,不同位置的柱塞滑靴组件对于定子驱动作用不同。

(2) 滑靴与定子之间以滑动摩擦形式接触时,定子在排油区滑靴滑动摩擦力驱动下能够旋转。在不同时刻,不同位置滑靴对定子产生促进和阻碍作用不同,定子将以一个一会快一会慢的变化角速度运动。

和传统定子固定形式径向柱塞泵相比,此结构有效降低了滑靴与定子之间因为摩擦而消耗的功率,使得其机械效率得以提升。

参考文献

[1] 李壮云. 液压元件与系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
 [2] 冀宏, 杨华勇. 液压气压传动与控制[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2014.
 [3] 许耀明. 油膜理论与液压泵和马达的摩擦副设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
 [4] 郭桐, 赵升吨, 刘辰, 张晨阳, 等. 径向柱塞泵结构发展概述[J]. 机床与液压, 2015, 43(13): 156-162.
 [5] 李少年, 魏晓鹏, 魏列江. 径向柱塞泵流场仿真中 UDF 的分析与实现[J]. 液压气动与密封, 2017, 37(5): 19-22.

浅析高压超柔编织软管总成的结构性能及在起重液压系统中的应用

刘晓芳, 刘佳林, 张 唯, 孙爱民, 张义春

(徐州徐工液压件有限公司, 江苏 徐州 221004)

摘要: 工程机械主机产品中液压系统软管总成的选型是保证整机安全可靠运行的一项重要环节,设计人员在应用中首先应考虑软管和接头选型必须保证软管的总成最大工作压力等于或大于液压系统的最大压力,系统的脉冲压力或峰值压力必须小于软管的最大额定工作压力以及流体的化学兼容性之外,还需根据软管总成的使用综合工况选择相应的避免扭曲、以及适合安装的空间,保证软管的弯曲半径大于其最小弯曲半径参数。该文通过针对高压超柔编织管的相关结构,以及试验性能进行了系统分析,并提出了其在起重液压系统中的应用重要性。

关键词: 高压超柔编织胶管; 增强层; 起重液压系统; 应用

中图分类号: TH137 文献标志码: A 文章编号: 1008-0813(2020)11-0039-04

Brief Analysis on Structural Performance of High Pressure Ultra-flexible Braided Hose Assembly and Its Application in Lifting Hydraulic System

LIU Xiao-fang, LIU Jia-lin, ZHANG Wei, SUN Ai-min, ZHANG Yi-chun

(Xuzhou Xugong Hydraulic Components Co., Ltd., Xuzhou 221004, China)

Abstract: The selection of the hose assembly of the hydraulic system in the main engine of construction machinery is an important link to ensure the safe and reliable operation of the whole machine. In the application, the designer should first consider that the selection of hose and connector must ensure that the maximum working pressure of the hose assembly is equal to or greater than the maximum pressure of the hydraulic system, and the pulse pressure or peak pressure of the system must be less than the maximum rated pressure of the hose. In addition to the working pressure and chemical compatibility of the fluid, it is also necessary to choose the appropriate anti twisting measures according to the comprehensive working conditions of the hose assembly, and ensure that the bending radius of the hose is greater than the minimum bending radius parameter when it is installed. In this paper, the relevant structure and test performance of the high-pressure super flexible braided pipe are systematically analyzed, and the importance of its application in the lifting hydraulic system is put forward.

Key words: high pressure super flexible woven rubber hose; reinforcing layer; lifting hydraulic system; application

0 引言

液压系统的设计是保证整机设备正常工作运转的重要环节,设计时必须满足主机工作循环所需的全部技术要求,且静态性能好、效率高、结构简单、工作安全

可靠、使用寿命长、经济性好、及维护方便。液压系统的设计还要与主机的总体设计(包括机械、作业运动方式等)综合考虑,以保证整机性能优良。其中作为液压系统配套元件的软管总成在使用中既具有普遍性又具特殊性,各种连接形式的胶管组合件都是由接头芯、外套及胶管组成,其中对于软管总成中胶管的选择是尤为重要,需从以下几方面考虑:

- (1) 总成的应用场合: 如①机器、设备的类型;
- ②吸油、吸气的工况; ③系统和脉冲压力; ④介质和环

收稿日期: 2020-06-30

作者简介: 刘晓芳(1975-),女,江苏徐州人,工程师,学士,主要研究方向:软硬管产品制造工艺研究。

[6] 杨国来,田丽红,张友亮,朱礼浩,赵梅香.大排量径向柱塞泵主要结构参数及流量脉动研究[J].液压气动与密封,2015,35(2):13-15.

[7] 董季澄,曹文斌,杨国来,陈晨,高文涛.高压大排量盘配流

式径向柱塞泵关键摩擦副静力学分析[J].液压气动与密封,2018,38(12):11-14.

[8] 贾跃虎,王荣哲,安高成.新型径向柱塞泵[M].北京:国防工业出版社,2012.