

多齿轮泵的结构与性能分析

许 勤

(南京师范大学控制科学与工程系, 210042, 南京)

[摘要] 分析了一种新型的多齿轮泵的工作原理和主要性能, 并对它的应用前景进行了评价。

[关键词] 多齿轮泵, 液压, 流量脉动

[中图分类号] TH325, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292-(2003)01-0042-03

0 引言

泵是液压传动和控制系统中的动力元件, 是整个传动系统中介质的供给装置。齿轮泵因其在流量相同的各类泵中组成零件少, 工艺性好, 结构简单、紧凑, 对杂质的敏感性不高, 重量轻, 自吸力强(真空度高), 转速范围大, 工作可靠, 对工作条件的适应范围较广, 因而在机械、建筑、轻工、农、林、船舶等行业的液压系统中都得到了广泛的应用。但是, 由于构成泵的转子上的径向液压力的不平衡, 使转子的轴承要承受较大的附加负载, 易造成偏载, 从而使泵上的轴承磨损严重, 寿命短; 而且泵的压力较低, 容积效率低, 又有较大的流量脉冲和压力脉冲^[1]。由于自身结构的局限, 齿轮泵的应用受到了限制。另外, 普通齿轮泵安装转子的轴承都是靠转子工作时泄露的油液进行自润滑, 因此, 普通齿轮泵基本上都用在以矿物油为介质的传动和控制系统中。由于现在的一些液压和控制系统以乳化液或纯水作为传动介质, 所以普通齿轮泵的应用范围又受到了进一步的限制。但设计先进、结构新颖的渐开线多齿轮泵就是一种既能避免普通齿轮泵的缺陷, 又能够满足以不同流体为传动介质的液压系统需要的一种性能好、效率高的新的齿轮泵。本文现就其工作原理、主要性能和应用前景进行分析。

1 工作原理

渐开线多齿轮泵实际是复合型齿轮泵中的一种。它可由模数和齿数都相等的1个主动齿轮和 $N(N \geq 3)$ 个从动齿轮、密封块、壳体、端盖等组成, 形成了 N 对对称的外啮合齿轮泵。

下面就以 $N=3$ 这种情况来分析。如图1所示:

中心齿轮A及从动齿轮B、C、D的回转中心是固定的, 当主动轮在动力机械的带动下按图示的方向旋转时, 其余3个从动齿轮就会同时随之转动; 此时, 在相互啮合的A齿轮和B齿轮、密封块等之间所形成的两个密封腔的容积就会发生变化, 在啮合的轮齿退出啮合的腔: 容积由小变大形成真空, 进行吸油; 在两个轮的轮齿进入啮合的腔: 容积由大变小, 进行排油; 同理, 同时在相互啮合的A齿轮和C齿轮、相互啮合的A齿轮和D齿轮之间各自所形成的两个密封腔, 也分别会有一个进行吸油, 一个进行排油。这样4个相同的齿轮就分别构成了3对普通的外啮合齿轮泵。此时将3个吸油腔同时与吸油管相连, 将3个排油腔同时与排油管相连就构成了一个多齿轮的复合泵。当主动轮不断地转动时, 此泵就可连续不断地吸油和

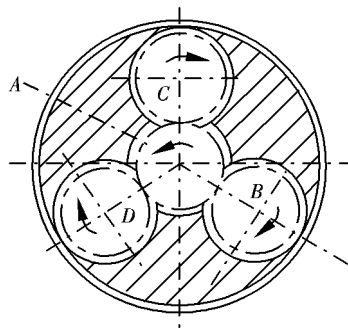


图1 工作原理

收稿日期: 2003-02-18

作者简介: 许勤, 女, 1965-, 南京师范大学控制科学与工程系副教授, 主要从事机电一体化专业的教学与研究

排油, 进行正常工作.

2 主要性能的分析

2.1 排量和流量

从结构上讲, 因为该泵是由一个主动齿轮分别和 N 个从动齿轮组成了 N 个普通外啮合齿轮泵, 因此它的排量就应该相当于 N 个外啮合齿轮泵的排量之和.

2.1.1 排量的精确计算

为了保证主从动齿轮能够连续传动, 使泵能够正常地工作, 齿轮传动的重合度需 $\varepsilon > 1$, 而且齿间应有侧隙, 根据齿轮啮合原理, 对该类泵的精确排量可用下式进行计算:

$$V = N \cdot 2\pi B (r_a^2 - r^2 - t_j^2 / 12)^{1/2}$$

式中: V 为排量(m^3/r); B 为齿宽(m); r_a 为齿顶圆半径(m); r 为节圆半径(m); t_j 为齿轮基节.

2.1.2 排量的近似计算

在近似计算中, 若从动齿轮为 N 个, 则排量通常由下列公式求得:

$$V' = N \cdot 2\pi M^2 ZBK$$

式中: Z 为齿数; M 为模数; K 为修正系数(由于实际中的齿间槽的容积比轮齿的体积大)

2.2 输出功率

由于该泵的排量是正常泵的 N 倍, 所以泵的流量也随着泵的排量增大 N 倍, 输出功率也随着增大.

泵的理论流量 $q_t = nV' = N \cdot 2\pi n M^2 ZBK (\text{m}^3/\text{s})$, 泵的实际流量 $q = nV' \cdot \eta_v = 2\pi n M^2 ZBK \eta_v N (\text{m}^3/\text{s})$.

式中: n 为主轴转速(r/s); η_v 为泵的容积效率.

因此, 泵的理论输出功率: $P = nV \Delta p (\text{W})$, 泵的实际输出功率: $P = Vn \Delta p \eta (\text{W})$.

式中: Δp 为泵进出口的压力差(N/m^2).

2.3 径向力分析

磨损是影响齿轮泵寿命的主要原因, 它会因泵的径向不平衡力的加大而加剧. 普通外啮合齿轮泵在工作时, 齿轮和轴承都将受到从压油腔到吸油腔由高到低沿齿顶圆径向成线性阶梯式分布的力的作用. 该力主要是由两部分组成: 沿齿轮圆周的液压力产生的径向力和由齿轮啮合时产生的径向力所组成. 对多齿轮泵上的径向力分析知:

主动齿轮 A: 如图 2 所示:

由于 3 个从动齿轮大小结构相同, 在泵体内按 120° 均布, 因此 3 个从动齿轮在与中心轮啮合时由于啮合而对中心齿轮产生的径向力则大小相等, 且为平衡力系. 即: $\sum F_{ri} = 0 (1 \leq i \leq N)^{[2]}$.

因泵的从动齿轮是相对于 A 均匀对称布置, 而且所形成的 3 个外啮合子泵的吸油口和排油口的尺寸一样, 也呈对称均布, 所以形成的油压应相同, 此时由油压力作用而对主动轮产生的径向力 (F_{Ri}) 也应大小相等, 且为一平衡力系. 即:

$$\sum F_{Ri} = 0 \quad (1 \leq i \leq N)^{[2]}.$$

所以, 对整个主动齿轮来讲, 所受的径向液压力矢量之和为零^[3].

即: $\sum F_{ri} + \sum F_{Ri} = 0 \quad (1 \leq i \leq N)$

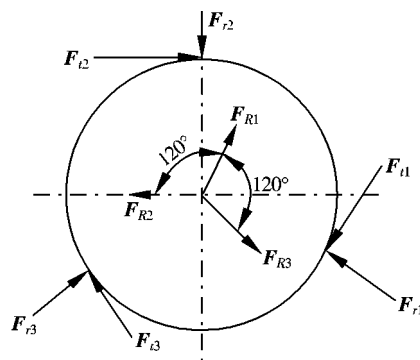


图 2 主动轮径向力分析

也就是说齿轮上所受的径向力理论上应平衡。

从动齿轮:

单个从动齿轮上的径向力分布仍和普通的齿轮泵相同, 轴上受到不平衡的液压径向力作用, 这种力的作用可通过在泵的结构上开对称的卸荷槽来减弱。但 3 个从动齿轮联为一体并按一定位置布置成为一个整体的多齿轮泵后, 对联为一体的从动齿轮, 此时由液压力引起的径向力也将是相等且平衡的, 即: $\sum F'_{Ri} = 0$ 。同理, 由啮合时产生的径向力也应相等且平衡, 即: $\sum F'_{ri} = 0^{[2]}$ 。如图 3 所示:

所以, 从整个齿轮泵整体的受力来看, 这种多齿轮泵在结构上, 可以大大地消除泵中易磨损的轴承上的径向不平衡的力, 防止发生偏载, 从而可提高泵的寿命。

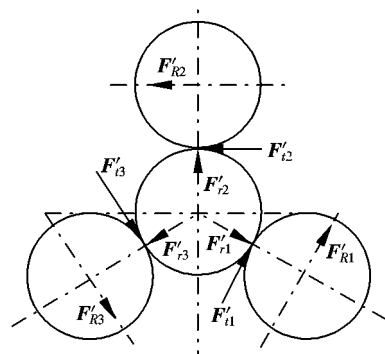


图 3 从动轮径向力分析

2.4 运动流量特性

流量脉动大是普通外啮合齿轮泵的一大缺点, 它不仅会造成工作机构运动速度的不平稳, 还会产生很大的压力脉动及噪声, 影响到其它元件的寿命。

齿轮泵的瞬时流量计算公式是:

$$q_{ins} = NBW(r_a^2 - r^2 - f^2) = NBW(r_a^2 - r^2 - r_b\phi)$$

式中: f 为啮合点到节点的距离(m); r_b 为基圆半径(m); ϕ 为齿轮转角(弧度)。

由上式可知, 齿轮泵的瞬时流量随着啮合点到节点距离的变化而变化, f 愈大时, q_{ins} 愈小。所以当两齿开始进入啮合或退出啮合时, 泵的流量最小; 当啮合点在节点处时, q_{ins} 最大。泵在工作时的瞬时流量随着齿轮转角 ϕ 的变化而成抛物线规律周期性的变化, 从而造成齿轮泵的流量脉动, 使泵的应用范围受到限制。

由于齿轮泵的流量脉动主要是由齿轮啮合点位置的变化引起的, 而该类齿轮在同一时间至少有 3 对以上的轮齿进行啮合。若把同时啮合的几对齿的啮合点的位置相互错开, 使每个啮合点的位置相互错开一个角, 这样就可使流量脉动的峰值错开。当多齿轮泵每个排油腔的瞬时流量叠加输出后, 就可降低泵的流量脉动^[4] (如图 4 所示); 另外, 增加齿轮的齿数时, 也可减少流动脉量幅度^[2]。

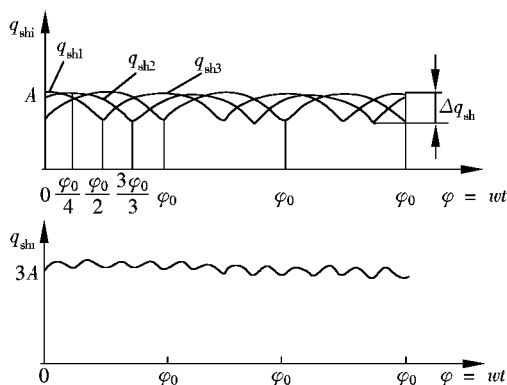


图 4 运动流量特性示意图

3 讨论

根据上述分析可见, 多齿轮泵在一般情况下具有径向液压力平衡、流量比同结构尺寸的齿轮泵大、输出功率大、流量脉动小等特点, 从而弥补了普通外啮合齿轮泵的一些不足之处; 如果是卧式安装, 在轴上就存在一定的径向力。从多齿轮泵的结构和性能上的理论分析来看, 由于它所受的径向力大大地减少, 甚至平衡, 因此产生的磨损小, 可以大大地提高泵的寿命及容积效率。所以, 该泵除了可用在以液压油为传动介质的中高压液压系统外, 也可在以纯水为介质或以乳化液为介质的液压传动和控制系统中使用。但是, 与液压油相比, 纯水等介质存在着润滑性差、粘度低、腐蚀性等特点^[5]。所以, 在用这些介质的液压传动和控制系统中使用, 在泵的具体结构设计、加工工艺和材料选用等方面还应做进一步的探索 and 实验。另外, 多齿轮泵的制造价格远比普通的外啮合齿轮泵高, 安装精度也高。因此, 多齿轮泵还须在工艺及制造方面做进一步的改进, 以便能尽早地进入更多的工业领域。

(下转第 49 页)

[参考文献]

- [1] 马兴义, 杨立群, 林敏. Matlab 6 应用开发指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 赵静, 但琦. 数学建模与数学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] 杜维, 张宏建, 乐驾华. 过程检测技术及仪表[M]. 北京: 北京化学工业出版社, 1999.
- [4] 刘钦圣. 最小二乘问题计算方法[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1989.

Application of Matlab to Fitting Sensor Characteristic Curves

Chen Min

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: To meet the requirements in designing intelligent instruments and lightening the burden of heavy work, this paper introduces the application of Matlab to fitting the sensor characteristic curves. A mathematical model of the sensor is designed by applying Matlab, with the steps of the model design introduced by providing an example.

Key words: sensor, characteristic curve, fitting, Matlab

[责任编辑: 刘健]

(上接第 44 页)

[参考文献]

- [1] 左健民. 液压与气压传动(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 夏立中. 非对称渐开线多齿轮泵的理论分析[J]. 东北煤炭技术, 1997, (1): 22~ 26.
- [3] 侯波, 付阳金, 栾振辉. 复合外齿轮泵的结构原理及性能分析[J]. 液压与气压, 2002, (6): 41~ 42.
- [4] 张军, 栾振辉. 新型多齿轮泵的理论研究[J]. 矿山机械, 1998, (5): 68~ 71.
- [5] 唐向阳, 郑华文, 刘剑雄, 等. 纯水液压齿轮泵的结构问题研究[J]. 液压与气压, 2002, (9): 1~ 3.

Study on Structure and Characteristics of Gear Pumps

Xu Qin

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: The working principle and main characteristics of a new kind of gear pumps are studied in this paper. Its application prospects have been evaluated.

Key words: gear pump, hydraulic pressure, flow pulsation

[责任编辑: 刘健]