

# 叶片式气动马达系统模型的建立

徐开卓, 赵新泽

(三峡大学 机械与材料学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 为了优化气动马达的结构设计, 需要对其进行动态特性分析。通过对叶片式气动马达进行分析, 利用质量流量连续性、热力学定律和力矩平衡原理完成了其数学模型的建立, 为对该类马达的动态特性分析和优化结构设计奠定了基础。

关键词: 叶片式气动马达; 流量连续性; 热力学定律; 力矩平衡; 数学模型

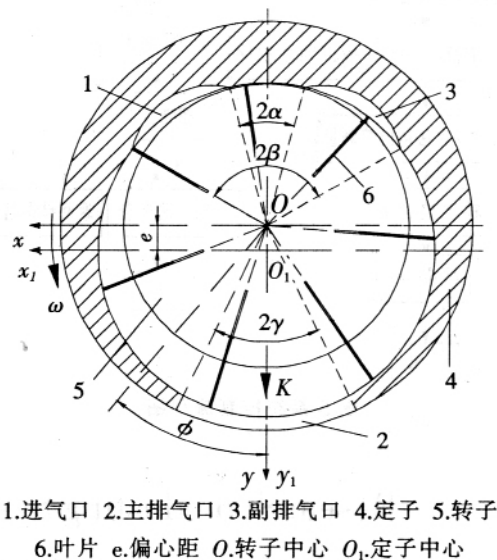
中图分类号: TH138.51 文献标识码: A

## 1 前言

叶片式气动马达目前广泛应用于矿山及气动工具中。但由于其使用过程中存在低速不稳定性现象, 限制了该类马达的使用范围。而对于某一设计的叶片式气动马达, 通过对其进行动态特性分析可以达到优化结构设计的目的。具有正反转性能相同的叶片式气动马达, 由于其结构的特殊性, 动态数学模型的建立比较困难。至今还未见对于叶片式气动马达建模的相关报道。

## 2 叶片式气动马达的结构特点

图 1 是正反转性能相同的叶片式气动马达结构示意图。它的两个进气口 1 和 3 对称布置, 主排气口 2 位于进气口 1 和 3 的中间, 其结构为两条宽为  $b$  的狭长圆弧槽。规定从进气口 1 进气时为正转, 此时废气从主排气口 2 排出, 剩余气体从副排气口 3 排出。这样任意两相邻叶片构成的腔室运转一周可经历如下五个过程: 进气过程, 膨胀过程, 主排气过程, 压缩过程, 副排气过程。



1.进气口 2.主排气口 3.副排气口 4.定子 5.转子  
6.叶片 e.偏心距 O.转子中心 O<sub>1</sub>.定子中心

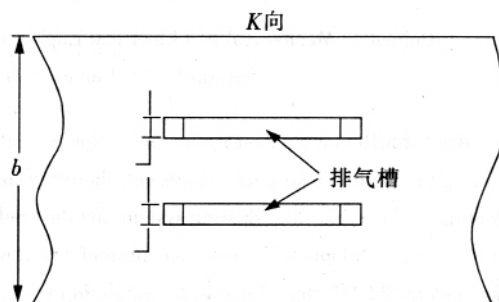


图 1 叶片式气动马达结构示意图

作者简介: 徐开卓(1967-), 男, 湖北随州人, 高级工程师, 05 级硕士研究生, 研究方向: 液压、气动及控制技术。

### 3 两相邻叶片间的腔室容积的计算

叶片式气动马达任意两相邻叶片间腔室的理论截面积  $f_T$  可按式(1) 计算<sup>[1]</sup>。

$$f_T = e^2 \cos \frac{\pi}{Z} \sin \frac{\pi}{Z} \cos^2 \phi + 2eR \times \sin \frac{\pi}{Z} \cos \phi + \left[ R^2 + \frac{e^2}{2} - r^2 \right] \frac{\pi}{Z} - \frac{e^2}{2} \times \cos \frac{\pi}{Z} \sin \frac{\pi}{Z} \quad (1)$$

式中  $f_T$  ——相邻两叶片间腔室的面积,  $m^2$

$R$  ——定子半径,  $m$

$r$  ——转子半径,  $m$

$e$  ——偏心距,  $m$

$Z$  ——叶片数量

$\phi$  ——任意两相邻叶片间的夹角的平分线与  $oy$  ( $oy_1$ ) 的夹角  $rad$ , (见图 1), 规定顺时针时为正值。

当考虑叶片厚度的影响时, 用腔室面积收缩系数 修正。

$$= 1 - \frac{\delta Z}{2\pi R}$$

则腔室容积为:  $V = bf_T$  (2)

式中  $b$  ——转子长度,  $m$

由式(2)得:

$$V_i = \lambda b \left[ e^2 \cos \frac{\pi}{Z} \sin \frac{\pi}{Z} \cos^2 \phi_i + 2eR \times \sin \frac{\pi}{Z} \cos \phi_i + \left( R^2 + \frac{e^2}{2} - r^2 \right) \frac{\pi}{Z} - \frac{e^2}{2} \times \cos \frac{\pi}{Z} \sin \frac{\pi}{Z} \right] \quad (3)$$

$$\frac{dV_i}{dt} = -\lambda b \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \sin 2\phi_i + 2eR \times \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_i \right) \dot{\phi}_i \quad (4)$$

式中  $V_i$  ——第  $i$  腔室的容积,  $m^3$

$\phi_i$  ——第  $i$  腔室两叶片夹角平分线与  $oy$  ( $oy_1$ ) 的夹角,  $rad$

$$\dot{\phi}_i = \frac{d\phi_i}{dt}$$

### 4 数学模型的建立

选定马达叶片个数为  $Z=7$ , 并选定图 2 中各叶片所处的位置为初始位置进行研究, 各叶片与定子、转子的接触点以及 7 个腔室的编号如图 2 所示。

由于在工作过程中, 叶片式气动马达各腔室内的气体的热力过程极其复杂, 因此, 为

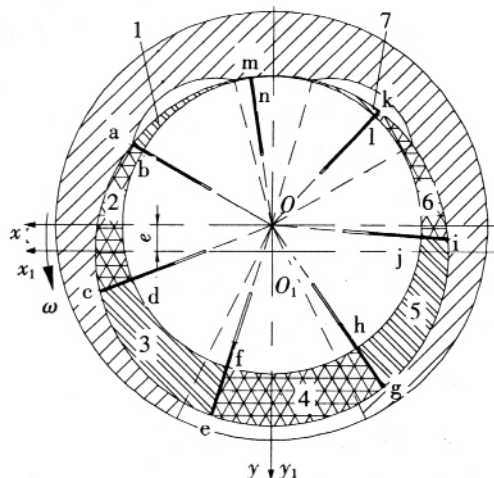


图 2 叶片式气动马达研究位置示意图

为了使问题简化, 作如下假设:

(1) 工作介质空气为理想气体, 各参数满足理想气体的状态方程  $PV=mRT$ ;

(2) 在工作过程中, 各腔室内气体与外界无热交换, 将其简化成绝热过程;

(3) 气源压力  $P_s$  恒定, 气源温度  $T_s$  为环境温度;

(4) 各腔室的内外泄露均忽略不计。

根据以上假设来建立叶片式气动马达的数学模型。

#### 4.1 腔室的流量连续性方程

根据质量守恒定律, 流入、流出各腔室的质量流量应等于此腔室的质量变化率。即:

$$q_{im} = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho_i V_i)}{dt}$$

式中  $q_{im}$  ——流入(流出)第  $i$  腔室的质量流量,  $kg/s$

$m_i$  ——第腔室的气体质量,  $kg$

$\rho_i$ ——第  $i$  腔室的气体密度,  $\text{kg/m}^3$

$V_i$ ——第  $i$  腔室的容积,  $\text{m}^3$

#### 4.2 腔室的压力微分方程

根据以上假设, 由热力学第一定律得:

$$dQ + h_s dm_s = dU + dW + h dm \quad (5)$$

式中  $h_s, h$ ——为流进、流出腔室  $1\text{kg}$  气体所带进、带出的能量,  $\text{J/kg}$

$dm_s$ ——气源流进腔室的气体质量,  $\text{kg}$

$dm$ ——从腔室流出的气体质量,  $\text{kg}$

$dU$ ——腔室内气体内能增量,  $\text{J}$

$dW$ ——腔室内气体所作的膨胀功,  $\text{J}$

$dQ$ ——腔室内气体与外界相互交换的热量<sup>[2]</sup>,  $\text{J}$

对于绝热充气:  $dQ=0$ , 如只充气无放气, 则  $dm=0$ , 由式(5)可得:

$$dP = -\frac{kRT_s}{V} dm_s - \frac{kP}{V} dV \quad (6)$$

对于绝热放气:  $dQ=0$ , 如只放气无充气, 则  $dm_s=0$ , 由式(5)可得:

$$dP = \frac{kRT}{V} dm - \frac{kP}{V} dV \quad (7)$$

在图 2 中, 根据式(5)、(6)、(7)可写出腔室 1~7 的压力微分方程:

腔室 1: (进气腔)

$$\dot{P}_1 = \frac{kRT_s}{V_0 + V_1} \dot{m}_1 + \frac{kP_1 b \lambda}{V_0 + V_1} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \times \sin 2\phi_1 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_1 \right) \dot{\phi}_1 \quad (8)$$

腔室 2: (进气结束, 绝热膨胀开始)

$$\dot{P}_2 = \frac{kP_2 b \lambda}{V_2} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \sin 2\phi_2 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_2 \right) \dot{\phi}_2 \quad (9)$$

腔室 3: (在主排气区绝热排气)

$$\dot{P}_3 = -\frac{kRT_3}{V_3} \dot{m}_3 + \frac{kP_3 b \lambda}{V_3} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \times \sin 2\phi_3 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_3 \right) \dot{\phi}_3 \quad (10)$$

腔室 4: (在主排气区绝热排气)

$$\dot{P}_4 = -\frac{kRT_4}{V_4} \dot{m}_4 + \frac{kP_4 b \lambda}{V_4} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \right)$$

$$\times \sin 2\phi_4 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_4 \right) \dot{\phi}_4 \quad (11)$$

腔室 5: (腔内气体绝热压缩)

$$\dot{P}_5 = \frac{kP_5 b \lambda}{V_5} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \sin 2\phi_5 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_5 \right) \dot{\phi}_5 \quad (12)$$

腔室 6: (在副排气区绝热排气)

$$\dot{P}_6 = -\frac{kRT_6}{V_0 + V_6} \dot{m}_6 + \frac{kP_6 b \lambda}{V_0 + V_6} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \times \sin 2\phi_6 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_6 \right) \dot{\phi}_6 \quad (13)$$

腔室 7: (在副排气区绝热排气)

$$\dot{P}_7 = -\frac{kRT_7}{V_0 + V_7} \dot{m}_7 + \frac{kP_7 b \lambda}{V_0 + V_7} \left( \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \times \sin 2\phi_7 + 2eR \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_7 \right) \dot{\phi}_7 \quad (14)$$

式中  $V_0$ ——进气腔(副排气腔)的余隙,  $\text{m}^3$

$P_i$ ——第  $i$  腔室的气体压力,  $\text{Pa}$

$T_i$ ——第  $i$  腔室的气体温度,  $\text{K}$

$$\dot{m}_i = \frac{dm_i}{dt}$$

$$\dot{P}_i = \frac{dP_i}{dt} \quad (i=1\sim 7)$$

#### 4.3 气动马达转矩平衡方程

叶片式气动马达的转矩平衡方程为:

$$M = J \ddot{\phi} + B_L \dot{\phi} + M_f + M_F \quad (15)$$

式中  $M$ ——气动马达产生的总理论转矩,  $\text{N} \cdot \text{m}$

$J$ ——气动马达和负载(折算到马达轴上)的总转动惯量,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$B_L$ ——粘性摩擦系数,  $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$

$M_f$ ——摩擦力转矩(静摩擦力矩或库仑摩擦力矩),  $\text{N} \cdot \text{m}$

$M_F$ ——作用在马达轴上的外负载转矩,  $\text{N} \cdot \text{m}$

在图 2 中, 气体作用在叶片上的力矩可用下式表达<sup>[3]</sup>:

$$M_i = \frac{b}{2} (R_i^2 - r^2) (P_i - P_j) \quad (16)$$

$$M = \sum_{i=1}^7 M_i$$

式中  $P_i, P_j$  ——第  $i$  个叶片两端腔室的压力, Pa, 按叶片旋转方向,  $j=i+1$  ( $1 \leq i \leq 6$ ), 当  $i=7$  时  $j=1$ ,

$R_i$  ——第  $i$  个叶片末端与定子的接触点到转子的距离, m

由式 (16)、图 2 可得:

$$M = \frac{b}{2} (AP_1 + BP_2 + CP_3 + DP_4 + EP_5 + FP_6 + GP_7)$$

$$\text{式中 } A = \overline{oa}^2 - \overline{om}^2$$

$$B = \overline{oc}^2 - \overline{oa}^2$$

$$C = \overline{oe}^2 - \overline{oc}^2$$

$$D = \overline{og}^2 - \overline{oe}^2$$

$$E = \overline{ai}^2 - \overline{og}^2$$

$$F = \overline{ok}^2 - \overline{ai}^2$$

$$G = \overline{om}^2 - \overline{ok}^2$$

故式 (15) 可变为:

$$\ddot{\phi} = -\frac{B_L}{J} \dot{\phi} + \frac{b}{2J} (AP_1 + BP_2 + CP_3 + DP_4 + EP_5 + FP_6 + GP_7) - \frac{1}{J} (M_f + M_f) \quad (17)$$

#### 4.4 微分方程组的线性化

根据  $\phi$  的定义和  $\omega$  的方向可知:

$$\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_2 = \dot{\phi}_3 = \dot{\phi}_4 = \dot{\phi}_5 = \dot{\phi}_6 = \dot{\phi}_7 = -\dot{\phi} \quad (18)$$

将式 (18) 代入式 (8) ~ (14) 后并对其进行线性化处理得<sup>[4]</sup>: (线性化处理时, 代入初始

值:  $\left(\frac{dV_i}{dt}\right)_0 = 0$ ;  $\left(\frac{dP_i}{dt}\right)_0 = 0$ ;  $(P_i)_0 = P_{i0}$ ;  $(V_i)_0 = V_{i0}$ ;

$i=1 \sim 7$ )

$$\Delta \dot{P}_1 = -\frac{kRT_{10}}{V_0 + V_{10}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{kb\lambda P_{10} H_1}{V_0 + V_{10}} \Delta \dot{\phi} \quad (19)$$

$$\Delta \dot{P}_2 = -\frac{kb\lambda P_{20} H_2}{V_{20}} \Delta \dot{\phi} \quad (20)$$

$$\Delta \dot{P}_3 = -\frac{kRT_{30}}{V_{30}} \Delta \dot{m}_3 - \frac{kb\lambda P_{30} H_3}{V_{30}} \Delta \dot{\phi} \quad (21)$$

$$\Delta \dot{P}_4 = -\frac{kRT_{40}}{V_{40}} \Delta \dot{m}_4 - \frac{kb\lambda P_{40} H_4}{V_{40}} \Delta \dot{\phi} \quad (22)$$

$$\Delta \dot{P}_5 = -\frac{kb\lambda P_{50} H_5}{V_{50}} \Delta \dot{\phi} \quad (23)$$

$$\Delta \dot{P}_6 = -\frac{kRT_{60}}{V_0 + V_{60}} \Delta \dot{m}_6 - \frac{kb\lambda P_{60} H_6}{V_0 + V_{60}} \Delta \dot{\phi} \quad (24)$$

$$\Delta \dot{P}_7 = -\frac{kRT_{70}}{V_0 + V_{70}} \Delta \dot{m}_7 - \frac{kb\lambda P_{70} H_7}{V_0 + V_{70}} \Delta \dot{\phi} \quad (25)$$

$$\text{式中 } H_i = \frac{e^2}{2} \sin \frac{2\pi}{Z} \sin 2\phi_{i0} + 2eR$$

$$\times \sin \frac{\pi}{Z} \sin \phi_{i0} \quad (i=1 \sim 7)$$

由  $PV = mRT$  得:

$$m_3 = \frac{P_3 V_3}{RT_3} \quad (26)$$

因为  $P/T^{\frac{k}{k-1}} = C$

式中  $C$  ——常数

$$k=1.4$$

$$\text{所以 } T_3 = T_1 \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (27)$$

将式 (27) 代入式 (26) 得:

$$m_3 = \frac{P_3^{\frac{1}{k}} P_1^{\frac{k-1}{k}} V_3}{RT_1}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{dm_3}{dt} = \frac{1}{RT_1} \left[ \frac{1}{k} \left( \frac{P_1}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} V_3 \dot{P}_3 + \frac{k-1}{k} \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} V_3 \dot{P}_1 + P_3^{\frac{1}{k}} P_1^{\frac{k-1}{k}} \dot{V}_3 \right]$$

$$\Delta \dot{m}_3 = \frac{1}{RT_{10}} \left[ \frac{1}{k} \left( \frac{P_{10}}{P_{30}} \right)^{\frac{k-1}{k}} V_{30} \Delta \dot{P}_3 + \frac{k-1}{k} \left( \frac{P_{30}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} V_{30} \Delta \dot{P}_1 + b\lambda P_{30}^{\frac{1}{k}} P_{10}^{\frac{k-1}{k}} H_3 \Delta \dot{\phi} \right] \quad (28)$$

将式 (19)、式 (21) 代入式 (28) 整理得:

$$\Delta \dot{m}_3 = \frac{(k-1)V_{30}}{2(V_0 + V_{10})} \left( \frac{P_{30}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{(k-1)b\lambda V_{30} P_{30}^{\frac{1}{k}} P_{10}^{\frac{k-1}{k}} H_1}{2RT_{10}(V_0 + V_{10})} \Delta \dot{\phi} \quad (29)$$

用同样的方法可得:

$$\Delta \dot{m}_4 = \frac{(k-1)V_{40}}{2(V_0 + V_{10})} \left( \frac{P_{40}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{(k-1)b\lambda V_{40} P_{40}^{\frac{1}{k}} P_{10}^{\frac{k-1}{k}} H_1}{2RT_{10}(V_0 + V_{10})} \Delta \dot{\phi} \quad (30)$$

$$\Delta \dot{m}_6 = \frac{(k-1)(V_0+V_{60})}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{60}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{(k-1)(V_0+V_{60})b\lambda P_{60}^{\frac{1}{k}} P_{10}^{\frac{k-1}{k}} H_1}{2RT_{10}(V_0+V_{10})} \Delta \dot{\phi} \quad (31)$$

$$\Delta \dot{m}_7 = \frac{(k-1)(V_0+V_{70})V_{60}}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{70}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{(k-1)(V_0+V_{70})b\lambda P_{70}^{\frac{1}{k}} P_{10}^{\frac{k-1}{k}} H_1}{2RT_{10}(V_0+V_{10})} \Delta \dot{\phi} \quad (32)$$

将式(29)代入式(21);式(30)代入式(22);式(31)代入式(24);式(32)代入式(25)整理后式(19)~(25)可变为:

$$\Delta \dot{P}_1 = \frac{kRT_{10}}{V_0+V_{10}} \Delta \dot{m}_1 - \frac{kb\lambda P_{10} H_1}{V_0+V_{10}} \Delta \dot{\phi} \quad (33)$$

$$\Delta \dot{P}_2 = - \frac{kb\lambda P_{20} H_2}{V_{20}} \Delta \dot{\phi} \quad (34)$$

$$\Delta \dot{P}_3 = - \frac{k(k-1)RT_{30}}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{30}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 + \left[ \frac{k(k-1)b\lambda P_{30} H_1}{2(V_0+V_{10})} - \frac{kb\lambda P_{30} H_3}{V_{30}} \right] \Delta \dot{\phi} \quad (35)$$

$$\Delta \dot{P}_4 = - \frac{k(k-1)RT_{40}}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{40}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 + \left[ \frac{k(k-1)b\lambda P_{40} H_1}{2(V_0+V_{10})} - \frac{kb\lambda P_{40} H_4}{V_{40}} \right] \Delta \dot{\phi} \quad (36)$$

$$\Delta \dot{P}_5 = - \frac{kb\lambda P_{50} H_5}{V_{50}} \Delta \dot{\phi} \quad (37)$$

$$\Delta \dot{P}_6 = - \frac{k(k-1)RT_{60}}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{60}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 + \left[ \frac{k(k-1)b\lambda P_{60} H_1}{2(V_0+V_{10})} - \frac{kb\lambda P_{60} H_6}{V_0+V_{60}} \right] \Delta \dot{\phi} \quad (38)$$

$$\Delta \dot{P}_7 = - \frac{k(k-1)RT_{70}}{2(V_0+V_{10})} \left( \frac{P_{70}}{P_{10}} \right)^{\frac{1}{k}} \Delta \dot{m}_1 + \left[ \frac{k(k-1)b\lambda P_{70} H_1}{2(V_0+V_{10})} - \frac{kb\lambda P_{70} H_7}{V_0+V_{40}} \right] \Delta \dot{\phi} \quad (39)$$

对式(17)进行线性化处理得:

$$\Delta \ddot{\phi} = - \frac{B_L}{J} \Delta \dot{\phi} + \frac{b}{2J} (A\Delta P_1 + B\Delta P_2 + C\Delta P_3 + D\Delta P_4 + E\Delta P_5 + F\Delta P_6 + G\Delta P_7) \quad (17)$$

令  $x_1 = \Delta \phi$ ,  $x_2 = \dot{x}_1 = \Delta \dot{\phi}$ ,  $x_3 = \dot{x}_2 = \Delta \ddot{\phi}$ .

则有:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = x_3$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_3 = & - \frac{B_L}{J} \Delta \ddot{\phi} + \frac{b}{2J} (A\Delta \dot{P}_1 + B\Delta \dot{P}_2 + C\Delta \dot{P}_3 \\ & + D\Delta \dot{P}_4 + E\Delta \dot{P}_5 + F\Delta \dot{P}_6 + G\Delta \dot{P}_7) \\ = & \frac{kb^2\lambda}{2J} \left[ - \frac{AP_{10}H_1}{V_0+V_{10}} - \frac{BP_{20}H_2}{V_{20}} \right. \\ & - \frac{CP_{30}H_3}{V_{30}} - \frac{DP_{40}H_4}{V_{40}} - \frac{EP_{50}H_5}{V_{50}} \\ & - \frac{FP_{60}H_6}{V_0+V_{60}} - \frac{GP_{70}H_7}{V_0+V_{70}} \\ & + \frac{(k-1)H_1}{2(V_0+V_{10})} \times (CP_{30}+DP_{40}+FP_{60}+GP_{70}) \left. \right] \Delta \dot{\phi} \\ & + \frac{k(k-1)RT_{10}b}{4J(V_0+V_{10})} \left[ \frac{2A}{k-1} - \frac{CP_{30}}{P_{10}} \right. \\ & - \frac{DP_{40}}{P_{10}} - \frac{FP_{60}}{P_{10}} - \frac{GP_{70}}{P_{10}} \left. \right] \Delta \dot{m}_1 - \frac{B_L}{J} \Delta \dot{\phi} \\ = & L\Delta \dot{\phi} - N\Delta \ddot{\phi} + W\Delta \dot{m}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{式中 } L = & \frac{kb^2\lambda}{2J} \left[ - \frac{AP_{10}H_1}{V_0+V_{10}} - \frac{BP_{20}H_2}{V_{20}} \right. \\ & - \frac{CP_{30}H_3}{V_{30}} - \frac{DP_{40}H_4}{V_{40}} - \frac{EP_{50}H_5}{V_{50}} \\ & - \frac{FP_{60}H_6}{V_0+V_{60}} - \frac{GP_{70}H_7}{V_0+V_{70}} \\ & + \frac{(k-1)H_1}{2(V_0+V_{10})} \times (CP_{30}+DP_{40}+FP_{60}+GP_{70}) \left. \right] \end{aligned}$$

$$N = \frac{B_L}{J}$$

$$\begin{aligned} W = & \frac{k(k-1)RT_{10}b}{4J(V_0+V_{10})} \left[ \frac{2A}{k-1} - \frac{CP_{30}}{P_{10}} \right. \\ & - \frac{DP_{40}}{P_{10}} - \frac{FP_{60}}{P_{10}} - \frac{GP_{70}}{P_{10}} \left. \right] \end{aligned}$$

以  $\Delta \dot{m}_1$  为输入,  $\Delta \dot{\phi}$  为输出, 其状态空间方程为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & L & -N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ W \end{bmatrix} u \\ y = \Delta \dot{\phi} &= [0 \quad 1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

在叶片式气动马达的结构参数、气源压力和温度已知的情况下, 可以计算出在初始位置处各腔室内气体的工艺参数 (压力、温

# 紧凑结构 NGW 型行星减速器的设计

高学径, 马文瑾

(天水凿岩机械气动工具研究所, 甘肃 天水 741020)

**摘要:** 行星齿轮传动具有减速比大、传动效率高、结构小巧、承载能力强等优点。通用设计资料(如机械设计手册)针对该种减速器的相关数据凌乱分散, 而且缺乏对太阳轮齿数太少的 NGW 型行星减速器结构的介绍。本文对收集到的设计资料, 结合气动工具行业的特点作了整理, 以方便 NGW 型行星减速器, 特别是对结构尺寸有严格要求的 NGW 型行星减速器的设计。

**关键词:** NGW 型行星减速器; 齿轮变位系数; 模数; 等角变位; 不等角变位; 多级串联减速结构

中图分类号: TH132.41

文献标识码: A

行星齿轮传动具有减速比大、传动效率高、结构小巧、承载能力强等优点, 常常应用在产品设计中。由于设计计算比较复杂、需要考虑的因素多, 每次设计时都要收集许多资料“学习”一番。通用设计资料由于涉及种类全面造成针对该种减速器相关数据凌乱分散, 太阳轮齿数太少的行星齿轮减速器结构, 缺乏专门介绍。本人对收集到的设计资料, 结合气动工具行业的特点

作了整理, 以方便 NGW 型行星减速器, 特别是对结构尺寸有严格要求的 NGW 型行星减速器的设计。

NGW 型行星减速器又称 2Z-X 负号机构型行星减速器, 适于 1.13~13.7 传动比的减速, 推荐值:  $i_{AX}^B=2.7\sim 9$ , 传动效率 0.97~0.99, 在各类行星减速器中属结构简单、传递功率范围大, 体积小, 效率高的一种。机

度), 这样就很方便地计算出 L、N 和 W, 从而得到这个系统的具体数学模型, 然后通过这个数学模型, 利用 Matlab 的 simulink 模块可对其进行动态特性分析。

## 5 结论

通过对叶片式气动马达的分析, 利用质量流量连续性、热力学定律和力矩平衡原理完成了其数学模型的建立, 该方法和结果对该类气动马达的动态特性分析具有指导性的作用, 同时对优化叶片式气动马达的结构设计奠定了理论基础。

## 参考文献:

- [1] 李富成. 正反转性能相同的叶片式风马达主要参数设计计算[J]. 凿岩机械与风动工具, 1977(1)
- [2] 成大先. 机械设计手册(气压传动)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 22.13-22.14.
- [3] 柏艳红. 气动旋转位置伺服控制技术的研究[D]. 南京理工大学博士论文, 2006. 39-43.
- [4] 董晓倩. FESTO TP111 气动系统控制开发及最优控制研究[D]. 中南大学硕士论文, 2003. 33.
- [5] SMC(中国)有限公司. 现代实用气动技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 何存兴, 张铁华. 液压传动与气压传动[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.

(收稿日期 2007-08-11)