

①
99, 22(2)
1-5

1-136

齿轮变位对第二类 复合齿轮泵流量特性的影响*

TH325

赵连春¹ 杨清文² 宋振辉³

(¹淮南工业学院机械系, 淮南, 232001; ²重庆大学资源及环境工程学院; ³中国矿业大学)

摘要 分析了齿轮变位对第二类平衡式复合齿轮泵各啮合点运动规律和瞬态流量特性的影响, 并得出了有关流量及其脉动公式, 以及最佳结构形式。

关键词 变位齿轮; 复合齿轮泵; 啮合点; 流量特性

中国图书资料分类法分类号 TH325

齿轮泵

0 引言

三惰轮复合齿轮泵结构原理见图1。该泵由三个内齿轮泵和三个外齿轮泵组成。中心轮齿数 $z_1 = 3k_1$ 或 $z_1 \neq 3k_1$ (k_1 为正整数) 可分为两类。此处称 $z_1 \neq 3k_1$ 时为第二类复合齿轮泵。标准齿轮第二类复合泵流量特性已被研究过, 故仅讨论变位齿轮第二类复合泵的流量特性。为便于分析且不失普遍性, 取 $z_1 = 3k_1 + 1$ 。

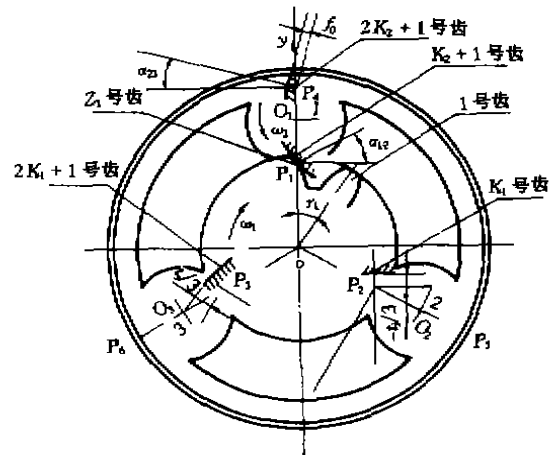


图1 复合齿轮泵结构原理

1 有关概念和约定

普通齿轮泵流量是以啮合点运动描述的, 复合齿轮泵流量则是以诸啮合点运动迭加描述的, 比较复杂。为便于描述啮合点运动, 有如下概念和约定:

1) 惰轮和内外齿轮序号如图1。

2) 若中心轮某轮齿中位线与 y 轴正向夹角为 γ_1 , 当 $0 \leq \gamma_1 \leq \alpha_1$ 时, 定为1号齿, 2号齿至 z_1 号齿按顺时针方向约定, 其中 $\alpha_1 = 2\pi/z_1$ 为中心轮轮齿角距。按惰轮啮合点运动方向, 同样可约定 $0 \leq \gamma_2 \leq \alpha_2$ 时为惰轮1号齿, 2号齿至 z_2 号齿按逆时针方向约定, 其中 $\alpha_2 =$

• 收文日期 1998-07-06
国家自然科学基金资助项目(59575010)
第一作者: 男, 1946年生, 副教授

$2\pi/z_2$ 为惰轮轮齿角距, z_2 为惰轮齿数。

3) 中心轮、惰轮主动啮合齿线称前齿线, 前齿线与节圆交点位于节点 p_1 上时, 角位移 $\theta = 0$, 趋向节点 $\theta < 0$, 离开节点 $\theta > 0$, 啮合点到节点位移为 f

$$f = R_1 \theta_1 = R_2 \theta_2 = R_1 \omega_1 t = R_2 \omega_2 t \quad (1)$$

式中 R_1, R_2 为中心轮、惰轮基圆半径;

θ_1, θ_2 为中心轮、惰轮角位移;

ω_1, ω_2 为中心轮、惰轮角速度 ($\omega_2 = \omega_1 z_1/z_2$)。

为简化讨论, 设重迭系数 $\epsilon \rightarrow 1$, 即任意瞬时, 每一齿轮泵中仅有一对轮齿处于排液状态, 且 $f = -t_f/2$ 时开始排液, $f = t_f/2$ 时终止排液, 其中 t_f 为节距, 则

$$t_f = \pi m \cos \alpha = R_1 \alpha_1 = R_2 \alpha_2 \quad (2)$$

式中 m 为齿轮模数, $\alpha = 20^\circ$ 为分度圆压力角。

4) 齿轮变位方法及同心条件约定复合齿轮泵一般 $z_2 < 17$, 复合泵中的外齿轮宜采用大啮合角正传动, 其内齿轮泵宜采用小啮合角负传动^[1]。采用这种变位方式既可防止根切, 又可提高齿面的密封性能, 也可降低重迭系数, 减少困油现象^[2]。这种变位方式, 惰轮的外啮合节圆半径 $R'_2 > R_2$, 惰轮的内啮合半径 $R'_2 < R'_2$, 其中 R_2 为惰轮分度圆半径, 由同心条件可得变位后内齿轮齿数 z_3 为

$$z_3 = (z_1 + z_2)(\cos \alpha_{23}/\cos \alpha_{12}) + z_2 \quad (3)$$

其中 α_{12}, α_{23} 为外、内齿轮泵啮合角。

在后面的推导中, 为简化表达式, 取 $z_3 = z'_3 = z_1 + 2z_2$, z'_3 为标准传动时内齿轮齿数。

2 一般流量方程

复合泵中, 每一外齿轮泵的瞬态流量 Q_{α_i} ($i = 1, 2, 3$) 为^[2]:

$$Q_{\alpha_i} = a_1 - a_2 f_i^2 \quad (4)$$

式中 f_i 为第 i 外啮合点到节点的位移;

$$a_1 = [2R_1(h_{a1} + h_{a2}) + h_{a1}^2 + h_{a2}^2 R_1/R'_2] BW_1/2;$$

$$a_2 = (1 + R_1/R'_2) BW_1/2 = (1 + z_1/z_2) BW_1/2;$$

h_{a1}, h_{a2} 为中心轮、惰轮齿顶高; B 为齿轮宽度; R_1 为中心轮节圆半径。

复合泵中, 每一内齿轮泵的瞬时流量 Q'_{α} 为 $Q'_{\alpha} = b_1 - b_2 f_i^2$ (5)

式中 f_i 为内啮合点到其节点的位移;

$$b_1 = [2R'_1(h_{a2} + h_{a3}) + h_{a2}^2 + h_{a3}^2 R'_1/R_3] BW_2/2;$$

$$b_2 = (1 - R'_2/R_3) BW_2/2 = (z_1/z_2 - z_1/z_3) BW_1/2;$$

h_{a3}, R_3 为内齿轮齿顶高、节圆半径。

复合泵合成流量 Q 为 $Q = A - a_2 \sum_{i=1}^3 f_i^2 - b_2 \sum_{i=1}^3 f_i^2$ (6)

式中 $A = 3(a_1 + b_1)$ 。

复合泵的流量脉动率定义为 $\delta_Q = (Q_{\max} - Q_{\min})/Q$

式中 Q 为复合泵理论流量 ($Q = 6q_1 n$), q_1 为以中心轮计算的单一外齿轮泵的排量, $q_1 = 2\pi m^3 z_1 B$, n 为中心轮转速。

3 初始啮合点位置及瞬态位移分析

见图 1, 取中心轮 z_1 号齿与 1 号惰轮啮合于节点 P_1 , 当 $z_1 = 3k_1 + 1$ 时, 中心轮第 k_1 号齿超前 $t_j/3$ 与 2 号惰轮相啮合, 第 $2k_2 + 1$ 号齿滞后 $t_j/3$ 与 3 号惰轮相啮合, 即 $f_1(0) = 0$, $f_2(0) = -t_j/3$, $f_3(0) = t_j/3$. 当 $f \in [-t_j/2, t_j/2]$ 时, 合成位移 $\sum_{i=1}^3 f_i$ 可由 5 个方程来表达, 分成三个周期, 周期角为 $\alpha_1/3$, 当 $f \in [-t_j/6, t_j/6]$ 时, 各外啮合点的瞬态位移

$$\left. \begin{aligned} f_1(t) &= f \\ f_2(t) &= f - t_j/3 \\ f_3(t) &= f + t_j/3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

3.1 $z_2 = 2k_2 + 1$ 时的情况

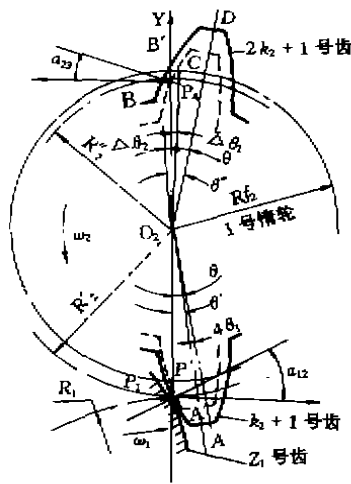


图 2 初始啮合点位移的分析

见图 2, 若标准传动, 1 号惰轮与中心轮啮合于节点 P'_1 , 则 $2\angle P'_1 O_2 A' = 2\theta$ 为惰轮分度圆弧齿中心角; 若惰轮采用上述方法变位, 当 $t = 0$ 时 1 号惰轮与中心轮实际啮合于节点 P_1 , 则 $2\angle P_1 O_2 A = 2\theta'$ 为惰轮外啮合节圆弧齿中心角, 外啮合引起的惰轮轮齿齿中线转角 $\Delta\theta_{12}$ 为

$$\Delta\theta_{12} = \angle AO_2 A' = \theta' - \theta = \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_{12} + 2x_2 \text{tg } \alpha / z_2 \quad (9)$$

式中 x_2 为惰轮变位系数。

惰轮的 $k_2 + 1$ 号齿与中心轮啮合于节点 P_1 时, 其 $2k_2 + 1$ 号齿的前齿线与内啮合节圆交于 B 点, 则 $2\angle BO_2 C = 2\theta'$ 为内啮合节圆弧齿中心角, 作 $\angle CO_2 B' = \theta$, $\theta_2 B'$ 与惰轮分度圆交于 B' 点, 则

$$\angle BOB' = \theta' - \theta = \Delta\theta_{23} = \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_{23} + 2x_3 \text{tg } \alpha / z_3 \quad (10)$$

当 $t = 0$ 时, $2k_2 + 1$ 号齿前齿线与其啮合线的交点到节点 P_4 的距离 f_0 称初始附加位移。由啮合原理知每个惰轮的初始附加位移相等。故各内啮合点的初始位移为

$$\left. \begin{aligned} f_1(0) &= f_0 = R_2 \Delta\theta = R_2 (\Delta\theta_{12} + \Delta\theta_{23}) \\ f_2(0) &= f_0 - t_j/3 \\ f_3(0) &= f_0 + t_j/3 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中 $\Delta\theta = \angle BO_2 P'_4 = \Delta\theta_{12} + \Delta\theta_{23} = \angle B'O_2 P'_4 + \Delta\theta_{23}$.

当 $t > 0$ 时, 在 $f \in [-t_j/6, t_j/6]$ 周期内各内啮合点瞬态位移为

$$\left. \begin{aligned} f_1(t) &= f + f_0 \\ f_2(t) &= f + f_0 - t_j/3 \\ f_3(t) &= f + f_0 + t_j/3 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

3.2 $z_2 = 2k_2$ 时的情况

标准传动, 当 $z_2 = 2k_2$ 时, 1号惰轮的 $k_2 + 1$ 号齿与中心轮 z_1 号齿啮合于节点 P_1 时, 其 $2k_2$ 号齿超前 $t/2$, 1号齿滞后 $t/2$ 与内齿轮相啮合。由于齿轮变位引起的初始附加位移的影响, 当 $t = 0$ 时, 则 $f_1(0) = f_0 \pm t/2$, $f_2(0) = f_0 + t/6$, $f_3(0) = f_0 - t/6$ 。当 $f \in [-t/6, t/6]$ 周期内各内啮合点位移为

$$\left. \begin{aligned} f_1(t) &= \begin{cases} f + f_0 + t/2, & f \in [-t/6, f_0] \\ f + f_0 - t/2, & f \in [-f_0, t/6] \end{cases} \\ f_2(t) &= f + f_0 + t/3, & f \in [-t/6, t/6] \\ f_3(t) &= f + f_0 - t/2, & f \in [-t/6, t/6] \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

4 流量特性分析

4.1 $z_1 = 3k_1 + 1, z_2 = 2k_2 + 1$ 时的情况

将(8)、(12)式代入(16)式得复合泵合成流量 Q_c , 在 $f \in [-t/6, t/6]$ 周期内可由2个方程来表达。

$$Q_c = A - a_2[(f - t/3)^2 + f^2 + (f + t/3)^2] - b_2[(f + f_0 - t/3)^2 + (f + f_0)^2 + (f + f_0 + t/3)^2] \quad f \in [-t/6, t/6 - f_0] \quad (14)$$

$$Q_c = A - a_2[(f - t/3)^2 + f^2 + (f + t/3)^2] - b_2[(f + f_0 - t/3)^2 + (f + f_0)^2 + (f + f_0 - \frac{2}{3}t/3)^2] \quad f \in [t/6 - f_0, t/6] \quad (15)$$

令 $\partial Q_c / \partial f = 0$, 由(14)式得 $f_1 = -b_2 f_0 / (a_1 + a_2)$, 由(15)式得 $f_2 = b_2(t - 3f_0) / [3(a_2 + b_2)]$ 。因 $\partial^2 Q_c / \partial f^2 < 0$, 将 f_1 代入(14)式, f_2 代入(15)式并比较得

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= A + 3f_0^2 b_2^2 / (a_2 + b_2) - 2t^2 (a_2 + b_2) / 9 - 3f_0^2 b_2 \\ Q_{\min} &= A - (a_2 + b_2) t^2 / 12 + f_0 t b_2 - 2t^2 (a_2 + b_2) / 9 - 3f_0^2 b_2 \quad (f = \pm t/6 \text{ 时}) \\ \delta_q &= [\pi \cos \alpha (z_1 + z_2)]^2 (1 - 3\lambda_1 / \lambda_2)^2 / (72 z_1 z_2 z_3') \end{aligned} \quad (16)$$

式中 $\lambda_2 = (z_1 + z_2) / z_1$; $\lambda_1 = f_0 / t$;

$$\text{当 } \lambda_1 = 0 \text{ 时} \quad \delta'_Q = [\pi \cos(\alpha_1 + \alpha_2)]^2 / (72 z_1 z_2 z_3) \quad (17)$$

为标准传动时相同条件下的流量脉动率。

4.2 当 $z_1 = 3k_1 + 1, z_2 = 2k_2$ 时的分析

将(9)、(13)式代入(6)式得合成流量 Q_c 为

$$Q_c = A - a_2[(f - t/3)^2 + f^2 + (f + t/3)^2] - b_2[(f + f_0 + t/2)^2 + (f + f_0 + t/6)^2 + (f + f_0 - t/6)^2] \quad f \in [-t/6, -f_0] \quad (18)$$

$$Q_c = A - a_2[(f - t/3)^2 + f^2 + (f + t/3)^2] - b_2[(f + f_0 - t/2)^2 + (f + f_0 + t/6)^2 + (f + f_0 - t/6)^2] \quad f \in [-f_0, t/6] \quad (19)$$

按4.1方法同样处理后可得

$$Q_{\max} = A + b_2^2 (t - 6f_0)^2 / [12(a_2 + b_2)] - (8a_2 + 11b_2) t^2 / 36 + b_2 f_0 (t - 3f_0)$$

$$Q_{\min} = A - (a_2 + b_2) t^2 / 12 - (8a_2 + 11b_2) t^2 / 36$$

$$+ b_2 f_0 (t_2 - 3f_0) + (t_2 - 6f_0) t_2 b_2 / 6 \quad (f = \pm t_2 / 6 \text{ 时})$$

$$\delta'_{\dot{q}_2} = z'_3 [\pi \cos \alpha (1 + 6 \lambda_1 / \lambda_3)]^2 / (288 z_1 z_2) \quad (20)$$

式中 $\lambda_3 = z'_3 / z_1$

若 $\lambda_1 = 0$ 得 $\delta'_{\dot{q}_2} = z'_3 (\pi \cos \alpha)^2 / (288 z_1 z_2)$ (21)

为标准传动时相同条件下的流量脉动率。

第二类复合泵的流量特性曲线见图3。图中1 ($z_2 = 2k_2 + 1$), 2 ($z_2 = 2k_2$) 为变位齿轮复合泵流量特性曲线; 1' ($z_2 = 2k_2 + 1$), 2' ($z_2 = 2k_2$) 为标准齿轮复合泵流量特性曲线。作图条件为 $z_1 = 17, z_2 = 12, x_2 = 0.4, \alpha_{12} = 26.5^\circ, \alpha_{23} = 17^\circ$ 。

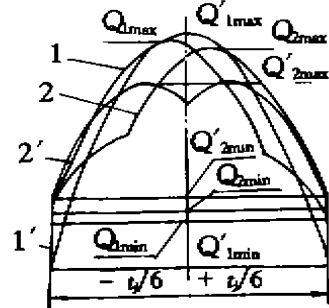


图3 第2类复合泵流量特性曲线

5 结 论

由图3及(16)、(20)式可知, $z_2 = 2k_2 + 1$ 标准传动时, 因每一内啮合点与其对应的外啮合点的相对位移相同, 故流量特性较差; 当齿轮变位后, 改变了三内啮合点的相对位置, 流量特性有所改善。当 $z_2 = 2k_2$ 标准传动时, 流量特性最好。其原因是将各个排液点的最大值和最小值相互交错均布合成; 但齿轮变位后, 改变了内啮合点的相对位置, 使流量脉动率有所增加。

在相同条件下, 比较(16)及(20)式可知, 当 $f_0 < t_2/12$ 时 $\delta_{\dot{q}_2} < \delta'_q$, 即惰轮应采用偶数齿; 当 $f_0 > t_2/12$ 时, $\delta_{\dot{q}_2} > \delta'_q$, 即惰轮应采用奇数齿。

参 考 文 献

- 1 张少名, 行星传动, 西安, 陕西科学技术出版社, 1988. 127
- 2 何存兴, 液压元件, 北京: 机械工业出版社, 1982. 47~89

Influence of x-gear on the Flow Characteristic of the Second Kind of Compound Gear Pump

Zhao Lianchun Yang Qingwen Luan Zhenhui
(Huai Nan Institute of Technology)

ABSTRACT The paper analysed the influence of x-gear on the movement law of each engaging point and the flow characteristic of the second kind of compound gear pump with x-gear. The formula of flowrate and flow pulse are given with the best type of instruction.

KEYWORDS x-gear; compound gear pump; engaging point; flow characteristic

(责任编辑 张小强)