



多泵多马达传动系统中输出转速的理论分析

闻德生

燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004

E-mail: wjyanyuan@yahoo.com.cn, wendesheng@ysu.edu.cn

投稿日期: 2010-06-13; 接受日期: 2011-01-18

国家自然科学基金资助项目(批准号: 50975246)

摘要 在分析了目前广泛应用的液压传动方式优缺点和双定子马达(泵)原理的基础上, 提出了多泵多马达液压系统的理论. 以单作用定量多泵多马达传动系统为例, 对多泵多马达系统中单作用多泵多马达传动各种连接方式下的输出转速进行了详细的理论研究. 为今后研究多泵多马达传动系统和设计系统原理图奠定了理论基础.

关键词

多泵多马达传动
连接方式
扭矩
差动马达

1 引言

随着液压传动技术的应用越来越广泛, 液压设备和元件的发展越来越迅速, 对液压泵的流量和压力, 马达的转矩和转速, 元件的噪声、效率、寿命、抗冲击性、比功率、控制方式等各方面的要求也越来越高. 国内外大多数研究人员都是在已有泵和马达工作原理的基础上从提高性能指标, 改善各部件的材料、密封、润滑条件等方面进行研究, 从而提高其实际使用寿命; 还有一部分研究人员是在马达工作原理不变的情况下改变部分摩擦副的材料, 以提高马达的性能和使用寿命, 或应用于特殊行业^[1~4]. 而在泵和马达工作原理上进行深入研究的人较少.

目前广泛应用在各种行业中的液压传动系统均是由单泵(一个壳体内一个转子对应一个定子形成的一个泵)和单马达(一个壳体内一个转子对应一个定子形成的一个马达)^[5, 6], 这种传动系统在实际的应用中存在着一定的不足.

1. 当一个系统需要多个不同定流量时, 就需要

用多个定量泵来实现, 而用一个定量泵就不能实现.

2. 当一个系统需要两个以上变流量时, 就必须用两个以上变量泵来实现, 由一个变量泵就不能完成任务.

3. 当两个以上不同压力系统同时用一个泵作能源时, 就必须使用减压阀, (减压阀是一个浪费能源的元件, 减压阀全部能量不做功, 而以热的形式体现到液压油中, 不但浪费了能源, 而且提高了油温, 加快液压系统的泄漏、磨损, 降低了液压系统的效率和使用寿命. 它只是为一个泵供应多个不同压力系统而设计的元件).

4. 当必须多个执行机构需要在不同压力, 不同流量下同步时, 单泵本身就不能实现, 特别是奇数不同缸径同步时, 就更不易实现了.

5. 当实际工况需要马达有多个定扭矩和定转速时, 现有的定量马达是不能实现的.

综上所述, 目前广泛应用的液压传动在实际中存在一些不易解决的难题, 开发新型的液压元件和传动, 是解决实际需求的方法之一. 双定子马达(泵),

的试验成功, 为多泵(一个壳体内可以实现多个泵同时存在)多马达(一个壳体内可以实现多个马达同时存在)液压系统的研究提供了条件, 本文定义了多泵多马达传动系统, 规定了元件的职能符号的表示方法, 在回顾双定子泵(马达)原理的基础上, 以单作用定量多泵多马达传动系统为例, 对其各种连接方式下马达的转速输出特点进行了详细的理论研究.

2 多泵多马达传动的定义

在自然科学基金的支持下, 课题组试验成功了我国发明专利技术等宽曲线双定子泵(马达). 该泵(马达)作为泵使用时, 在一个壳体内形成了多个泵, 这种泵将几个泵制作在一个壳体内形成了不同于过去液压元件中将几个泵装在一个壳体内的结构, 过去几个泵装在一个壳体内, 是有几个泵就有几个定子和几个转子, 而这里所说的多泵是不管有几个泵只要一个转子(或一个定子)对应两个定子(或两个转子), 所形成的多泵, 特点是体积小、重量轻, 结构简单, 比功率大, 可以有多个不同流量的输出, 我们称之为一体多泵.

作为马达使用时, 在一个壳体内可实现多个马达, 可以有多个不同输入, 可形成多速马达和差动马达, 我们称之为一体多马达.

将这样的多泵、多马达组合形成的传动系统我们称之为多泵多马达传动系统, 有单泵单马达系统、多泵单马达系统、单泵多马达系统、多泵多马达传动等多种不同的连接方式所形成的新系统. 在多泵多马达系统中多泵与液压缸组合, 通过液压阀的控制, 可形成单作用缸同步回路、双作用缸同步回路、单作用缸多级调速回路、双作用缸多级调速回路等多种典型回路.

3 多泵/多马达原理

多泵多马达传动的提出, 是源于有了能够多输出的泵和多输入的马达, 而这种泵(马达)主要是基于研制成功了双定子泵(马达)元件, 以单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵为例, 如图 1(a)所示为结构原理简图, 结构如图 1 所示: 1 为内定子, 它是一个同心圆柱体; 2 是转子, 它是一个同心圆桶, 上面开有多个通槽, 每个槽内装有滑块组, 滑块组可以是一个滚

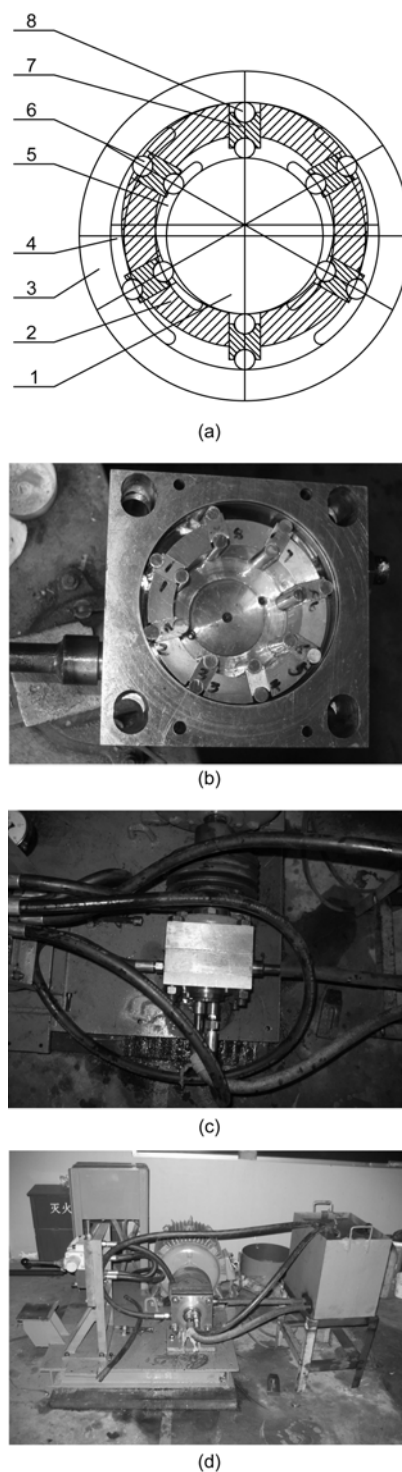


图 1 (a) 单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵结构原理简图, (b) 单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵内部结构照片, (c) 单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵实验时连接照, (d) 单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵试验现场照片

柱、两个滚柱、两个滚柱加连杆、滑块等多种形式, 图中为两个滚柱加连杆型的; 3 为外定子, 是一个同心圆, 4 为外泵, 5 为内泵, 6 为内滚柱, 7, 为连杆型滑块, 8 为外滚柱和两侧板组成周期性变化的容积. 侧板上开有配油窗口, 控制泵的吸压油过程, 形成了双定子的内、外泵, 即由外定子 3 的内表面、转子 2 的外表面、外滚柱 8 和连杆滑块 7, 及两侧板组成周期性的变化的容积, 由两侧板控制泵的吸压油过程, 形成了双定子的外泵, 同理, 由件 1, 2, 6, 7 及两侧板组成了内泵. 这样单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵就形成了一个内泵和一个外泵组成的两个互不相干的比列双泵. 图 1(b) 为单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵内部结构照片. 图 1(c) 为单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵实验时的连接照片. 图 1(d) 为单作用双滚柱连杆型等宽曲线双定子泵试验的现场照片. 泵的仿真、理论分析、试验内容、结构参数、性能指标等请参见文献[7, 8].

同理, 双作用可实现 4 个泵, 多作用可实现 2 乘以作用数个泵. 如图 2 所示为滚柱型三作用等宽曲线双定子泵(马达)原理简图, 该泵在一个泵壳内实现了由 3 个排量相同的外泵和排量相同的 3 个内泵组成的 6 个泵. 作为马达使用时就是 3 个排量相同的外马达和 3 个排量相同的内马达组成的 6 个马达.

综上所述, 多泵多马达传动系统中最关键的元件是多泵/多马达元件, 只有有了这种元件, 该传动才能实现. 而在一个壳体内由一个转子对应两个定子所形成的一种新型液压马达(泵), 它是实现多泵多马达传动较为理想的元件, 有很多种新型结构, 如滑块型的, 滚柱型, 双滚柱型, 双滚柱连杆型, 同心圆叶片型等多种, 工作原理有等宽曲线双定子泵(马达), 双转子

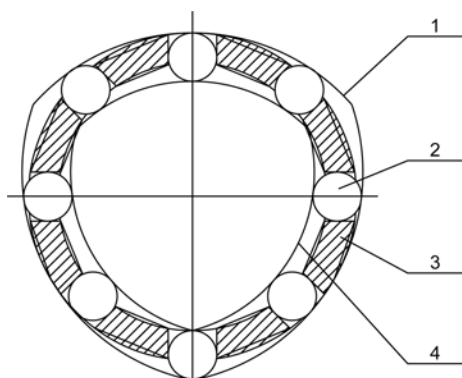


图 2 滚柱型三作用等宽曲线双定子泵原理简图

马达, 力偶泵(马达)轴向滑块双定子泵(马达), 异型柱塞泵(马达), 双定子凸转泵(马达)等多种^[6, 7]. 可形成单作用、双作用、三作用、四作用、五作用等多种不同种类, 可制成多种新型液压泵(马达)元件系列.

4 多泵/多马达职能符号的设定

多泵多马达传动系统是由新型元件组成的新型传动系统, 因此, 应先对新型多泵/多马达元件的职能符号的表示方法的规定, 才能设计好多泵多马达传动图. 到现在为止, 液压传动中所使用的泵均称为单泵, 所谓单泵是指在一个壳体内只有一个转子对应一个定子所形成一个泵, 只有一个输出. 作为马达使用时只有一个输入, 过去的符号以圆圈表示泵(马达), 圆内加三角表示液体的流动方向; 三角尖向外时为泵, 向内时为马达. 同时还分为单向、双向和变量的. 为了能表示出多泵、多马达的特性, 对多泵、多马达的符号参照上面规定, 作如下五条规定.

规定 1 由于多泵和多马达中存在多个内泵(马达)和外泵(马达), 且是在一个壳体内实现的, 同是一个转子(定子)同为一个轴传动, 故采用同轴符号.

规定 2 外泵采用与单泵(马达)相同的圆圈的符号, 而内泵采用双圆圈的办法来区分.

规定 3 一个泵体内有几个内、外泵(马达), 就在内、外的圆圈内加几个三角.

规定 4 双向的参照单泵(马达)的方法, 圆圈内加双向三角.

规定 5 变量时两个变量的箭头同样采用同轴连接方法加以区分.

例如单作用双向双定子变量泵可表示为图 3(a), 图 3(b) 为双作用双向定量马达的表示方法.

按照以上规定即可画出多泵多马达传动中其他各种泵(马达)符号.

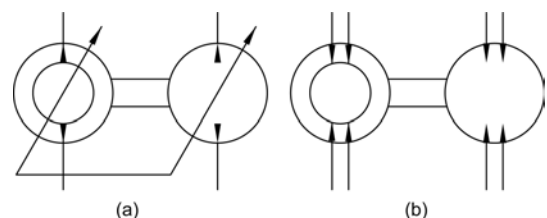


图 3 双定子泵、马达符号规定举例

5 多泵的供油方式

多泵多马达传动系统中有多泵元件也有多马达元件, 它们不同的连接方式, 就可形成泵和马达不同的输出和输入. 这里先对多泵在作为能源使用时的不同输出进行详细的研究和分析. 由于连接方式不同, 多泵可实现一个泵供给一个系统不同的定流量; 也可实现一个泵不用减压阀(减压阀本来就是一个不应存在的元件)供给多个不同压力执行机构分别工作.

以单作用定量多泵为例, 单作用双定子泵可实现一个泵供给一个系统不同的定流量, 其连接方式如图 4 所示, (这些连接方式由控制阀来实现, 为简化系统图, 将控制阀省略).

设内泵的排量为 q'_1 , 外泵的排量为 q'_2 , 电机转速为 n_d .

此时泵可以有三种流量, 如下.

图 4(a), 只有内泵工作时, 流量为

$$Q_1 = q'_1 n_d.$$

图 4(b), 只有外泵工作时, 流量为

$$Q_2 = q'_2 n_d.$$

则 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{q'_2}{q'_1} = C'$ (常数).

图 4(c), 当内、外泵同时工作时, 流量输出为

$$Q_3 = Q_1 + Q_2, \text{ 易有: } Q_3 > Q_2 > Q_1.$$

同理可以设计出双作用、多作用等各种多泵的各种连接方式(略)可供给一个执行机构多种不同的流量. 当然也可以设计出单作用、多作用等各种马达的各种连接方式, 实现马达的各种不同转速和扭矩输

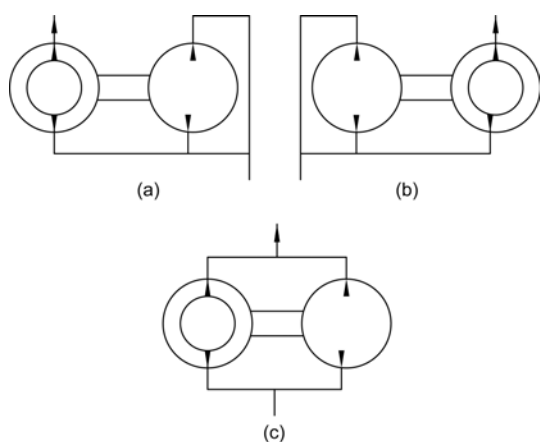


图 4 单作用定量多泵的连接方法

出(略).

6 多马达的连接方式

当作为马达使用时, 在一定的输入流量下, 通过马达不同进、出油口的组合连接, 多马达可输出多种不同的转速. 为便于比较, 假设内、外马达的排量分别为 q_1 和 q_2 , 输入流量均为 Q .

如图 5(a), 当只有内马达工作, 外马达空载时, 内马达输出转速 n_1 为

$$n_1 = \frac{Q}{q_1}.$$

如图 5(b), 当只有外马达工作, 内马达空载时, 马达输出转速 n_2 为

$$n_2 = \frac{Q}{q_2},$$

则有: $n_1 > n_2$, $\frac{q_2}{q_1} = \frac{n_1}{n_2} = C$ (常数), 上式说明多马达实现了等比例转速的输出.

如图 5(c), 当内、外马达同时工作且同向输入, 转速 n_3 为

$$n_3 = \frac{Q}{q_1 + q_2}.$$

分析以上各式, 有: $n_3 < n_2 < n_1$.

如图 5(d), 当内马达与外马达反向输入时, 即组成了差动马达, 此时马达的输出转速 n_4 为

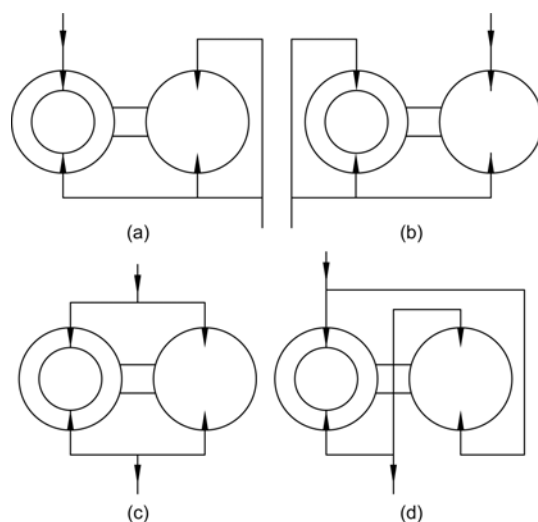


图 5 单作用定量多马达的连接方式

$$n_4 = \frac{Q}{q_2 - q_1}.$$

从以上分析可以看出, 对于该新型多马达, 在同样的输入流量下马达可以实现多种转速的输出.

同理, 可对这种结构设计成双作用、三作用, 甚至多作用的等各种不同结构, 则可形成更多的多马达元件, 以满足系统对马达输出转速的要求.

7 多泵多马达传动系统的连接方式及计算

当得到多泵连接方式和多马达连接方式后, 就可以将多泵、多马达进行组合, 设计出多泵多马达传动的系统图, 如单泵多马达系统, 多泵单马达, 单作用多泵多马达系统、双作用多泵多马达系统, 多泵多马达系统等. 由于组合的形式较多, 以单作用多泵多马达的连接方式为例进行说明. 为了简化程序, 用列表的办法来表示, 具体结果如表 1 所示, 其中设内马达的排量为 q_1 , 外马达的排量为 q_2 , 电机转速为 n_d , 马达转速为 n .

$$n = \frac{q_1'}{q_1} n_d.$$

以内、外两个泵同时供油, 且内、外马达流量同向输入时的连接工况为例, 如图 6 所示.

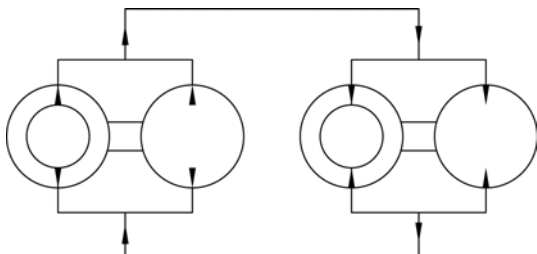


图 6 单作用多泵多马达连接一例

表 1 速度分析值^{a)}

	内马达	外马达	内外马达同向	内外马达差动
内泵	n	$\frac{1}{C}n$	$\frac{1}{C+1}n$	$\frac{1}{C-1}n$
外泵	$C'n$	$\frac{C'}{C}n$	$\frac{C'}{1+C}n$	$\frac{C'}{C-1}n$
内外泵	$(1+C')n$	$\frac{1+C'}{C}n$	$\frac{1+C'}{1+C}n$	$\frac{1+C'}{C-1}n$

a) 此表是在不考虑泄漏情况下的推导出的结果

此时输入马达流量为: $Q_3 = Q_1 + Q_2 = (1 + C')q_1'n_d$.

马达的排量为: $q_2 + q_1 = (C+1)q_1$, 其中 C 为常数.

$$\text{马达的转速为: } \frac{Q_3}{q_2 + q_1} = \frac{1+C'}{C+1}n.$$

同理可推出内、外泵分别供油时的转速表达式, 也可以推出单泵多马达系统, 多泵单马达, 单作用多泵多马达系统、双作用多泵多马达系统, 多泵多马达系统等的表达式(略).

8 结论

通过以单作用多泵多马达传动系统为例的分析, 得出如下结论.

1. 多泵多马达传动系统是一种新型的传动方式、具有独特性能和优点.
2. 多泵、多马达实现了在一个壳体内一个转子对应两个定子, 形成了两个以上马达(泵)的新型元件, 奠定了多泵多马达传动的基础. 同时增加了新型的液压元件系列.
3. 在没有变量机构和其他辅助条件下, 一个这样的定量泵(马达)通过油口的不同组合, 可实现输出多种流量(转速), 且不同的流量(转速)之间存在一定的比例关系.
4. 多泵(马达)作为液压泵使用, 可以实现不用减压阀驱动两个以上不同压力的执行机构分别工作; 可以实现供给一个系统多个不同的流量.
5. 多泵(马达)作为马达使用时, 实现了马达差动连接的功能, 这扩大了马达的适用范围, 增强了马达的适应性. 由于马达双定子间距等宽的特殊结构, 因此无需要回程弹簧或类似机构, 可提高马达的使用寿命和安全性.

综上所述, 多泵多马达液压系统通过分析, 具有单泵单马达传动不可比拟的优点形成了自己的规律和理论, 为今后应用于农业机械、加工机械、重型机械、轻工机械、船舶机械、化工机械、矿山机械、交通机械、林业机械、航天航空机械等领域奠定了基础.

参考文献

- 1 Kim G W, Wang K W. Enhanced control performance of a piezoelectric-hydraulic pump actuator for automotive transmission shift control. *Proc Inst Mech Eng Part D-J Automob Eng*, 2010, 224(2): 161–174
- 2 杨华勇, 张斌, 徐兵. 轴向柱塞泵/马达技术的发展演变. *机械工程学报*, 2008, 44(10): 1–8
- 3 Liu Y S, Wu D F, Long L, et al. Research on the port valve of a water hydraulic axial pump. *Proc Inst Mech Eng Part E-J Process Mech Eng*, 2009, 223(3): 155–166
- 4 Kim J H, Ahn H J, Kim K Y. High-efficiency design of a mixed-flow pump. *Sci China Tech Sci*, 2010, 53(1): 24–27
- 5 雷天觉. 液压工业手册. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 6 路甬祥. 液压气动技术手册. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 7 闻德生, 高俊, 王志力, 等. 双作用多泵多马达传动中马达输出转矩分析. *中国机械工程*, 2010, 21: 2836–2838
- 8 闻德生. 液压元件的创新与应用. 北京: 航天工业出版社, 2008