

# 车辆液压-机械复合传动系统分析与应用

时培成, 龚建成

## The Analysis and Application of Vehicle Hydraulic-mechanical Complex Transmission System

SHI Pei-cheng, GONG Jian-cheng

(安徽工程科技学院 机械工程系, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** 详细分析了一种液压与机械装置“并联”分别传输功率流的汽车复合传动系统的结构及传动特性, 绘出了相关特性曲线。为寻求或创新性能更优的传动系统、对研究复杂传动系统的高效节能及提高传动系统动态性能具有重要的理论与工程意义。

**关键词:** 汽车; 传动系统; 复合传动; 功率分流

中图分类号: TH142.4 文献标识码: B 文章编号: 1000-4858(2007)04-0054-03

### 1 引言

目前大型机电设备中广泛采用由机、电、液、气、光、磁、声等多种传动介质构成的复合传动系统<sup>[1~3]</sup>, 这些设备系统结构复杂, 机、电、液等多种介质传动方式并存, 对实现机械动力传动系统外负载与功率的最优匹配, 提高能源的利用率, 降低废弃能源对环境的有害影响具有十分重要的现实意义。在机械传动重要应用领域的汽车行业, 采用无级传动可使原动力机与外负载实现优化匹配, 提高汽车动力性, 燃油经济性, 降低废气排放。

复合传动是各种传动技术互相有机合理匹配, 扬长避短, 优势互补从而达到整体最优的复杂传动机构, 与单一传动形式相比它具有综合优势<sup>[4,5]</sup>。复合传动特别适合于工况变化复杂、对传动系统的要求更全面、综合的情况; 不仅要考虑高的传动效率, 而且要能够实

现无级变速或自动变速。事实证明, 在进行新产品开发和对旧产品进行改造时, 采用复合传动与控制技术可大幅度提高产品的性能, 特别是在产品的生产效率、耐用度、可控性、环境的适应性、绿色特性等方面效果显著。

### 2 汽车传动系统中的复合传动

汽车传动系统的基本功能是在各种工况下提供合适的传动比, 以适应汽车在起步、加速、及行驶中克服各种道路障碍等不同条件下对驱动车轮牵引力和车速的不同要求。汽车传动系统中按能量传递路线可分

收稿日期: 2006-09-15

基金项目: 安徽省高校青年教师科研资助项目(2006jq1152)

作者简介: 时培成(1976—), 男, 安徽六安人, 讲师, 硕士, 主要从事车辆液压传动与控制方面的科研和教学工作。

台的近端部位的数值分析[J]. 中国生物医学工程学报, 2000(12).

[5] 腾永. 复合大段异体骨移植的个体化股骨髁人工关节软骨设计与制造研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2005.

[6] 程秀生, 周刚, 安迪, 布伦. 碰撞仿真技术在人体腿及膝关节与汽车保险杠碰撞研究中的应用[J]. 公路交通科技, 2001(6).

[7] 寿天德. 神经生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

[8] 张瑞红, 王人成. 人体下肢表面肌电信号的检测与分析[J]. 清化大学学报(自然科学版), 2004, 40(8): 73-76.

[9] 许虹岩, 付宜利, 王树国, 等. 仿生机器人的研究[J]. 机器人, 2004(5).

[10] 李醒飞, 张国雄, 裘祖荣. 利用肌电信号实现仿生肘关节运动控制的研究[J]. 机械工程学报, 2004(4).

[11] 殷湘慧, 等. 人工关节的研究现状和发展趋势[J]. 生物骨科与临床研究, 2004(6).

为单传动装置的简单传动和多能量传递路线(并联)或多传动装置(串联)的复合传动。单传动装置的简单传动是汽车传动系统中应用最为普遍的形式;而复合传动能在不同的能量传递路线中,采用不同的能量传递形式或传递介质,综合不同传动方式的优点,从而提高汽车变速系统的性能,近年来也得到了重视与发展。

串联形式的复合传动指动力依次通过不同的传动装置来传递。最典型的例子就是车辆液力自动变速器,它是由液力传动与机械传动复合构成的。传递的能量先经过液力变矩器,再经过行星轮系传递至负载。

并联形式的复合传动一般又称为“功率分流传动”,可以理解为是一种将液压与机械装置“并联”分别传输功率流的传动系统。由发动机输入传动系统的功率流先被分为两路,一路为经液压系统传输的“可无级调节的”功率流,另一路为纯机械方式传输的“高效的”功率流,然后再由一套行星差速器把这两路汇合起来,如图1所示。液压传动装置由液压泵和液压马达组成,虽效率较低但可实现无级变速,而作为机械传动装置的行星轮系具有能量传递效率高的突出优点。两者结合后既实现了无级变速,又可具有相对较高的能量传递效率。

汽车动力传动装置既要调速又要传递动力,采用与行星齿轮传动匹配功率分流的方案,使大部分功率由输入轴直接通过行星传动输出;一小部分功率通过液压装置传递,液压装置主要起调速作用,行星齿轮担负传递动力的任务。这种复合传动方式大大提高了传动能力,扩大了调速范围。此项技术的出发点是希望把液压传动的无级调速性能好和机械传动稳态效率高这两者的优点结合起来,以期得到一个既有无级变速性能,又有较高效率的变速传动装置。

### 3 实例分析

图1为一种带有外啮合行星差速器的输入分流式液压-机械复合传动系统结构简图。它的动力输入轴1在驱动差速器的小太阳轮 $z_1$ 的同时,还通过一对齿轮驱动变量泵4。通过框架3上的双联行星齿轮 $z_2$ 、 $z_3$ 与输出轴2上的大太阳轮 $z_4$ 啮合。输入功率 $P_1$ 被分为两股功率流:一股通过变量液压泵4、液压马达5传到差速器框架3,为液压功率流 $P_h$ ;另一股机械功率流 $P_m$ 由小太阳轮 $z_1$ 传到行星轮 $z_2$ 、 $z_3$ 上。 $P_h$ 与 $P_m$ 最后汇合于大太阳轮 $z_4$ 上成为输出轴2上的功率流。

在车辆起步或车速很低时系统工作在低档工况,动力由行星轮系太阳轮输入,然后直接经行星轮输出,

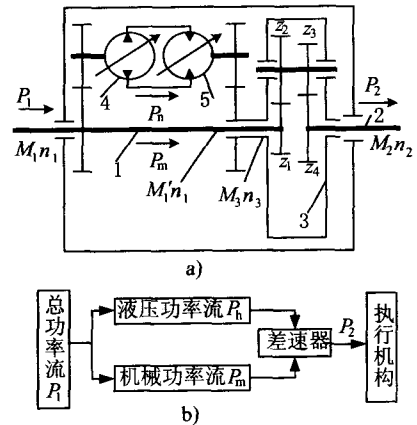


图1 液压-机械复合传动装置简图

单一的齿轮传动可提高车辆的起步性能。当车速提高到一定限值时,通过控制机构使系统液压装置也进入工作,实现无级变速。在车辆以较高速度行驶时,为了提高系统的传动效率,可以控制行星轮系作为一个整体旋转,发动机输出的动力直接由系统的输出轴输出,此时相当于常规多档变速传动系统的直接档。应用电控单元与相应的执行机构来控制档位选择与调节无级变速档的最佳传动比。

行星齿轮有3个互相联系的基本构件,即为小太阳轮 $z_1$ (轴1)、大太阳轮 $z_4$ (轴2)和带空心轴的框架3。设在这3个构件上的转速、转矩和功率分别为 $n_1$ 、 $M_1$ 、 $P_1$ ;  $n_2$ 、 $M_2$ 、 $P_2$ 和 $n_3$ 、 $M_3$ 、 $P_3$ 。对于功率分流传动来说,差速器3个构件中的任2个都可以分别选为输入轴和输出轴,剩下的第3个称为输入控制轴,控制功率分流量大小及有无。3个构件的组合方案不同时,系统所具有的特性也不同。本例中,1为输入轴,2位输出轴,框架3的空心轴为输入控制轴。功率分流传动系统可采用微控制器控制,根据内燃机及输出转速信号实现不同行车速度的动力分配,并进行内燃机防熄火控制,保证内燃机工作在最佳工况,在满足汽车行驶要求的前提下降低油耗、减小排放。输出工作时,机械传动输出转速固定,液压传动系统的输出速度可无级调节,从而实现了合流后输出转速的无级调节。

该行星齿轮差速器的特征常数可由下式确定<sup>[4]</sup>:

$$K = \frac{Z_1 \cdot Z_4}{Z_2 \cdot Z_3} \quad (1)$$

传动比为:

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

$$i_{31} = \frac{n_3}{n_1} \quad (3)$$

由二自由度行星差速器理论可知,其转矩比为:

$$\frac{M_2}{M_1'} = -K \quad (4)$$

$$\frac{M_3}{M_1'} = K - 1 \quad (5)$$

负号表示转矩方向与输入轴上的相反。

当不计损失时,差速器3个构件上的转矩和功率关系为:

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0 \quad (6)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0 \quad (7)$$

由以上各式可得  $i_{21}$  与  $i_{31}$  之间的关系为:

$$i_{21} = \frac{K-1}{K} i_{31} + \frac{1}{K} \quad (8)$$

调节变量泵4和马达5。可以控制  $i_{31}$  的值。上式反映了  $i_{31}$  的变化对变速传动  $i_{21}$  的影响。

由能量守恒定律可知,液压功率流  $P_h$  与机械功率流  $P_m$  之和在不计损失时应等于输出功率  $P_2$ ,也即

$$P_h + P_m = P_2 \quad (9)$$

$P_h$  和  $P_m$  与  $P_2$  之比  $\epsilon_h$  和  $\epsilon_m$  分别称为液压和机械功率分流比,即:

$$\epsilon = \frac{P_h}{P_2} \quad (10)$$

$$\epsilon = \frac{P_m}{P_2} \quad (11)$$

并有  $\epsilon_h + \epsilon_m = 1$ 。

$M_2 \cdot n_2$  和  $M_3 \cdot n_3$  分别对应于输出功率  $P_2$  和液压功率  $P_h$ ,因此有:

$$\epsilon_h = \frac{M_3 \cdot n_3}{M_2 \cdot n_2} = 1 - \frac{1}{Ki_{21}} \quad (12)$$

$$\epsilon_m = 1 - \epsilon_h = \frac{1}{Ki_{21}} \quad (13)$$

式(12)和(13)表明了  $\epsilon_h$  和  $\epsilon_m$  随  $i_{21}$  变化的规律。

$K$  值的大小对行星差速器的特性影响很大。图2出示了输入分流的液压-机械无级变速传动装置的特性与值的关系。在图示坐标系中,公式(8)表现为通过  $(1,1)$  和  $(\frac{1}{K}, 0)$  两点的直线,  $K$  值不同时,该直线的截距和斜率均不同。 $K = \infty$  相当于纯液压传动,  $K = 1$  相当于纯机械传动。

$K > 1$  时,装置的主要工作区对应于  $n_2 < n_1$  的减速运动。 $K$  值越大,对应于  $i_{31} = 0$  的“机械挡”的工作

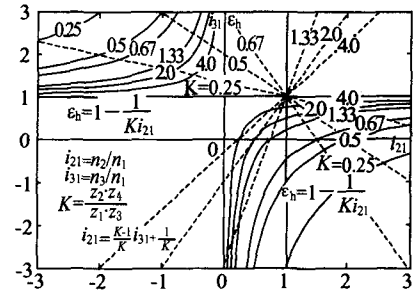


图2 输入分流传动装置传动比、分流比与  $K$  值的关系

点越向左移,  $\epsilon_h$  为正值且小于1的区域也越宽,但同时液压-机械功率平分点(对应于  $i_{21} = \frac{2}{K}$ )也向左移,说明在  $n_2$  的高速区  $\epsilon_h$  值将增大,效率下降,因此  $K$  值也不易过大,一般取  $2 \sim 6$ ,  $K < 1$  的方案多用于增速传动;对于外啮合行星差速器(图1),  $K < 1$  对应于  $Z_1 > Z_2$ ,即输入轴为大太阳轮的结构。

#### 4 结论

(1) 液压-机械无级变速传动系统,变速范围宽,传递功率大,效率高,传动平稳,能很好地适应汽车复杂多变的行驶工况;

(2) 液压传动与机械传动相结合,可实现汽车的无级变速,使发动机始终工作在最大功率点,且不受负载变化的影响,有利于提高汽车的燃油经济性;

(3) 复合传动的应用目的在于创新或寻求性能更优的传动系统,为此,最重要的是在研究中不仅要具有系统的和整体的观点,还需要对各类传动的特点及应用场合有深入的了解。而在汽车传动系统中,复合传动的应用将可能是一种实现技术创新的有效途径。如何开阔思路、扬长避短与优化组合,通过创新与优化来获得性能更好的汽车传动系统,值得进一步的研究与探索。

#### 参考文献:

- [1] Hyunsoo Kin. Power flow analysis of hydromechanical transmission [J]. Power Transmission and Gearing Conference. ASME, 1996, 118(2): 328-341.
- [2] Timothy L Krantz. A method to analyze and optimize the load sharing split 2 path transmission [J]. Power Transmission and Gearing Conference. ASME, 1996, 118(3): 335-362.
- [3] Kouichi, Masuzawa, Ken Ichiryu. Basic study on input split type hydro-mechanical transmission [J]. ICFP, 2001(3): 42-45.
- [4] 唐中一,于今,顾庆祥.复合传动与控制[M].重庆:重庆大学出版社,2004.
- [5] 朱才朝,林腾蛟.多介质多流复合传动现状与发展趋势 [J].农业机械学报,2000,33(4):129-133.