

# 双流传动履带式车辆实现方向盘转向的台架试验

李文哲, 孙 勇, 张鸿琼

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 为了使履带车辆的转向操作简便, 并降低发动机的功率储备, 在现有静液压双流差速转向装置的基础上, 设计了一套与其匹配的采用方向盘操纵的控制装置, 利用方向盘转角来控制两个定量马达的转速, 再通过可差速传动的机械式变速箱分配到两侧驱动轮上, 从而实现履带车辆双流传动装置转向期间车辆自动无级降速。通过台架空载试验测得车辆两侧驱动轮输出轴转速与方向盘转角之间的对应关系, 并与理论计算仿真结果进行比较。结果表明: 使用方向盘转向来实现履带车辆转向期间自动无级降速是可行的, 为进一步研究方向盘操纵双流传动履带车辆转向装置提供充分可靠的理论依据。

**关键词:** 履带车辆; 双流传动; 方向盘; 静液转向

**中图分类号:** S219.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-8-0109-04

李文哲, 孙 勇, 张鸿琼. 双流传动履带车辆实现方向盘转向的试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 109—112.  
Li Wenzhe, Sun Yong, Zhang Hongqiong. Bench test on steering of double flow driving tracked vehicle using steering wheel[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 109—112.(in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

履带车辆良好的转向性能直接影响履带车辆的效率。传统履带车辆通常采用转向离合器—制动器式转向机构, 转向过程中转向精度低、操作过程复杂, 并且由于转向时内侧动力被切断, 造成内侧履带滑移严重, 特别是在湿田行走使土壤拥起, 不但破坏土壤或路面表层状况而且增加转向阻力, 也不利于驾驶的舒适性和安全性<sup>[1,2]</sup>。采用静液压双流差速转向装置, 可以实现无动力切断转向, 从而解决上述弊端。但两个动力流的简便操纵和精确控制, 一直是人们所关注的课题。本研究是在原有静液压双流差速转向装置的基础上, 设计了一套与其匹配的采用方向盘操纵的控制装置, 利用方向盘转角的变化来控制两个定量马达的转速, 再通过可差速传动的机械式变速箱分配到两侧驱动轮上。这不但使履带车辆的转向操纵与轮式车辆完全相同, 而且可以实现车辆在转向期间自动无级降速, 其降速

幅度随转弯半径减小而增大, 自动满足不同转弯半径对速度的要求, 同时还可实现零半径转向。这不但使履带车辆的转向操纵大为简便, 而且可以降低发动机的功率储备<sup>[3-5]</sup>。

## 1 试验装置

试验装置采用三相异步电动机为动力源, 通过皮带传动将动力输入至变速箱。方向盘操纵控制的静液压双流差速转向装置由操纵、控制和传动 3 部分组成。控制流程如图 1 所示。

直线行驶时转动操纵杆, 使拨盘旋转一角度  $\theta$ , 此时控制盘内滑套不动, 其对应的泵马达 1 斜盘倾角仍然处于中位, 经由传动系控制的行星轮系的外齿圈也不动, 而控制盘外滑套产生  $\xi$  变量, 其对应的泵马达 2 的斜盘倾角发生变化, 再通过传动系控制行星轮系的太阳轮, 由行星架输出控制车辆直线行驶。

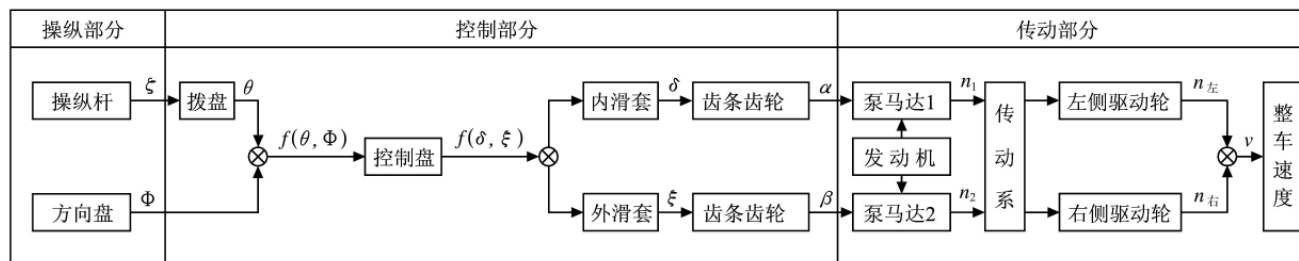


图 1 操纵控制流程图

Fig.1 Flowchart of manipulation control

收稿日期: 2007-10-31 修订日期: 2008-07-02

基金项目: 博士后科研启动基金 (LBH-Q06094)

作者简介: 李文哲 (1955—), 男, 黑龙江人, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要从事车辆工程和生物质能源方向的教学和研究工作。哈尔滨市香坊区木材街 59 号 东北农业大学工程学院, 150030。Email: liwenzhe9@163.com

转向时转动方向盘, 产生一转角  $\phi$ , 此时控制盘外滑套产生  $\xi$  变量, 与泵马达 2 斜盘倾角对应, 经由传动系控制行星轮系的两侧外齿圈, 产生大小相等方向相反的转速, 与行星轮系太阳轮的转速共同作用后, 经由行星架输出的转速产生速度差, 从而实现车辆的

转向。而此时,控制泵马达1斜盘倾角的控制盘内滑套变量 $\delta$ 逐渐缩小,使得它最终控制的太阳轮转速降低,从而实现车辆转向期间的自动无级降速这一重要特征,车辆在以任何速度下行驶时,均可实现小半径转向,因为转向过程中用于直线行驶的马达转速一直在降低,当该马达的速度降为零时,车辆仅由转向马达来驱动,此时车辆原地转向<sup>[6,7]</sup>。用上述的控制机构既可实现类似轮式车辆的操纵方式,又保证了发动机提供足够的牵引力克服履带车辆转向时产生的附加转向阻力矩,并且直线行驶及转向与操纵轮式车辆的操作一致。

## 2 理论分析

### 2.1 转向时两侧履带的速度分析

在不考虑滑移和滑转的情况下,对整套机构进行计算分析,得到车体在某一行驶速度进行转向时,转向期间自动降速后两侧履带速度和车体平均速度随方向盘转角之间的变化曲线,如图2所示。相应的转向半径随方向盘转角的变化曲线如图3所示。

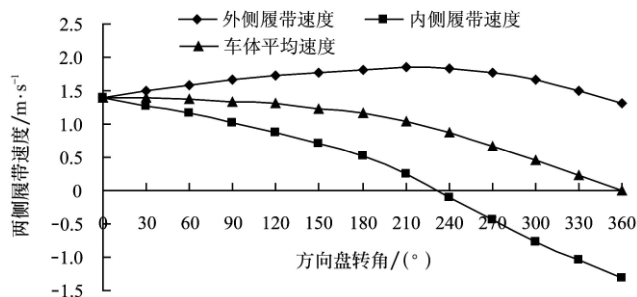


图2 两侧履带速度随方向盘转角的变化

Fig.2 Relationship between outer and inner track speed and angle of steering wheel

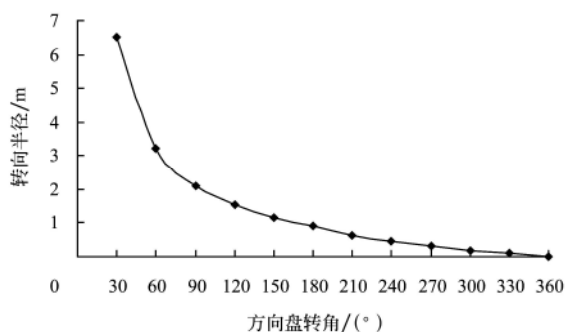


图3 转向半径随方向盘转角的变化

Fig.3 Relationship between steering radius and angle of steering wheel

从图2可以看出,随着方向盘转角的增大,外侧履带的速度比直线行驶的速度先有少量的增加,而后逐渐减小;内侧履带的速度一直减小至反方向,而履带车辆的平均速度一直在连续减小。说明机构能够实现连续无级转向过程的自动降速功能。

由图3可以看出,随着方向盘转角的增大,转向半径从无穷大一直减小至零,说明此机构在任一行驶速度下,均能实现车辆由大半径转向逐渐过渡到小半径区域转向,直到车体做原地转向,实现了车辆的灵活操作。

### 2.2 转向性能分析

转向性能是履带车辆改变运动方向的能力,它是评价履带车辆机动性的重要指标之一,履带车辆良好转向性能的标志是:具有较高的平均转向角速度;具备尽可能多的规定转向半径;最小规定转向半径尽可能小<sup>[13,14]</sup>。由履带车辆转向运动学的几何关系可得

$$\frac{\omega(R + \frac{B}{2})}{\omega(R - \frac{B}{2})} = \frac{v_o}{v_i} \quad (1)$$

式中  $\omega$  ——转向角速度,  $\omega = \frac{v_o - v_i}{B}$ , rad/s;  $R$  ——转向半径, m;  $B$  ——履带中心距, m;  $v_o$  ——外侧履带速度, m/s;  $v_i$  ——内侧履带速度, m/s。

由于差速式转向机构其一侧受转向影响的变化数值等于另外一侧变化数值,只是方向不同,所以在转向过程中整车减速时,自动无级降速降低的是发动机经减速箱到直线行驶分路的速度,而对转向分路两侧履带的速度差并没有影响,所以车辆的转向角速度没有降低,自动减速只是降低了对发动机的功率需求,转向效率并没有降低<sup>[8-10]</sup>。由式(1)可得

$$R = 0.5B \frac{v_o + v_i}{v_o - v_i} \quad (2)$$

由式(2)可知,在转向过程中,一侧履带受转向影响的变化数值等于另外一侧履带朝反方向变化的数值,因此转向半径不受两侧履带速度差的影响,只与车体宽和两侧履带速度矢量和有关系,所以在车体尺寸及外界环境条件相同时,降低两侧履带的速度矢量和就可使转向半径变小,能够得到转向传动比等于零的中心转向,而转向期间不降速的转向装置即使方向盘转角到了极限,车辆也对应一个最小转向半径的限制<sup>[11-14]</sup>。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 低速后退右转向

在低速档状态下,后退右转向时两侧输出轴转速与方向盘转角以及输出轴平均速度与方向盘转角的关系如图4所示,相应的车体转向半径与方向盘转角的关系如图5所示。

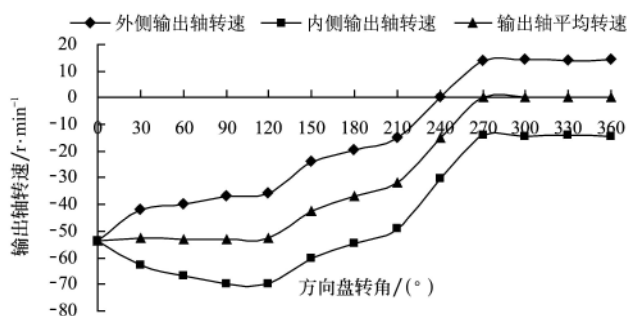


图4 低速档后退右转向时两侧输出轴转速与方向盘转角的关系

Fig.4 Relationship between rotational speed of output shaft and angle of steering wheel in backward right steering of low gear

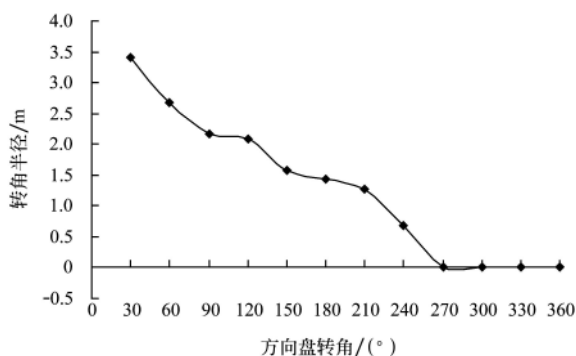


图5 在低速档状态下后退右转向时车体转向半径与方向盘转角的关系

Fig.5 Relationship between steering radius and angle of steering wheel in backward right steering of low gear

从图4可以看出,在方向盘从 $0^\circ$ 转到 $240^\circ$ 过程中,外侧和内侧的输出轴转速的变化曲线与理论变化曲线变化趋势一致,由于车体处于后退状态,外侧输出轴速度连续增大,说明此侧的行星轮系太阳轮转速与外齿圈的转速方向相反,使得行星架输出轴合成速度的值逐渐减小,所以该侧输出轴的转速由负值逐渐增大,变为正值,使得履带车辆这一侧向前运动。而对于内侧履带,因为内侧的行星轮系太阳轮转速与外齿圈的转速方向相同,在方向盘转角由 $0^\circ$ 转到 $90^\circ$ 的过程中,太阳轮的转速减小量不大,而齿圈的转速在不断增加,致使行星架输出轴的合成速度增加,当方向盘转角由 $90^\circ$ 转到 $360^\circ$ 时,此时太阳轮的转速降低幅度大于外齿圈转速的增加幅度,此时行星架输出轴的合成转速的大小减小,从而使得此侧带的速度先有些微减小,而后增加,但始终都没有超过横坐标轴,为负值。这一过程说明此套机构的加工基本达到了要求。但是当方向盘转角从 $270^\circ$ 转到 $360^\circ$ 时,外侧与内侧的变化曲线就基本趋于水平,这是由于这一过程,机构的内部加工间隙以及外部此套机构与泵马达之间连接间隙产生作用所致。输出轴的平均速度随着方向盘转角的变化,由负方向的最大值逐渐减小到 $0^\circ$ 左右,说明车体在转向行驶过程中,整车在无级降速。

从图5可以看出,整车的转向半径随着方向盘转角的变化不断减小,方向盘转角从 $270^\circ$ 到 $360^\circ$ 的变化过程中,转向半径都为零,说明车体始终在做原地转向,不符合设计要求,应该设法对该机构的间隙进行消除处理。

### 3.2 低速前进右转向

在低速档状态下,前进右转向时两侧输出轴转速与方向盘转角的关系和车体转向半径与方向盘转角的关系如图6、图7所示。

从图6和图7可以看出,由于在操纵拉杆向一侧摆动时,外侧履带和内侧履带的输出轴转速的变化曲线与理论变化曲线变化趋势一致,只是没有实现最终两侧输出轴转速的大小相等、方向相反的特征,以致不能实现车体的原地转向。但是转向半径接近于零,只要消除零件间的干涉影响,就可以得到与理论设计变化趋势一致的结果。

从图4和图6可以对比发现,车辆后退行驶时,外侧输出轴转速高于内侧输出轴转速,车辆在绕自身中心逆时针旋转,说明车体在后退右转向;车辆前进行驶时,外侧输出轴转速低于内侧输出轴速度,车辆在绕自身中心顺时针旋转,说明车体在前进右转向,而此时方向盘均向右旋转。因此实现了履带车辆的操纵同轮式车辆的操纵习惯一致。

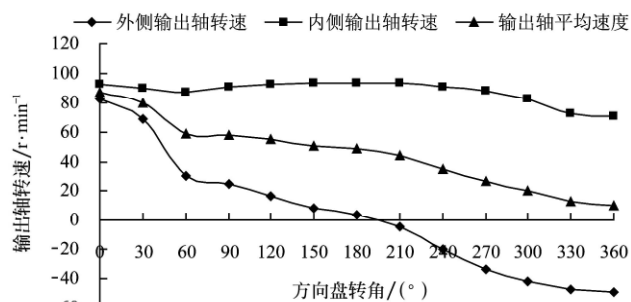


图6 在低速档状态下前进右转向时两侧输出轴转速与方向盘转角的关系

Fig.6 Relationship between rotational speed of output shaft and angle of steering wheel in forward right steering of low gear

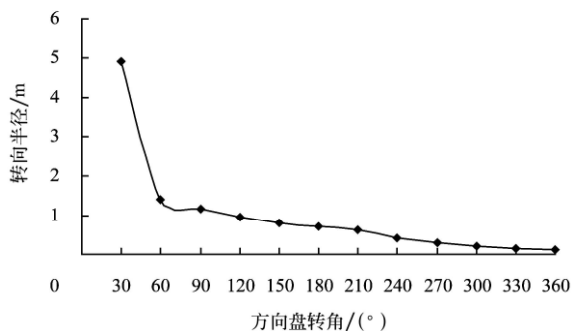


图7 在低速档状态下前进右转向时车体转向半径与方向盘转角的关系

Fig.7 Relationship between steering radius and angle of steering wheel in forward right steering of low gear

### 3.3 高速档状态下两侧输出轴转速与方向盘转角关系

变速箱高速档时得到的两侧输出轴转速与方向盘转角的关系和车体转向半径与方向盘转角的关系如图8和图9所示。

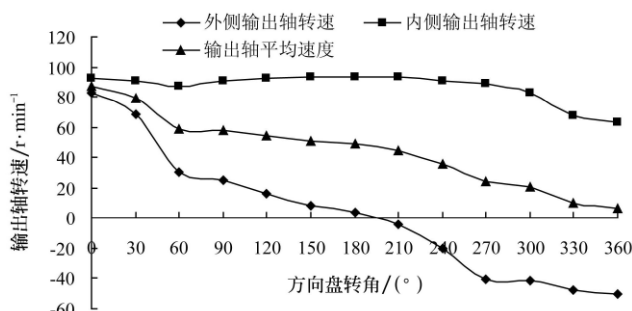


图8 在高速档状态下两侧输出轴转速与方向盘转角的关系  
Fig.8 Relationship between rotational speed of output shaft and angle of steering wheel in high gear

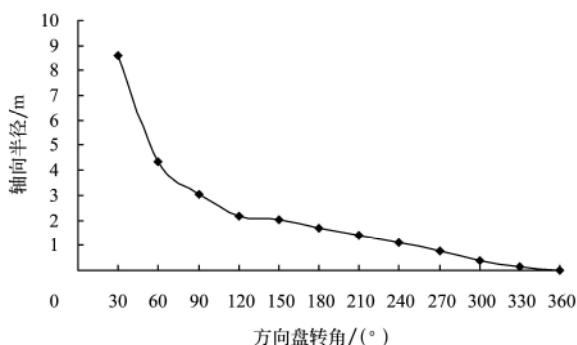


图9 在高速档状态下车体转向半径与方向盘转角的关系

Fig.9 Relationship between steering radius and angle of steering wheel in high gear

从图8和图9可以看出, 曲线的变化趋势与理论曲线的变化趋势基本一致, 但在高速档时, 由于系统中的空行程起了明显的副作用<sup>[15]</sup>, 变量泵的斜盘倾角自动变化, 使得两侧输出轴的转速偏高, 转向半径也相应的偏大。

#### 4 结 论

1) 外侧和内侧驱动轮转速的台架试验结果曲线与理论计算曲线的变化趋势基本一致, 转向时外侧履带驱动轮的转速先增大后减小, 内侧履带驱动轮转速一直减小, 并且出现负值, 直到两侧输出轴转速相同方向相反, 表明方向盘操纵可以达到理论所要求的精度。

2) 转向过程中整车平均速度减小, 而且随方向盘转角增大降速幅度增加, 表明该设计方案可以自动满足不同转弯半径对速度的要求, 同时可以降低消耗的总功率。

#### [参 考 文 献]

- [1] 曹付义, 周志立, 贾鸿社. 履带车辆转向机构的研究现状及发展趋势[J]. 河南科技大学学报, 2003, 24(3): 89—92.
- [2] Rubinstein D, Hitron R. A detailed multi-body model for

dynamic simulation of off-road tracked vehicles[J]. Journal of Terra Mechanics, 2004, 41: 163—173.

- [3] 李文哲, 张鸿琼. 液压双流转向机构实现转向期间自动无级降速的策略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 67—70.
- [4] 史金钟, 徐玉梅, 刘 华, 等. 闭式静液压双轨驱动在履带车辆中的应用[J]. 拖拉机与农用运输车, 2005, (3): 16.
- [5] 陈慧岩, 丁华荣. 履带车辆转向期间自动换挡[J]. 装甲兵工程学院学报, 1999, 113(3): 77—82.
- [6] 李文哲, 孙 勇. 双流传动履带车辆实现方向盘转向的控制策略[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 143—147.
- [7] 张鸿琼, 李文哲. 新型履带自走式联合收割机转向与传动装置性能分析[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(5): 674—678.
- [8] Wong J Y, Chiang C F. A general theory for skid steering of tracked vehicles on firm ground[J]. Proc Instn Mech Engrs. 2001, 215(3): 343—355.
- [9] 刘修骥. 车辆传动系统分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 351—417.
- [10] 欧阳东, 吴 耘, 张文凤. 水稻收获机械的橡胶履带行走装置[R]. 北京: 中国农机院, 1982: 1—8.
- [11] 张鸿琼. 履带车辆转向及传动系统的设计与研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学工程学院, 2005.
- [12] Huh1 K, Cho B H, Choi J H. Development of a track tension monitoring system in tracked vehicles on flat ground[J]. Proc Instn Mech Engrs. 2001, 215(5): 567—578.
- [13] 毕小平, 王普凯, 李海军, 等. 履带车辆动态转向过程的仿真模型[J]. 兵工学报, 2003, (11): 551—554.
- [14] 张克健. 车辆地面力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 143—144.
- [15] Zhang Y, Zou Z, Chen X, et al. Simulation and analysis of transmission shift dynamics[J]. Int J of Vehicle Design, 2003, 32(3-4): 273—289.

## Bench test on steering of double flow driving tracked vehicle using steering wheel

Li Wenzhe, Sun Yong, Zhang Hongqiong

( College of engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China )

**Abstract:** In order to make steering operation of tracked vehicle simple, and decrease power reserve of engine, a set of mechanism controlled with steering wheel was designed based on the existing hydrostatic double flow differential transmission device. The rotational speeds of quantitative motors were controlled by angle of steering wheel and then distributed to outer and inner output shafts by mechanical transmission box, which solved the problem of auto-stepless deceleration during steering. Corresponding relation between rotational speeds of output shafts and angle of steering wheel measured by bench test was compared with the theoretical result. The results show that the auto-stepless deceleration is feasible by operating steering wheel of tracked vehicles during steering, the device can meet designed requirement, and provide a basis for theoretical analysis in studying steering transmission with double flow driving tracked vehicles.

**Key words:** tracked vehicle; double flow driving; steering wheel; hydrostatic steering