

文章编号:1671-8879(2008)06-0096-04

四轮转向试验平台的运动学分析

司癸卯, 叶 敏, 焦生杰

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:分析了 3 种转向模式的转向特点和运动学特性, 构建了四轮转向(4WS)试验平台, 通过试验以及系统频率特性研究, 拟合了试验平台的理论传递函数, 验证了各种转向模式的车轮转角关系。结果表明:全轮转向模式下, 内外侧车轮之间、前后轮之间均具有良好的相关性;新构建的试验平台完全可以满足工程机械实际转向作业要求, 为工程机械四轮转向系统的研究提供了依据。

关键词:筑路机械; 四轮转向系统; 运动学分析; 试验平台

中图分类号:U415.5

文献标志码:A

Kinematics characteristic analysis on 4WS testing platform of construction machinery

SI Gui-mao, YE Min, JIAO Sheng-jie

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The kinematics characteristic is analyzed under three steering modes, and the experimental equipment is developed independently, at the same time the experimental transfer function is derived by frequency response analysis. The results indicate that there is good correlation between the front wheel and the rear one, also between the inside wheel and the outside one. The experimental equipment can meet the actual steering demands of construction machinery. 1 tab, 9 figs, 9 refs.

Key words: road machinery; 4WS equipment; kinematics characteristic analysis; testing platform

0 引 言

转向性能是工程机械的重要性能。整体式车架的轮式工程机械由于作业场地狭窄、施工工艺的要求和自身结构的限制, 要求转弯半径较小, 这就需要采用四轮转向才能实现。

传统的四轮车辆行驶一般采用方向盘控制前轮进行转向, 前轮之间的转向同步靠机械的刚性连接

方法(转向梯形)来实现。前轮转向有以下缺点^[1]:

①转弯半径较大, 无法在狭窄的空间内实现转向要求; ②在低速时转向响应慢, 转向不灵活; ③在高速时转向稳定性差。

为了改善整体式车架工程机械的方向操纵性, 提高车辆行驶稳定性, 尤其为适应狭窄地带作业要求, 需要开发数字式电液四轮转向系统(4WS), 并研究该系统的相关特性。为此, 本文进行了四轮转

收稿日期:2007-12-26

基金项目:长安大学青年基金项目(Q0005013)

作者简介:司癸卯(1963-), 男, 安徽安庆人, 副教授, 工学博士, 博士后, E-mail:smart@chd.edu.cn.

向试验平台的运动学分析。

1 偏转车轮转向车辆的运动学分析

轮式车辆在转向过程中,经常要求内、外侧车轮以不同的角速度旋转,为此,必须满足:①转向时,通过各个车轮几何轴线的垂直平面都应交于同一直线上,这样就能防止各车轮在转向时产生侧滑现象;②转向时,两侧车轮应以不同的角速度旋转,以避免转向时驱动轮产生纵向滑移或横向滑移。本文分3种转向模式进行具体分析^[2]。

1.1 前轮转向

图1中O点是轮式车辆的转向轴线或转向中心。从转向轴线O到车辆的纵向对称面的距离R为车辆的转向半径。

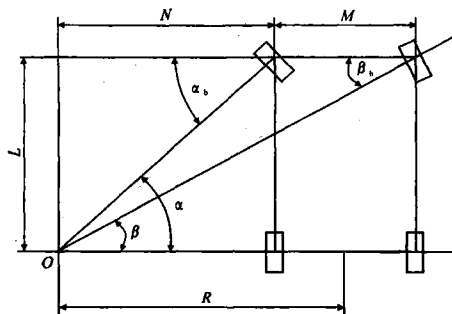


图1 前轮转向

$$\left. \begin{aligned} \cot(\alpha_b) &= \frac{M+N}{L} \\ \cot(\beta_b) &= \frac{N}{L} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:M为两侧主销中心距离(略小于转向内外轮轴距);N为转向中心到内侧车轮的垂直距离; α_b 为内侧车轮转角; β_b 为外侧车轮转角;L为前后轮之间的轴距。

由此可以得出,当内轮转角为 α_b 时,外轮转角 $\beta_b = \operatorname{arccot}[\cot(\alpha_b) - M/L]$ 。

1.2 全轮转向

如图2所示,当前后轮同时偏转时,如果前桥两主销之间距离 M_1 等于后轮两主销之间距离 M_2 时,即 $M_1 = M_2 = M$,则有

$$\cot(\beta_1) - \cot(\alpha_1) = \frac{M_1}{L_1} \quad (2)$$

$$\cot(\beta_2) - \cot(\alpha_2) = \frac{M_2}{L_2} \quad (3)$$

$$\frac{\cot(\alpha_1)}{\cot(\alpha_2)} = \frac{L_2}{L_1} \quad (4)$$

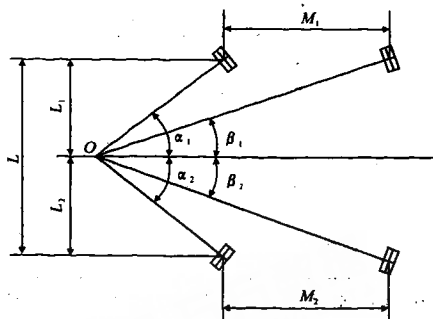


图2 全轮转向

式中: L_1 、 L_2 为前后轮到转向中心线的轴距; α_1 、 β_1 分别为前桥内、外轮偏转角度; α_2 、 β_2 分别为后桥内、外轮偏转角度。

当 $M_1 \neq M_2$,而 $L_1 = L_2 = L/2$ 时,要满足转向要求,通过各个车轮几何轴线的垂直平面都应相交于同一条直线上,则

$$\cot(\alpha_2) - \cot(\alpha_1) = \frac{M_2 - M_1}{L} \quad (5)$$

由式(5)可看出, M_1 与 M_2 的差值越大, α_1 与 α_2 也越大。当转向轮偏角较大时,前、后轮的瞬时转向中心就不会重合,其差距随 M_1 与 M_2 差值的增大而增大,使车辆在转向半径较小时,转向轮产生一定的滑移。因此,在总体设计时应尽量减小 M_2 与 M_1 的差值,最好使其相等,为此选取 $M_2 = M_1$,可得: $\alpha_2 = \alpha_1$, $\beta_1 = \operatorname{arccot}[\cot(\alpha_1) - 2M/L]$, $\beta_2 = \beta_1$,其中 α_1 为全轮转向模式下前后桥内侧车轮转角。

1.3 蟹形转向

如图3所示,对于前、后轮同相转向时,车轮应满足下列关系

$$\alpha_2 = \alpha_1 = \beta_2 = \beta_1 = \alpha_x$$

其中, α_x 为蟹形四轮转向下4个转向轮的转角。

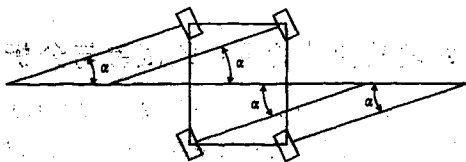


图3 蟹形转向

在此种情况下,轮胎磨损严重,只有在极少情况下才出现蟹形转向。

综上所述,各种转向模式下,各车轮转角之间的关系如表1(输入角为 α)所示(见下页)。

2 四轮转向试验平台技术特征

四轮转向(4WS)试验平台^[3-6]是一个数字式全

表 1 3 种转向模式下各车轮转角之间的关系

转向模式	左前轮	右前轮	左后轮	右后轮
前轮转向	α_b	$\arccot[\cot(\alpha_b) - M/L]$	0	0
全轮转向	α_l	$\arccot[\cot(\alpha_l) - 2M/L]$	α_l	$\arccot[\cot(\alpha_l) - 2M/L]$
蟹形转向	α_x	α_x	α_x	α_x

轮转向电液控制系统,具有机电一体化新技术特征:

①工作模式及状态的手动、自动设定;②控制系统的状态监测及其故障自诊断;③转向过程的自适应和最优控制。

4WS 试验平台四轮独立悬挂、独立转向,转向系统主要由数字式转向控制器、转向液压缸、电液伺服阀组、霍尔转角传感器、液压泵、电机及溢流阀等组成,其传动方案^[7-9]如图 4 所示。

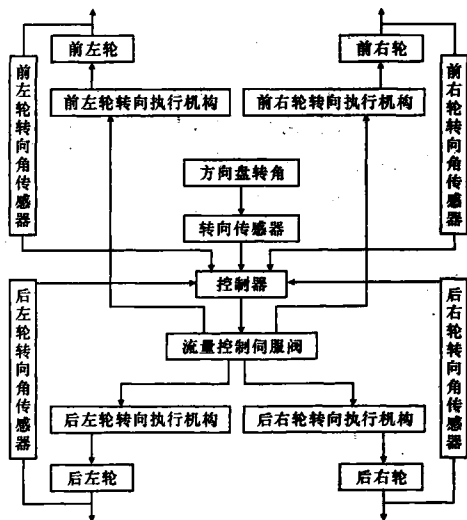


图 4 四轮转向试验平台控制方案

3 四轮转向试验平台的试验与分析

利用 HP3562 动态信号分析仪,记录并处理各个车轮转角上的霍尔传感器和方向盘转角传感器的电压信号,然后进行数据处理。信号发生器用于产生需要的各种正弦波输入信号,测试系统工作原理如图 5 所示。

3.1 确定系统试验传递函数

对一具体系统,在所需判明的频率范围内,测出系统的幅频特性和相频特性,就可以做出系统的 Bode 图。测量出给定频率的谐波输入下系统的输入与输出的波形,则可以根据输入、输出幅值 X_i 、

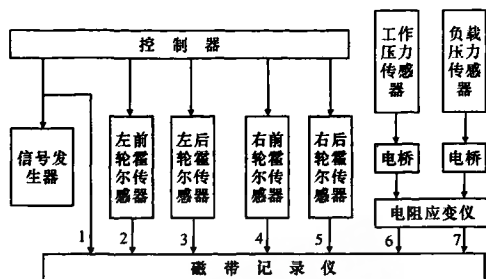


图 5 测试系统工作原理

X_o , 求出幅值比 X_o/X_i , 相位差 φ 则可以根据输出波峰滞后于输入波峰的时间 t 求出, 即: $\varphi = 360f$, 其中 f 为信号频率。改变输入 X_i 的频率, 可以得出不同频率下的幅值比和相位差, 即系统的幅频特性 $|G(j\omega)|$ 与相频特性 $\angle G(j\omega)$ 。由此可得出系统的闭环 Bode 图。由于在设定时磁带分析仪的衰减为 1 V, 则根据试验数据绘制的 Bode 图如图 6 所示。

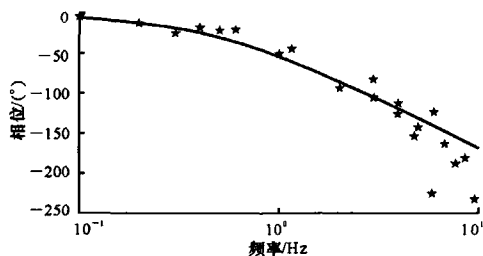


图 6 前轮转向模式下拟合的系统传递函数 Bode 图

由图 6 可以看出, 试验平台起主要作用的是一惯性环节, 其传递函数为 (s 为拉氏变换算子)

$$G(s) = \frac{0.4}{(0.04s + 1) \times (0.25s^2 + 1.5s + 1)} \quad (6)$$

3.2 全轮转向模式下各车轮转角的关系

在 3 种转向模式中, 全轮转向最有代表性。在选择全轮转向模式时, 先研究左前轮和右前轮的转角关系。将采集的左前轮与右前轮输出波形(半个周期)分为 10 等份, 可计算得出车轮的实际转角。其中: 1 通道为方向盘输入; 2 通道对应左前轮; 4 通道对应左前轮。输入满偏电压为 1 V, 满偏时间为 5 s。利用 Matlab 程序所做的拟合曲线如图 7 所示(见下页)。图 7 中: $\cot(\alpha_l)$ 为左前轮转角的余切值 (x), $\cot(\beta_l)$ 为右前轮转角的余切值 (y)。两前轮的转角关系曲线验证了表 1 中所列的关系式。

同理, 研究左前轮与左后轮以及左后轮与右后轮的转角关系, 如图 8、图 9 所示(见下页)。

由图 8、图 9 可以看出, 左前轮与左后轮以及左

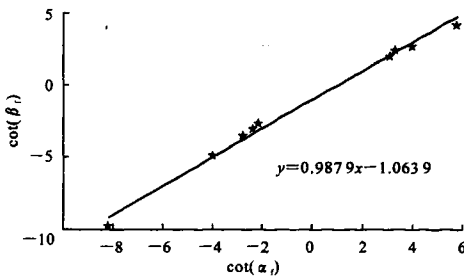


图7 全轮转向模式下左前轮与右前轮转角关系

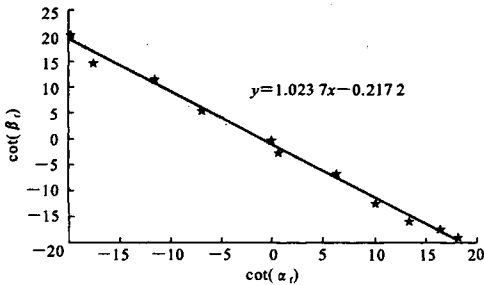


图8 全轮转向模式下左前轮与左后轮转角关系

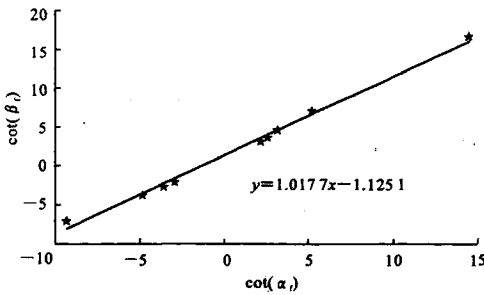


图9 全轮转向模式下左后轮与右后轮转角关系

后轮与右后轮转角关系也验证了表1中的关系式。

4 结 语

(1)构建了四轮转向平台,推导了试验平台的传递函数,验证了全轮转向模式下车轮转角的关系。

(2)试验平台在全轮转向模式下,内外侧车轮之间、前后轮之间均具有良好的相关性。

(3)四轮转向车轮转角关系完全符合转向运动学关系。

(4)新构建的试验平台可以完全模拟工程机械实际转向作业要求,为整体式车架工程机械转向性能的研究提供了依据。

参考文献:

References:

[1] 郭孔辉, 札 浩. 车辆四轮转向系统的控制方法[J].

吉林工业大学学报, 1998, 28(4): 1-4.

GUO Kong-hui, ZHA Hao. Control method of vehicle 4WS system[J]. Journal of Jilin University of Technology, 1998, 28(4): 1-4.

[2] 姚怀新, 陈 波. 工程机械底盘理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[3] 叶 敏, 曹秉刚, 司癸卯, 等. 车辆四轮转向控制平台研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(13): 1625-1628.

YE Min, CAO Bing-gang, SI Gui-mao, et al. Study on the control platform of four wheel steering[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(13): 1625-1628.

[4] 朱 涛. 工程机械转向模糊控制系统设计[J]. 台州学院学报, 2007, 29(6): 40-43.

ZHU Tao. Design of a steering system based on fuzzy logic control to construction machinery[J]. Journal of Taizhou University, 2007, 29(6): 40-43.

[5] 王雯静, 余跃庆, 王华伟. 柔顺机构频率特性分析[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(1): 20-25.

WANG Wen-jing, YU Yue-qing, WANG Hua-wei. Frequency characteristics analysis of compliant mechanisms[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2008, 34(1): 20-25.

[6] 司癸卯. 工程机械4WS系统及数字控制器研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.

[7] You S S, Chai Y H. Multi-objective control synthesis: An application to 4WS passenger vehicles[J]. Mechatronics, 1999, 9(4): 363-390.

[8] 张慧萍, 杨志刚. 电控电动式4WS系统在现代汽车中的应用[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(2): 310-312.

ZHANG Hui-ping, YANG Zhi-gang. Application of electric controlling and engine driving 4WS to modern car[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2008, 27(2): 310-312.

[9] 顾海荣, 熊生杰. 采用液压驱动行走的同步碎石封层设备[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(6): 103-106.

GU Hai-rong, JIAO Sheng-jie. Synchronous pavement surface dressing equipment with hydraulic travelling system[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(6): 103-106.