

文章编号:1672-6413(2017)05-0100-02

四轮驱动原地转向底盘设计*

王 帅, 张津阳, 孙意凡, 崔振权, 史颖刚, 刘 利

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 设计了一种原地转向的四轮小车底盘。先对小车进行整体布局设计; 然后分析了四轮驱动小车底盘的通过性, 选择空间桁架为小车底盘的车身结构, 选用轮毂电机为底盘车轮; 之后, 确定了整车的尺寸参数; 最后分别对各个子系统进行了设计, 并使用 Solid Works 软件对零部件、整车进行了建模和仿真。

关键词: 原地转向; 轮毂电机; 底盘; 四轮驱动

中图分类号: TP242.3 **文献标识码:** A

0 引言

在医院、工厂等狭小空间中应用的四轮转向机器人底盘主要由车架、转向机构、避震系统和制动系统组成, 需要较高的通过性和越野性, 其车架重量不能过重, 转向必须灵活, 且行进过程中不能出现被动转向情况。针对上述应用情况, 需要设计一种有针对性的轮式底盘, 本文介绍了一种四轮驱动原地转向底盘的设计。

1 系统整体方案设计

参考现有的原地转向底盘^[1-4], 初步确定的机器人底盘的参数如表1所示。

表1 机器人底盘参数

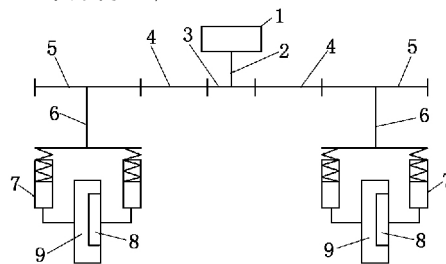
整车长 mm	整车宽 mm	净重 kg	最大载重 kg	轮距 mm	轴距 mm	高度 mm
550	550	50	100	350	350	400

所设计的四轮转向机器人底盘结构如图1所示。机器人底盘的车轮固定在一根轴上, 通过轴的旋转使车轮发生转向, 转向系统整体布局如图2所示。转向电机驱动主动齿轮轴, 通过4个传动齿轮带动4个转向被动齿轮转动, 使小车实现复杂形式的运动。为使四轮小车具有较强的环境适应性, 满足不同路况下的行驶, 减震器采用液压式机械减震, 制动系统选用鼓式制动器。车架采用工字钢, 设计为空间桁架结构。

四轮驱动原地转向小车运动时, 要考虑车轮与地面的相互作用力, 尤其是在松软的土壤上行进时, 车轮的一部分会下陷入土壤中, 其转向时, 侧面必定受到土壤的挤压^[5]。地面对转向轮的作用力为侧向力、牵引力和垂直力三种, 地面对转向轮的作用力矩为翻转力矩、滚动力矩和回正力矩。影响小车转向阻力矩的因素有小车车轴负载、轮胎与地面之间的摩擦系数和轮胎气压^[6]。目前, 计算原地转向力矩主要是采用 R. S. Sharp 和 R. Granger 提出的经验公式^[7]:

$$M_r = \frac{f}{3} \sqrt{\frac{G_1^3}{p}} \quad (1)$$

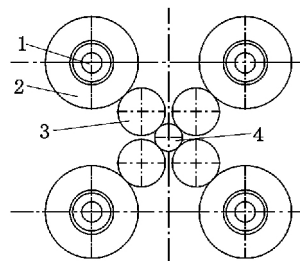
其中: M_r 为原地转向阻力矩, $N \cdot m$; f 为车轮与地面的摩擦系数; G_1 为转向轴负载, N ; p 为小车轮胎气压, Pa 。根据经验设计方法, 选择 $f = 0.35$, $p = 250 \text{ kPa}$, $G_1 = (80 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg}) = 784 \text{ N}$ 。将数值代入式(1)计算得 $M_r = 5.12 \text{ N} \cdot m$ 。



1—转向电机; 2—转向电机轴; 3—主动齿轮; 4—传动齿轮;
5—被动齿轮; 6—车轮立柱; 7—减震器; 8—制动器; 9—轮毂电机

2 转向系统设计

如图2所示, 被动旋转齿轮和车轮立柱通过键联接, 再用一个主动旋转齿轮带动被动齿轮, 即可使整个立柱旋转, 从而使车轮在原地发生旋转。



1—车轮立柱; 2—转向被动齿轮; 3—传动齿轮; 4—主动齿轮轴

小车原地转向时, 驱动力矩要大于阻力矩, 阻力矩 $M_r = 5.12 \text{ N} \cdot m$, 则电机扭矩必须大于 $5.12 \text{ N} \cdot m$ 。根

*陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTZDNY02-05); 西北农林科技大学“大学生创新创业训练计划”项目(201610712058)

收稿日期: 2017-02-14; 修订日期: 2017-07-17

作者简介: 王帅(1995-), 男, 山东曹县人, 在读本科生, 专业为农业机械化与自动化。

据设计指标计算,载重 80 kg 的小车,转向电机功率大约为 600 W。所以,选择无刷蜗轮蜗杆减速电机 A58SW31ZY1280 作为转向电机,其具体参数见表 2;驱动电机选择 24 V 无刷轮毂电机,其具体参数见表 3。转向系统的转向轴需承受较大的轴向载荷和不大的径向载荷,故选用型号为 7206AC 的角接触球轴承,其内径为 $\Phi 30$ mm,外径为 $\Phi 62$ mm,厚度为 16 mm。

表 2 转向电机参数

参数	数值	参数	数值
电压适用范围(V)	12~24	最大效率点扭矩(N·m)	7
额定电压(V)	24	最大效率点功率(W)	21
空载转速(r/min)	16	堵转扭矩(N·m)	11
空载电流(mA)	120	堵转电流(A)	3.1
最大效率点转速(r/min)	11	减速比	505
最大效率点电流(A)	0.7	减速器长度(mm)	58

表 3 驱动电机参数

参数	数值	参数	数值
额定电压(V)	24	电机外径(mm)	200
额定功率(W)	250	电机宽度(mm)	60
安装类型	无刷无齿	电机重量(kg)	3.6
轴总长(mm)	160	最高时速(m/s)	6.94~8.33
开档(mm)	110		

3 避震系统设计

避震器选用常见的摩托车液压式减震器,其工作缸筒直径为其公称直径,贮油筒外径一般为工作缸筒直径的 1.5 倍~1.6 倍,工作缸筒和贮油筒直径如表 4 所示。

表 4 工作缸筒和贮油筒直径 mm

公称尺寸	工作缸筒直径	贮油筒外径	基准长度
16	16	24	160
20	20	32	170
22	22	36	180
25	25	40	195

减震器压缩到底时,减震器基准长度 $L=L_{\min}-l$ 。其中, L_{\min} 为两端吊环中心距, l 为工作行程。则,减震器的拉伸最大长度 $L_{\max}=L_{\min}+l=L+2l$ 。吊环选用 U 型环^[8],如图 3 所示,其具体尺寸见表 5。

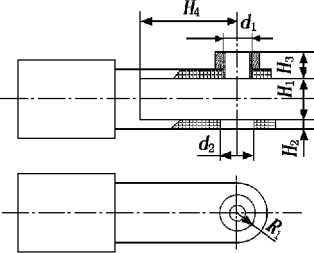


图 3 U 型环参数示意图

表 5 U 型环结构尺寸 mm

d_1	d_2	H_1	H_2	H_3	H_4	R_1
M8×1.25-6H	$8.2^{+0.2}_{-0.1}$	$20^{+0.1}_{-0.1}$	3.2	9.0	22	12
M10×1.25-6H	$10.2^{+0.2}_{-0.1}$	$20^{+0.1}_{-0.1}$	4.0	9.0	22	12

减震器额定阻力的大小见表 6,压缩阻力取复原阻力的 0.1 倍~0.4 倍。根据密封极限条件,选取减震器液压缸缸筒的最大压力值^[9],则液压缸缸筒直径为:

$$d_{缸筒} = \sqrt{\frac{(1-2)F_f}{\pi[p](1-\lambda^2)}} \quad (2)$$

其中: F_f 为减震器复原最大阻力; $[p]$ 为密封极限下液压缸缸筒内最大允许压力; λ 为活塞杆直径与液压缸缸筒直径之比。采用双筒式液压减震器,根据经验公式计算后,取液压缸缸筒直径 $d_{缸筒}=20$ mm,其壁厚

1.2 mm,贮油筒壁厚 1.5 mm,减震器活塞杆直径 $d_{活塞杆}=10$ mm。

表 6 减震器额定阻力参数

缸筒直径 d (mm)	复原阻力 F_f (N)	压缩阻力 F_y (N)	工作行程 l (mm)
16	85~480	25~100	43~70
20	360~590	80~120	64~85
22	480~680	100~150	80~100
25	700~1 200	130~250	90~120

4 制动系统设计

制动器选用鼓式制动器,取制动鼓直径 D 与轮辋直径 D_r 之比 $D/D_r=0.64\sim0.74$,选用 8 寸车轮轮辋,直径 $D_r=227.2$ mm,则制动鼓的直径 $D=145.408$ mm~168.128 mm,选取 $D=160$ mm。根据经验公式,计算后得到鼓式制动器设计的初始数据,如表 7 所示。

表 7 鼓式制动器设计的初始数据

参数	数值	参数	数值
制动鼓直径 D (mm)	160	制动轮缸对摩擦衬片作用力 F (N)	1 130.97
包角 $\theta(^{\circ})$	90	摩擦因数 f_1	0.4
摩擦衬片宽度 b (mm)	35	前后轮制动能力比值 β	0.4
制动器摩擦面积 A_p (mm ²)	4 398.23	制动反应时间 t (s)	3
摩擦衬片起始角 $\theta_0(^{\circ})$	45	制动初始速度 v (m/s)	8
张力至中心距离 e (mm)	64	整车质量 $M_{总}$ (kg)	100
支点至中心距离 a (mm)	64	领蹄效能因数 K_1	1.6
支点至推力距离 h (mm)	128	从蹄效能因数 K_2	0.53
两支点间距 c (mm)	20	效能因数 K	2.13
制动轮缸直径 $d_{轮缸}$ (mm)	120	蹄片制动力矩 M (N·m)	385.43

由表 7 可知,小车整车质量 $M_{总}=100$ kg,制动初始速度 $v=8$ m/s,前后轮制动能力比值 $\beta=0.4$,制动反应时间 $t=3$ s,制动器摩擦面积 $A_p=4 398.23$ mm²,则制动器的比能量耗散率^[10-11]由以下公式计算:

$$\eta = \frac{M_{总} v^2}{4tA_p} (1-\beta) \quad (3)$$

将相关参数代入式(3),计算可得 $\eta=0.073$ W/mm²<1.8 W/mm²,故本设计中的选择是合格的。

5 整车三维模型的建立

对各子系统进行详细的设计和选型,并用 Solid Works 软件对各个零件进行建模,完成装配,如图 4 所示。

6 总结与展望

本文设计了一种四轮驱动原地转向的可移动平台,由车架、转向机构、避震系统和制动系统组成。先构建底盘的整体方案,然后分析了小车的通过性,并用 Solid Works 创建了其三维模型。该移动平台可在医院、工厂等狭小空间中广泛应用。

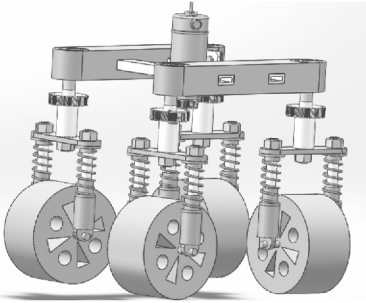


图 4 整车三维装配图

(参考文献和英文摘要转第 104 页)

为 0.1, 标准差约为 0.037。原直线往复试验机 15 min 内的摩擦因数(试验摩擦副为块—块直线往复运动形式, 载荷 150 N, 滴油润滑)均值约为 0.11, 最大幅值约为 0.18, 最小幅值约为 0.06, 最大幅值与最小幅值之差为 0.12, 标准差为 0.03。对比两种运动方式摩擦因数试验数据可知: 单从幅值大小来分析, 改造后试验机所测数据波动相对于直线往复试验机所测数据小; 而从标准差来分析, 则刚好相反, 但两者标准差相差较小。

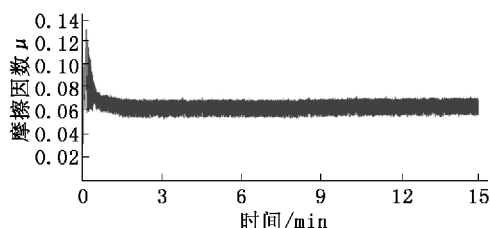


图6 衬套—轴套摩擦副在滴油润滑下摩擦因数随时间曲线

为了更具体地观察改造后摩擦因数随时间的变化, 图7给出了平均摩擦因数随时间的变化曲线。其中, 0 min时刻摩擦因数值取其前30 s内摩擦因数平均值, 第15 min时刻摩擦因数值取其前30 s内摩擦因数平均值, 其余时间数值均取其前、后30 s内摩擦因数平均值。由图7可知, 从6 min左右开始, 平均摩擦因数基本进入稳定阶段, 最终平均摩擦因数稳定在0.07左右。

改造后试验机所采集的部分数据如表2所示。由表2可知, 满足公式(1)所示关系。因此, 改造后的试验机基本满足试验需求。

4 结论

(1) 改造后的附加机械装置设计合理、加工方便,

试验时运行平稳。

(2) 试验结果表明: 改造后的旋转式摩擦磨损试验机能够正确测得轴套—衬套摩擦副之间的摩擦因数, 并且精度满足要求。

(3) 试验机的成功改造使现有试验机兼具直线往复和旋转两种摩擦副相对运动方式, 大大增加了试验机利用率, 避免了购买另一台转动式摩擦磨损试验机, 极大地降低了试验成本。

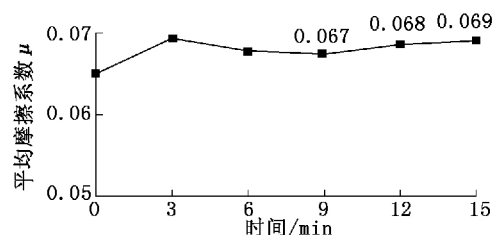


图7 平均摩擦因数随时间的变化曲线

表2 改造后试验机所采集的部分数据

时间(s)	竖直载荷(N)	摩擦力(N)	摩擦因数
0.149 5	107.539 3	2.263 422	0.021 047
0.249 5	106.879 8	2.239 088	0.020 949 3
0.349 5	107.833 6	2.269 289	0.021 043 8
0.449 5	108.735 9	2.301 39	0.021 164 6
0.549 5	108.007 7	2.279 127	0.021 101 4
0.649 5	107.435 6	2.261 868	0.021 053 1
0.749 5	108.092 5	2.288 964	0.021 175 7

参考文献:

- [1] Mohana C B, Divakar B C, Venkatesh K, et al. Design and development of an advanced linear reciprocating tribometer [J]. Wear, 2009, 267: 1111-1116.
- [2] 杜军. 球—盘摩擦磨损试验机的设计及其应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2007, 21(5): 55-58.

A Kind of Multi-functional Friction and Wear Tester

JIANG Tao, WANG Fu-guang, HUANG Jin, XU Pei-min

(School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: There is a reciprocating linear friction and wear tester, and now we mainly transform its structure such as transmission system and lubrication system to make it into a rotary friction and wear tester. The new testing machine can not only simulate spinning friction and wear process of different material and different surface structures such as ring-ring, ring-block etc, but also used for different forms of contact and lubrication condition of rotating friction and wear process. Line contact experimental results show the modified machine can meet the design requirements.

Key words: friction and wear tester; anti-friction drop ground; life extension of machinery; multi-function

(上接第101页)

参考文献:

- [1] 王秀宇. 多轮重载车辆转向系统的设计与仿真研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010: 1-15.
- [2] 刘从华, 赵斌, 高秀华, 等. 多轴转向车辆转向机构优化设计[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 81-85.
- [3] 孙龙龙. 四轮独立转向移动机器人动力学建模及控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008: 10-15.
- [4] 曾锦锋. 机械式四轮转向系统的分析与设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013: 5-10.
- [5] 赵东畅. 一种四轮行星车的牵引控制系统[D]. 北京: 北京工业大学, 2014: 10-15.
- [6] 赵玉霞, 朱永存. 汽车原地转向阻力矩经验公式的计算比较[J]. 汽车实用技术, 2015(6): 102-103.
- [7] 付饶, 阮祥发. 小型机器人原地转向机构研究[J]. 机械, 2006, 33(10): 20-22.
- [8] 艾兆虎. 不同用途摩托车对减震器设计及特性的要求[J]. 摩托车技术, 1994(2): 6-9.
- [9] 艾兆虎. 摩托车减震器的主要参数及设计[J]. 摩托车技术, 1995(4): 4-6.
- [10] 谢斌, 李静静, 鲁倩倩, 等. 联合收割机制动系统虚拟样机仿真及试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 18-24.
- [11] 李志华, 喻军, 曾宁, 等. 圆盘式磁流变制动器仿真优化设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 364-369.

Design of Four-wheel Drive In-situ Steering Chassis

WANG Shuai, ZHANG Jin-yang, SUN Yi-fan, CUI Zhen-quan, SHI Ying-gang, LIU Li

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In this paper, the design of a kind of four-wheel trolley chassis is introduced. First of all, the overall layout of the car is designed, and the passability of the four-wheel drive car chassis is analyzed. The space truss structure is chosen as the car body chassis structure, and the wheel hub motor is selected for the chassis wheel. Then, the size and parameters of the vehicle are determined, each subsystem is designed, and the components and whole vehicle are modeled and simulated by using SolidWorks software.

Key words: in-situ steering; wheel hub motor; chassis; four-wheel drive