



张思伟¹ 黄建泰¹ 林雄瑞¹ 宁水根²
(1. 福建工程学院机械与汽车工程学院; 2. 华侨大学机电及自动化学院)

摘要: 为配合第3届全国大学生工程训练综合能力竞赛,文章按照比赛要求设计了具有绿色环保特色的“无碳小车”。依据机械结构设计理念,合理设计曲柄半径和传动系统,设计出一种完全依靠重物块的重力势能驱动,平面转向机构实现周期性自动避开障碍物的轻质小车。通过 Pro/E 软件进行了小车的整体结构运动学仿真,未发现小车整体机械结构出现干涉和死点等严重问题,证明小车的整体设计机构合理,符合竞赛要求。

关键词: 无碳小车;重力势能;自动避障;转向系统;传动系统;Pro/E

Design of "Non-carbon Small Car"*

Abstract: In order to take part in the competition of "the third China national college students engineering training comprehensive capability", green and friendly "non-carbon small car" based on the competition requirements is introduced in this paper. According to mechanical design concept, rationally designing crank radius and drive train, light-weight small car which the steering system cyclically keeps away the obstacle automatically is designed, this design completely depends on gravitational energy of the weights to drive. The simulation for complete car is carried out based on Pro/E, the results showed that no interference and dead point appeared in the whole structure. It is proven that the design of the whole car structure is rational, meeting the competition requirements.

Key words: Non-carbon small car; Gravitational energy; Keep away the obstacle automatically; Steering system; Drive train; Pro/E

为了人与自然的和谐发展,在节能减排的号召下,开展了第3届全国大学生工程训练综合能力竞赛,本竞赛在一定程度上对大学生的“创新设计能力、制造工艺能力、实际操作能力以及工程管理能力”4个方面进行了考察^[1]。文章针对该次比赛的要求设计具有绿色环保特色的“无碳小车”。

1 设计要求

该设计的“无碳小车”应满足:1)以重力势能驱动且具有方向控制功能,给定的重力势能为4J(取 $g=10\text{ m/s}^2$),竞赛时统一用质量为1kg的重块($\Phi 50\text{ mm}$,高度65mm,普通碳钢)铅垂下降来获得,落差为 $(400 \pm 2)\text{ mm}$;2)重块须被

小车承载并同小车一起运动,不允许从小车上掉落;3)小车在前行时能够自动交错绕过赛道上设置的沿直线等距离摆放的障碍物。鉴于“无碳小车”需要自动自由交错绕过赛道上设置的直线等距离的障碍物,因此需要设计优良的转向系统以便顺利避开障碍物;小车除了具有优良的转向性以外,所设计的传动系结构应该简单、传动件少、质量轻且能耗损失小,而且底盘质心要尽量低。

2 设计思路

2.1 转向系统

为避免由于转向系统不稳定或者走偏,导致整个

* 基金项目:国家高科技研究发展计划“八六三”课题:插电式/增程式重型商用车动力系统总成的开发(2012AA111105)

设计的失败,文章考虑了3种形式的转向机构^[2]:1)采用前轮自身曲面导向的作用进行转向。2)依靠直动推杆凸轮机构转向。凸轮推动转向杆进行周期性的往复运动,从而控制前轮的摆动,以达到转向的目的。3)依靠平面连杆机构转向。摇杆机构推动转向杆实现周期性的往复转动,以达到控制前轮规律性摆动的目的。

由于第1种形式曲面需要光滑过渡,小车车身两侧与地面的高度不相等且为变量,运动时会产生一定的振动,依靠自身曲面转向在一定程度上并不好控制,而且前轮曲面加工有难度^[2],所以没有采用。第2和第3种转向形式相对易于加工。考虑到学校加工能力有限,文章采取第3种方式。

2.2 传动系统

转向系与传动系的优良性影响整个小车的设计是否成功,因此小车关键性的设计在于其转向系统以及整个传动系统。小车的动能来源于重物块在一定高度下的重力势能,因此在设计传动系统时,应尽量减少构件以减轻车体质量以及减少自身摩擦能量的损失。文中设计的传动系统由摇杆、连杆、滑块及齿轮等组成的机构来进行能量的传递与转换。

3 “无碳小车”的设计

3.1 转向系统设计

根据竞赛要求,沿直线每隔1 000 mm设置1个障碍物,已完成的小车行走轨迹,如图1所示。

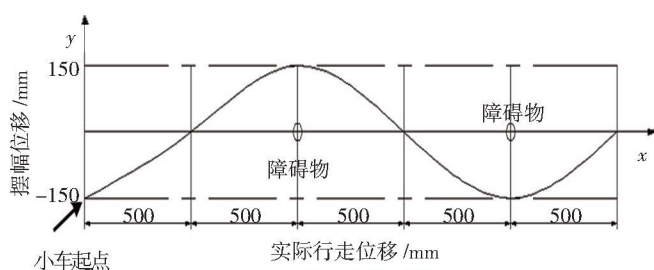


图1 “无碳小车”行走轨迹图

该设计的转向系统是依靠平面连杆机构实现转向的,连杆(导向杆)移动改变小车前轮的偏转角度,从而避开障碍物。考虑小车整体因素的影响,设计出符合预定要求的小车转向系统,小车行走轨迹方程为:

$$y = -150 \cos\left(\frac{\pi x}{1000}\right)$$

式中: x ——小车轨道中心线位移, mm;

y ——小车偏离中心线位移, mm。

为使得小车行走轨迹是三角函数关系曲线,理论上最佳的曲线应该是:幅值为半个车身宽度。但考虑到加工误差以及一些暂不可预知的因素,需要对幅值加

以修正,即:幅值 = $1/2$ 车身宽度 + 安全距离。已知小车总宽为 200 mm,安全距离取 50 mm,修正后所得的曲线幅值为 $B=150$ mm,1 个周期内小车所行走的位移为 2 000 mm。

本次设计的转向系统机械结构采用的是正弦机构来实现周期性的转向从而避开等距离的障碍物^[3],转向系统结构和机构的关系示意图,如图2所示。图2b中 S 表示小车转向摇杆水平方向摆动位移; α 为摇杆转角; R 为曲柄半径。

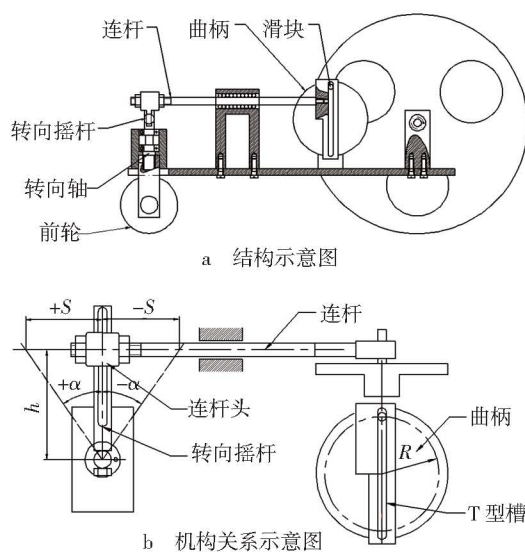


图2 “无碳小车”转向系统结构和机构关系示意图

曲柄半径(R)直接影响整个小车的转向幅度(转向角度),因此设计合理的 R 有助于提高转向精度,使得转向更加平稳,现根据已确定的参数对 R 进行计算。各参数关系为:

$$V_x = V \cos \alpha$$

$$V_y = V \sin \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{S}{h}$$

$$S = R \sin(\omega t)$$

式中: V ——小车的行走速度, $V=526$ mm/s;

V_x, V_y ——小车在 x, y 轴方向上的速度, mm/s;

h ——连杆中心到前轮转向轴中心距离, $h=50$ mm;

t ——小车1个周期的行走时间, s;

ω ——原动轴转动角速度, $\omega = \pi/2$ rad/s。

经 Matlab 软件计算出 R 为 24 mm, 小车1个周期所走的路程为 2 104 mm,同时传动齿轮的传动比为3,则可计算出符合该假设条件的后轮直径为 223 mm。分别绘制小车在 x 轴和 y 轴方向上随时间变化的位移曲线,如图3所示。

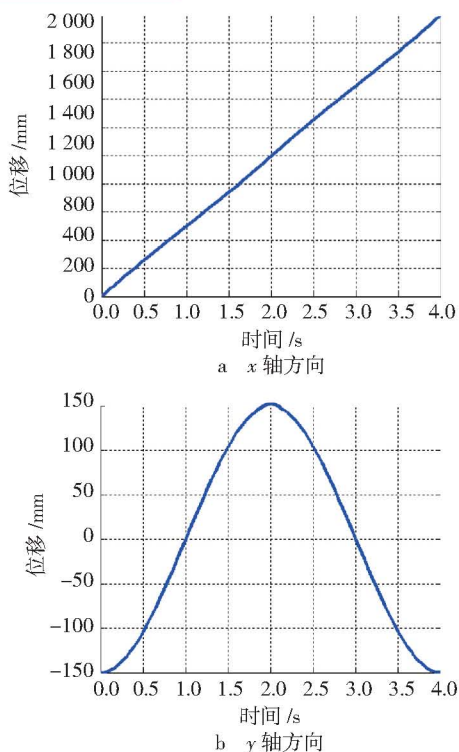


图 3 “无碳小车”时间-位移曲线

从以上结果分析可知：小车转向系统采用正弦机构实现了周期性的转向，小车完全满足设计要求，符合竞赛规定。

3.2 传动系统的详细设计

小车整体传动系统示意图，如图 4 所示。小车总的重力势能是不变的，其总的动能是一定的，因此传动效率影响小车能量的使用效率。传动效率越高，小车行走的距离越远。在机械传动当中，齿轮的传动效率较高，所以采用齿轮传动的方式进行能量的传递。小车整体能量流动，如图 5 所示，重物块的重力势能经过定滑轮 1 传递到定滑轮 2，经绳传递到定滑轮 3 上，绳子经顺时针方向带动原动轴转动，从而通过齿轮传动带动后轮运动，原动轴带动曲柄通过连杆对转向摇杆进行传动，以达到周期性转向目的。

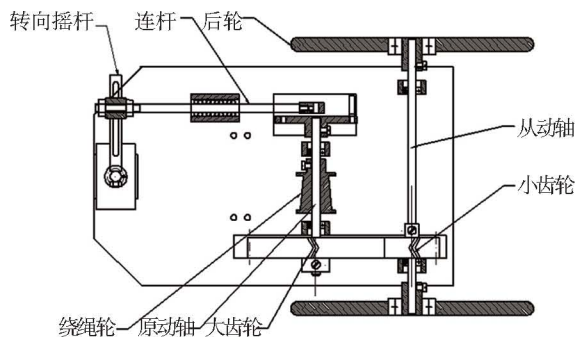


图 4 “无碳小车”传动系统示意图

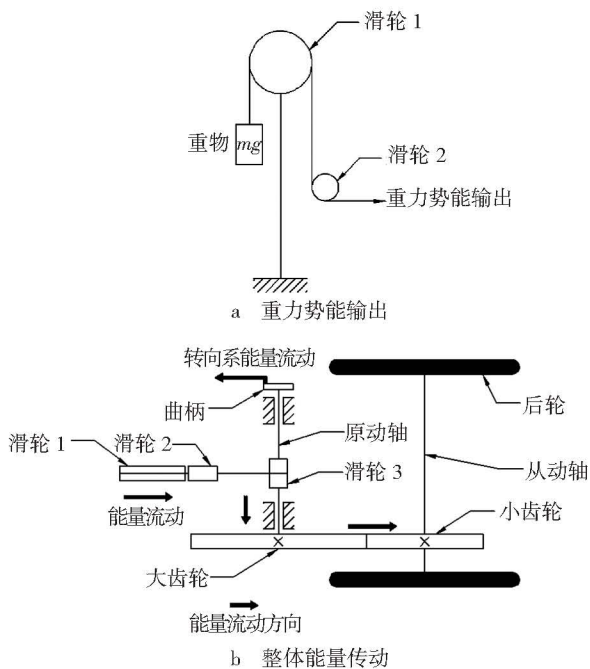


图 5 “无碳小车”整体能量流动示意图

从以上分析可知，重物块重力势能传递过程简单，因此能量的损耗相对较小。同时，小车本身选材以及底盘的设计也会在一定程度上影响小车的性能。在设计转向系统以及传动系统结构的基础上，进行了小车整体结构的 Pro/E 运动学仿真分析，发现小车整体机械结构无干涉和死点等严重问题^[3]，表明小车的设计理论上是合理的，小车整体三维设计图，如图 6 所示。

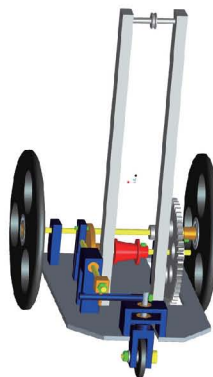


图 6 “无碳小车”三维设计图

4 小车选材与车体平衡

4.1 小车的选材

在重块重力势能传递的过程中，定滑轮均采用轻质的硬质塑料；牵引绳采用质地弹性小，但强度高且耐磨性较好的材料；重物块的撑架采用铝合金；原动轴以及从动轴均采用细钢轴，钢轴与轴承过盈配合^[4]。在转向系统中，摇杆、曲柄、转向轴和连杆等均采用轻质且强度较好的铝棒加工而成。底盘、前向轮和后向轮均采

(下转第 54 页)

下滚轮或导向块;卷丝筒、滚轮和相应的轴销、玻璃托架和导轨;如果是带有套管的拉索式升降器,还会有钢丝和套管的摩擦。为有效提高系统效率,文章针对这些损耗点,提出玻璃升降器的优化措施。

1)零件表面处理的优化。降低卷丝筒、滚轮、轴销和滑块表面的粗糙度;摩擦副处涂抹较好的润滑脂;导轨表面进行喷塑处理。

2)塑料件结构的优化。卷丝筒断面的凹槽底部尽可能倒大圆角,凹槽深度控制在钢丝直径的 $1/3 \sim 2/3$,尽可能减少钢丝入槽时与槽壁的摩擦;导轨上下端尽可能取消导向块的设计,使用滚轮,以滚动摩擦取代滑动摩擦,减少摩擦阻力。

3)拉索张紧力的优化。钢丝绳张紧力过小,会使钢丝绳松动,造成异响和跳丝等失效;张紧力过大,系统内耗增加,效率降低。样件出来后可通过实测的张紧力调整弹簧长度,或选用刚度合适的弹簧型号,得到比较合理的张紧力。

4)钢丝绳出线角的优化。钢丝绳包角越小,摩擦面积越大,在设计升降器时,将驱动部远离导轨布置就能做大该包角,借此减小摩擦力;钢丝绳在垂直于卷丝筒或滚轮侧面的出线方向上,摆动角度越大,和槽壁的摩

擦越大,因此布置时尽量缩小摆动角,以便提高效率。

4 结论

文章通过介绍车门玻璃升降器系统结构说明了升降系统的阻力来源于密封条和玻璃的摩擦,而门钣金等的尺寸对该阻力影响较大,理清了扭矩传递的路径;通过对系统载荷的构成分析,得到了不同工况下的系统载荷计算公式;通过电机扭矩传递路径的分析和电机衰减特性的介绍,建议选取电机最大扭矩时,需要考虑密封条压缩载荷衰退特性以及电机衰退特性的影响,以得到合理的剩余扭矩保证玻璃冲顶平顺;根据升降器内部损耗点位置,提出调整子零件结构和表面处理等一系列细节措施,达到提升系统效率的目的。对玻璃升降系统的设计具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 武汉汽车车身附件研究所. QC/T 626—1999 汽车玻璃升降器[S]. 北京:国家机械工业局,1999:500—504.
- [2] 陈海燕. 汽车橡胶密封条技术概述[J]. 橡胶工业,2003,50(1):26—29.
- [3] 邱国平. 永磁直流电机实用设计及应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009:1—30.

(收稿日期:2013-02-23)

(上接第35页)

用轻质且强度较好的塑料。

4.2 车体的平衡

小车底盘是整个部件的承载体,是其他支承件连接的基础,其结构设计应保持一定的平衡。为了保证小车转向具有良好的灵活性,设计的底盘应尽量小巧,以便转向时能够轻松自如;小车行走时左右转向,重物在重力条件下会出现摆动现象,底盘应保证各构件具有良好的平衡性,因此应尽量降低底盘的高度;同时底盘的各支承件安装处应尽量对称,以保证小车具有良好的平衡而不侧翻。重物块支撑架应安装在小车底盘的质心处,以便更好地保持小车平衡。

5 结论

本次设计的小车利用重物块的重力势能驱动小车行走,并且依靠平面连杆结构控制前轮周期性转向避开障碍物,前后轮转向具有良好匹配。所设计的转向系

统与传动系统结构简单,传动件少,大大降低了小车的传动损耗,使得小车行走更远更平稳。根据机械结构设计理念,对小车关键零部件进行了详细设计,并对小车整体结构进行了 Pro/E 运行学仿真分析,从中可预知小车结构设计是否合理。采用该种运动仿真方式在一定程度上可提高机械结构设计的效率,提高设计的成功率,为后续有关动态结构设计方面提供一定的参考。

参考文献

- [1] 王斌,王笛,李润莲,等. “无碳小车”的创新性设计[J]. 山西大同大学学报:自然科学版,2012(1):59—61.
- [2] 邹光明,杨秀光,黄川,等. 以势能驱动的涡卷弹簧储能小车研究[J]. 机械设计,2012(4):32—35.
- [3] 孙恒,陈作模,葛文杰. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,2006:110—138.
- [4] 邢闽芳. 互换性与技术测量[M]. 北京:清华大学出版社,2011:39—49.

(收稿日期:2013-04-24)