

文章编号: 1674-8085(2017)01-0073-05

基于 SolidWorks 的立体车库悬挂装置设计

*李 飞, 杨国太, 孙广兴

(安徽工程大学机械与汽车工程学院, 安徽, 芜湖 241000)

摘 要: 为解决立体车库设备高空悬停时意外坠落问题, 自行研发了一种新型悬挂装置防坠, 它具有导向定位、防止意外坠落、传动平稳的特点。重点介绍悬挂装置的工作原理和关键机构几何关系, 并应用 SolidWorks 软件进行虚拟装配和干涉检测, 在此基础上, 运用 SolidWorks Motion 动力学插件对悬挂装置进行运动仿真, 验证设计方案的可行性。

关键词: 立体车库设备; 悬挂装置; 虚拟装配; 运动仿真

中图分类号: TH122

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2017.01.014

DESIGN OF THE SUSPENSION DEVICE OF STEREOSCOPIC CAR-BASED BASED ON SOLIDWORKS

* LI Fei , YANG Guo-tai, SUN Guang-xing

(Institute of Mechanical and Automotive Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: In order to solve the accidental falling problem of car parking equipment's high altitude havening, a new suspension device is designed for falling prevention. The device has three features, guide-localization, preventing-falling and steady transmission. We mainly introduce the operating principles of the suspension device and the geometric relation of the key mechanism. Furthermore, we carry out the virtual assembly and interference detection by SolidWorks software. We also use SolidWorks Motion software to analyze and simulate the motion of suspension device verifies the feasibility of the design scheme.

Key words: stereoscopic car-base; suspension device; virtual assembly; motion simulation

0 引言

随着经济的稳步发展和汽车工业化水平的不断提高, 汽车成为人们日常出行的主要交通工具, 在寸土寸金的大城市繁华地段, 停车难问题日益突出。机械式立体停车设备具有能够利用有限的空间创造出更多的停车位的特点, 为人们所青睐。此外, 广泛应用立体停车设备具有缓解城市停车难和促进城市静态交通发展的重要作用^[1]。与此

同时, 人们对立体车库的存取运行安全问题十分关注, 尤其是对采用钢丝绳和链条提升设备的升降横移类机械式停车设备的安全性能关注有加, 因为在悬停时, 当牵引提升装置出现断裂故障时, 则会出现坠落现象, 并对车辆和设备有所损害。

目前, 立体车库应用纯机械式、电磁式装置防坠, 两者皆采用驱动挂钩实现防坠的功能。机构中间件较多, 对载车板的停靠位置精度要求高, 当驱动装置和挂钩出现微小变形时, 则会导致防坠装置不能正常打开挂钩, 从而出现载车板某个角落被挂

收稿日期: 2016-08-03; 修改日期: 2016-10-10

基金项目: 安徽省教育厅重点项目 (KJ2014A022)

作者简介: *李 飞(1990-), 男, 安徽阜阳人, 硕士生, 主要从事数字化设计研究(E-mail:1258165298@qq.com);

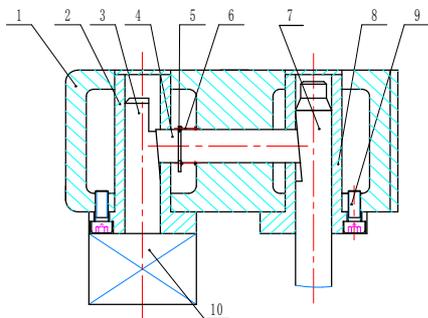
杨国太(1963-), 男, 安徽桐城人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事机械制造及其自动化研究(E-mail: ygtahwh@163.com);

孙广兴(1990-), 男, 安徽宿州人, 硕士生, 主要从事机械设计研究(E-mail:1257173804@qq.com)。

住, 导致倾斜的安全隐患。针对以上存在的不足, 笔者研发了一种结构简单、操控方便、安全可靠悬挂装置防坠, 同时分析了悬挂装置的工作原理。

1 悬挂装置的结构组成

悬挂装置被广泛应用于各类提升机械中, 最主要应用于升降横移式立体停车车库中^[2], 防止车辆高空悬停时意外坠落, 确保使用者的生命财产绝对安全。如图 1 所示, 悬挂装置主要包含箱体、杆套、斜楔杆、锁紧杆、导向杆、托盘悬挂杆、垫圈、弹簧、电磁铁等。箱体是悬挂装置的主体, 通过它装配、承载各个零部件并与车库体安装连接。托盘悬挂杆与工程中提升装置紧固连接, 在悬挂装置中托盘悬挂杆是被锁紧的对象, 托盘悬挂杆上端部设有一个直径小于其杆身直径的导向结构。斜楔杆、锁紧杆和托盘悬挂杆分别设有小角度的、倾斜方向相同的斜面, 通过控制电磁铁的得、断电推动斜楔杆上下运动并在弹簧的作用下从而实现锁紧和复位的功能^[3]。此装置属于电磁机械式锁紧防坠装置。



1-箱体 2-套 1 3-斜楔杆 4-锁紧杆 5-垫圈 6-弹簧
7-托盘悬挂杆 8-套 2 9-螺钉 M5 10-电磁铁

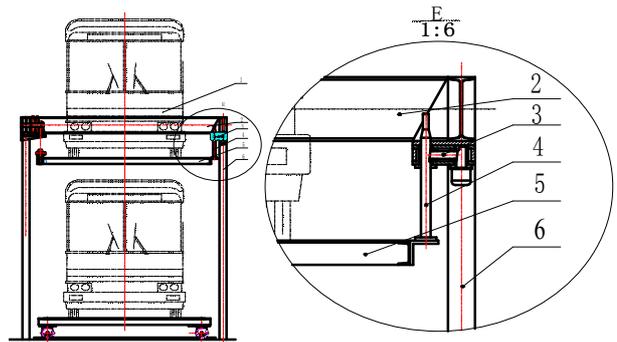
图 1 悬挂装置的结构

Fig.1 The structure of suspension device

2 悬挂装置的工作原理

2.1 悬挂装置在立体车库中的位置

如图 2 所示, 升降横移式立体车库结构确定后, 悬挂装置安装在主架的四个立柱上, 托盘悬挂杆与上升托盘紧固连接, 在提升装置的作用下向上运动, 当托盘悬挂杆运动到预定位置时行程开关限位, 悬挂装置进行锁紧^[4]。该悬挂装置具有防横向摆动、导向定位、锁紧防坠三种功能。



1-车辆 2-车库横梁 3-悬挂装置 4-托盘悬挂杆 5-上升托盘 6-立柱

图 2 悬挂装置在立体车库中防护简图

Fig.2 The diagram of suspension device in car parking equipment

2.2 悬挂装置的 PLC 控制程序设计

悬挂装置工作时各构件的动作顺序见图 3(a), 图中①、②、③和④、⑤、⑥分别为悬挂装置在存车悬停、取车过程中构件状态简图。用可编程控制器 (PLC) 作为主控单元, 编制出升降式停车设备 PLC 控制梯形图, 如图 3 (b) 所示, PLC 系统易于实现逻辑控制, 并且适用于开关量输入输出的升降横移式立体车库, 用梯形图程序设计存取车指令语言更加形象直观、便于调试。在存、取车时, 斜楔杆、锁紧杆和托盘悬挂杆三者不能同时动作, 在程序设计中可以用互锁的方法去解决; 斜楔杆和托盘悬挂杆在存取车时动作的先后顺序不同, 在程序设计中可以用联锁的方法解决; 在停车到位时, 电磁铁要持续得电起到防坠功能, 在程序设计中可以用自锁的方法实现。同时, 为了保证存取车到达指定位置, 采用了行程开关。

如图 3 (b) 所示。开启存车按钮 (X1) 动合触点, 上升托盘连同托盘悬挂杆向上运动, 当上升到存车位置时, 触到悬停限位开关 (X4) 动断触点, 提升装置停止工作。然后, 开启动合触点 X2 操作电磁铁得电, 推动斜楔杆向上运动, 斜楔杆与锁紧杆斜面接触并产生夹紧力推动锁紧杆横向运动, 锁紧杆斜面与托盘悬挂杆斜面接触产生夹紧力, 利用锁紧杆的两个小倾斜面的自锁特点, 无论托盘悬挂杆受力大小如何, 都能保证不会坠落, 达到安全悬停的性能要求。在取车时, 开启取车按钮 (X3) 动合触点, 由于设计的程序互锁功能, 电磁铁失电, 斜楔杆会随着下降, 锁紧杆在

压缩的弹簧的反作用力作用下横向运动远离托盘悬挂杆，直至弹簧恢复原长，解除自锁状态，完成取车过程。引入 PLC 控制使得车库运作自动化、运行平稳可靠^[5]。

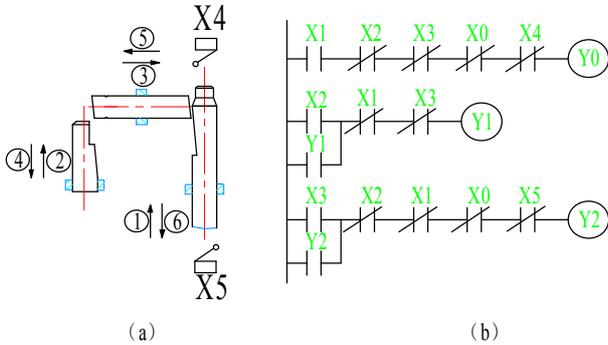


图3 构件动作示意图与 PLC 梯形图

Fig.3 The schematic diagram of running components and the ladder diagram of PLC

3 悬挂防坠装置的结构几何关系

悬挂装置能否可靠地实现车辆高空悬停防坠功能，取决于悬挂装置中斜楔杆、锁紧杆和托盘悬挂杆的结构几何关系是否合理。双斜楔机构决定了悬挂装置工作时的增力比、夹紧行程和自锁功能，根据悬挂装置的工作原理，对机构几何尺寸做以下几方面的设计。

3.1 斜楔杆的结构分析

当斜楔杆为主动件时，锁紧杆为从动件，斜楔杆的竖直运动转化为锁紧杆的水平运动，并与托盘悬挂杆锁紧。如图 4 所示，对斜楔杆的受力和运动进行分析。

3.1.1 斜楔的夹紧力与增力比

图 4 (a) 所示为在力 F_Q 的作用下斜楔的受力情况。建立平衡方程式

$$F_1 + F_{RY} = F_Q \tag{1}$$

$$F_1 = F_J \tan \beta, \quad F_{RY} = F_J \tan(\alpha + \gamma) \tag{2}$$

则
$$F_J = \frac{F_Q}{\tan \beta + \tan(\alpha + \gamma)} \tag{3}$$

$$i = \frac{F_J}{F_Q} = \frac{1}{\tan \beta + \tan(\alpha + \gamma)} \tag{4}$$

式中： F_J —斜楔杆对锁紧杆的夹紧力 (N)；

F_Q —加在斜楔杆的作用力 (N)；

i —增力系数；

α —斜楔升角 ($^\circ$)；

β —斜楔杆与杆套的摩擦角 ($^\circ$)；

γ —斜楔杆与锁紧杆的摩擦角 ($^\circ$)。

3.1.2 自锁条件

图 4 (b) 所示在撤去力 F_Q 后斜楔的受力情况。

要满足自锁条件，必须保证 $F_1 > F_{RY}$ ，则有 $F_J \tan \beta > F_J \tan(\alpha - \gamma)$ ， $\tan \beta > \tan(\alpha - \gamma)$ 。由于 α 、 β 、 γ 都很小，取 $\tan \beta \approx \beta$ ， $\tan(\alpha - \gamma) \approx \alpha - \gamma$ ，所以有 $\beta > \alpha - \gamma$ ，即 $\alpha < \beta + \gamma$ ，保证自锁。

3.1.3 斜楔的夹紧行程 h

在图 4(c) 中， h (mm) 表示的是锁紧杆的夹紧行程， s (mm) 为锁紧杆在夹紧过程中的移动的距离，则有

$$h = s \tan \alpha \tag{5}$$

3.1.4 角度的选取

一般钢件接触面的摩擦系数取值为 $f=0.10\sim 0.15$ ，则可得摩擦角取值范围 $\beta = \gamma = \arctan(0.10\sim 0.15) = 5^\circ 43' \sim 8^\circ 30'$ 。由式 (4)、式 (5) 可知，增力比与斜楔升角成反比，夹紧行程与斜楔升角成正比^[7]。在确保能够实现自锁的条件下，综合考虑增力比与夹紧行程，选取斜楔升角 (α) 为 5° 。

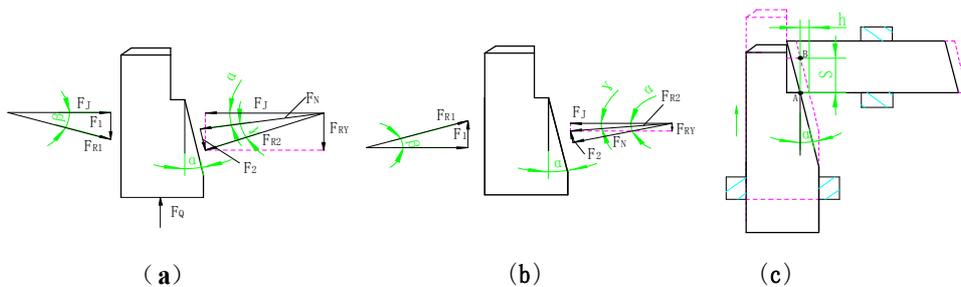


图4 斜楔杆受力分析

Fig.4 The force analysis of the wedge

3.2 悬挂装置的结构几何关系

在悬挂装置中,斜楔杆与锁紧杆传动准确、平稳至关重要。如图 5(a)可知,在设计时首先确定夹紧行程 h ,从而确定夹紧工程中上升的距离 s 。图 5(b)示意的是在确定 h 、 s 后,锁紧杆传动过程的示意图,要保证两构件能够准确传动,则需 $D=d$,同时在 C 点到 D 点运动中,斜楔杆顶部 E 点到 F 点运动过程中不能与斜楔面接触,则需 $H/D > \tan \alpha$ 。

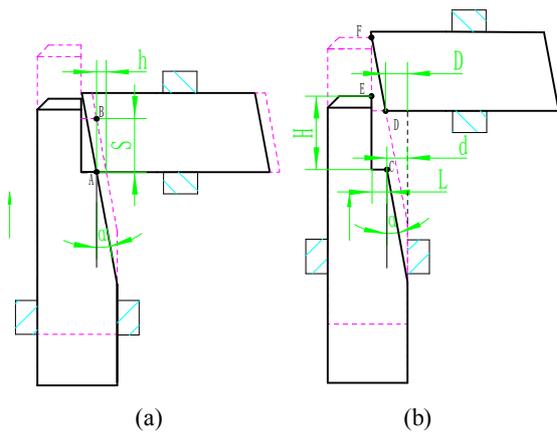


图 5 斜楔传动示意图

Fig.5 The schematic diagram of transmitting wedge

4 悬挂装置的虚拟装配与干涉检测

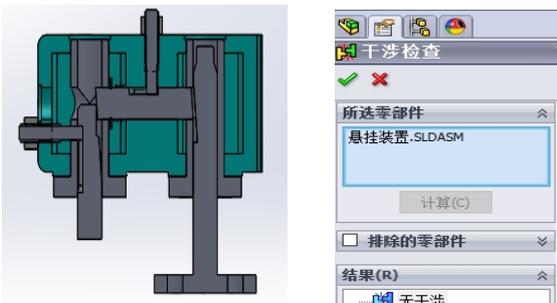


图 6 悬挂装置的剖视图与干涉检查

Fig.6 Section view and interference detection of suspension device

运用 SolidWorks 软件对各构件进行三维建模,采用自上而下的设计方法,在装配环境下,按照装配先后顺序依次完成对悬挂装置三维模型的虚拟装配^[6]。如图 6 所示的是悬挂装置的剖视图,三维视图更能清晰展现悬挂装置内部结构。完成零件装配后,需要对装配体进行干涉检查,在一个复杂的装配体中,仅凭视觉是不能够完全判断出零件之间是否存在干涉现象,检测出有干涉现

象,则需修改模型直至无干涉。利用 SolidWorks 评估,检测结果如图 6 所示,图中无干涉现象。

5 悬挂装置的运动仿真

5.1 夹紧力验证

通过利用 SolidWorks 中 Motion 插件对悬挂装置运动仿真,设计者可快速了解结构的合理性和产品的可行性,减少物理样机制造数量、测试次数、节省研发时间。上节对悬挂装置主要结构尺寸做了详细介绍,当取 $\alpha = 5^\circ$ 、 $\beta = \gamma = 6^\circ$ 时,

$$i = \frac{F_j}{F_0} = \frac{1}{\tan \beta + \tan(\alpha + \beta)} = 3.36$$

通过 SolidWorks Motion 软件对增力比和自锁条件进行仿真求解并验证。在装配体界面,将“SolidWorks Motion”,插件载入,在 MotionManager 工具栏选择 Motion 分析。需要进行参数设置,首先添加实体接触定义接触来防止其相互穿透,同时选择材料 Steel(Dry)(钢材无润滑),然后,设定对斜楔杆添加一个 100 N 力,下一步在垫片和箱体内侧间设定一个虚拟构件线性弹簧,只在仿真时出现,用于模拟弹簧力,仿真后,查看线性弹簧的反作用力图解,近似求出夹紧力,最后将运动速度设定为 5 s,运动算例属性中设定每秒帧数设置为 1000。

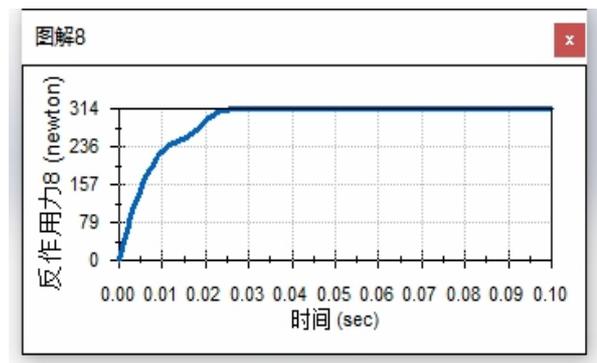


图 7 线性弹簧的反作用力图解

Fig.7 The scheme of reacting force of linear spring

仿真完成后,查看线性弹簧的反作用力图解,如图 7 所示,得到其反作用幅值为 314 N,即当在斜楔杆上施加 100 N,锁紧杆所受的夹紧力最大为 314 N,悬挂装置锁紧力的放大倍数为 $314/100 = 3.14$,与理论计算的增力比值相近,从而可以判断选取的角度值合理。

5.2 自锁仿真

对于锁紧杆与托盘悬挂杆自锁仿真,应添加实体约束和添加驱动力,在添加接触的对话框中特别要注意为了不影响仿真需要对锁紧杆、托盘悬挂杆和箱体之间的重合配合压缩,并设置接触面的摩擦系数 0.1,其余参数采用默认值,同时在驱动力参数设定为 1000 N,仿真完成后查看仿真结果,通过 X、Y、Z 的分量图解反应质心坐标位置的变化,如图 8 可知,托盘悬挂杆质心位置在仿

真过程中没有发生改变,微小误差是求解精度所致,说明从动件锁紧杆没有松动。在设计树中编辑力大小为 2000 N 在进行仿真,查看仿真后 X、Y、Z 的分量图解和力为 1000 N 的质心 X、Y、Z 分量图解一致,则表明无论加多大力托盘悬挂杆质心位置不变,能够自锁。对于此机构,设定的摩擦角 $\beta=\gamma=\arctan 0.1=6^\circ$,同时锁紧杆的斜楔升角 $\alpha=5^\circ < \beta+\gamma$,从而验证了自锁条件。

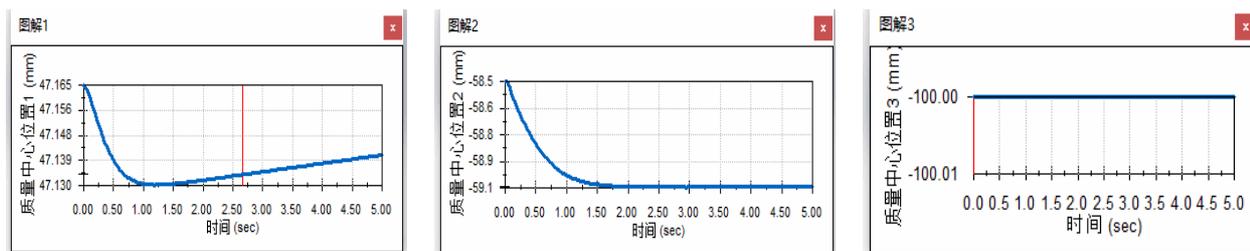


图 8 托盘悬挂杆质心位置 X、Y、Z 分量图解

Fig.8 Component diagrams of X、Y、Z of barycenter in suspension rod

6 结语

笔者分析了一种自行设计的新型悬挂装置的机构特点及在车库的工作原理。悬挂装置采用双斜楔机构进行锁紧并实现自锁,双斜楔机构自锁和传动性能均优越,具有传动平稳准确、结构简单、成本低、安全可靠,同时可以提高机械效率^[8],有效地满足了悬挂装置防坠的安全要求。通过 SolidWorks 软件进行增力比和自锁条件的仿真与验证,确保产品质量和性能。悬挂装置的研发具有很高的工程价值和市场前景。

参考文献:

[1] 胡玉庆,张建锋,苗庆华. 一种新型机械式防坠装置在立

体车库中的应用[J].机械管理开发,2008(5):64-65.

- [2] 龚海锋,宋世远. 一种新型机械式防坠装置在立体车库中的应用[J].机械研究与应用,2005(6):111-112.
- [3] 杨国太. 一种大型停车设备的悬挂装置[P].中国专利:102127985A,2011-07-21.
- [4] 杭杰. 立体车库防坠落装置的探索[J].科技信息,2012(20):318.
- [5] Schlote A, King C, Crisostomi E, et al. Delay-tolerant stochastic algorithms for parking space assignment[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(5): 1922-1935.
- [6] 孟会玲. 基于 SolidWorks 的机械手设计与运动仿真[J].煤矿机械,2013,34(9):23-24.
- [7] 陈国华. 机械机构及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [8] 赵雪松,任小中,赵晓芬. 机械制造技术基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2013.