DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.12.017

基于SolidWorks的电梯门锁装置优化设计与仿真*

陈 良,丑幸荣
(杭州万向职业技术学院 应用工程系,浙江 杭州310023)

摘要: 针对一款传统的电梯单门刀式门锁装置存在安全缺陷的问题,对处于极端工作状况下的失效原因进行了分析,提出了一种通过修改锁臂零件并增加配重摆锤零件的设计改进方法。在SolidWorks2010平台下,通过运用SolidWorks Motion功能模块,构建了门锁装置的刚体动力学仿真模型,并对极端工作状况和正常工作状况下电梯开门解锁和关门上锁的全过程进行了刚体动力学仿真,确定了配重摆锤重量大小。最后,对两种工作状况下的刚体动力学分析仿真结果与锁臂零件的受力分析状况进行了计算核对,验证了仿真结果的正确性。研究结果表明,改进后的门锁装置达到了消除安全缺陷的目的,设计是有效的。

关键词: 电梯门锁; SolidWorks; Motion; 动力学分析; 仿真
中图分类号: TH122; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4551(2014)12-1591-05

Optimization and simulation for lock device on elevator based on SolidWorks

CHEN Liang, CHOU Xing-rong
(Applied Engineering Department, HangzhouWanxiang Polytechnic, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the problem of safety defect on one conventional type of elevator lock device, the failure cause under extreme operation condition was analyzed. The design improving method of modifying arm component and adding counter weight block was advanced. By using functional module, SolidWorks Motion under the platform of SolidWorks2010, the model used for rigid body dynamics simulation was built. After analyzing the dynamics during doors' whole process of opening and closing under normal and extreme operation condition, the volume of counterweight was established. At the end, by calculation and comparison with the force analysis situation on the arm component, the result of dynamic analysis is correct. The results indicate that the safety defect is eliminated on the improved design, and it is effective。

Key words: elevator lock; SolidWorks; Motion; dynamic analysis; simulation

0 引 言

电梯的层门是一个重要的安全设施,层门的开启与有效锁闭是保障电梯使用者安全的首要条件。国内外专家对于电梯门锁的研究一直专注于提高门锁的安全性能,提出了各种改进和创新的设计[1-5]。在电梯设计领域,采用虚拟样机技术,通过仿真试验,缩短产品的开发周期和成本的研究在电梯整体运行方面已有所开展:傅武军[6]运用ADAMS软件通过对电梯轿厢的振动分析优化了轿厢导轮的结构参数;刘文[7]通过对电梯轿厢系统和导向系统的动力学分析,优化了轿顶和轿底的缓冲装置结构参数;艾延廷[8]建立了高速电梯的机械系统模型,通过动力学分析优化了轿厢

收稿日期: 2014-08-20
基金项目: 杭州万向职业技术学院院级重点项目(YN2003003)
作者简介: 陈 良(1980-),男,浙江绍兴人,工程师,主要从事机电一体化设计技术方面的研究. E-mail:lifteducation@163.com

的乘坐舒适度;陈栋栋[9]借助ANSYS对高速电梯主机支撑座系统进行了研究,为支撑座的结构设计提供了理论依据。电梯的门锁装置涉及到多体之间的互相接触,运动传递往往比较复杂,尚未见到在门锁设计领域运用仿真技术进行设计验证的案例研究先例。

本研究针对一款存在安全缺陷的单门刀式门锁,提出设计改进的方案,并运用SolidWorks Motion功能模块,对设计进行多刚体动力学仿真,最后对改进设计进行验证。

1 结构及工作原理

单门刀式门锁[10]如图1所示。A跟随层门移动,B固定在门框上。开门时,门刀插入门锁的两个滚轮中间,当门刀右移,锁臂克服顶杆压簧的作用力,作逆时针回转脱离锁钩,同时顶部撑杆依靠自重将锁臂撑住,使之在不能回位。当门刀的进一步右移,则门被打开。关门时,门刀左移,当门接近关闭时,当撑杆撞击螺钉作用下与锁臂脱离,锁臂在弹簧顶杆的作用下顺时针转动与锁钩啮合上锁,同时接通电路安全开关。但是,该类门锁存在安全隐患,即当顶杆弹簧失效时,锁臂由于自重而使得自动脱离锁钩自动解锁。

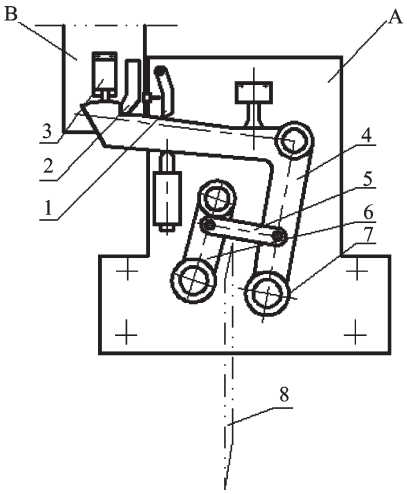


图1 单门刀式门锁

1—撑杆;2—楔钩;3—电气开关;4—锁臂;5—连接板;6—摆臂;7—液轮;8—门刀

2 设计改进

2.1 设计思路和方法

本研究对于门锁装置作设计改进[11],维持其他部件保持不变,仅对锁臂稍作修改,在锁臂末端增加摆锤作为配重,使摆臂在弹簧失效的极端情况下依然可以依靠配重摆锤的重力作用,保证锁臂和锁钩扣合,使之符合安全性要求。

本研究在Solidworks2010平台进行门锁装置的虚拟设计和装配并转入Solidworks Motion环境下[12-16]进行动力学仿真,模拟门锁开锁和上锁全过程,以仿真得到的结果来指导设计的进一步改进,并最终达到验证设计满足功能性要求的目的。

2.2 设计建模

由于摆锤零件和锁臂零件形成了关联关系,只要修改摆锤零件,它将驱动与之相关的锁臂零件发生变化,这使得后续根据仿真结果进行设计调整时只需关注摆锤的重量大小调整(修改草图半径)而其他设计和装配的细节由SolidWorks自动完成[17-20]。改进后的设计模型如图2所示。

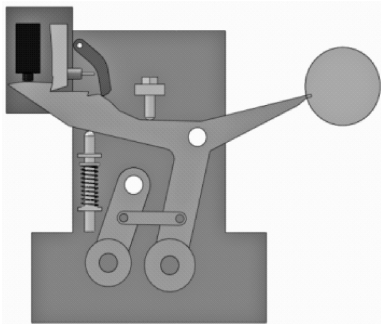


图2 改进型设计

3 仿真与分析

3.1 仿真模型的建立

3.1.1 模型简化

为了提高软件的计算效率,本研究在构建层门仿真模型时仅保留存在运动关系零部件,并对零件进行简化,主要措施为:省去轿门,保留门刀;省去层门加强筋和钣金结构,以拉伸立体代替;省去其中一扇被动层门和层门联动机构,省去层门自闭装置并以外力取代。最后得到的用于仿真的模型如图3所示。

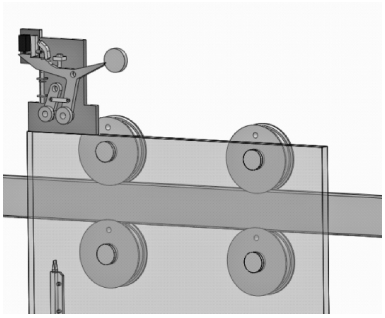


图3 仿真模型

3.1.2 Motion环境设置

(1) 检查配合关系。在装配体中为了固定零件之

间的相互位置所添加的配合关系会被完全复制到仿真模型中。因此，需要重新检查配合关系，对一些运动零件上多余的约束予以删除，恢复运动部件的自由度，并添加驱动，避免自由度冗余。

（2）添加驱动。鉴于在门锁装置中，主动件为门刀，因此笔者在门刀上添加线性马达，作为开锁和上锁过程中的动力来源。由于门刀首先随轿厢上下运动，之后随轿门作水平运动实现开门和关门，本研究为门刀配置两个线性马达实现上述运动，并在水平驱动马达上添加step函数实现开门和关门。

$$Displacement = step(time, 0, 0, 1, 0) + step(time, 1, 0, 6, 100) + step(time, 6, 0, 11, -100)$$

（3）定义接触。由于门刀通过和锁臂及摆臂的碰撞来传递动力，需要为之定义接触，由系统计算接触力并实现模拟运动。选择接触定义方式为材料，通过选择接触材料来确定碰撞物体之间的摩擦系数。在处理零件之间的碰撞时，SolidWorks Motion分析采用近似计算的方法，假设各零件为理想刚体，并提供泊松模型和冲击模型两种计算模型供选择[14]。本研究选择冲击模型，其接触力计算使用下式：

$$F_{contact} = k(x_0 - x)^e cv \tag{1}$$

式中：k—接触刚度，e—弹力指数，c—阻尼系数。

对于所涉及选择材料选择钢及铝合金，润滑状态均为油脂润滑，静态和动态摩擦系数及弹性属性相关参数如表1、表2所示。

表1　摩擦速度和系数

摩擦状态	摩擦速度/(mm·s^{-1})	摩擦系数
静态摩擦	0.10(0.03)	0.08(0.10)
动态摩擦	10.16	0.05

表2　弹性属性表

弹性属性	钢-钢接触	钢-铝接触
接触刚度/(N·mm^{-1})	1.00×10^5	0.33×10^5
弹力指数	1.50	1.50
最大阻尼/(N.s·mm^{-1})	49.92	27.95
穿透度/mm	0.10	0.10

在模型中的门刀和锁臂、锁臂与撑杆、弹簧顶杆与锁臂、层门挂轮与上导轨、层门与地坎之间都存在零件之间的相互接触，并存在力的传递或存在相对运动，因此需要为之定义接触。

（4）引力设置。撑杆的动作以及摆锤的作用是依靠重力产生的，因此必须为仿真模型设置引力。本研究选择引力参数的大小为重力加速度 g，方向垂直向下。

（5）添加弹簧。由于弹簧顶杆与撑杆之间存在压缩弹簧作为上锁的动力来源之一，需要在两者之间施加线性弹簧，弹簧的参数主要包括弹簧常数以及弹簧在自由状态下的长度。弹簧过弱会使顶杆上锁无力，甚至由于自身重力作用无法起到上锁的作用；弹簧过强，将使门刀在解锁过程中受到过大的接触力，并导致计算无法收敛仿真失败。

对于所涉及的弹簧参数设置，需要结合摆锤大小并根据仿真得到的结果进行反复调整，以达到合理选用参数的目的。

（6）摩擦力。为模型中存在互相接触并产生相对运动或存在动力传递的零件定义接触无疑可以提高仿真的真实性，但定义接触会大大增加计算机的工作量降低仿真效率。但是，如果因此而忽略摩擦力，在重力作用下，部分零件将产生无阻尼振动现象，也会影响仿真的真实性。在模型中，为了提供仿真效率，同时减少对仿真真实性的影响，笔者分别对撑杆零件的铰链连接处、弹簧顶杆与滑槽的同心配合处以及层门挂轮的心轴同心配合处定义在SolidWorks Motion中使用的配合属性。本研究通过对配合定义材质并对约束副尺寸大小进行修改来增加摩擦力。

3.2　仿真结果与分析

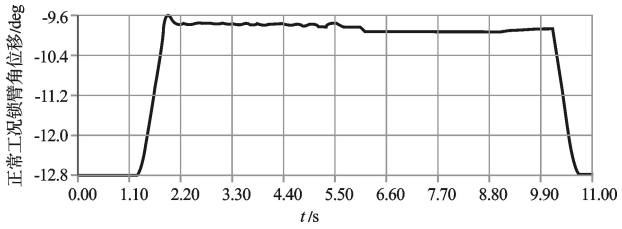
3.2.1　调整配重

为了满足电梯设计安全性原则，本研究对极端工况亦即弹簧失效状态进行仿真，要求设计能在弹簧失效状态下依然可以保证上锁满足安全要求。具体做法如下：

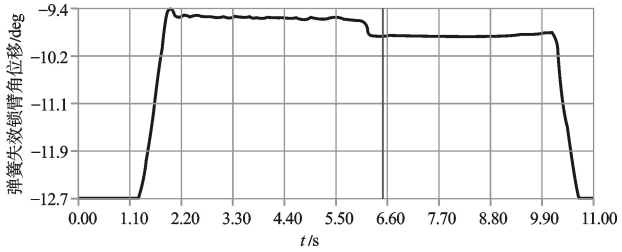
在仿真模型中删除弹簧顶杆相关零件，关闭弹簧后进行仿真计算，并在锁臂零件上选取一点进行跟踪路径，若在门刀驱动锁臂之前，锁臂先行脱离锁钩，表明配重摆锤重量不够，不足以满足极端工况下的安全性要求，需要快速调整增加配重摆锤的重量大小，并继续通过仿真进行判断，直至能够满足极端工况下的安全性要求要求为止。

3.2.2　两种工况下的仿真

本研究确定配重摆锤的重量之后分别对弹簧功能正常工况和弹簧失效工况下的开锁和上锁的完整过程进行仿真。在仿真结束后，调用锁臂零件的角位移曲线如图4所示。从图4(a)所示的曲线可见，在仿真开始后1.2 s门刀开始推动锁臂发生转动，在1.8 s锁臂完全脱钩并得以维持该角度直到10.2 s，最后在11 s实现完全上锁，仿真结束时其角度与仿真开始时一致，表明上锁完成。弹簧失效时，锁臂角位移如图4(b)所示，与图4(a)相比，由于失去弹簧的支撑，在6.0 s回程时出现较正常状况更大的晃动，稳定性有所减弱，但门锁依旧能完成开锁与上锁。



（a）正常工况下锁臂角位移曲线



（b）弹簧失效工况下锁臂角位移

图4 两种工况下锁臂角位移

3.2.3 分析验证

（1）受力分析。锁臂零件在开锁后，处于力矩平衡状态如图5所示。因此，在该特定阶段应满足：

$$M_{Fs}+M_G+M_{Fl}+M_f=M_T+M_F+M_{G'} \tag{2}$$

在极端工况即弹簧失效时，应满足：

$$M_G+M_{Fl}+M_f=M_T+M_F+M_{G'} \tag{3}$$

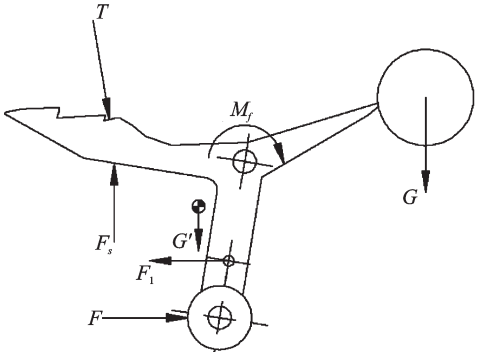
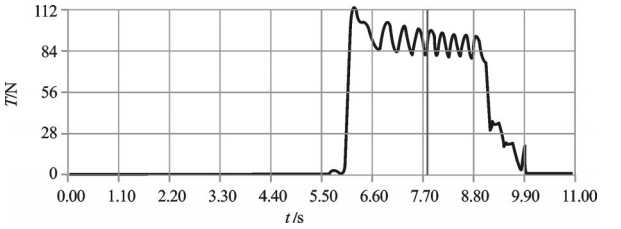


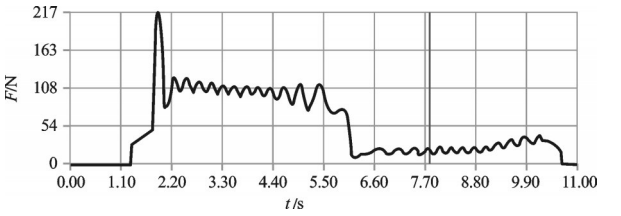
图5 锁臂受力示意图

F—门刀对锁臂滚轮的推力；G—摆锤重力；G'—锁臂自重；T—撑杆对锁臂的支撑力；F_s—弹簧顶杆对锁臂所施加的弹力；F_l—拉杆对锁臂的拉力；M_f—铰链处的摩擦力矩

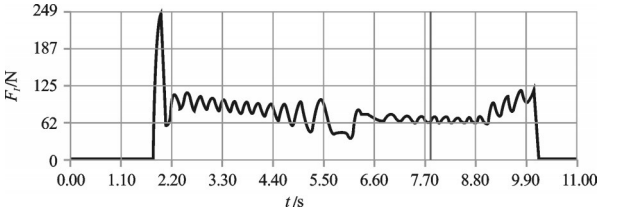
（2）验证。通过仿真开关门的全程，撑杆与锁臂零件接触力曲线、门刀对滚轮的接触力曲线、连接杆的拉力变化曲线、弹簧顶杆接触力曲线和铰链摩擦力矩如图6所示。图6(a)中，撑杆只在关门阶段即6.0 s之后才起到支撑作用，这正好与门锁实际工作情况吻合；图6(b)中门刀的推力以6.0 s为分界，在开门阶段的值明显高于关门阶段，这是由于存在自闭装置力的原因；图6(d)中的弹簧力以及图6(e)的摩擦力矩均随锁臂的转动而变化，曲线中开门阶段弹簧力及摩擦力矩的变化量比较大，这与开门阶段锁臂不受撑杆力作用，锁臂产生较大振动有关。



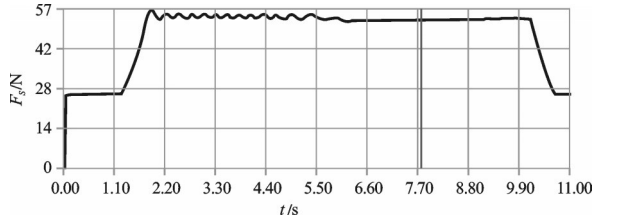
（a）开关门全程中撑杆力 T 变化曲线



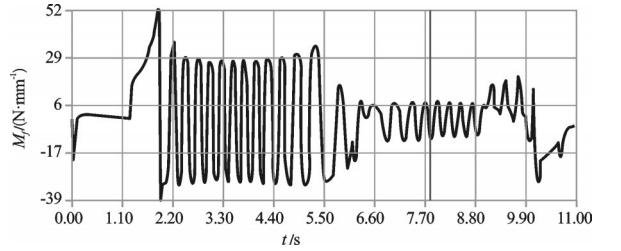
（b）开关门全程中门刀推力 F 变化曲线



（c）开关门全程中连杆拉力 F_l 变化曲线



（d）开关门全程中弹簧顶杆力 F_s 变化曲线



（e）开关门全程中锁臂铰链摩擦力矩 M_f 变化曲线

图6 弹簧正常时开关门全程中锁臂受力曲线

为进一步验证仿真结果的正确性，本研究以 t = 7.8 s时刻锁臂受力状况为例进行分析。

根据测量得到的力臂信息和摆锤重力值，并从图6读得 t =7.8 s时刻各种力的大小，最后结果如表3所示。

表3 力臂与力的大小

力名	F_s	G	F_l	T	F	G'
力臂/mm	104	138	77	103	122	42
大小/N(t=7.8 s)	52	3.97	64	80	20	4.98

设 $\Delta e=M_{Fs}+M_G+M_{Fl}+M_f-M_T-M_F-M_{G'}$。

根据式(1)可知,理想状况下 $\Delta e=0$ N·mm。从图6(e)中读得的数据 M_f 接近于0 N·mm,予以忽略。本研究将表3中的数据分别代入计算得到 $\Delta e=-5.3$ N·mm,接近理想状况下的0 N·mm。考虑到从图6各曲线中读得各力和转矩值时存在一定的读取误差,因此,可以认为仿真结果本身是正确的,使用该动力学分析结果作为设计的依据亦是可靠的。

3.2.4　结论

通过对弹簧失效时的极端工况以及正常工况两种条件下的动力学仿真实验数据进行分析后得出结论:改进后的设计在两种工况下,在完整的开门和关门过程中,均能实现正常的解锁和上锁,门锁的安全缺陷得到消除。

4　结束语

本研究以SolidWorks为研究平台,对传统电梯的单门刀式门锁进行了设计改进,建立了门锁装置的刚体动力学仿真模型,通过动力学仿真确定并验证了改进后的设计是有效的,设计提高了门锁的安全性。改进后的设计可以应用于电梯的旧梯改造项目,成本花费低且符合现行电梯法规的要求。

笔者所提出的运用SolidWorks Motion模块对设计进行刚体动力学仿真的研究方法,为研究电梯门锁的设计也为其他由多刚体组成特别是涉及到刚体之间碰撞的机械系统的设计提供了一种新的方法。

参考文献(References):

[1] 孙惟宁,陈寅生. 一种电梯层门门锁的设计缺陷及解决方法[J]. 中国电梯,2012,23(15):71-72.

[2] 黄冬凌,刘锡奎. 采用本质安全设计的新型电梯层门门锁[J]. 中国电梯,2012,23(3):15-19.

[3] 林邓添. 符合新国标的新型杂物电梯门锁的设计[J]. 中国电梯,2013,24(21):41-43.

[4] 王　波. 电梯层门系统的安全设计与试验[J]. 中国电梯,2012,23(9):32-35.

[5] LU Zhi-yuan,ZHAO bo. Video Detection system design of meshing depth of elevator's door lock[J]. **Advanced Materials Research**,2012(580):231-235.

[6] 傅武军,廖小波,朱昌明. 基于ADAMS的电梯横向振动频域分析及参数优化[J]. 系统仿真学报,2005,17(6):1500-1504.

[7] 刘　文,刘艳斌,张　星. 基于虚拟样机技术的电梯动态设计与优化[J]. 图学学报,2012,33(6):82-87.

[8] 艾延廷,王　志,李立新. 高速曳引式电梯振动主动控制技术研究[J]. 振动与冲击,2007,26(6):56-58,78.

[9] 陈栋栋,汪　剑,杨凯杰. 乘客电梯曳引机支撑座系统的动态特性分析[J]. 机电工程,2014,31(6):760-763.

[10] 叶安丽. 电梯控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[11] 何柏岩,王树新,张连洪,等. 自动造型生产线附线运动平稳性研究[J]. 振动与冲击,2008,27(11):182-185.

[12] 武保民,杨　玲. 基于SolidWorks的液压支架模型运动仿真与分析[J]. 煤矿机械,2012,33(4):72-73.

[13] 尹成龙,牛多青. 基于SolidWorks的挖掘机虚拟样机设计及工作装置运动仿真[J]. 机械制造,2009,7(4):15-17.

[14] DS SolidWorks公司. SolidWorks Motion运动仿真教程[M]. 北京:机械工业出版社,2012.

[15] 邓　晶,钟　蔚. 基于SolidWorks Motion活塞压缩机运动学和动力学仿真[J]. 压缩机技术,2013(1):40-42.

[16] 戎瑞亚. 船舶柴油机曲轴系的动力学仿真[J]. 机电工程,2010,27(4):35-37.

[17] 赵　鑫,王惠源. 基于SolidWorks的剪式液压升降台绞架强度仿真分析[J]. 煤矿机械,2013,34(4):96-97.

[18] WANG Xian-hu,CHENG Yu,ZHANG Jing-nan. Design and analysis of automatic ballot box based on SolidWorks Motion[J]. **Advanced Materials Research**,2013(703):340-344.

[19] 李　光,李　杨. 基于SolidWorks的玻璃包装容器CAD/CAE系统[J]. 包装与食品机械,2012(1):59-61.

[20] 李俊峰. 理论力学[M]. 北京:清华大学出版社,2010.

[编辑:张　豪]

本文引用格式:

陈　良,丑幸荣. 基于SolidWorks的电梯门锁装置优化设计与仿真[J]. 机电工程,2014,31(12):1591-1595.

CHEN Liang, CHOU Xing-rong. Optimization and simulation for lock device on elevator based on SolidWorks[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2014,31(12):1591-1595.