

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.09.015

# 基于 SolidWorks 的渐进式安全钳制动过程研究

敖海平, 王文水

(杭州市特种设备检测研究院, 浙江 杭州 310003)

**摘要:**为解决电梯安全钳的磨损和使用寿命等问题,利用 SolidWorks 软件对渐进式安全钳的制动过程进行了仿真分析。通过 SolidWorks/Motion 对特定形式渐进式安全钳的制动过程进行了运动学仿真,得到了安全钳在制动时的减速度、摩擦力和制停距离动态变化曲线,在此基础上对安全钳的制动动态特性进行了分析,结合仿真结果和能量磨损理论对电梯型式试验、监督检验和定期检验 3 种不同制动形式过程中安全钳楔块的磨损进行了评价。研究表明,该特定形式渐进式安全钳在一次监督检验过程中的磨损量占使用寿命内总磨损允许量的 6%,在一次定期检验过程中的磨损量占使用寿命内总磨损允许量的 2.4%,安全钳的磨损将限制其使用寿命,因此必须规定安全钳的正常使用寿命以保证其可靠工作。

**关键词:** SolidWorks; 电梯; 渐进式安全钳; 磨损

**中图分类号:** TH117.1; TU857

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2015)09-1218-04

## Research of braking process on progressive safety gear based on SolidWorks

AO Hai-ping, WANG Wen-shui

(Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310003, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the safety gear's abrasion and lifetime, the simulation analysis of progressive safety gear in the braking process based on SolidWorks was investigated. The braking process of a particular type of progressive safety gear was simulated based on SolidWorks/Motion and variation curves of the deceleration, the friction and the sliding distance were obtained. The dynamic behavior of the progressive safety gear in the braking process was analyzed on this basis. The abrasion of wedge block during lift type test, supervisory inspection and periodical inspection were evaluated based on the simulation result and the friction energy theory. The results show that the wear volume of a particular type of progressive safety gear during the supervisory inspection stands at around 6 percent of the total acceptable wear volume and stands at around 2.4 percent during the periodical inspection, the safety gear's abrasion will limit its lifetime, it's necessary to restrict the safety gear's normal lifetime to ensure that it can work reliably.

**Key words:** SolidWorks; lift; progressive safety gear; abrasion

## 0 引言

电梯安全钳是防止电梯超速下坠的重要安全部件之一,当电梯发生下坠且速度超过限定值时,电梯的限速器动作,通过钢丝绳提升安全钳把电梯轿厢安全制停在导轨上,从而避免电梯的继续下坠,保护电梯内人员及财产的安全。对电梯安全钳的制动过程进行分析,有利于提升安全钳设计质量和增加安全钳的使用

可靠性。文献[1-2]通过仿真对渐进式安全钳和瞬时式安全钳的制动过程进行了研究,对载荷、速度、摩擦系数和楔块角度对于安全钳制动性能的影响做了定性或定量分析;文献[3-4]通过型式试验分析对楔块耐磨性、材质对于制动性能的影响和安全钳制动速度、制停距离等进行了研究;文献[5-7]通过理论计算对渐进式安全钳平均减速度和安全钳试验的安全性进行了研究;文献[8-9]通过试验和有限元仿真方

法对安全钳制动过程中楔块的应力、形变和磨损等进行了研究。

电梯安全钳在正常使用周期内必须要经受安装监督检验和定期检验的限速器-安全钳联动试验的考验,所以有必要对安装监督检验和定期检验对于安全钳磨损及使用寿命的影响进行研究。

由于渐进式安全钳的应用范围广且适用范围宽,本研究通过 SolidWorks 对该形式的安全钳动态特性做仿真分析,并结合能量磨损理论分析检验过程中安全钳楔块的磨损对于其使用寿命的影响。

1 能量磨损理论

Fleisher 在 1973 年提出能量磨损理论,他的基本观点是摩擦过程中所做的功虽然大部分以摩擦热的形式散失,但是其中 9% ~ 16% 的部分以势能的形式存储在摩擦材料中,当一定体积的材料积累的能量达到临界数值时,便以磨屑的形式从表面剥落,所以磨损是能量转化和消耗的过程<sup>[10]</sup>。能量磨损理论的公式可表示为:

$$\Delta h = \frac{\tau K [\varphi n + 1] \gamma \Delta s}{n E} \quad (1)$$

式中:Δh—磨损厚度;Δs—滑动距离;E—磨屑形成所需的全部能量密度;τ—单位面积上的摩擦力;K—实际断裂能量密度与平均能量密度的比值;φ—考虑并非全部吸收的能量都转化为形成磨屑;γ—存储能量的体积与被磨掉的体积比;n—产生磨屑所需的摩擦次数。

从式(1)中可以看出,磨损厚度基本是与摩擦力和滑动距离的乘积呈线性关系的。因此,安全钳中楔块磨损程度可以用楔块与导轨间的摩擦力在导轨上所做功的大小来度量。

2 渐进式安全钳制动过程仿真分析

2.1 仿真模型的建立

SolidWorks/Motion 是三维机械 CAD 软件 SolidWorks 中实现机构运动学与动力学模拟分析的虚拟原型机仿真工具<sup>[11-12]</sup>。本研究借助 SolidWorks 建立仿真模型并通过 SolidWorks/Motion 对电梯安全钳的制动过程进行仿真分析,从而得到渐进式安全钳在制动时的减速度、摩擦力和制停距离等变化曲线。

渐进式安全钳与瞬时性安全钳的结构基本相同,只是其摩擦元器件并不是直接与刚性钳体接触,而是通过弹性元件与钳体连接,或者钳体本身就是弹性元

件,在制动过程中靠弹性元件的作用控制制动力。本次仿真采用双边楔块型渐进式安全钳,由于制动过程只涉及到安全钳部件的动作及其与导轨的接触,为了优化求解和方便后续处理,本研究将仿真模型中除了安全钳和导轨外的轿厢和其它不相关部件都进行简化处理,但保证总体尺寸和质量相同。

仿真模型如图 1 所示。

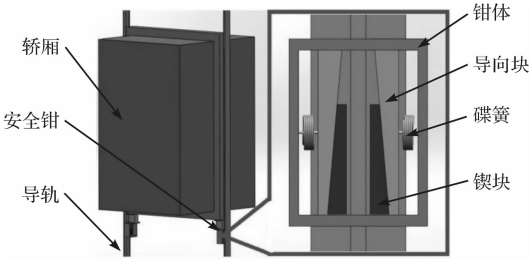


图 1 轿厢及渐进式安全钳仿真模型

2.2 仿真过程与参数

根据 GB7588《电梯制造与安装安全规范》的要求,渐进式安全钳在进行型式试验时应按照轿厢自由落体情况进行制停试验,且对单一质量渐进式安全钳以设计相应的最大动作速度进行 4 次总质量(P+Q)试验。根据 TSG T7001—2009《电梯监督检验和定期检验规则—曳引与强制驱动电梯》的要求,为了验证安全钳动作的可靠性,电梯在进行施工监督检验时,渐进式安全钳装载 1.25 倍额定载荷,以检修速度下行进行限速器-安全钳联动试验;在定期检验时,轿厢空载,以检修速度下行进行限速器-安全钳联动试验。

本研究在 SolidWorks/motion 的仿真中建立额定速度为 1.75 m/s 的渐进式安全钳模型,轿厢质量定为 1 000 kg,额定载重量为 800 kg。在型式试验的仿真中将额定载荷的轿厢先进行自由落体,当轿厢下落速度达到最大动作速度时提起楔块进行制停;在施工监督检验的仿真中将 125% 额定载荷的轿厢先进行自由落体,当轿厢下落速度达到检修速度时提起楔块进行制停;在定期检验的仿真中将空载轿厢先进行自由落体,当轿厢下落速度达到检修速度时提起楔块进行制停。仿真参数如表 1 所示。

表 1 渐进式安全钳仿真参数

| 仿真类型   | 轿厢载重       | 安全钳动作速度/(m·s <sup>-1</sup> ) |
|--------|------------|------------------------------|
| 型式试验   | 额定载荷       | 2.33                         |
| 施工监督检验 | 1.25 倍额定载荷 | 0.42                         |
| 定期检验   | 空载         | 0.42                         |

2.3 仿真结果分析

本研究以安全钳开始动作时间为时间零点进行仿

真数据处理,渐进式安全钳在不同仿真类型下的轿厢减速度曲线如图 2 所示。以型式试验轿厢减速度曲线为例, $AB$  段为从楔块开始动作到与导轨接触时间内的轿厢自由下落区, $BE$  段为轿厢制停减速区, $EF$  段为制停区。其中, $AB$  段中楔块开始动作后首先要相对导向元件向上相对移动一段距离后才能与导轨发生接触; $BC$  段中楔块持续相对导向元件移动并压缩弹性元件,使楔块与导轨之间的摩擦力逐渐增大,从而使轿厢减速度逐渐增大到最大值; $CD$  段中楔块停止运动,弹性元件被压缩到最大值,但是轿厢仍在向下运行,所以轿厢减速度维持在恒定值; $DE$  段中轿厢运行停止,轿厢减速度减小为零。

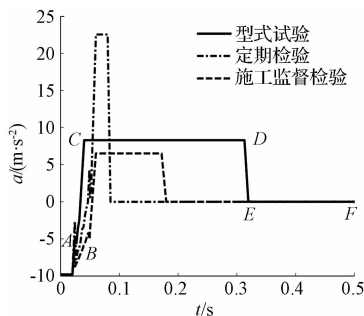


图 2 不同仿真类型下的轿厢减速度曲线

不同仿真类型下安全钳楔块与导轨的摩擦力曲线如图 3 所示。从图 3 中可以看出,当楔块与导轨接触后,摩擦力震荡上升;到楔块的位移达到最大值时,摩擦力达到最大值,并在轿厢滑移阶段保持恒定;当轿厢滑移停止后摩擦力减小到稳定值,以一定的静摩擦力将轿厢制停在导轨上。由于当楔块达到行程最大值时,弹性元器件被压缩的量相同,因此在不同仿真类型中轿厢滑移阶段的摩擦力相同。但是当轿厢滑移停止时,保持轿厢制停的静摩擦力会根据轿厢载重的不同而变化。

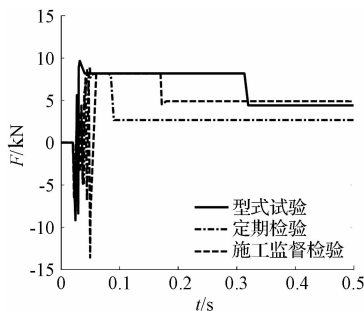


图 3 不同仿真类型下的楔块与导轨摩擦力曲线

不同仿真类型下安全钳在导轨上的制动距离曲线如图 4 所示。从图 4 中可以看出,渐进式安全钳的制动距离与轿厢的载重和安全钳开始动作速度成正比,轿厢载重越大,安全钳的动作速度越大,则安全钳的制

动距离越长。这是由于渐进式安全钳在制动期间以有限的压力作用在导轨上并且最大摩擦力恒定,而轿厢下落的势能和动能很大部分是由摩擦力所消耗的,为了消耗更大的轿厢势能和动能,摩擦力所需的制动距离就越大。

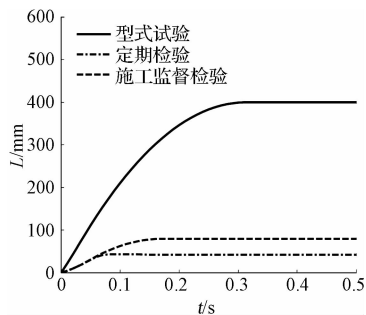


图 4 不同仿真类型下的安全钳制动距离曲线

### 3 安全钳楔块磨损分析

渐进式安全钳在制动过程中,轿厢势能和动能的一小部分被用于打开弹性元件,很大一部分被楔块与导轨之间的摩擦力所消耗。根据能量磨损理论,可以以摩擦力做功的大小来判断安全钳的损耗,结合仿真结果对施工监督检验和定期检验中安全钳的损耗做定量的评估。

不同仿真类型下安全钳制动时吸收的总能量如图 5 所示。从图 5 中可以看出,在型式试验中渐进式安全钳是在轿厢额定载重和最大动作速度下进行试验的,因此安全钳制动时吸收的总能量  $W_1$  最大,为 2 920 J;施工监督检验和定期检验的安全钳动作速度虽然相同,但是施工监督检验时是以 125% 额定载荷进行试验,而定期检验是以空载进行试验,因此施工监督检验时安全钳制动吸收的总能量  $W_2$  要大于定期检验,为 524 J,定期检验时安全钳制动吸收的总能量  $W_3$  为 209 J。

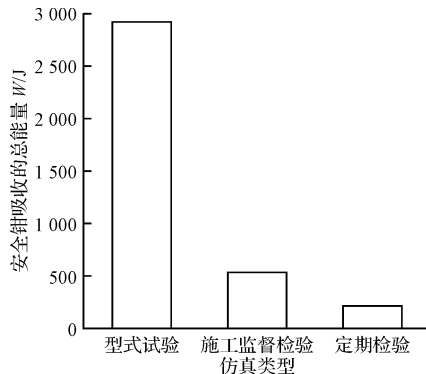


图 5 不同仿真类型下安全钳制动时吸收的总能量

根据能量磨损理论,假设楔块经  $N$  次磨损后产生磨屑,则楔块在经过型式试验后的磨损厚度可表示为:

$$h_1 = \frac{K[\varphi N + 1]\gamma}{NE} \cdot W_1 \quad (2)$$

经过施工监督检验试验后的磨损厚度可表示为:

$$h_2 = \frac{K[\varphi N + 1]\gamma}{NE} \cdot W_2 \quad (3)$$

经过定期检验试验后的磨损厚度可表示为:

$$h_3 = \frac{K[\varphi N + 1]\gamma}{NE} \cdot W_3 \quad (4)$$

由于每套楔块至少能承受3次型式试验所消耗的能量,则在使用寿命内每套楔块的总磨损允许量为 $3h_1$ 。经过一次施工监督检验试验后楔块的磨损量与使用寿命内总磨损允许量的比值可表示为:

$$I_1 = \frac{h_2}{3h_1} = \frac{W_2}{3W_1} \approx 6\% \quad (5)$$

经过一次定期检验试验后楔块的磨损量与使用寿命内总磨损允许量的比值可表示为:

$$I_2 = \frac{h_3}{3h_1} = \frac{W_3}{3W_1} \approx 2.4\% \quad (6)$$

电梯的施工监督检验一般在电梯安装完成后由电梯施工方和监督检验单位分别进行,而定期检验则每年都会由检验单位进行试验,由于施工监督检验和定期检验都将对渐进式安全钳的楔块造成损耗,当电梯使用超过安全钳的正常使用寿命后必定会影响到安全钳的正常动作。通过计算可知该特定形式渐进式安全钳的使用寿命约为22年。

## 4 结束语

本研究借助 SolidWorks/Motion 仿真对减速度、摩擦力和滑移距离进行分析,对型式试验、施工监督检验和定期检验的安全钳制动过程的动态特性进行比较,有利于增加对渐进式安全钳制动过程动态特性的认识;

本研究借助仿真分析和能量磨损理论对型式试验、施工监督检验和定期检验中渐进式安全钳楔块的磨损进行评估,得出该特定形式渐进式安全钳楔块在一次监督检验过程中的磨损量占总磨损允许量的6%、在一次定期检验过程中的磨损量占总磨损允许量

的2.4%;

研究人员在电梯安全钳安装完成后应规定其正常使用年限,在使用年限内每次安全钳动作后应观察评估楔块的磨损情况,对于安全钳使用年限达到设计要求的应及时予以更换,避免楔块失效情况的发生。

## 参考文献(References):

- [1] 张文晖,陈声鹤,潘红良. 电梯机械安全装置极限状态下动态仿真分析[J]. 现代机械,2005(2):34-36.
- [2] 刘文林. 电梯安全钳制动过程分析[J]. 中国特种设备安全,2013,12(29):27-29.
- [3] 陈国华,李刚,王新华,等. 电梯安全钳型式试验结果分析[J]. 工业安全与环保,2013,7(39):83-86.
- [4] 王华斌. 电梯用安全钳的类型和型式试验[J]. 建设机械技术与管理,2000(2):26-28.
- [5] 朱萍,金琪安. 安全钳试验的安全性评价[J]. 中国电梯,2004,16(15):29-32.
- [6] 陈伟森. 谈电梯制动器的检测及安全分析[J]. 机电工程技术,2013(6):201-203.
- [7] 陆仁华. 渐进式安全钳制动时轿厢平均减速度的计算[J]. 中国电梯,1991(2):5-6.
- [8] GIGLIO M, MANES A. Experimental and numerical damage evaluation of a lift safety gear[J]. **Int. J. Materials and Structural Integrity**,2008,2(3):291-293.
- [9] KAYA OGLU E, SALMAN P, CANAS A. Study on stresses and deformation of an elevator safety gear brake block using experimental and FEA methods[J]. **Advanced Materials Research**,2011,308-310(1):1513-1518.
- [10] 温诗铸,黄平. 摩擦学理论[M]. 4版. 北京:清华大学出版社,2012.
- [11] 余匡华,廖秋慧,陶振刚,等. 基于 SolidWorks 及 ANSYS 对集成块优化设计[J]. 轻工机械,2014,32(2):33-36.
- [12] 陈良,丑幸荣. 基于 SolidWorks 的电梯门锁装置设计与仿真[J]. 机电工程,2014,31(12):1591-1595.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

敖海平,王文水. 基于 SolidWorks 的渐进式安全钳制动过程研究[J]. 机电工程,2015,32(9):1218-1221.

AO Hai-ping, WANG Wen-shui. Research of braking process on progressive safety gear based on SolidWorks[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(9):1218-1221.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>