

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.011

# 电梯轿架强度的试验研究

肖永恒

(日立电梯(中国)有限公司, 广东 广州 511430)

**摘要:** 针对理论计算难于精确进行轿架强度分析这一问题, 提出了对其用试验方法进行分析的解决方法。根据电梯使用工况对电梯轿架进行静载试验, 介绍了开展试验所需设备、测试项目及结果评价方法; 分析了不同载荷工况下轿架应力及变形情况, 并提出了设计及生产方面的建议。试验结果表明: 对薄弱部位进行加强可以使轿架强度满足设计要求。

**关键词:** 电梯轿架; 静载试验; 应力测试

**中图分类号:** TH114

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2012)03-0048-04

## Experimental Study on the Strength of Elevator Car Frame

Xiao Yongheng

(Hitachi Elevator (China) Co., Ltd., Guangzhou 511430, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty to analyze the strength of car frame through theoretical calculation, the experimental analytical method is put forward. Static loading experiment is carried out under various working conditions. The necessary equipments of experiments as well as the test contents and the evaluation of the results are introduced respectively, and the stress and distortion of car frame under different loadings are analyzed. The suggestions of design and production are proposed. The results show that the design requirements of the strength of car frame can be met by strengthening the weak parts.

**Keywords:** car frame; static loading experiment; stress test

## 0 引言

随着高层建筑的不断出现, 电梯被广泛使用, 它在人们的生产和生活中起着重要的作用, 但是电梯事故频频发生, 因此, 国家质检总局已将其列为重点检查的特种设备。电梯轿架是电梯载荷的主要承载构件, 既要支撑整个电梯各构件的重量, 还要在电梯运行过程中承受各类工况载荷下的作用, 因此电梯轿架必须具有足够的强度, 才能保证电梯可靠地工作。在中国, 电梯构件的设计是有规范可循的, 如国家标准 GB 7588—2003《电梯制造与安装安

全规范》第 8.3.2 条中规定: “轿壁、轿厢地板和轿顶应具有足够的机械强度, 包括轿厢架、导靴、轿壁、轿厢地板和轿顶的总成也须有足够的机械强度, 以承受在电梯正常运行、安全钳动作或轿厢撞击缓冲器的作用力<sup>[1]</sup>。”

目前, 在电梯轿架设计中一些研究者或工程师常采用理论计算方法对轿架的强度进行校核, 如刘平辉<sup>[2]</sup>利用理论计算方法探讨了 11 t 液压电梯的轿厢架的受力分析和约束分析情况; 赵祎<sup>[3]</sup>按静定结构对轿厢架各组成部件进行了强度计算。还有一些研

收稿日期: 2012-01-06

作者简介: 肖永恒(1975-), 男, 湖南邵阳人, 日立电梯(中国)有限公司工程师, 硕士, 主要从事电梯开发与设计,

E-mail: xiaoyongheng@yahoo.com.cn

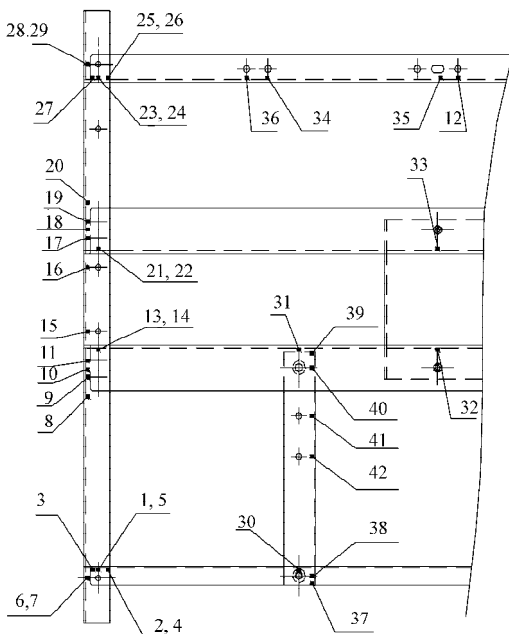
究者采用 CAE ( computer aided engineering ) 分析方法对轿架的强度进行校核, 如邹玉静<sup>[4]</sup>建立了电梯的三维仿真模型, 利用非线性隐式有限元方法对其整体结构进行了强度仿真分析。轿架是由上横梁、轿底、立柱、和拉杆组成的四边框架, 属于空间静不定结构, 所以其受力情况较复杂。理论计算一般将轿架简化成平面简支梁模型, 采用均布载荷或集中载荷加载, 应用材料力学对静载荷的最大应力进行校核, 因此, 不能精确得到整个构件的载荷与应力分布关系, 且选取的安全系数较大, 对各工况的评价不精确。针对这个问题, 本文提出对电梯轿架进行试验分析, 以某种型号的电梯轿架为例, 分析其在各种工况下的应力及变形情况, 为满足电梯的设计要求提供依据。

试验所需的测试仪器及物料有应变仪、数字示波器、应变片、重块、手提电脑、吊装设备、试验工装等。

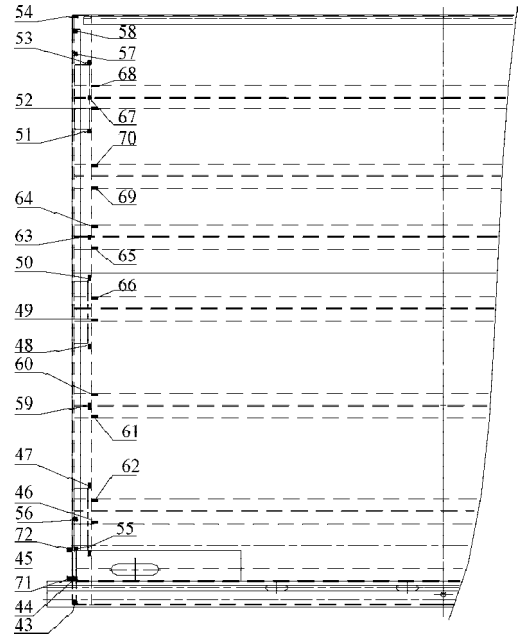
## 1 静载试验准备

### 1.1 编制应力测试图

静载试验是在电梯正常运行时, 采用电阻应变测量法对各种载荷工况进行应力测试, 测量轿架强度。由于轿架是左右对称结构, 因此只需测量轿架一侧的应力。笔者先对轿架进行理论分析, 再考虑试验的可操作性、应变片的粘贴方向和接线, 以及整体组装后是否存在干涉等问题, 最后确定轿架的应力测试点位置。为了方便现场操作及数据记录, 对应力测试点进行编号, 并制作出各部件应力测试点图, 如图 1 所示。



a) 轿底架应力测试点图



b) 上轿底应力测试点图

图1 应力测试点图

Fig. 1 The diagram of stress test

### 1.2 粘贴应变片

根据图 1 所示的应力测试点图, 先使用有色笔标识出粘贴应变片的部件位置, 再进行应力片粘贴。应变片粘贴好后, 用锡焊将电线接到应变片上。为了防止电线与应变仪接线错误, 捆线前在电线的两端贴上标有与应力点编号对应的标签。

应变片的标准长度较小, 如果粘贴位置有偏移, 将导致测定应力变小, 所以粘贴应变片时需注意以下 2 点:

- 1) 2 个中心线要重合。应变片的测定范围中心线和测定位置的中心线相重合。
- 2) 应变片要尽量贴在靠近测定位置的地方, 粘贴示范如图 2 所示。

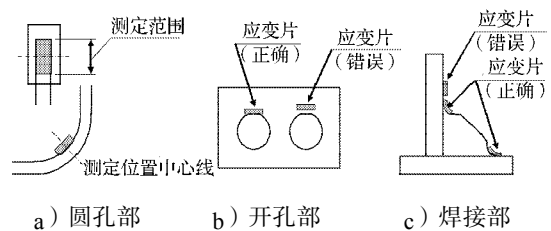


图2 应变片粘贴示意图

Fig. 2 The sticking diagram of strain chip

### 1.3 调零测试仪器

在将各部件组装成试验样机的过程中, 不能损害应变片及接线。将贴有应变片的部件安装于轿架的同一侧, 这样可以方便测量。

为了提高部件与应变片的粘附性, 样机需装载

最大试验重量,并将其悬吊一定时间,使应变片伸展,再进行试验测量。由于轿架自身的重量,吊起时它会产生一定形变,为了修正其重量对试验结果的影响,在测试前,测试仪器应进行调零操作。在不施加重量和不受外力作用下,将轿架放置于安装墩台座上,安装墩台座与轿架的接触不是点接触,而是面接触,如图3所示。

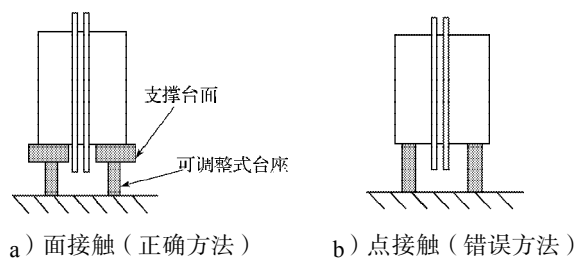


图3 安装墩台座示意图

Fig. 3 The sticking diagram of mounting bed

#### 1.4 试验测量

由于乘客乘坐电梯时,站立的位置是随机的,所以存在不同载重的均载、偏载工况。根据电梯使用要求,可以将各种工况分为正常、异常工况,并分别用疲劳、短期载荷对它们进行评价。

测试仪器调零后,悬吊轿架,待其稳定后,先依次按额定载荷的3种不同比例进行均布载荷工况应力测试;再依次将额定载荷的2种不同比例加载在地板上进行偏载工况应力测试,静载试验项目及评价见表1。试验完成后,卸下加载载荷,将轿架放置于安装墩上,使钢丝绳松弛,并测量应力的返回值。如果应力数值有较大异常,则需要确认应变片的粘贴状态,并重新进行测试。

表1 静载试验项目

Table 1 The content of static load test

试验项目	工况	试验内容	评价	
			疲劳	短期
均布载荷	正常	0, 110% 额定载荷均布加载于轿厢。	√	
	异常	150% 额定载荷均布加载于轿厢。		√
偏载	正常	55% 额定载荷均布加载于1/2轿厢	√	
	异常	100% 额定载荷均布加载于1/2轿厢		√

## 2 测试结果分析

根据电阻应变测量法可知,试验测试数据为应变值。由应力与应变的关系得出各试验工况的应力值,即

$$\sigma = E \times \varepsilon, \quad (1)$$

式中,  $E$  为材料弹性模量;

$\varepsilon$  为应变;

$\sigma$  为应力。

当工况为疲劳载荷,则疲劳安全系数应满足如下条件,即

$$S_f = \frac{1}{\frac{\sigma_r}{\sigma_w} + \frac{\sigma_m}{\sigma_T}} \lim_{s \rightarrow \infty} > S', \quad (2)$$

式中,  $\sigma_r$  为应力振幅;

$\sigma_m$  为平均应力;

$\sigma_w$  为疲劳极限;

$\sigma_T$  为真破断应力;

$S'$  为设计许用疲劳安全系数。

在均载和偏载试验中,短期载荷的最大应力需小于材料屈服应力,即  $\sigma_{\max} < \sigma_s$ , 电梯部件的大部分材料为Q235-A,  $\sigma_s$  为235 N/mm<sup>2</sup>。

由试验数据(该数据属于公司内部资料,故未予以列出)可知:

1) 轿底架边梁防振橡胶处的测试点15, 16, 后梁连接处的测试点28, 29的应力值不合格或处于危险临界点,还有上轿底边框与防振橡胶连接部的测试点47, 48, 50, 51, 53, 54的应力值不合格或处于危险临界点,其主要原因是上轿底及以上的重量全部通过防振橡胶传递到轿底架,造成应力集中。通过对轿底架及上轿底防振橡胶部位进行二重框架组合局部加强,可以使其满足设计要求。

2) 因承载、受力位置不同,各构件及同一构件之间的应力分配存在不均衡现象,个别构件安全余量较大。因此,根据试验测试结果对设计进行优化,通过设置加强筋或改变材料型号增加局部截面系数,这样可以对应力值较大的构件进行加强;同时,在保障结构强度的基础上,还可以进行结构轻量化优化设计,减小应力值较低的构件的材料型号,以降低轿架自身重量对整梯的影响;此外,在应应力集中时,以局部加强为宜,而非整体增大构件材料规格,避免提高生产成本。

通过理论计算得到的理论数据与试验数据对比表明:两者的应力趋势基本一致,但数据关联性不明显。

## 3 结论

如今电梯轿架生产加工中,采用大量的板材折弯或型材并以螺栓取代焊接进行构件连接。通过试

验可知:

1) 构件开孔处、板材折弯圆角处和构件连接处较易出现应力集中现象,在生产装配时必须采用扭矩扳手进行螺栓件的紧固,甚至需采用抗剪螺栓或销钉加以紧固,以防止面与面之间的滑动,导致连接破坏;

2) 对于板材折弯部件,因曲面加工特性,圆角处壁板减薄及应力集中现象,生产加工时折弯圆角不宜过小,以避免应力集中;

3) 发生安全钳或缓冲器动作时,轿架的主要部件应无断裂和明显异常变形,保证轿架不从导轨脱落,轿架变形也不应影响电梯正常使用运行。

由于轿架属于空间静不定结构,理论分析上将其简化成平面模型计算,因此模型误差相对较大,而采用试验方法可以较精确得知载荷与应力、变形的分布关系,为设计提供有效数据。

#### 参考文献:

[1] 全国电梯标准化技术委员会. GB 7588—2003电梯制造

与安装安全规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 12.  
National Technical Committee on Elevators of Standardization Administration of China. GB 7588 — 2003 Safety Rules for the Construction and Installation of Lifts and Service Lifts[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003: 12.

[2] 刘平辉. 电梯轿厢架的工作机理和受力分析[J]. 科技资讯, 2009(25): 143-144.

Liu Pinghui. Working Mechanism and Mechanical Analysis of the Car Frame[J]. Science & Technology Information, 2009(25): 143-144.

[3] 赵 祎. 客梯轿厢架强度计算[J]. 科技信息, 2008(12): 264-265.

Zhao Yi. Strength Calculation of Passenger Car Frame[J]. Science & Technology Information, 2008(12): 264-265.

[4] 邹玉静. 针对电梯结构强度的 CAE 分析[J]. 起重运输机械, 2007(11): 59-61.

Zou Yujing. Computer-Aided Analysis of Elevator Structure Strength[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2007(11): 59-61.

(责任编辑: 邓 彬)

(上接第8页)

[10] Wang X F. Fuzzy Number Intuitionistic Fuzzy Arithmetic Aggregation Operators[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2008, 10(2): 104-111.

[11] Shu M H, Cheng C H, Chang R J. Using Intuitionistic Fuzzy Sets for Fault-Tree Analysis on Printed Circuit Board Assembly[J]. Microelectronics Reliability, 2006, 46(12): 2139-2148.

[12] 王坚强. 模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策, 2008, 23(6): 601-606, 612.

Wang Jianqiang. Overview on Fuzzy Multi-Criteria Decision-making Approach[J]. Control and Decision, 2008, 23(6): 601-606, 612.

[13] Wang J Q, Zhang Z. Aggregation Operators on Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number and Its Application to Multi-Criteria Decision Making Problems[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(2): 321-326.

[14] Wei G W. Some Arithmetic Aggregation Operators with Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Numbers and Their Application to Group Decision Making[J]. Journal of Computer, 2010, 5(3): 345-351.

[15] 万树平. 基于区间直觉梯形模糊数的多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2011, 26(6): 857-860, 866.

Wan Shuping. Multi-Attribute Decision Making Method Based on Interval-Valued Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number[J]. Control and Decision, 2011, 26(6): 857-860, 866.

[16] 万树平. 基于分式规划的区间直觉梯形模糊数多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2012, 27(3): 455-458.

Wan Shuping. Multi-Attribute Decision Making Method Based on Interval Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number [J]. Control and Decision, 2012, 27(3): 455-458.

[17] Liou T S, Wang M J. Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50(3): 247-255.

[18] Xu Z S. An Overview of Methods for Determining OWA Weights[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2005, 20(8): 843-865.

(责任编辑: 邓光辉)

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.011

# 电梯轿架强度的试验研究

肖永恒

(日立电梯(中国)有限公司, 广东 广州 511430)

**摘要:** 针对理论计算难于精确进行轿架强度分析这一问题, 提出了对其用试验方法进行分析的解决方法。根据电梯使用工况对电梯轿架进行静载试验, 介绍了开展试验所需设备、测试项目及结果评价方法; 分析了不同载荷工况下轿架应力及变形情况, 并提出了设计及生产方面的建议。试验结果表明: 对薄弱部位进行加强可以使轿架强度满足设计要求。

**关键词:** 电梯轿架; 静载试验; 应力测试

**中图分类号:** TH114

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2012)03-0048-04

## Experimental Study on the Strength of Elevator Car Frame

Xiao Yongheng

(Hitachi Elevator (China) Co., Ltd., Guangzhou 511430, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty to analyze the strength of car frame through theoretical calculation, the experimental analytical method is put forward. Static loading experiment is carried out under various working conditions. The necessary equipments of experiments as well as the test contents and the evaluation of the results are introduced respectively, and the stress and distortion of car frame under different loadings are analyzed. The suggestions of design and production are proposed. The results show that the design requirements of the strength of car frame can be met by strengthening the weak parts.

**Keywords:** car frame; static loading experiment; stress test

## 0 引言

随着高层建筑的不断出现, 电梯被广泛使用, 它在人们的生产和生活中起着重要的作用, 但是电梯事故频频发生, 因此, 国家质检总局已将其列为重点检查的特种设备。电梯轿架是电梯载荷的主要承载构件, 既要支撑整个电梯各构件的重量, 还要在电梯运行过程中承受各类工况载荷下的作用, 因此电梯轿架必须具有足够的强度, 才能保证电梯可靠地工作。在中国, 电梯构件的设计是有规范可循的, 如国家标准 GB 7588—2003《电梯制造与安装安

全规范》第 8.3.2 条中规定: “轿壁、轿厢地板和轿顶应具有足够的机械强度, 包括轿厢架、导靴、轿壁、轿厢地板和轿顶的总成也须有足够的机械强度, 以承受在电梯正常运行、安全钳动作或轿厢撞击缓冲器的作用力<sup>[1]</sup>。”

目前, 在电梯轿架设计中一些研究者或工程师常采用理论计算方法对轿架的强度进行校核, 如刘平辉<sup>[2]</sup>利用理论计算方法探讨了 11 t 液压电梯的轿厢架的受力分析和约束分析情况; 赵祎<sup>[3]</sup>按静定结构对轿厢架各组成部件进行了强度计算。还有一些研

收稿日期: 2012-01-06

作者简介: 肖永恒(1975-), 男, 湖南邵阳人, 日立电梯(中国)有限公司工程师, 硕士, 主要从事电梯开发与与设计,

E-mail: xiaoyongheng@yahoo.com.cn

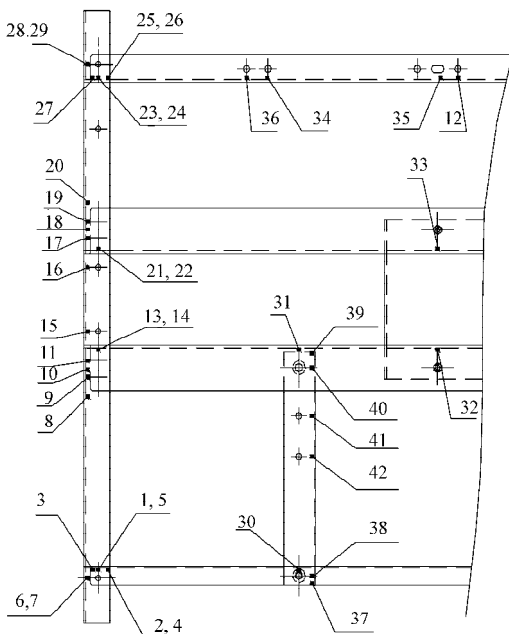
究者采用 CAE ( computer aided engineering ) 分析方法对轿架的强度进行校核, 如邹玉静<sup>[4]</sup>建立了电梯的三维仿真模型, 利用非线性隐式有限元方法对其整体结构进行了强度仿真分析。轿架是由上横梁、轿底、立柱、和拉杆组成的四边框架, 属于空间静不定结构, 所以其受力情况较复杂。理论计算一般将轿架简化成平面简支梁模型, 采用均布载荷或集中载荷加载, 应用材料力学对静载荷的最大应力进行校核, 因此, 不能精确得到整个构件的载荷与应力分布关系, 且选取的安全系数较大, 对各工况的评价不精确。针对这个问题, 本文提出对电梯轿架进行试验分析, 以某种型号的电梯轿架为例, 分析其在各种工况下的应力及变形情况, 为满足电梯的设计要求提供依据。

试验所需的测试仪器及物料有应变仪、数字示波器、应变片、重块、手提电脑、吊装设备、试验工装等。

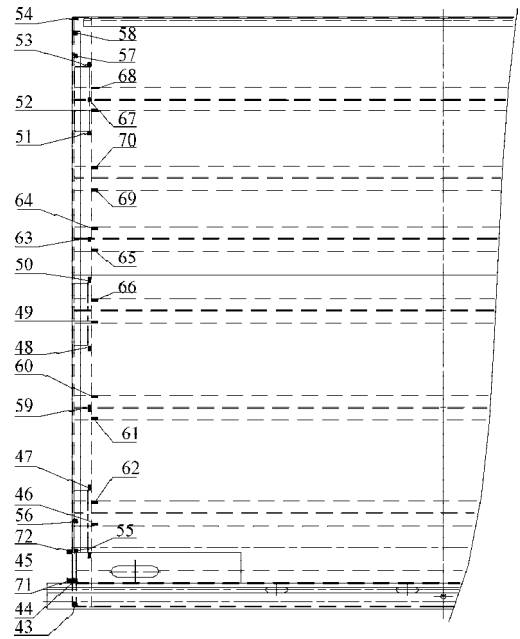
## 1 静载试验准备

### 1.1 编制应力测试图

静载试验是在电梯正常运行时, 采用电阻应变测量法对各种载荷工况进行应力测试, 测量轿架强度。由于轿架是左右对称结构, 因此只需测量轿架一侧的应力。笔者先对轿架进行理论分析, 再考虑试验的可操作性、应变片的粘贴方向和接线, 以及整体组装后是否存在干涉等问题, 最后确定轿架的应力测试点位置。为了方便现场操作及数据记录, 对应力测试点进行编号, 并制作出各部件应力测试点图, 如图 1 所示。



a) 轿底架应力测试点图



b) 上轿底应力测试点图

图1 应力测试点图

Fig. 1 The diagram of stress test

### 1.2 粘贴应变片

根据图 1 所示的应力测试点图, 先使用有色笔标识出粘贴应变片的部件位置, 再进行应力片粘贴。应变片粘贴好后, 用锡焊将电线接到应变片上。为了防止电线与应变仪接线错误, 捆线前在电线的两端贴上标有与应力点编号对应的标签。

应变片的标准长度较小, 如果粘贴位置有偏移, 将导致测定应力变小, 所以粘贴应变片时需注意以下 2 点:

- 1) 2 个中心线要重合。应变片的测定范围中心线和测定位置的中心线相重合。
- 2) 应变片要尽量贴在靠近测定位置的地方, 粘贴示范如图 2 所示。

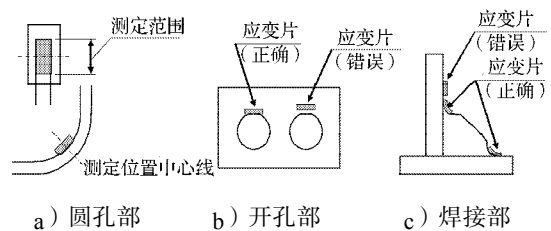


图2 应变片粘贴示意图

Fig. 2 The sticking diagram of strain chip

### 1.3 调零测试仪器

在将各部件组装成试验样机的过程中, 不能损害应变片及接线。将贴有应变片的部件安装于轿架的同一侧, 这样可以方便测量。

为了提高部件与应变片的粘附性, 样机需装载

最大试验重量,并将其悬吊一定时间,使应变片伸展,再进行试验测量。由于轿架自身的重量,吊起时它会产生一定形变,为了修正其重量对试验结果的影响,在测试前,测试仪器应进行调零操作。在不施加重量和不受外力作用下,将轿架放置于安装墩台座上,安装墩台座与轿架的接触不是点接触,而是面接触,如图3所示。

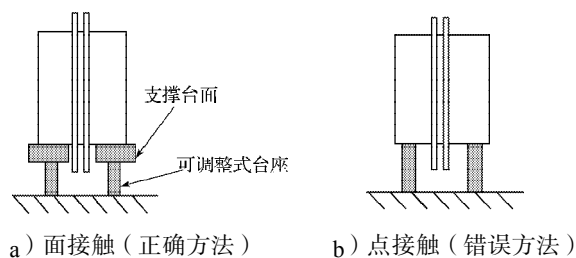


图3 安装墩台座示意图

Fig. 3 The sticking diagram of mounting bed

#### 1.4 试验测量

由于乘客乘坐电梯时,站立的位置是随机的,所以存在不同载重的均载、偏载工况。根据电梯使用要求,可以将各种工况分为正常、异常工况,并分别用疲劳、短期载荷对它们进行评价。

测试仪器调零后,悬吊轿架,待其稳定后,先依次按额定载荷的3种不同比例进行均布载荷工况应力测试;再依次将额定载荷的2种不同比例加载在地板上进行偏载工况应力测试,静载试验项目及评价见表1。试验完成后,卸下加载载荷,将轿架放置于安装墩上,使钢丝绳松弛,并测量应力的返回值。如果应力数值有较大异常,则需要确认应变片的粘贴状态,并重新进行测试。

表1 静载试验项目

Table 1 The content of static load test

试验项目	工况	试验内容	评价	
			疲劳	短期
均布载荷	正常	0, 110% 额定载荷均布加载于轿厢。	√	
	异常	150% 额定载荷均布加载于轿厢。		√
偏载	正常	55% 额定载荷均布加载于1/2轿厢	√	
	异常	100% 额定载荷均布加载于1/2轿厢		√

## 2 测试结果分析

根据电阻应变测量法可知,试验测试数据为应变值。由应力与应变的关系得出各试验工况的应力值,即

$$\sigma = E \times \varepsilon, \quad (1)$$

式中,  $E$  为材料弹性模量;

$\varepsilon$  为应变;

$\sigma$  为应力。

当工况为疲劳载荷,则疲劳安全系数应满足如下条件,即

$$S_f = \frac{1}{\frac{\sigma_r}{\sigma_w} + \frac{\sigma_m}{\sigma_T}} \lim_{s \rightarrow \infty} > S', \quad (2)$$

式中,  $\sigma_r$  为应力振幅;

$\sigma_m$  为平均应力;

$\sigma_w$  为疲劳极限;

$\sigma_T$  为真破断应力;

$S'$  为设计许用疲劳安全系数。

在均载和偏载试验中,短期载荷的最大应力需小于材料屈服应力,即  $\sigma_{\max} < \sigma_s$ ,电梯部件的大部分材料为Q235-A,  $\sigma_s$  为235 N/mm<sup>2</sup>。

由试验数据(该数据属于公司内部资料,故未予以列出)可知:

1) 轿底架边梁防振橡胶处的测试点15,16,后梁连接处的测试点28,29的应力值不合格或处于危险临界点,还有上轿底边框与防振橡胶连接部的测试点47,48,50,51,53,54的应力值不合格或处于危险临界点,其主要原因是上轿底及以上的重量全部通过防振橡胶传递到轿底架,造成应力集中。通过对轿底架及上轿底防振橡胶部位进行二重框架组合局部加强,可以使其满足设计要求。

2) 因承载、受力位置不同,各构件及同一构件之间的应力分配存在不均衡现象,个别构件安全余量较大。因此,根据试验测试结果对设计进行优化,通过设置加强筋或改变材料型号增加局部截面系数,这样可以对应力值较大的构件进行加强;同时,在保障结构强度的基础上,还可以进行结构轻量化优化设计,减小应力值较低的构件的材料型号,以降低轿架自身重量对整梯的影响;此外,在应对应力集中时,以局部加强为宜,而非整体增大构件材料规格,避免提高生产成本。

通过理论计算得到的理论数据与试验数据对比表明:两者的应力趋势基本一致,但数据关联性不明显。

## 3 结论

如今电梯轿架生产加工中,采用大量的板材折弯或型材并以螺栓取代焊接进行构件连接。通过试

验可知:

1) 构件开孔处、板材折弯圆角处和构件连接处较易出现应力集中现象,在生产装配时必须采用扭矩扳手进行螺栓件的紧固,甚至需采用抗剪螺栓或销钉加以紧固,以防止面与面之间的滑动,导致连接破坏;

2) 对于板材折弯部件,因曲面加工特性,圆角处壁板减薄及应力集中现象,生产加工时折弯圆角不宜过小,以避免应力集中;

3) 发生安全钳或缓冲器动作时,轿架的主要部件应无断裂和明显异常变形,保证轿架不从导轨脱落,轿架变形也不应影响电梯正常使用运行。

由于轿架属于空间静不定结构,理论分析上将其简化成平面模型计算,因此模型误差相对较大,而采用试验方法可以较精确得知载荷与应力、变形的分布关系,为设计提供有效数据。

#### 参考文献:

[1] 全国电梯标准化技术委员会. GB 7588—2003电梯制造

与安装安全规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 12.  
National Technical Committee on Elevators of Standardization Administration of China. GB 7588 — 2003 Safety Rules for the Construction and Installation of Lifts and Service Lifts[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003: 12.

[2] 刘平辉. 电梯轿厢架的工作机理和受力分析[J]. 科技资讯, 2009(25): 143-144.

Liu Pinghui. Working Mechanism and Mechanical Analysis of the Car Frame[J]. Science & Technology Information, 2009(25): 143-144.

[3] 赵 祎. 客梯轿厢架强度计算[J]. 科技信息, 2008(12): 264-265.

Zhao Yi. Strength Calculation of Passenger Car Frame[J]. Science & Technology Information, 2008(12): 264-265.

[4] 邹玉静. 针对电梯结构强度的 CAE 分析[J]. 起重运输机械, 2007(11): 59-61.

Zou Yujing. Computer-Aided Analysis of Elevator Structure Strength[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2007(11): 59-61.

(责任编辑: 邓 彬)

(上接第8页)

[10] Wang X F. Fuzzy Number Intuitionistic Fuzzy Arithmetic Aggregation Operators[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2008, 10(2): 104-111.

[11] Shu M H, Cheng C H, Chang R J. Using Intuitionistic Fuzzy Sets for Fault-Tree Analysis on Printed Circuit Board Assembly[J]. Microelectronics Reliability, 2006, 46(12): 2139-2148.

[12] 王坚强. 模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策, 2008, 23(6): 601-606, 612.  
Wang Jianqiang. Overview on Fuzzy Multi-Criteria Decision-making Approach[J]. Control and Decision, 2008, 23(6): 601-606, 612.

[13] Wang J Q, Zhang Z. Aggregation Operators on Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number and Its Application to Multi-Criteria Decision Making Problems[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(2): 321-326.

[14] Wei G W. Some Arithmetic Aggregation Operators with Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Numbers and Their Application to Group Decision Making[J]. Journal of Computer, 2010, 5(3): 345-351.

[15] 万树平. 基于区间直觉梯形模糊数的多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2011, 26(6): 857-860, 866.

Wan Shuping. Multi-Attribute Decision Making Method Based on Interval-Valued Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number[J]. Control and Decision, 2011, 26(6): 857-860, 866.

[16] 万树平. 基于分式规划的区间直觉梯形模糊数多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2012, 27(3): 455-458.

Wan Shuping. Multi-Attribute Decision Making Method Based on Interval Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Number [J]. Control and Decision, 2012, 27(3): 455-458.

[17] Liou T S, Wang M J. Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50(3): 247-255.

[18] Xu Z S. An Overview of Methods for Determining OWA Weights[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2005, 20(8): 843-865.

(责任编辑: 邓光辉)