

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0001.012

## 浅析绳轮式电动玻璃升降器运行轨迹\*

赵 堃<sup>1,2</sup>, 陈跃东<sup>1\*\*</sup>, 王明珠<sup>3</sup>, 荣升格<sup>2</sup>

(1.安徽工程大学电气工程学院,安徽 芜湖 241000;2.奇瑞商用车(安徽)有限公司,安徽 芜湖 241000;  
3.奇瑞汽车股份有限公司,安徽 芜湖 241000)

**摘 要:**介绍了一种单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹的计算方法及其对汽车玻璃升降系统的影响。通过理论计算与实例分析相结合,阐述了升降系统受力平衡与力矩平衡状态,两者结合模拟单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹,并进一步分析运行轨迹对升降系统的影响;计算方法对单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹的确定提供了理论基础,简单实用,具有较强的指导意义。

**关键词:**电动玻璃升降器;力平衡;力矩平衡;运行轨迹

**中图分类号:**TH321.2      **文献标识码:**A      **文章编号:**1672-058X(2015)01-0047-04

进入 21 世纪,随着科学技术的发展,电动玻璃升降器越来越多的应用于汽车领域,电动玻璃升降器按其机械升降机构可分为绳轮式、软轴式和叉臂式<sup>[1,2]</sup>。绳轮式电动玻璃升降器是电动玻璃升降器的一种,它主要由摇窗电机、绳索部件、卷丝筒、调整弹簧、支架机构、滑动支座等组成<sup>[3]</sup>,与传统玻璃升降器相比,绳轮式电动升降器具有结构紧凑、运行平稳、调节方便、遥控自如、噪音小等优异性能。鉴于绳轮式玻璃升降器的优异性能,它已占据着非常重要的市场。绳轮式电动升降器有单导轨和双导轨两种机构形式,单导轨绳轮式玻璃升降器由于其具有结构简单、成本低、安装方便等特点,已在汽车行业被广泛应用<sup>[4]</sup>。对于单导轨绳轮式玻璃升降器,在前期设计开发时,为满足其功能要求,需要确定升降器运行轨迹。升降器运行轨迹不仅会影响玻璃正常运行的平稳性,而且会影响升降器本身及升降系统中相关零部件的使用寿命,如文献[5]中描述的由于升降器固定孔与玻璃孔错位,以及升降器中心偏差而引起玻璃倾斜、晃动等故障,因此升降器系统力和力矩的平衡是确定单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹及使用寿命的重要理论依据。

### 1 升降系统平衡理论计算

升降系统平衡涉及力平衡和力矩平衡。系统平衡计算的目的是,一是为电机输出力矩的选择提供依据,二是检查升降系统的力矩平衡情况,以便对玻璃导轨的设计提供参考。图 1 为单导轨绳轮式玻璃升降器中玻璃受力分析图,如图 1 所示,沿运动方向的力平衡方程为<sup>[6]</sup>

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + G\cos\alpha \quad (1)$$

式(1)中: $F$ 为玻璃沿运动方向所受到的力; $F_1$ 为后玻璃边与呢槽的摩擦力; $F_2$ 为前玻璃边与呢槽的摩擦

收稿日期:2014-05-15;修回日期:2014-06-03.

\* 基金项目:安徽高校省级自然科学基金项目(KJ2013A041).

作者简介:赵堃(1982-),男,安徽淮南人,工程师,硕士研究生,从事汽车白车身及升降器设计工作.

\*\* 通讯作者:陈跃东(1956-),男,湖北宜昌人,教授,硕导,从事电气传动与控制研究.E-mail: ydchen@ahpu.edu.cn.

力; $F_2$  为前段内外挡水条对玻璃的摩擦力; $F_3$ 、 $F_4$  为后段内外挡水条对玻璃的摩擦力; $G$  为玻璃重力; $M_{顺}$  为在顺时针方向上  $F$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的力矩之和, $M_{逆}$  为逆时针方向上  $F_1$ 、 $F_4$  和  $G$  的力矩之和。 $B$  柱倾角  $\alpha$ , 其值在  $0^\circ \sim 12^\circ$  之间,  $\cos\alpha$  近似为 1, 这里令重力沿玻璃运动方向的分量为  $G \cdot \cos\alpha$  等于  $G$ 。

图 2 为升降系统基本尺寸参数示意图, 其中: $l_1$ —后玻璃边与呢槽接触长度; $l_2$ —前玻璃边与呢槽接触长度; $l_3$ —前部分玻璃与内外挡水接触长度; $l_4$ —后玻璃与内外挡水接触长度。

图 3 为升降系统力臂示意图, 其中: $L$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  分别为  $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  对应的力臂; $M$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$  分别为  $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  产生的力矩, 则升降系统的总力矩  $M_{总} = M + M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ 。理论上, 如果  $M_{总} = 0$ , 升降系统的力矩刚好平衡, 则两边导轨对玻璃的作用力为零。如果  $M_{总} \neq 0$ , 则需要两边的玻璃导轨对玻璃产生力进行力矩平衡。

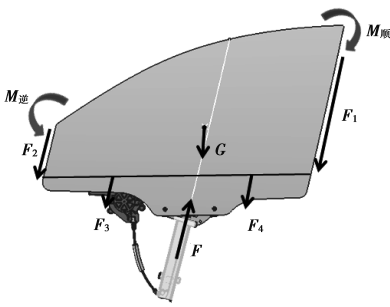


图 1 玻璃受力分析

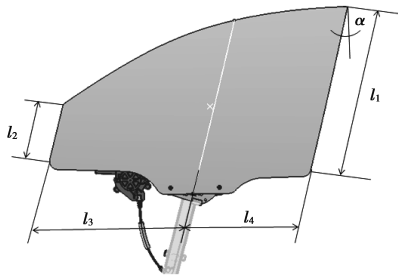


图 2 升降系统基本尺寸参数

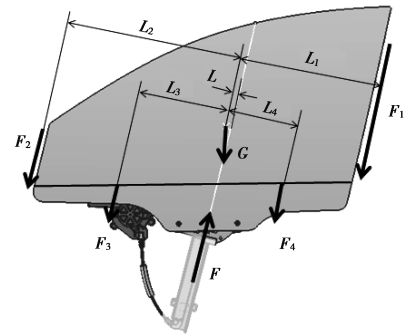


图 3 升降系统力臂图

对于前门, 如果  $M_{总}$  的方向为逆时针, 由于玻璃前边很短, 则玻璃在运动过程中会出现玻璃脱槽的情况; 如果  $M_{总}$  的方向为顺时针且值较大, 则实际中后玻璃边与呢槽的摩擦力也相应增大, 系统阻力增加, 影响玻璃正常升降, 造成升降系统失效。因此, 对于前门  $M_{总}$  的值应该尽量接近于零, 且方向应该始终为顺时针方向。另外对于前门玻璃, 如果两边的玻璃导轨及内外挡水不能完全包住玻璃两边, 则还应该对启动瞬间  $M_{总}$  值的大小及方向进行计算。

对于后门, 一般来说, 后门玻璃前后两边长短相差不大, 玻璃形状可近似看作矩形, 因此  $M_{总}$  方向对玻璃的影响不大, 因此下面将重点对前门玻璃的实际情况进行计算分析。

## 2 实例模拟分析

### 2.1 模拟内容

以前门玻璃上升为例, 分析单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹的确定方法。玻璃在从最底端上升至最顶端的过程中, 系统阻力及力矩在不断变化, 此过程中玻璃有 3 个典型的位置, 如图 4 所示,  $a$  为玻璃处于最底端, 玻璃上端边缘轮廓处于内外挡水条之下, 为玻璃上升启动的瞬间位置;  $b$  为玻璃上端边缘轮廓后部分刚刚完全处于内外挡水条之上, 前部分完全处于内外挡水条之下, 即玻璃露出内外挡水条之上部分的长度等于  $L_1$ ;  $c$  为玻璃上端边缘轮廓刚刚完全处于内外挡水条之上。

### 2.2 计算条件

玻璃受力情况规定, 方向向上为正, 方向向下为负; 相对于玻璃重心的力矩规定顺时针方向为负, 逆时针方向为正。其它已知参数: 玻璃的重量及重心位置, 玻璃与呢槽间摩擦系数  $\mu_1 = 4 \text{ N/dm}$ , 玻璃与内外挡水摩擦系数  $\mu_2 = 4 \text{ N/dm}$ 。假定玻璃边与呢槽底部的摩擦力忽略不记, 前后玻璃边在运行过程中均被前后导轨完全包住, 且玻璃的运动为匀速运动。

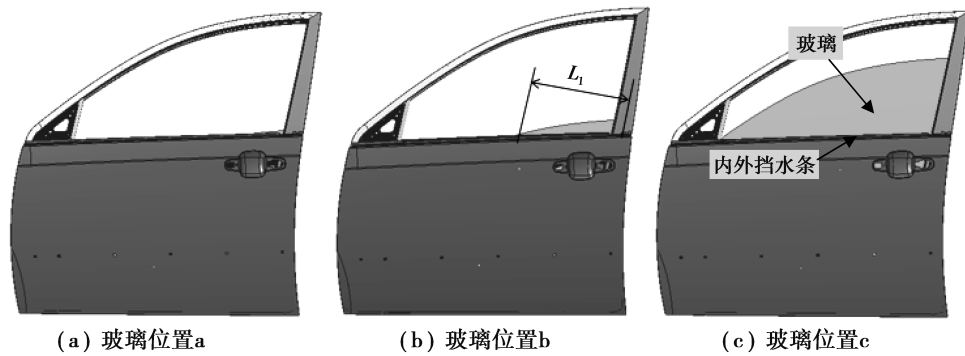


图 4 前门玻璃的 3 个位置

2.3 结果与分析

在图 4(a)中,玻璃运动方向受力情况:  $F_1 = \mu_1 \times l_1 = -20.3 \text{ N}$ ;  $F_2 = \mu_1 \times l_2 = -7.5 \text{ N}$ ;  $F_3 = \mu_2 \times l_3 = 0 \text{ N}$ ;  $F_4 = \mu_2 \times l_4 = 0 \text{ N}$ ;  $G = m \times g = -29.4 \text{ N}$ 。由式(1)可得到  $F = 57.2 \text{ N}$ 。系统各力对玻璃的力矩为:

$M_1 = F_1 \times L_1 = -6.88 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $M_2 = F_2 \times L_2 = 3.24 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $M_3 = F_3 \times L_3 = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $M_4 = F_4 \times L_4 = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。理论上,当式(1)等于 0 时,系统的力矩刚好平衡,可得出  $M_a = 3.64 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,进一步求出玻璃受到的举升力  $F$  对应的力臂  $L_a = 63.6 \text{ mm}$ 。

在图 4(b)中,玻璃运动方向受力情况:  $F_1' = -20.3 \text{ N}$ ;  $F_2' = -7.5 \text{ N}$ ;  $F_3' = 0 \text{ N}$ ;  $F_4' = -12.8 \text{ N}$ ;  $G = -29.4 \text{ N}$ 。由公式(1)得到  $F' = 70 \text{ N}$ 。

系统各力对玻璃的力矩:  $M_1' = -6.88 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_2' = 3.24 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_3' = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_4' = -2.17 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。理论上,当式(1)等于 0 时,系统的力矩刚好平衡,可得出  $M_b = 5.81 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $L_b = 74 \text{ mm}$ 。

在图 4(c)中,玻璃运动方向受力情况:  $F_1'' = -20.3 \text{ N}$ ;  $F_2'' = -7.5 \text{ N}$ ;  $F_3'' = -19.3 \text{ N}$ ;  $F_4'' = -12.8 \text{ N}$ ;  $G = -29.4 \text{ N}$ 。由式(1)得出  $F'' = 89.3 \text{ N}$ 。

系统各力对玻璃的力矩:  $M_1'' = -6.88 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_2'' = 3.24 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_3'' = 4.17 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  $M_4'' = -2.17 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。理论上,当式(1)等于 0 时,系统的力矩刚好平衡,可得出  $M_c = 1.64 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $L_c = 18.4 \text{ mm}$ 。

为了便于理解,  $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$  及  $F$ 、 $F'$ 、 $F''$  对应的具体位置见图 5。

前门玻璃由于汽车造型的需要,玻璃前边较短,玻璃后边较长,玻璃重心稍偏后。在玻璃上升运行过程中,前后玻璃边均被前后导轨呢槽完全包住,故力矩  $M_1$  和  $M_2$  保持不变。前门玻璃从位置 1 运行至位置 2 的过程中,玻璃前部分与内外挡水无接触,玻璃后部分与内外挡水的接触长度越来越长,致使玻璃后部分与内外挡水的摩擦力逐渐增大。力矩( $M_1 + M_4$ )的值逐渐增大,力矩( $M_2 + M_3$ )的值保持不变,故力矩( $M_1 + M_4$ )与力矩( $M_2 + M_3$ )的差值逐渐增大,在不考虑其他力的情况下,玻璃顺时针旋转的趋势也逐渐增强。

玻璃从位置 2 运行至位置 3 的过程中,玻璃前部分与内外挡水的接触长度越来越长,玻璃后部分与内外挡水的接触长度保持不变,致使玻璃前部分与内外挡水的摩擦力逐渐增大。力矩( $M_1 + M_4$ )的值保持不变,力矩( $M_2 + M_3$ )的值逐渐增大,故力矩( $M_1 + M_4$ )与力矩( $M_2 + M_3$ )的差值逐渐减小,在不考虑其他力的情况下,玻璃顺时针旋转的趋势也逐渐减弱,但仍然有顺时针旋转的趋势。

玻璃通过位置 3 后直至运行到门框顶部过程中,玻璃各区域与呢槽和内外挡水的摩擦力均保持恒定,力矩( $M_1 + M_4$ )和力矩( $M_2 + M_3$ )也保持恒定。玻璃在整个上升运行过程中,如果  $M_{总}$  的方向为逆时针,由于玻璃前边很短,则玻璃在运动过程中会出现玻璃脱槽的情况;如果  $M_{总}$  的方向为顺时针且值较大,则实际中玻

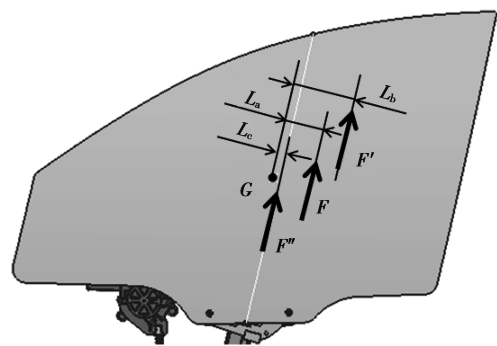


图 5 不同力臂对应的具体位置

璃底边与呢槽的摩擦力也相应增大,系统阻力增加,影响玻璃正常升降,造成升降系统失效。因此,对于前门, $M_{\text{总}}$ 的值应该尽量接近于零,且方向应该始终为顺时针方向。故升降器运行轨迹应布置在相对于玻璃重心靠后的位置,并保持适当的距离,升降器对玻璃产生的力矩  $M$  来弥补力矩  $(M_1 + M_4)$  与力矩  $(M_2 + M_3)$  的差值,进而使  $M_{\text{总}}$  的值尽量接近于零。综上所述,此实例应选择  $L_c = 18.4 \text{ mm}$  作为参考来确定升降器运行轨迹。

### 3 试验测试

借助玻璃升降器简化试验台架,按照中国汽车行业标准《汽车玻璃升降器》<sup>[7]</sup> 的要求,采用模拟负荷基板替代玻璃,毛毡代替呢槽,对  $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$  3 种位置分别进行了两万次耐久测试,结果见表 1。通过表 1 的试验结果可以看出,在 10 000 次及 20 000 次两个考察点中, $L_a$ 、 $L_b$  对应的基板和毛毡均出现了不同程度的问题, $L_c$  的故障问题率则相对较低,只有毛毡出现了轻微磨损,考虑零件尺寸偏差及装配误差,磨损可以接受。那么由此可知, $F$  与  $F'$  所对应的力臂  $L_a$ 、 $L_b$  对基板姿态及毛毡寿命起到了负面作用,造成了升降器运行轨迹出现不平稳现象,而  $L_c$  由于力臂位置较为合理,使得  $M_{\text{总}}$  的值接近于零,且方向始终为顺时针方向,避免出现玻璃姿态发生倾斜以及毛毡磨损等故障。

表格 1 3 种力臂下的耐久测试结果

升降循环 次数	故障现象					
	基板姿态倾斜情况			导轨内毛毡磨损情况		
	$L_a$	$L_b$	$L_c$	$L_a$	$L_b$	$L_c$
10 000 次	倾斜	倾斜	无	磨损	磨损	无
20 000 次	倾斜严重	倾斜严重	无	严重磨损	严重磨损	轻微磨损

### 4 结 论

对于单导轨绳轮式升降器的运行轨迹,其经验值为  $10 \text{ mm} \leq L \leq 30 \text{ mm}$ ,不同的车型其  $L$  值有所不同。通过引入假设,对玻璃的上升运行过程及受力进行适当简化得到模型及结论,既能使玻璃实际运行的本质规律简单明了,又具有足够的精度。通过理论计算与实例相结合,阐述了升降系统受力平衡与力矩平衡,两者结合确定单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹,并解释了轨迹对升降系统的影响。计算方法简单实用,对单导轨绳轮式玻璃升降器运行轨迹的确定提供了理论基础和具有较强的指导意义。同时借助于售后故障统计及“汽车故障数”这一重要指标<sup>[8]</sup>,考虑温度、湿度、生产制造误差及特殊工况等因素,可以有效地规避历史设计缺陷,根据实际情况的需要,为建立更为复杂模型提供了一种思路。

#### 参考文献:

- [1] 曹云翔.电动玻璃升降器及其发展概况[J].汽车电器,2001(4):3-6
- [2] 李辉平,栾陪国,管延锦,赵国群.汽车电动软轴式玻璃升降器系统及其运动仿真[J].汽车工艺与材料,2002(1):33-35
- [3] 杨华鹏,李庆华.基于 Recurdyn 的绳轮式电动玻璃升降器的动力学仿真[J].长春大学学报,2013,23(10):1238-1241
- [4] 邱结平.现代轿车电动玻璃升降器研究与探讨[J].汽车技术,2002(4):11-13
- [5] 唐艳巧.论某微型汽车玻璃升降器的应用[J].企业科技与发展,2013,14:34-37
- [6] 梅行益,贺占魁,李涛.玻璃升降系统的载荷计算和效率优化[J].汽车工程师,2013(6):52-54
- [7] QC/T 626-2008.汽车玻璃升降器[S].北京:中国计划出版社,2008
- [8] 宋丽红,姚晓霞.基于千车故障数的汽车质量概率模型研究[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2009,26(6):543-547