

Discussion on the Calculation of Emergency Braking Distance and Traction Friction Coefficient Formula for Elevator Cars

Yuhao Dai Jianwei Zhang Zhongli Lin

Hangzhou Siao Elevator Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311199, China

Abstract

In the process of research and development, design and testing of new elevator products, the phenomenon of elevator skidding and excessive stopping force is often encountered when the elevator stops quickly. Especially, when the new elevator is required to accept the new elevator by the new inspection regulations, the stopping test under 125% load condition is needed to determine whether the safety clamp can effectively stop the car running, and the safety clamp can be effectively reset after braking. This paper is mainly used to analyze the calculation method of car stopping distance under the condition that the suspension rope slips on the traction wheel during emergency stopping, and to refer to the calculation formula of the traction friction coefficient, which is often used in the existing traction gravity checking calculation, and put forward the modified formula of the traction friction coefficient used in the actual calculation of car stopping distance.

Keywords

holding gate; scram; suspension rope; skid; friction coefficient

轿厢紧急制停距离计算及曳引摩擦系数计算公式探讨

代宇豪 张建伟 林忠立

杭州西奥电梯有限公司, 中国·浙江 杭州 311199

摘要

在电梯新产品研发设计和测试过程中, 当电梯急停时经常会遇到电梯打滑及制停聚力过大的现象, 尤其新检规要求新梯验收的时候需要对新梯进行125%载荷工况下的制停测试, 来判定安全钳是否能够有效的使轿厢停止运行, 并且制动后可以有效的使安全钳复位。论文主要用于分析了抱闸在紧急制停时, 悬挂绳在曳引轮上打滑工况下的轿厢制停距离计算方法, 并参考现有曳引力验算时常用的曳引摩擦系数计算公式, 提出了曳引摩擦系数用于实际计算轿厢制停距离时的修改公式。

关键词

抱闸; 急停; 悬挂绳; 打滑; 摩擦系数

1 轿厢制停工况分析

电梯在急停工况下, 实际抱闸制停减速度及制停时间与轿厢减速度及制停时间在大多数工况下并不一致, 因此, 对应的实际抱闸制停距离与轿厢制停距离也不一致。抱闸制停工况下, 悬挂绳与曳引轮之间, 理论上存在两种不同的典型工况。

1.1 悬挂绳不打滑

轿厢实际减速度与抱闸制停减速度保持一致, 可以通过抱闸减速度来计算实际轿厢的制停距离。

1.2 悬挂绳打滑

电梯在急停工况下, 由于抱闸制停减速度较大, 而曳

引摩擦力相对不足, 通常会导致曳引钢丝绳在曳引轮上产生相对滑移, 实际轿厢的制停距离与抱闸制停距离无关, 取决于轿厢本身的实际制停减速度^[1]。

2 悬挂绳打滑条件分析

根据欧拉公式:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f\alpha}$$

电梯悬挂绳要确保不在曳引轮上打滑, 必须满足以上的公式要求。

曳引轮两侧的张力比 T_1/T_2 是随电梯在井道中运行状况的变化而变化, 主要影响因素有以下三个:

①轿厢内的载荷, 轿厢在空载上行和满载下行两种工况中, 张力比是最大的, 钢丝绳最容易打滑。

②电梯运行方向, 如满载下行减速张力比大于满载上

【作者简介】代宇豪(1987-), 男, 中国安徽淮北人, 本科, 工程师, 从事电梯系统技术研究。

行减速。

③电梯轿厢位置，由于补偿绳不一定能 100% 对曳引悬挂绳进行补偿，通常极限工况在井道顶部或底部，分别对比轿厢在顶层和底层的张力比，即可判断最恶劣的张力情况。

假设：

$$K1 = (P+L \times DL+Mtc+Mccar)/RR+ Mrcar \quad K2 = (P+L \times DL+Mtc+Mccar)/RR + Mrcar \times RR + Mpcar$$

$$K3 = (Mcwt + Mccwt)/RR + Mrcwt \quad K4 = (Mcwt + Mccwt)/RR + Mrcwt \times RR - Mpcwt$$

式中：P——空轿厢重量，kg；

L——轿内载荷比，空载为 0% 或满载为 100%；

DL——额定载荷，kg；

Mtc——随行电缆重量，kg；

Mccar——轿厢侧补偿绳重量，kg；

RR——曳引比；

Mrcar——轿厢侧悬挂绳重量，kg；

Mpcar——轿顶轮转动惯量折算质量，kg（由于影响较小，实际计算中忽略）；

Mcwt——对重质量，kg；

Mccwt——对重侧补偿绳重量，kg；

Mrcwt——对重侧钢丝绳重量，kg；

Mpcwt——对重轮转动惯量折算质量，kg（由于影响较小，实际计算中忽略）。

分析曳引轮两侧的张紧力，根据轿厢不同的运行方向，则分别有：

①轿厢下行工况：

$$Tcar = K1 \times g + K2 \times A - Fr/RR \quad Tcwt = K3 \times g - K4 \times A + Fr/RR$$

②轿厢上行工况：

$$Tcar = K1 \times g - K2 \times A + Fr/RR \quad Tcwt = K3 \times g + K4 \times A - Fr/RR$$

式中：Fr——井道摩擦力，N；

g——重力加速度，m/s²；

RR——曳引比；

A——轿厢制停减速度，m/s²。

分析轿厢曳引力平衡点时，即钢丝绳在曳引轮上打滑的临界状况，有：

①轿厢满载工况：

$$Tcar / Tcwt = e^{f\alpha}$$

②轿厢空载工况：

$$Tcwt / Tcar = e^{f\alpha}$$

根据电梯基本模型的受力分析，很容易得出，当轿厢满载下行或空载上行时，最易发生悬挂绳打滑的情况，分析

轿厢发生打滑的临界状态时的轿厢减速度，根据轿厢装载工况及运行方向不同，分别有：

①轿厢满载工况下行：

$$A_{car} = [(K3 \times e^{f\alpha} - K1) \times g + Fr/RR \times (1 + e^{f\alpha})]/(K4 \times e^{f\alpha} + K2) \quad (1)$$

②轿厢空载工况上行：

$$A_{car} = [(K1 \times e^{f\alpha} - K3) \times g + Fr/RR \times (1 + e^{f\alpha})]/(K2 \times e^{f\alpha} + K4) \quad (2)$$

分析抱闸最小制停减速度，根据相应的轿厢工况，分别有：

①轿厢满载工况下行：

$$A_{brk} = (Tmin-T100)/J_{100} \times (Dm/2) \times (1/RR)$$

②轿厢空载工况上行：

$$A_{brk} = (Tmin-T0)/J_0 \times (Dm/2) \times (1/RR)$$

式中：A_{car}——轿厢制停减速度，m/s²；

A_{brk}——抱闸制停减速度，m/s²；

Tmin——最小抱闸制停力，N-m；

T100——满载工况下曳引轮力矩，N-m；

T0——空载工况下曳引轮力矩，N-m；

J₁₀₀——满载工况下系统惯量，kg-m²；

J₀——空载工况下系统惯量，kg-m²；

Dm——曳引轮直径，m。

因此，只要相应工况下，轿厢减速度 A_{car} ≤ A_{brk}，轿厢悬挂钢丝绳即会在曳引轮上打滑，根据上述式（1）、式（2）即可求得轿厢在打滑状态下的实际减速度，从而计算出轿厢在抱闸制停工况下的实际制停距离^[2]。

3 钢丝绳打滑时，曳引摩擦力计算公式修正

根据 GB7588—2003 附录 M “曳引力计算”可知，紧急制停工况下，摩擦系数的计算公式如下：

$$\mu = 0.1 / (1 + V/10) \quad (3)$$

式中，V——轿厢额定速度下对应的绳速，m/s。

以上曳引力摩擦系数计算公式，主要用来验算电梯的曳引能力时，采用的最小曳引摩擦系数，包含一定的设计安全裕量，根据测试可知，实际测试中轿厢的制停距离要明显小于采用上述摩擦系数计算得到的理论制停距离。为了尽量让计算结果与实测结果接近，为设计提供合理参考，在计算轿厢紧急制停距离时，有必要对曳引摩擦系数公式进行修正。

通过以图 1 中绳速与摩擦系数关系的图表可知，当钢丝绳在曳引轮上打滑过程中，摩擦系数理论上可能和钢丝绳与曳引轮的相对滑移速度有关，实际在轿厢制停过程中，钢丝绳与曳引轮相对滑移速度应该是一个快速加速然后再缓慢减速的过程，在缓慢减速过程中，摩擦系数应该是逐渐增加的，这从大量的 PMT 实测数据可以得到印证。

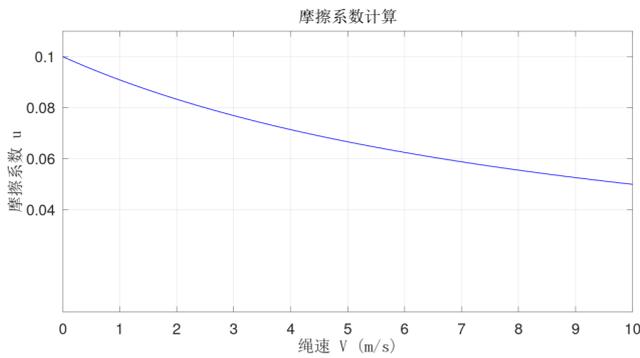


图1 摩擦系数与绳速关系曲线

因此，假设对上述式(3)通过取积分平均的方法进行修正，修正后的摩擦系数计算公式为：

$$\mu = dv = 1/V/RR \times [LN(10+RR \times V)-LN(10)] \quad (4)$$

式中：LN——自然对数；

V——电梯的额定速度；

RR——曳引比。

分别采用以上摩擦系数计算公式的式(3)与式(4)在不同速度下的制停距离计算理论值与实际样梯测试时的制停距离值进行对比验证，具体对比结果见图2、图3。

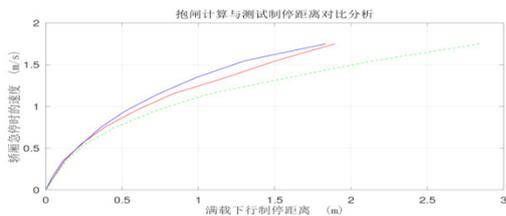


图2 满载下行，轿厢急停速度与制停距离关系曲线

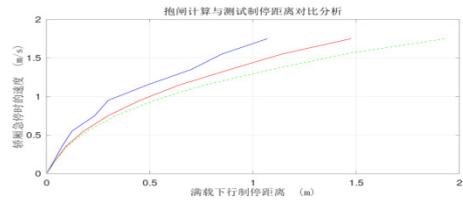


图3 空载上行，轿厢急停速度与制停距离关系曲线

值得注意的是，图2、图3中蓝实线为相应速度下的实际轿厢制停距离，红实线为相应速度下采用修正摩擦系数公式计算得到的理论制停距离，虚线为相应速度下采用未修正摩擦系数公式计算得到的理论制停距离。

从图2、图3可知，采用式(3)未修正的摩擦系数计算公式计算得到的制停距离明显大于测试数据，尤其是速度较大时，计算余量也越大。经过修正后的计算结果在计算速度范围内都更接近实测数据，能更好地符合轿厢在急停工况下的理论制停距离计算^[3]。

4 结语

通过修正后的曳引摩擦力计算公式可以更准确地计算出电梯在急停工况下轿厢实际的紧急制停距离，为相关设计提供更合理的理论依据。

参考文献

- [1] 孔祥禄.曳引式电梯轮槽磨损及其检验检测研究[J].中国设备工程,2023(6):146-148.
- [2] 陈凤旺,蔡金泉,茅顺.电梯制造与安装安全规范[S].
- [3] 杜明忠.影响电梯运行质量的原因分析及预防措施[J].机电技术,2022(7):102-104.