

## 单轴挂车电磁制动器制动力的分析研究

陈 燎<sup>1</sup>, 张家龙<sup>2</sup>, 周孔亢<sup>1</sup>

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013; 2. 上汽股份汽车工程研究院, 上海 201206)

**摘 要:** 在研究电磁制动器结构和控制原理的基础上, 遵照国家法规对拖挂式车辆制动力的要求, 建立了采用电磁制动器的单轴挂车制动力模型, 利用效能因数法得到了电磁体控制电流与挂车制动力大小的对应关系, 并找出了满足法规要求的电磁体控制电流的范围。通过试验验证表明, 理论分析正确, 挂车制动力模型可靠。为进一步研究主、挂车制动力大小的匹配, 提高拖挂式车辆的制动稳定性, 提供了重要依据。

**关键词:** 单轴挂车; 电磁制动器; 制动效能因数; 制动力

**中图分类号:** U 426. 3. 3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006) 11-0112-05

陈 燎, 张家龙, 周孔亢. 单轴挂车电磁制动器制动力的分析研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 112-116.

Chen Liao, Zhang Jialong, Zhou Kongkang. Study and analysis of the braking force of towed trailer using electromagnetic brake with single shaft[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 112-116. (in Chinese with English abstract)

### 0 引 言

拖挂式车辆的制动性能比单一车辆的制动性能复杂的多。前者除了制动力分配较为复杂外, 在制动过程中, 牵引车和挂车之间的相互作用对制动稳定性也具有较大的影响。

制动时, 若挂车制动力大小不当, 会严重影响整车制动效能及方向稳定性。制动力过小, 挂车将对牵引车产生冲击, 引起折叠、侧滑等危险现象; 制动力过大, 将使挂车车轴先抱死产生甩尾, 从而降低了挂车制动安全性<sup>[1]</sup>。因此, 要合理控制挂车制动强度, 提高整车制动稳定性和安全性<sup>[2,3]</sup>。基于此, 本文以采用电磁制动器的单轴挂车为研究对象, 对单轴挂车的制动力进行了理论和试验研究。

### 1 对挂车制动力的基本要求

电磁制动器主要应用在拖挂式房车<sup>[2]</sup>上, 为了研究制动器的制动效能, 按照国外拖挂式房车的结构尺寸、载荷分布设计了一单轴挂车, 其类型属中置轴挂车, 额定最大质量 1 t。按照 ECE/EEC 汽车分类标准, 属于 O2 类挂车 (0.75 t < 挂车  $m_{\max} \leq 3.5$  t)。参照 ECE R13 中 M、N、和 O 类车辆制动系统型式认证的统一规定,

单轴挂车与其牵引车组成的列车, 在其挂车处于最大质量状态下制动时, 挂车规定的制动力至少应达到挂车最大总轴荷  $F_Z$  的 50%。令该制动力为挂车满足制动性能所要求的最小制动力  $F_{\min}$ , 则  $F_{\min} = \frac{1}{2} F_Z$ 。挂车制动力达到地面附着力时, 会使挂车车轮抱死拖滑产生甩尾, 影响整车的制动安全。此时挂车制动力接近该路面上最大值  $F_{\max}$ ,  $F_{\max} = \varphi F_Z$ ,  $\varphi$  为路面滑动附着系数, 大小与滑移率  $s$  及路面状况有关<sup>[4]</sup>。

因此, 若挂车制动力  $F_X$  满足制动性能及法规要求, 必须符合如下条件

$$F_{\min} \leq F_X < F_{\max}$$

### 2 挂车制动力模型研究

#### 2.1 挂车制动过程分析<sup>[1,10]</sup>

挂车在电磁制动器的作用下产生制动, 制动时主、挂车受力情况如图 1 所示。对挂车进行受力分析, 以图中制动减速度  $j$  方向为正, 由牛顿第二定律:  $\sum F = mj$  可得, 挂车制动力

$$F_X = m_t j - F \quad (1)$$

式中  $m_t$ ——挂车质量;  $F$ ——主、挂车挂接装置上的水平分力。

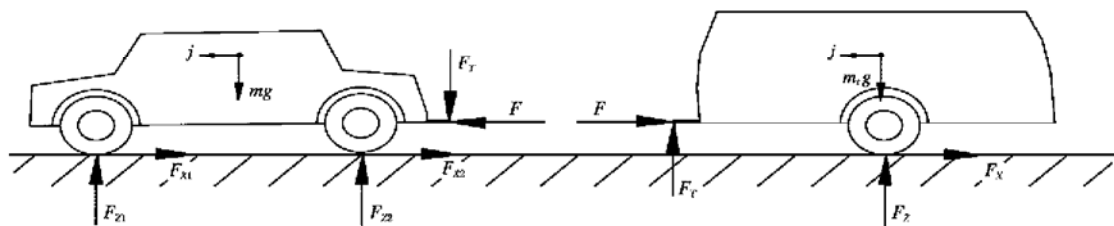


图 1 拖挂车制动受力分析

Fig. 1 Analysis of the force of towed trailer when braking

收稿日期: 2005-10-08 修订日期: 2006-03-18

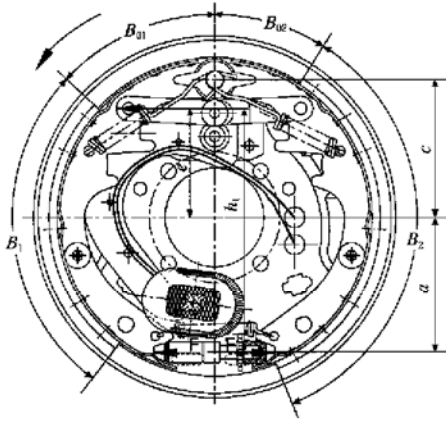
项目来源: 浙江省科技厅重大攻关项目 (2003C11018)

作者简介: 陈 燎 (1963-), 男, 四川德阳人, 副教授, 博士研究生, 江苏省镇江市学府路 301 号 江苏大学汽车学院, 212013。

Email: qinhe@ujs.edu.cn

电磁制动器装在挂车轴上, 结构如图 2 所示。制动时, 由装在主车上的控制器产生制动信号给电磁体通电, 使其产生电磁吸力并紧贴在制动鼓摩擦环上, 因制动鼓旋转而在二者接触面间产生摩擦, 该摩擦力带动驱动杠杆绕其支点转动, 推动制动蹄片张开压向制动鼓产生摩擦力矩实现车轮制动。结束制动时, 电磁体断电, 电磁吸力及摩擦力消失, 在回位弹簧作用下, 制动蹄片回到原位置, 制动解除。

由制动原理可知, 挂车制动力的产生过程如图 3 所示。



的数值需转换为弧度代入相应公式中的参数进行计算)。可得,  $K = 5.76$ 。

4) 摩擦力矩  $T$  与制动力  $F_x$  的关系<sup>[5,7]</sup>

$$F_x = \frac{2T}{R_0} \quad (7)$$

式中  $R_0$ ——轮胎滚动半径,  $R_0 \approx 0.29 \text{ m}$ 。

综上所述, 制动力  $F_x = 2 \times \frac{KR\mu kf(I)}{R_0} = 3816.8 \times I + 237.1$ ; 制动力与电磁体通电电流关系曲线如图5所示。实际秤得挂车轴荷为:  $F_z = 994 \text{ kg}$ , 则  $F_{\min} = \frac{1}{2}F_z = 4870.6 \text{ N}$ ,  $F_{\max} = \Phi F_z = 7305.9 \text{ N}$ , (干燥混凝土路面, 取  $\Phi = 0.75$ )<sup>[4,9]</sup>。图5中A、B分别为与  $F_{\min}$ 、 $F_{\max}$  制动力对应的通电电流强度  $1.21 \text{ A}$ 、 $1.85 \text{ A}$ 。

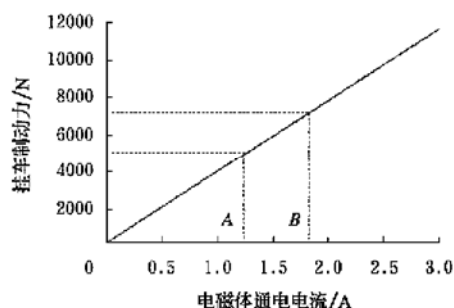


图5 制动力与通电电流关系曲线

Fig. 5 Relationship between the braking force and the current

由理论分析可知, 通过调节电磁体通电电流, 挂车制动力变化趋势应与图中斜线方向一致, 为满足法规要求, 通电电流应控制在  $1.21 \sim 1.85 \text{ A}$  范围内。为验证理论分析结果, 对挂车进行了制动性能试验<sup>[11,12,15]</sup>。

### 3 试验介绍

#### 3.1 试验方案

电磁制动器安装在挂车轴两端, 利用牵引车挂接单轴挂车, 组成拖挂车式车辆。如图6所示。牵引车采用

BJ1021S 轻型汽车, 挂车在参照国外房车结构参数基础上进行设计、配重而成。

试验在干燥、平整的混凝土路面上进行。试验过程中, 调节电磁体的通电电流来改变挂车制动强度, 以实现对接挂车制动力的直接控制。



图6 拖挂车结构示意图

Fig. 6 Construction of towed trailer

#### 3.2 试验仪器设备

1) DRS6-300 型车速传感器: 采集行驶过程中车速信号。

2) VG400CC-200 型陀螺仪: 主要用于采集挂车纵向加速度信号。

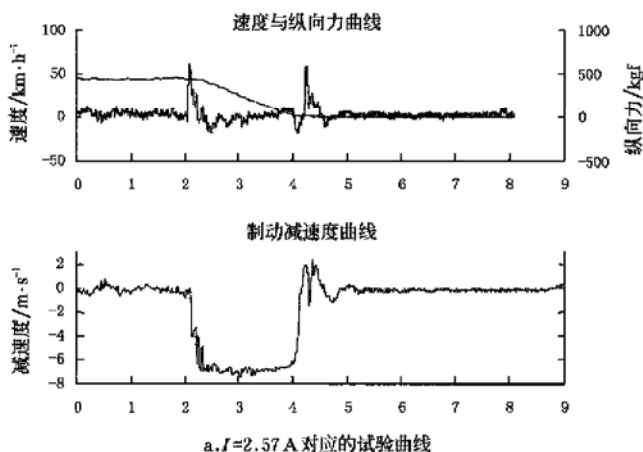
3) Wave-Book/512 数据采集器: 用于采集相关的试验数据。

4) YD-28A 型动态电阻应变仪: 将铰接处应变片采集的纵向力信号, 进行滤波、放大处理后传输给数据采集器。

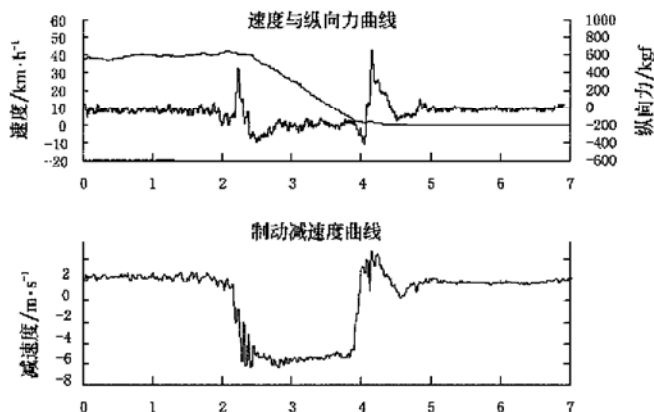
5) 笔记本电脑及其他辅助试验设备。

### 4 试验结果及分析

通过试验可分别得到制动过程中不同通电电流下, 挂车速度、挂接装置上水平分力  $F$  (受拉为+, 受压为-)、挂车制动减速度等随时间的变化关系曲线如图7所示(篇幅所限, 仅列出电流强度分别为  $2.57 \text{ A}$ 、 $1.98 \text{ A}$ 、 $1.78 \text{ A}$ 、 $1.32 \text{ A}$  时的对应测试曲线)。



a.  $I=2.57 \text{ A}$  对应的试验曲线



b.  $I=1.98 \text{ A}$  对应的试验曲线

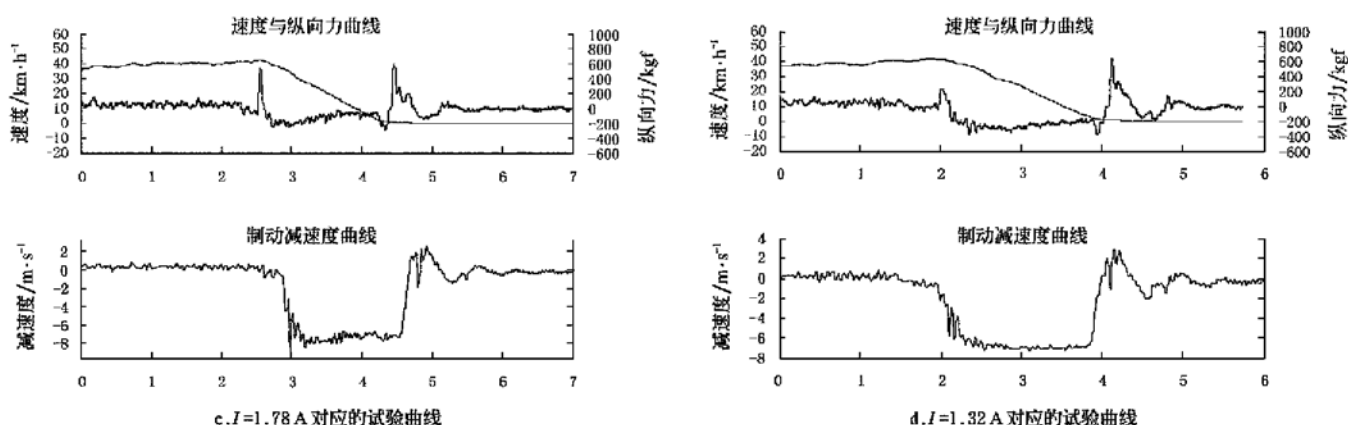


图 7 制动过程中速度、纵向力及制动减速度的变化曲线

Fig. 7 Variation of velocity, force and deceleration during the course of braking

把制动过程中测得的列车减速度  $j$ 、挂接装置上水平分力  $F$ , 代入式(1) 即可得挂车制动力。将电磁体不同通电流下对应的挂车制动力的理论及试验数值分别进行比较, 得图 8 所示曲线(虚线为理论曲线, 实线为试验曲线)。

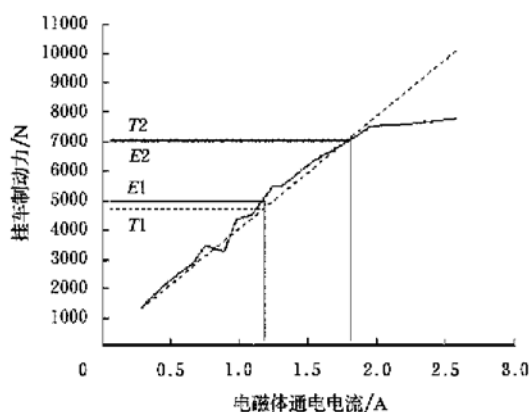


图 11 挂车制动力与电流关系曲线

Fig. 11 Relationship between the braking force of towed trailer and current

由图 8 可知:

1) 理论与试验结果基本一致。图中 T1、T2 为通电流在 1.21 A、1.85 A 时对应的理论制动力; E1、E2 为与此对应的试验制动力, 可见, 试验制动力在理论分析值附近<sup>[13]</sup>。

2) 通电流在 1.85 A 时, 由试验结果计算对应制动力附着系数  $\Phi = 0.746$ , 与车轮抱死、滑移率  $s = 100\%$  时, 干燥混凝土路面地面滑动附着系数  $\Phi$  为 0.75<sup>[4]</sup> 接近。

3) 当通电流约超过 1.95 A 时, 制动力数值基本保持稳定, 不再随电流增加而增大。由试验结果计算此时对应制动力附着系数,  $\Phi = 0.788$ , 与车辆抱死、滑移率  $s$  在 15%~20% 时干燥混凝土路面平均峰值附着系数为 0.8~0.9<sup>[4]</sup> 相吻合。

## 5 结论与展望

通过建立单轴挂车制动力模型, 从理论和试验两方面对采用电磁制动器的单轴挂车制动力进行分析研究, 得出了使挂车制动力符合法规以及路面附着条件限制要求的电磁体通电流的数值范围。对今后电磁制动器产品及其控制器的开发和系列化工作提供了依据。同时, 对分析和研究拖挂式车辆制动性能具有重要现实意义。

### [参 考 文 献]

- [1] [日] 小林明. 汽车力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [2] [美] 鲁道夫 L 编. 汽车制动系统的分析与设计[M]. 张蔚林, 等译. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [3] 简晓春, 邵毅明, 毛谦渝, 曾宏达. 633X 微型车制动稳定性理论分析[J]. 汽车工程, 2003, 25(2).
- [4] 何三全. 半挂车列车附着系数的分析与制动力分配系数的研究[J]. 汽车工程, 1997, 19(1): 34~40.
- [5] 张 健, 卫修敬. 车辆制动器制动力矩计算方法的研究[J]. 江苏理工大学学报, 1999, 20(3).
- [6] 施瑞康, 张德林. 汽车制动器制动效能因素计算及结果分析[J]. 汽车技术, 2005, (6): 1~4.
- [7] 吕振华, 赵玉超, 韩文明. 鼓式制动器的二自由度制动蹄性能参数计算方法改进[J]. 公路交通科技, 2005, 22(5).
- [8] 吕振华, 韩文明. 鼓式制动器摩擦副压强不均匀性分析与评价[J]. 汽车工程, 2004, 26(1): 90~93.
- [9] 余志生. 汽车理论(第3版)[M]. 机械工业出版社, 2000.
- [10] 关志伟, 许洪国, 李春明, 等. 应用虚拟样机技术进行半挂车列车制动动力学分析[J]. 汽车技术, 2005, (10): 17~20.
- [11] 李劲松, 陈昆山, 周孔亢, 等. 电磁制动器性能评价体系的建立及指标权重的确定[J]. 拖拉机与农用运输车, 2005, (5).
- [12] 魏 巍, 钱剑安. 新型电磁制动器的挂车防抱死控制及其仿真[J]. 汽车科技, 2004, (6).
- [13] 吴迎峰, 李刚炎, 赖三霞. 汽车电磁缓速制动器制动力矩的分析与计算[J]. 客车技术与研究, 2006, (4).

- [14] 王慕文, 王晓瑜, 付强, 等. 盘式制动器的性能分析及应用[J]. 冶金设备, 2003, (1).
- [15] 丁磊, 黄春秋, 孔剑飞, 等. 汽车电磁制动系统建模与仿真[J]. 汽车电器, 2006, (3).

## Study and analysis of the braking force of towed trailer using electromagnetic brake with single shaft

Chen Liao<sup>1</sup>, Zhang Jialong<sup>2</sup>, Zhou Kongkang<sup>1</sup>

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Automotive Engineering Academy of SAIC Motor Co. Ltd, Shanghai 201206, China)

**Abstract:** Based on the research of electromagnetic brake, a mechanics model of the towed trailer with electromagnetic brake was established in this paper, according to the braking rules about the braking force of towed trailer. The relationship between the braking force and the current of electromagnet by virtue of the braking efficiency method was acquired. And the proper scope of the current is obtained, A comparative analysis was made between the conclusion and the test results. It proves the correspondence of the practice with the conclusion, which verifies the mechanical model of the braking force and provides valuable basis for the further study on the distribution of the braking force and the braking stability.

**Key words:** towed trailer with single shaft; electromagnetic brake; braking efficiency method; braking force