

实车碰撞试验重锤牵引车辆加速系统研究与设计

高水德 张绍理 姚常青

北京深华达交通工程检测有限公司 北京 102204

摘要: 在道路安全设施实车碰撞试验中, 国内外标准要求的最高等级为 40t、85km/h。但是随着运输业的发展, 运输车辆朝着大型重载的发展, 近年来大型车辆失控冲出路外的事故屡有发生, 为了充分留有余地在车辆加速系统的设计中有必要考虑以 80t、80km/h 为设计条件。到目前为止, 大多数汽车碰撞试验场采用直流电机牵引方式为试验车辆加速, 但是这种加速方法为大型车辆加速仍不是很有效。试验车辆沿坡道下行靠重力加速是大型车辆加速的有效方法之一, 但是该加速方法对地势的要求较严格, 在平地上建坡道代价较高。本文研究重锤下落带动车辆加速的方法, 这种方法对于解决在平地上为大吨位高速度车辆加速、同时一个重锤适应多条加速跑道的情况非常有效, 而且理论计算和模型试验表明速度控制精度可控制在 0.4km/h 以内。本文根据研究成果设计出了能把 80t 的重型车辆加速到 80km/h 的车辆加速系统, 目前该车辆加速装置正在建设当中, 建成后将能实现, 一套重锤系统能为 5 条跑道加速, 实现从微型轿车到重型货车的角度碰撞、正面碰撞、侧面碰撞、尾部碰撞和两车对面碰撞。

关键字: 重锤; 汽车碰撞试验; 车辆加速系统

The R&D of Hammer Tow Speed-up Method in Vehicle Impact Tests

GAO Shui-de, ZHANG Shao-li, YAO Chang-qing,

Beijing Shenhua Traffic Engineering Test Co., Ltd. 102204

Abstract: In the road restraint system impact test, the highest speed-up level is 40t 85km/h. Nevertheless along with the development of the transportation, the conveyance vehicle becomes more large and more over loading. In recent years, much more heavy trucks run away, so it is necessary to think 80t80km/h vehicles in the tests. Most of the proving grounds use direct current electric motor-towing system. But this type motor-towing system is not valid to the heavy truck up to now. The vehicle run down along the ramp is one valid method to the heavy truck, but it is expensive to construct the ramp on the flat ground. This article carried out research & analyze about the hammer tow speed-up system, it is valid and one system can use for many runways, and its controllable precision is less than 0.4 kilometer per hour. According to this research result, we designed a hammer tow speed-up system which can speed the 80 ton vehicle to 80 kilometer per hour. Now this system is being constructed, it can be use to 5 runways and can realize the frontal impact, the side impact, the rear impact and two vehicle impact face to face from the minitype saloon car to the heave truck.

Keywords: Hammer; the Vehicle Impact Test ; the Vehicle Speed-up System

0 引言

实车碰撞实验是一种“人造车祸”, 实现碰撞实验的关键问题之一是如何将实验车辆加速到规定的碰撞速度, 并在指定的位置上以规定的角度与标的物相撞。由于汽车碰撞试验具有一定程度的不可预见性和危险性, 所以一般不用驾驶员驾驶汽车。目前, 有的采用无人驾驶遥控技术, 但对实验车辆的动力性和自动控制性能要求高。因此目前主要采用来自实验车辆以外的其它动力进行加速, 如: 直流电机牵引、液压马达牵引、拖车牵引、坡道行驶、橡皮绳弹射、重锤下落等。相比之下, 直流电机和液压马达价格昂贵, 对于大型车辆加速困难; 拖车牵引速

度控制困难且对于大型车辆牵引难以实现。坡道加速对于大型车辆非常有效，但对于地势的要求高，平地实现难度大，而且加速跑道方向固定，多个碰撞角度适应性差。

本文研究重锤下落带动试验车辆的加速方法，这种方法可以实现在平地上为大吨位高速行驶车辆加速、同时一个重锤可以适应多条加速跑道。

1 重锤牵引车辆加速系统原理

如图 1 所示， m_1 为重锤的质量， m_2 为被重锤加速的车辆的质量，在车辆被加速前将重锤提升到一定高度 h ，通过滑轮组将车辆与重锤链接，当重锤下落时，带动车辆行进加速。

假设系统总效率为 η ，车辆被加速到的速度为 v ，车辆加速过程中重锤下落的高度为 h ，在重锤下落过程中，重锤的势能转化为重锤和车辆的动能，其能量转换关系可以用式 1-1 表示。在已知被加速车辆的吨位 m_2 、车辆被加速到的目标速度 v 、重锤提升高度 h 和系统传动效率 η 的情况下可以由式 1-1 计算出需要的重锤的质量 m_1 ，见式 1-2。类似地在知道重锤的质量情况下可以由式 1-1 计算出需要的重锤的提升高度 h ，见式 1-3。对于的被加速车辆的能量（通过车辆的吨位和速度来表征）等级，可以通过重锤的质量不变，改变重锤的提升高度来实现；也可以通过重锤的提升高度不变而改变重锤的质量来实现；或者两者同时改变，这是一套系统适应不同加速能量等级的三种方法。

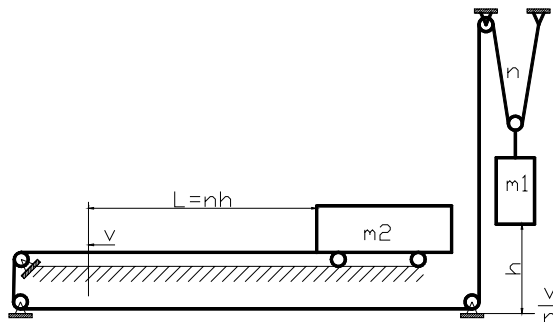


图 1 重锤车辆加速系统原理

$$m_1 g h \eta = \frac{1}{2} m_2 v^2 + \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{v}{n} \right)^2 \quad (\text{式 1-1})$$

$$m_1 = \frac{n^2 m_2 v^2}{2 n^2 g h \eta - v^2} \quad (\text{式 1-2})$$

$$h = \frac{m_2 v^2 n^2 + m_1 v^2}{2 n^2 m_1 g \eta} \quad (\text{式 1-3})$$

从理论上讲，采用这种方式为试验车辆加速时，系统的速度控制精度由系统传动效率的稳定性和系统加速能量分度的灵敏度来体现。这里对系统加速能量分度的灵敏度定义为，重锤系统可控能量区分度与被加速车辆目标车速附近每公里能量的比值，见式 1-4。

$$\mu = \frac{m_1 g \Delta h}{\frac{1}{2} m_2 [v^2 - (v-1)^2]} \quad (\text{式 1-4})$$

2 重锤牵引车辆加速系统可行性模型试验

采用重锤牵引的方式来给碰撞试验车辆加速,从原理方面分析是可行的,速度精度也能够保证,但实际上能否实现以及可操性和速度可控性方面到底能否达到预期目标,需要模型试验加以验证。

2.1 试验目的

1、判断整个系统设置是否能够按照设计功能要求正常运行;车辆脱钩后,重锤带动车辆运行的过程中,是否出现牵引绳松动、钢丝绳脱槽、冲击或卡死等不协调现象。

2、判断车辆的定位控制能否达到碰撞速度的精度要求,通过改变重锤提升高度,测量车辆速度误差值是否在规范规定范围之内。

2.2 试验设施功能设计与实现

试验所用重锤重量为 3002kg,车辆的质量为 2005kg。所建立的重锤起升塔和跑道如图 2 和图 3 所示。



图 2 重锤及起重塔



图 3 模型试验跑道、导轨及被加速台车

2.3 试验结果

2.3.1 试验数据

表 1 模型试验测试数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
重锤提升高度 m	1.3	1.52	1.7	3.2	3.4	3.6	5.9	6.1	6.3
实测车速 km/h	16.7	18.1	18.8	26.9	27.0	28.7	37	37	37.8

2.3.2 试验时系统运行形态分析

试验过程中,牵引车能够带动重锤平稳提升;从台车尾端脱钩后,重锤平稳下落,车辆平稳加速,在车辆加速过程中钢丝绳没有出现松弛、脱槽、冲击及卡死等现象;车辆的导向小车能够在设定的位置与车辆分离,没有出现卡滞、分不开等现象。导向小车与车辆分离后到缓冲池进行缓冲时,牵引绳开始松弛,钢丝绳没有甩尾抽拽现象。车辆的导向准确度在要求的范围之内。据此认为:整个重锤加速系统设置能够按照设计功能要求正常运行。

2.3.3 速度可控性分析

1、模型试验实测系统效率在 0.6~0.67 之间，系统的效率随车速的变化规律如图 4。从图中可以看出实测得到的系统传动效率具有两个特点，一是变化范围小而且很稳定，二是随车速（与重锤提升高度对应）变化规律性强，对于一个特定的系统能准确找出系统传动效率曲线。

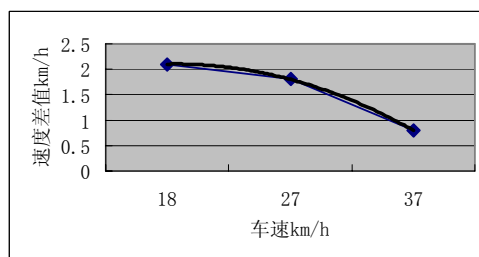
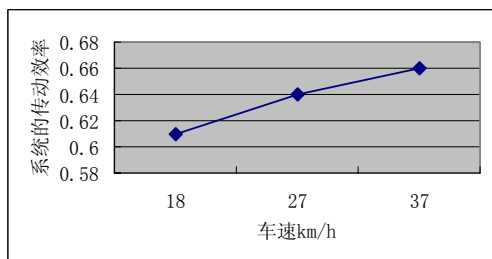


图 4 系统的效率随实测车速的变化关系 图 5 重锤提升高度变化 20cm 对实测车速的影响

2、通过重锤提升高度变化来控制车速精度的试验结果在预测范围之内。按照系统加速能量分度灵敏度计算，重锤提升高度在 1.5m, 3.4m, 6.1m 三个高度 ± 20 cm 范围内时，车辆的速度变化分别应在 ± 1.5 km/h, ± 1 km/h, ± 0.7 km/h 范围之内，试验时实测值分别为 2.1km/h, 1.8km/h, 0.8km/h，试验结果表明，随着重锤提升高度的增大，重锤提升高度每增加或减少 20cm，车辆的速度变化呈减小趋势如图 5 所示。照此推算当目标车速在 50km/h 附近时，重锤提升高度误差在 ± 10 cm 范围内时，车速的偏差可以控制在 ± 0.2 km/h 以内，区分精度完全满足实车碰撞试验标准的要求。

3 重锤牵引车辆加速系统设计

在理论分析与模型试验的基础上，设计出了能把 80t 的重型车辆加速到 80km/h 的重锤车辆加速系统，目前该车辆加速装置正在建设当中，建成后将能实现，一套重锤系统能为 5 条跑道加速，实现从微型轿车到重型货车的角度碰撞、正面碰撞、侧面碰撞、尾部碰撞和两车对面碰撞。

3.1 最大加速能力的选取

在道路安全设施实车碰撞试验中，国内外标准要求的最高等级为 40T、85km/h。但是随着运输业的发展，运输车辆朝着大型重载的发展，近年来大型车辆失控冲出路外的事故屡有发生，为了充分留有余地在车辆加速系统的设计中有必要考虑以 80T、85km/h 为设计条件。

3.2 跑道长度的选取

至于跑道的长度，在一定范围内越长越好，这有两方面原因，一方面跑道越长，即加速距离越长，加速度就越小，牵引力就越小，对钢丝绳的选取和脱钩系统的要求就会宽松一些；另一方面，在重锤有效行程一定的情况下，跑道越长就说明传动比越大，在目标车速一定的情况下，重锤的末速度就越小，缓冲就越容易做得到。但是跑道过长也有不利的影响，即车辆滚动阻力损失和钢丝绳过长传动损失增加，而且跑道越长建设成本也越大。这里选取跑道的长度在 250m 左右。

3.3 重锤提升高度的选取

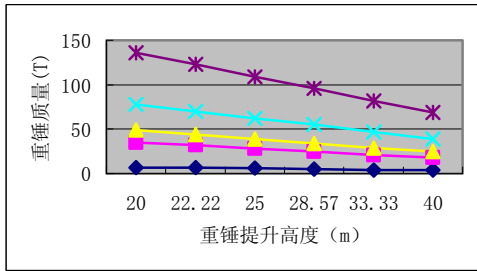


图 6 重锤提升高度与重锤质量的关系

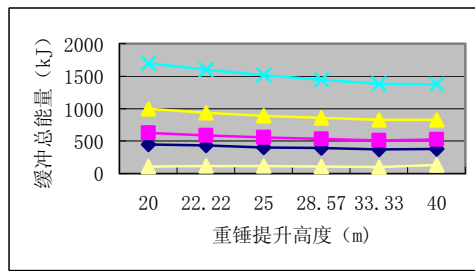


图 7 重锤提升高度与缓冲能量的关系

(注：图 6 和图 7 中曲线从上到下依次代表 80t80km/h、40t85km/h、25t85km/h、18t85km/h 和 2t120km/h。)

需要的重锤质量和缓冲能量与重锤提升高度之间的关系如图 6 和图 7 所示，由图可知，在要求加速能力一定的情况下，重锤的质量随着重锤提升高度的增大而减小，在提升高度大于 28.57m 时，最大重锤的重量小于 100 吨，其它加速等级的重锤的最大质量小于 60 吨；随着重锤提升高度的增加，需要缓冲的总能量呈下降趋势，但不显著。另外分析可知：从起重平均力与重锤提升高度的关系是随着重锤提升高度的变化起重平均力基本无变化；从机构的运行角度来考虑，滑轮的组数越多（传动比越大），机械效率就越低，系统的可靠性就越差。从控制精度方面来考虑，因为靠重锤的提升高度来控制被加速车辆的目标速度，因些重锤的提升高度越大，就越精确。综合以上因素选择重锤最大有效行程为 40m。

3.4 系统的运行参数

系统常用的加速等级及主要运行参数见表 2，由表 2 可知系统的重锤最大重量为 110t，车辆加速最长距离为 248.8m，最高加速等级为 80t80km/h。

表 2 系统主要加速能力分级及运行参数

车重 m2 (T)	目标车速 v (km/h)	车辆总动能 (kJ)	重锤质量 m1 (T)	滑轮传动比 n	重锤提升高 度 h (m)	车辆加速距 离 (m)
2	120	1111.1	6	6	34	204
2	115	1020.4	6	6	31.3	187.8
2	100	771.6	6	6	23.6	141.6
10.5	60	1458.3	22	6	11.9	71.4
18.5	60	2569.4	22	6	20.4	122.4
14.5	60	2013.8	22	6	16.2	97.2
18.5	80	4567.9	22	6	36.4	218.4
14.5	80	3580.2	22	6	28.8	172.8
25.5	85	7107.9	40	6	31.5	189
40.5	85	11289	60	6	33.2	199.2
80	60	11111.1	60	6	32.1	192.6
55	80	13580.2	60	6	39.6	237.6
80	80	19753	110	8	31.1	248.8

3.5 系统布置图

设计的系统布置如图 8 所示。

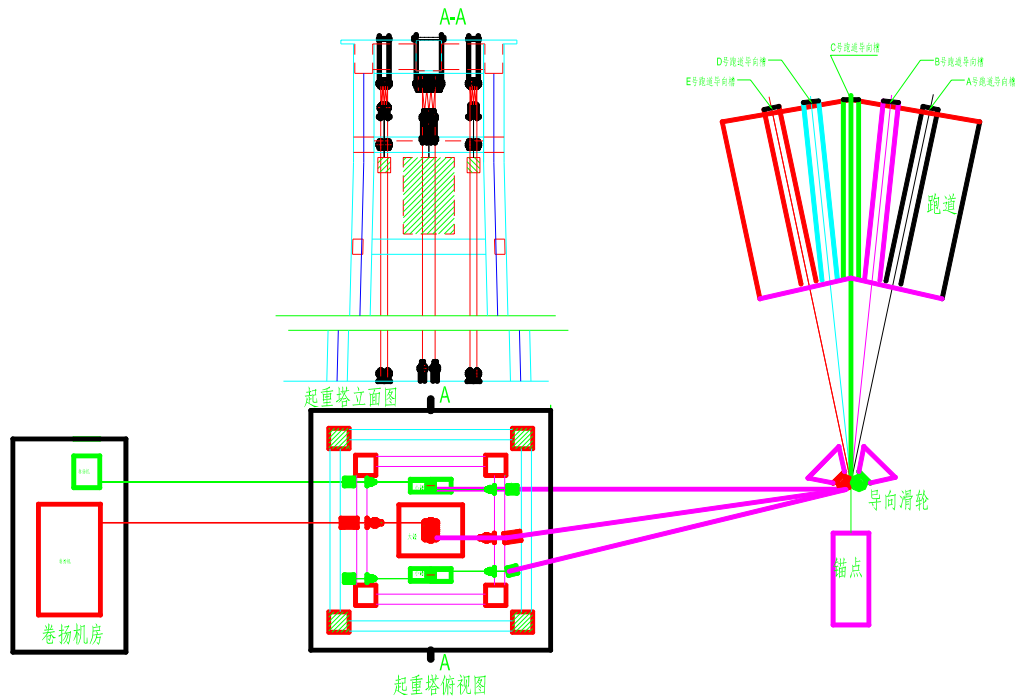


图8 系统布置图

4 结论

本文通过对各种可能的加速方法进行了分析,认为在平地上实现为大型车辆加速的准确有效方法为重锤下落带动车辆加速法。对重锤下落带动车辆加速的原理进行了分析和研究,按照研究结果组织了模型试验,结果表明,该加速方法可行,速度控制准确。按照理论分析和模型试验结果设出了最大加速能力为 80t80km/h 的重锤牵引车辆加速系统,系统可以实现从微型轿车到重型货车的角度碰撞、正面碰撞、侧面碰撞、尾部碰撞和两车对面碰撞。

参考文献

- [1] 黄世霖, 张金换. 汽车碰撞与安全. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] 乔希永, 汽车实车碰撞试验电力牵引系统的开发 公路交通科技 1998 第 15 卷 第 94~97 页.
- [3] 中华人民共和国标准 GB 11551-2003 乘用车正面碰撞的乘员保护.
- [4] 曹立波, 钟志华, 杨济匡. 机械储能式汽车碰撞试验系统的研究 客车技术与研究 2003 第 25 卷 第 3 期 第 11-13 页.