

单轨车辆制动性能仿真研究

胡彪* 谢双

重庆市轨道交通(集团)有限公司, 重庆 401120

摘要: 单轨车辆模型的构建是单轨车辆制动性能仿真研究不可缺少的条件。单轨车辆模型的构建与电气模型国建存在较大的相似性, 都需要借助相应的设计软件。本文在构建单轨车辆模型的基础上, 对其制动性能进行研究, 详细内容如下。

关键词: 单轨车辆; 制动性能; 仿真研究

一、前言

机械模型和电气模型联合仿真, 需要调整其相应的参数, 在反复调整的基础上, 将器件和系统的工作状态维持在正常水平, 之后再构建物理样机, 验证模型正确性^[1]。此种仿真模式可以将开发周期明显缩短, 并降低成本, 对于系统性能的进一步优化具有重要作用。

二、单轨车辆联合仿真模型的建立

(一) ADAMS机械模型和MATLAB/Simulink模型之间的转化

本次研究中采用了ADAMS软件和MATLAB/Simulink软件, 采用联合仿真模式对单轨车辆制动性能进行研究^[2]。第一步需要构建模型输入输出变量, 整车模型采用ADAMS机械模型, 对输入和输出变量进行设定, 确保再生系统模型和控制模型两者之间的联系性, 输入参数为单轨车辆的制动力, 输出参数为列车的运行速度, 随后结合单轨车辆速度的变化情况, 以空电联合制动模型和再生制动模型为基础, 对制动力进行计算。以制动力为输出指令, 仿真计算ADAMS机械模型, 实现整个系统的机电联合仿真。

(二) 单轨车辆模型的进一步整合

在整合单轨车辆模型时, 需要在空电联合制动控制模型中纳入空气制动模型、ADAMS机械模型、再生制动模型等, 建立列车联合制动模型, 随后研究列车制动性能。

1. 在空电联合制动控制模型中引入ADAMS机械模型

需要在文件夹中放置ADAMS机械模型和空电联合制动控制模型, 确保顺利进行联合仿真, 然后再按照相应的程序, 在计算机界面上输入相应的参数^[3]。各个参数均输入之后, 将代表ADAMS机械模型的adams-sub模型向空电联合制动控制仿真模块中复制。

2. 在空电联合制动控制模型中引入再生制动模型

再生制动模型在引入到空电联合制动控制模型的过程中, 数据在接口之间的传递需要尤为注意。比如列车制动力向电机制定转矩的转化, 列车速度向电机转速的转化, 随后计算电机再生制动仿真。

3. 在空电联合制动控制模型中引入列车控制制动力和运行中阻力

其中整合的具体方案见表1所示。

表1 整合方案分析

10 km/h < v ≤ 80 km/h	电制动+空气制动+列车阻力
0 km/h < v ≤ 10 km/h 0 km/h	空气制动+列车阻力 制动力为0

三、单轨车辆制动性能的研究

城市轨道交通中重要的组成部分就是单轨车辆。单轨车辆与大铁路制动的异同之处主要表现如下: 首先是国际中规定大铁路紧急制动距离为800 m, 单轨车辆的紧急制动距离为180 m; 第二点是城市轨道交通的制动方式较为单一,

*通讯作者: 胡彪, 1970年3月, 男, 汉族, 四川安岳人, 现任重庆市轨道交通(集团)有限公司车间副主任, 中级工程师, 大专。研究方向: 轨道交通(车辆)。

空电联合是经常采用的制动方式^[4]；大铁路的制动方式则较为多样；第三点是城市轨道交通对于列车的减速度和加速度有较高的要求，其原因是交通站间距较短导致，而大铁路的要求则相对较低；最后一点是城市轨道交通对到站停车的位置和时间点有明确的规定，误差要保证在20 cm之内，因此对列车司机和制动系统均要求较高，而大铁路则要求较低。

(一) 制动性能指标

1. 制动距离

列车制动距离的计算是制动性能评价中非常重要的指标。司机将制动手柄放置于制动位的瞬间直到列车停止瞬间所经过的距离，该距离被称为制定距离。制动距离可以对制动装置的性能和实际制动效果进行反应^[5]。单轨车辆制动距离的计算同样也分为空走过程和制动过程。其中列车施行制动到闸片压力突增的一瞬间为空走过程，时间、距离分别是空走 t_k 、 S_k ，压力在有效制动期间，突然增加到停止，时间是有效制动时间 t_e 、距离是有效制动距离 S_e 。因此计算制动距离公式如下， $S_h = S_k + S_e$ 。

2. 制动减速度

单轨列车制动性能评价指标之一就是制动减速度，我国对列车的制动减速度有明确的规定，列车制动过程中的制定减速度要合适，不能太小也不能太大^[6]。因为在制动减速度较小的情况下会影响到单轨列车的制动力，降低制动力，对原有制动距离产生影响，使得列车停止难以在完全制动距离内发生。制动稳定性和列车、乘客安全性与制动减速度有直接的关系，制定减速度较大上述环节均得不到保障，此外列车在高制动位工况中可能出现抱死和滑行问题，增加车轮磨损程度，难以保证车轮的使用寿命。由此可见，列车的制动性与制动减速度有密切的关系^[7]。

3. 列车再生制动产生电流对电网影响

1~2公里是轨道交通站常见间距，该间距下会增加列车启动和制动频率。据有关资料显示列车在启动和制动的一瞬间消耗的能力是较大的，可以达到牵引能力的30%，甚至更多。列车发车密度低时，直流电网中传入的能量较大，电网稳压受影响^[8]。期间影响最大的就是谐波波动，针对此种问题就需要在吸收电压波动时采用电阻，将电网网压受列车再生制动的影影响降低。

(二) 单轨车辆制动过程分析

运行速度和计算机内存会影响Simulink仿真。本文研究中的初始运动时刻的列车，运行速度为80 km/h，运行状态为平稳运行，随后分析八个等级制动能力，且仿真分析的是列车在30 s内的制动情况，探究单轨车辆制动减速度、制动距离、车辆运行速度以及制动力之间的关系。

(三) 单轨车辆制动要求

单轨车辆制动要求为：

- 1. 80 km/h为制动初速度。
- 2. 180 m左右为紧急制动距离。
- 3. > 1.25 m/s²为紧急制动减速度。

(四) 制动性能仿真

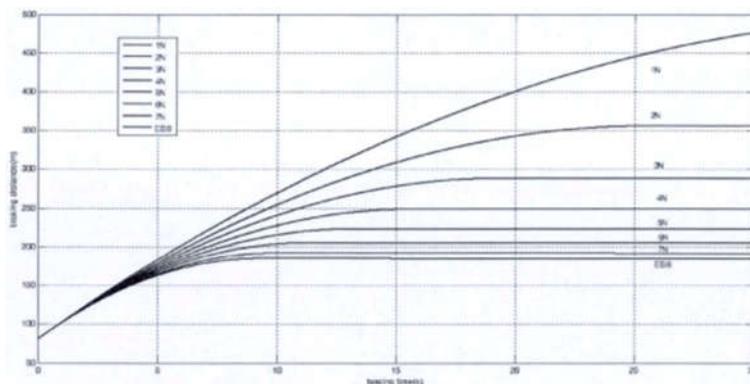


图1 单轨车辆不同制动等级下的制动距离与时间

对单轨车辆制动性能仿真研究中需要借助Simulink空电联合制动模型，对其八个制动工况进行分析，将得出的数据保存在To Workspace中，然后借助plot命令将制动减速度、制动距离以及制动力结果在一张图中表示出来，方便分析。其中单轨车辆不同制动等级下的制动距离与时间的关系见图1。

从上图中可以看出，列车在初始状态，0并不是曲线的开始，其原因与单轨车辆空走阶段有关，因此为了便于计算，需要将列车空走距离加在制动距离基础上。当单轨车辆为AW3载重时，80 km/h为制动初始速度，在制动等级逐步加强的过程中，列车制动距离呈现出逐渐缩短的趋势。

单轨车辆在八个制动等级下制定速度仿真图如图2所示。

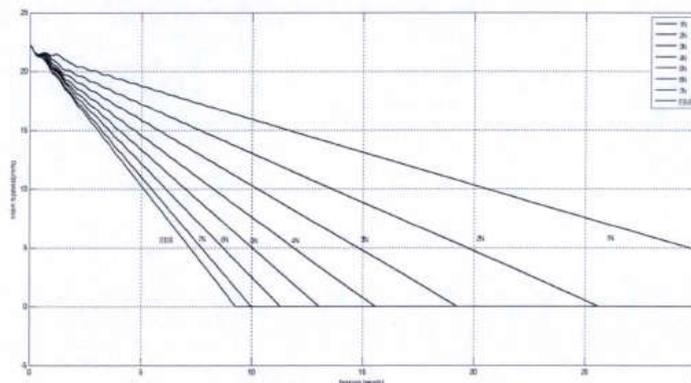


图2 不同制动等级下速度与时间的关系

分析上图可见，计算机运行速度和内存会影响空电联合制动仿真中的单轨车辆，当为1为单轨车辆制动等级时，列车到了30 s的限制时间时的速度没有达到0/s。分析曲线整体趋势，可以发现制动等级为1时的速度曲线，对单轨车辆制动分析的影响不明显^[9]。制动单轨车辆，制动力的增加会在一瞬间，受橡胶轮胎的干扰，一开始的速度曲线存在一定抖动，但是变为平稳状态所用时间较短。逐步加强制动等级，单轨车辆的制动速度下降幅度不断增加，最终车辆变为停止状态。

单轨车辆在八个制动等级下制动减速度仿真图见图3。

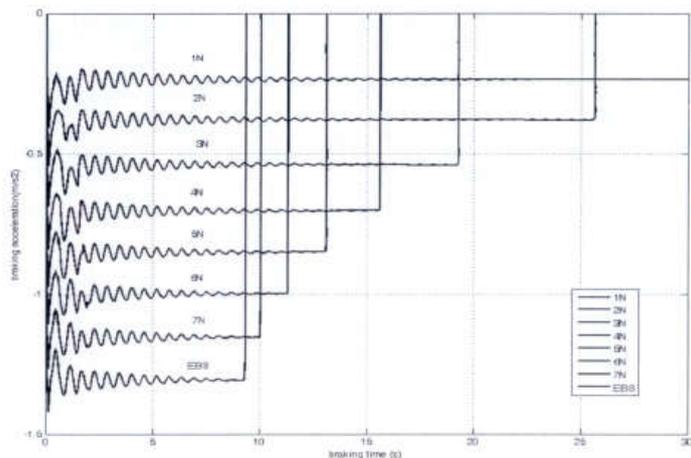


图3 不同制动等级下制动减速度与时间的关系

从上图中可以看出，单轨车辆在空电联合制动仿真中，受某种原因的影响，1为车辆制动等级，规定时间内单轨车辆的速度难以满足规定要求，因此减速度在制动时间内均存在。其他制动等级，在30 s内速度均下降到0 m/s，制定减速度也下降到0 m/s²。此外受走行轮轮胎和瞬间施加列车制动力的影响，制动减速度在单轨车辆制动初始状态有一定的抖动，随后在一段时间内，列车的制动减速度逐渐平稳。

单轨车辆在八个制动等级下制动力仿真图见图4。

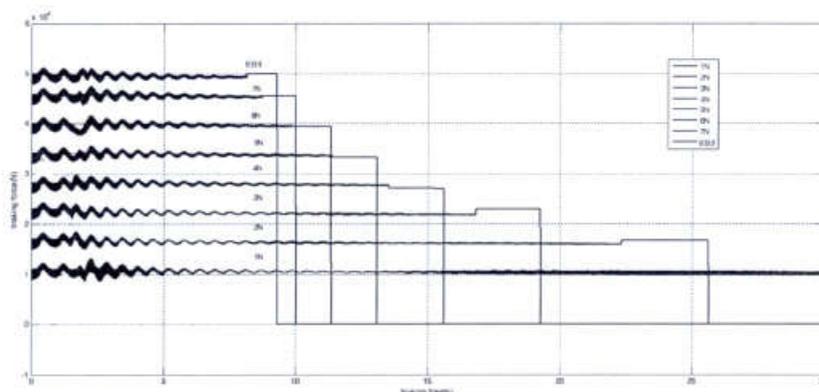


图4 不同制动等级下制动力与时间的关系

从上图中可以看出，单轨车辆在空电联合制动仿真中，所施加的制动力是非常快的，加上走行轮受到橡胶轮胎的影响，不利于保障单轨车辆制动的稳定性。但是过一段时间后，单轨车辆稳定性在规定制动时间内逐渐增强，最终停止。但是中间的曲线，空气制动力的设置有待合理，期间制动力存在较小幅度的跳跃，增加了列车制动的不稳定性。

四、结语

综上所述，在轨道交通车辆中，列车能否及时准确到达目的地与制动系统性能有关，并影响列车运行安全性，关系乘客生命安全。在试验周期长且成本高是新造列车制动性能的试验验证的不足，于是虚拟系统的仿真应运而生，可以及时发现列车制动过程出现的问题，减少试验中问题发生概率，缩短试验验证时间，节约试验成本，保证列车运行可靠性。人们在生活水平不断提高的背景下逐渐接受能源节约的理念，且对能源高效利用更加关注。以上就是本文对单轨车辆制动性能仿真的研究情况，发现此种仿真模式可以将开发周期明显缩短，并降低成本，对于系统性能的进一步优化具有重要作用。

参考文献：

[1]张舒阳.安装电涡流缓速器的高速重载履带车辆制动性能仿真研究[J].机械管理开发, 2019,34(04):49-52.

[2]王治颖.跨座式单轨车辆制动盘热负荷性能研究[D].西南交通大学, 2019.

[3]刘修宇,曹青青,陈嘉颖,黄晓明.基于轮胎滑水与摩擦能量耗散的潮湿沥青路面车辆制动行为模拟(英文)[J].Journal of Southeast University(English Edition), 2018,34(04):500-507.

[4]王伟波,段继超.跨座式单轨车辆制动系统集成设计[J].技术与市场, 2018,25(10):33-35.

[5]王治颖,李芾,牛悦丞,冯一凡.跨座式单轨车辆制动盘温度场分析与改进[J].电力机车与城轨车辆, 2018,41(05):57-61+71.

[6]黄晓明,曹青青,刘修宇,陈嘉颖,周兴林.基于路表分形摩擦理论的整车雨天制动性能模拟[J].吉林大学学报(工学版), 2019,49(03):757-765.

[7]吴若鹏.悬挂式单轨车辆制动盘设计及仿真分析[J].铁道车辆, 2017,55(11):20-23+50.

[8]朱文良,吴萌岭,田春,左建勇.基于多学科协同分析的轨道车辆制动系统集成化仿真平台[J].交通运输工程学报, 2017,17(03):99-110.

[9]徐焱,王月明.悬挂式单轨车辆制动盘模态分析[J].机车电传动, 2016(06):95-98.