

基于神经网络工具箱的汽车刹车距离预测模型

张硕

山东科技大学 山东青岛 266000

摘要：根据汽车紧急制动系统的相关原理，通过BP神经网络建立刹车距离预测与优化模型，提高车辆的制动性能和驾驶安全性。通过分析制动力、刹车距离与速度、车辆质量等因素的关系，将其转化为数学模型，进而优化紧急制动系统设计和制动控制策略。通过实验验证和计算仿真，评估模型的准确性和实用性，并提出相应的优化建议。

关键词：BP神经网络；AEB；刹车距离；距离预测

自动紧急制动系统（AEB）是一种重要的汽车被动安全技术^[1]，用于在发生紧急情况时自动减速或停止车辆，以避免碰撞或减少碰撞伤害^[2]。主要由三大模块构成：环境感知模块、数据分析决策模块和制动模块^[3]。其中测距模块的核心包括微波雷达、人脸识别技术和视频系统等，它可以提供前方道路安全、准确的图像和路况信息。

汽车AEB系统利用测距传感器测出与前车或者障碍物的距离，然后利用电子控制单元将测出的距离与报警距离、安全距离等进行比较，小于报警距离时就开始报警提示。而小于安全距离时即使在驾驶员没来得及踩制动踏板的情况下，系统也会启动，使汽车自动制动，从而为安全出行保驾护航，图1所示是汽车AEB系统的工作过程。

仿真平台搭建

CarSim是专门针对车辆动力学的仿真软件，主要用来预测和仿真汽车整车的操纵稳定性、制动性、平顺性、动力性和经济性^[4]，同时被广泛地应用于现代汽车控制系统的开发。CarSim可以方便灵活地定义试验环境和试验过程，详细地定义整车各系统的特性参数。

CarSim软件主要包含三个部分，即前处理、求解器设置和后处理^[5]，如图2所示。

1) 在前处理部分，用户可以设置车辆的整车参数，包括空气动力学参数、传动系参数、悬架参数、车体质量、路况和最大附着系数等。同时，用户还可以设置传感器的安装位置和角度等参数。

2) 在求解器设置部分，用户可以设置仿真时间、

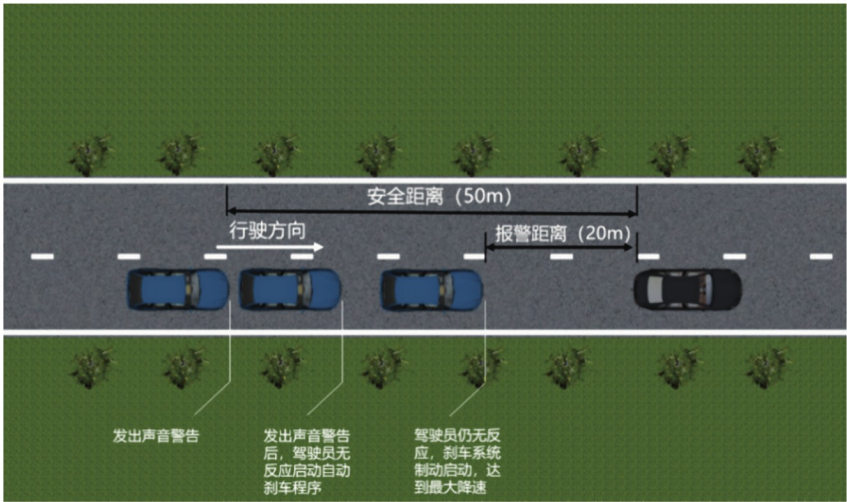


图1 汽车AEB工作系统

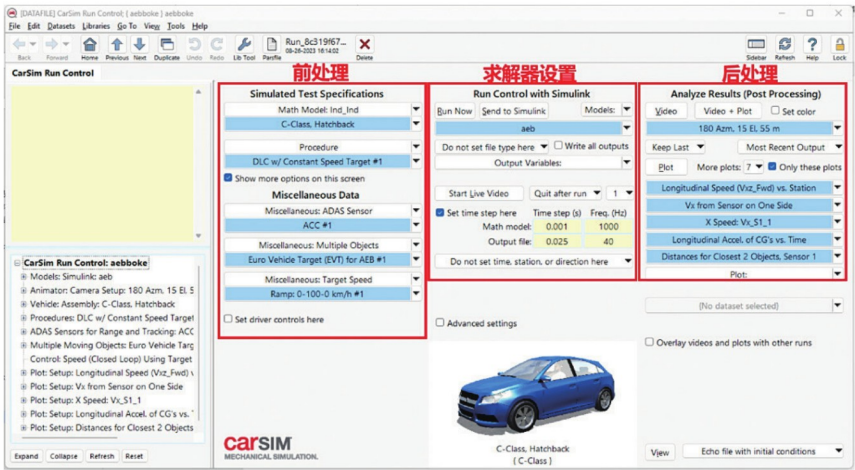


图2 CarSim软件操作界面

仿真步长等参数，并可以改变仿真接口以及与Simulink的联合仿真。

3) 在后处理部分，用户可以观察车辆的运动状态以及其运动过程中各参数的变化曲线，例如车辆速度、距离前车的距离和加速度等参数。

1. 虚拟场景建立

为了建立车辆AEB紧急制动系统的有效性应用，选择了三种不同工况进行测试，分别为改变本车质量（1270kg、1170kg、1070kg及1000kg）、改变本车驾驶速度（40km/h、50km/h、60km/h及70km/h）和改变前车速度形态（静止、持续加速、持续减速、先加速后减速及先减速后加速）。将以上三种条件进行自由

组合，共80种模拟工况，传感器感知距离50m，考虑路面状况良好，设置路面摩擦系数为0.85。基于CarSim搭建上述虚拟测试场景，如图3所示。

2. 控制模型

本节研究的主要重点是不同工况下车辆对前方车辆的制动情况。

为了简化分析，只需要关注车辆的制动功能，而不需要详细分析其他功能。在CarSim软件中，将本车的速度设置为恒定速度，而前方车辆的速度设置为不同的速度变化。通过输入接口，可以输出CarSim所需的制动压力。感知模块将车辆行驶信息传递给上层控制。当车辆处于危险工况时，期望的制动减速度会转

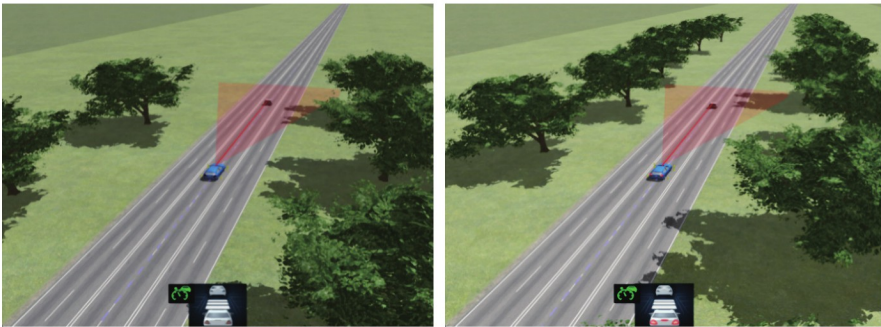


图3 虚拟测试场景

换为制动压力。

仿真结果分析

通过上述仿真平台的搭建，对相关的仿真结果进行如下分析。图4~图7中ABCD分别代表车速设置为40km/h、50km/h、60km/h和70km/h。

1.前方车辆静止

前方静止场景主要出现在交叉路口、路边临时停车及车辆发生故障后没有及时发现等场景，因此在该场景下将本车车速设置为40km/h、50km/h、60km/h和70km/h四种不同速度的测试情况，分别对应着图4所示中的A、B、C和D。

通过仿真测试可以看出，同样的测试工况，当车体质量越大时，在制动压力一定的情况下，车体质量较大的车辆具有更大的惯性，制动的时间越长，其制动距离也会越长。

通过图4可以发现：当车速为40km/h，本车制动未触发二级制动（15MPa），当本车车速大于40km/h时，本车与前方车辆之间的距离小于预设的20m，因此触发了二级制动，对车辆进行紧急制动。当车速达到70km/h时，需要更长距离的传感器和制动时间，以防止AEB系统不能完全的制动，从而发生事故。

当车体质量为1270kg时，发现本车车速维持在70km/h时，车辆减速到0km/h时，车辆距离前车位置为1.13m，未与前车发生碰撞行为。

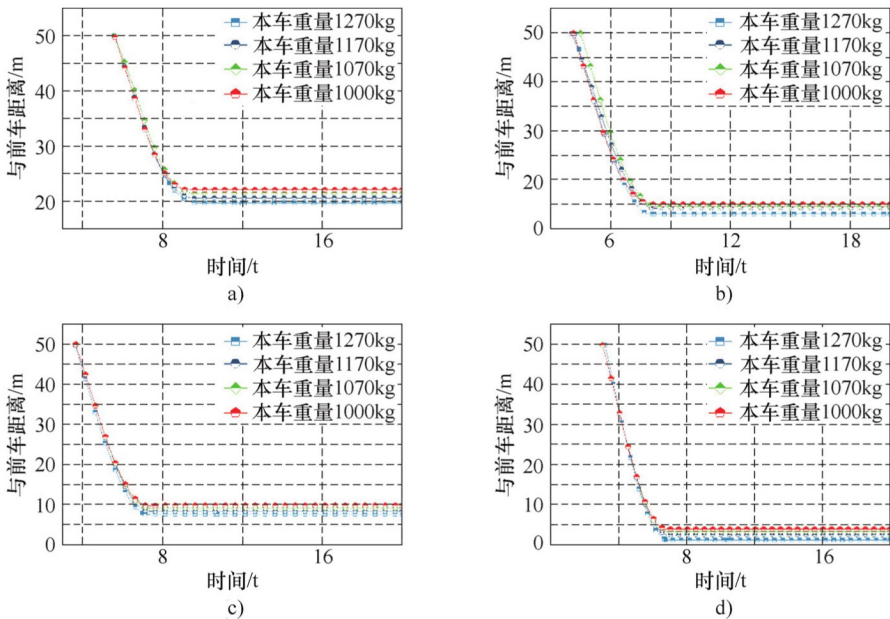


图4 前车静止状态相对距离

2.前方车辆减速

从图5中可以看出，由于前方车辆车速从40km/h缓慢减速到20km/h，因此不同速度情况下传感器检测到前方车辆的时间不同。检测到前方车辆时，由于本车速度大于前车速度，因此与前车之间的距离逐步减少，AEB系统开始制动减速，制动压力为3MPa，防止与前车进行相撞。从图5可以看出，与前车静止状态不

同的是与前车之间的距离永远保持在20m以上，未采用15MPa的制动压力进行制动，车辆在制动结束后，速度变慢，因此与前方车辆的距离继续增加，从而车辆继续按照70km/h的速度行驶，呈现如图5所示的波浪状距离图形。后续与前方最大距离相对于上次制动距离呈现减少趋势，最小距离呈现出增大趋势。

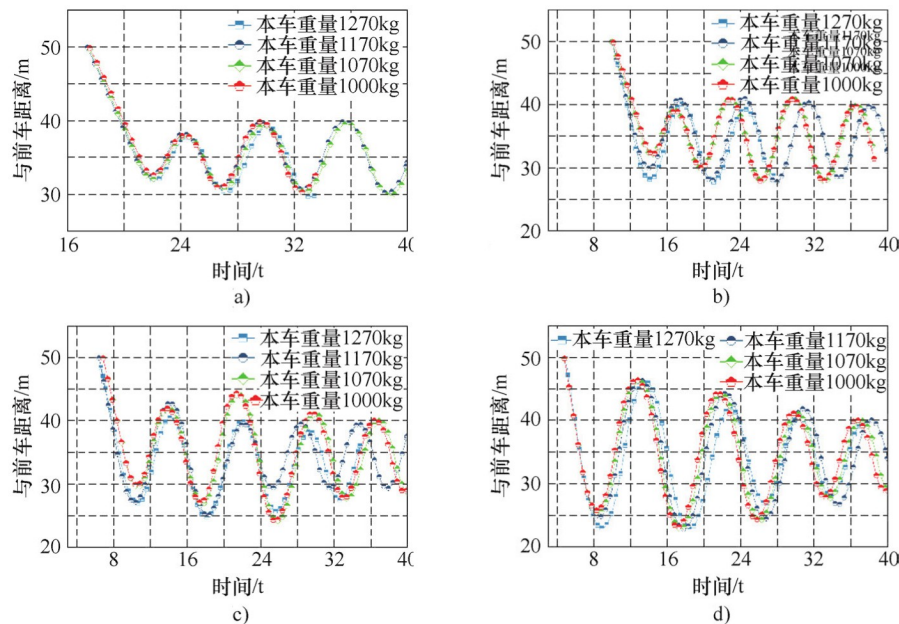


图5 前车减速状态相对距离

3.前方车辆加速

当前车速度从20km/h逐步增加到50km/h，而本车车速为40km/h时，可以看出汽车的制动距离相对于其余速度值较少，制动距离为17m，并随着前方车辆的不断加速，其制动距离变化越来越小，在20s后，前车速度达到40km/h时，可以发现本车与前车之间的距离逐渐增加，传感器感测不到前方车辆。

当本车行驶速度大于前车加速状态最大速度时，其相对距离变化曲线呈现为非线性，当本车持续速度越大时，其制动距离越长。当其处于同一种速度时，可以看出，虽然设定的持续速度一致，但由于车体质量不一样，其遇到前车时的速度状态和时间不一样，与前方车辆的相对距离会有所差别。

图6所示中本车质量为1270kg，设置车体速度保持不变，但由于车体质量增加，其相较于其余三种情况遇到前车的时间更长，前车速度处于不断加速状态，

因此其相对距离缩小较慢，最小相对距离也会相应的增大，最小相对距离为27m。如图6中c和d所示，当速度增大时，其制动效果相较于速度较慢时，相对距离波浪状图形更加明显，表明AEB系统正在反复进行运行，从而可以提醒驾驶员进行手动车辆控制，以防止AEB系统的过度使用。

4.前方车辆变速

变速状态是指前方车辆在行驶过程中的加速度和减速度。这个变速状态会影响车辆与前方车辆之间的相对速度和距离。变速状态主要分为以下两种情况：先加速后减速和先减速后加速。

(1) 先加速后减速 本车速度为40km/h时，与前车的距离未低于30m以下，且只有一个波浪阶段，由于前车从10km/h开始加速，15s后加速至40km/h，可以看出本车与前车之间的距离在减少，当其前车速度增

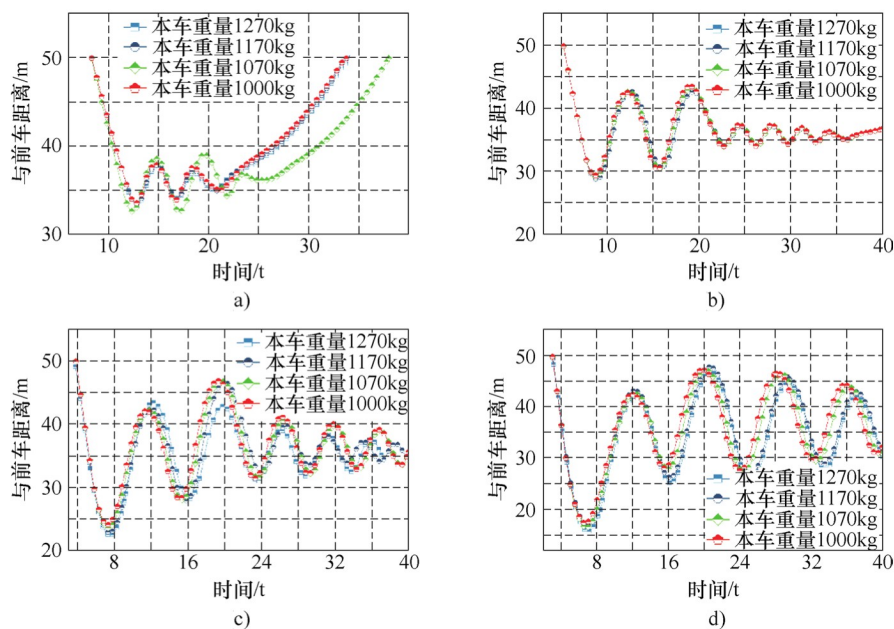


图6 前车加速状态相对距离

大，传感器检测不到前方车辆，因此在20s后，相对距离大于50m，图7a中并未显示相对距离。

由图7b、c中可以看出，在前方车辆先加速后减速的状态下，16~28s阶段的相对距离会呈现出一个大波浪形状，是因为本车车速与前车加速后的最大速度近似，传感器仍然能够检测到前方车辆，且由于车速变化不大，因此相对距离变化幅度相较于前后两段较

少。

从图7d可以看出，当本车速度较大时，在16~28s之间，由于16s之前车速较快，汽车制动压力升高，因此与前车之间的相对距离较短，后续前车加速行驶，本车车速逐渐缓慢提高，相对距离逐步增加到50m以外，但由于前车最大加速未超过本车的设置速度，因此在一段距离之后，两者之间的又在逐步缩小，并利

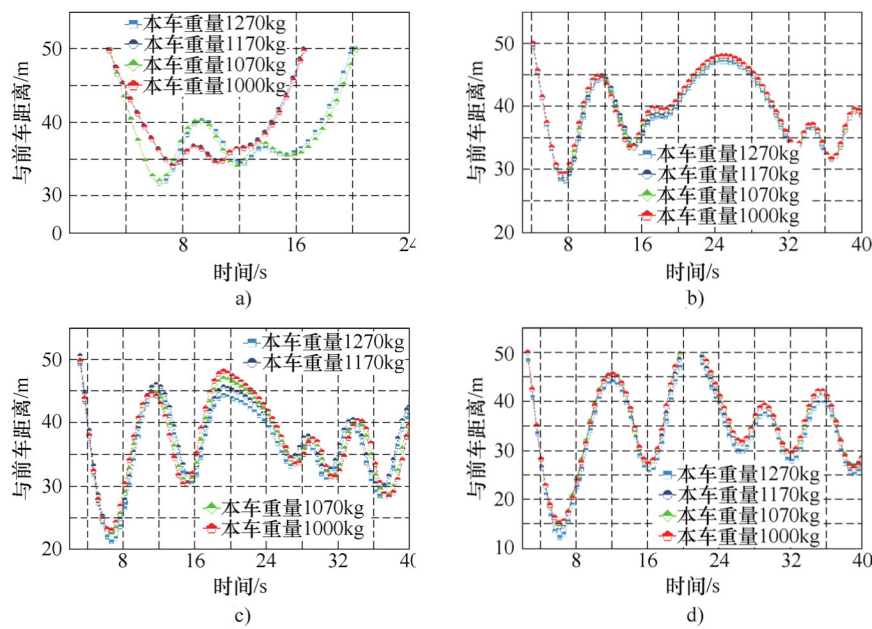


图7 前车先加速后减速状态相对距离

用制动进行减速。

(2) 先减速后加速 从图8a可以发现：车辆在驾驶过程中，几种不同车辆质量遇到前车相对距离几乎重合，由8b、c、d三个图形可以看出，本车速度增大后，车体质量对于刹车距离存在影响，并且当车速达

到70km/h、车体质量为1270kg时，刹车距离大幅度增加，发生碰撞的危险程度从而加大。并且当本车速度增大时，遇到前车的次数增加，AEB系统多次工作，从而多次提醒驾驶员进行减速，防止事故的发生。

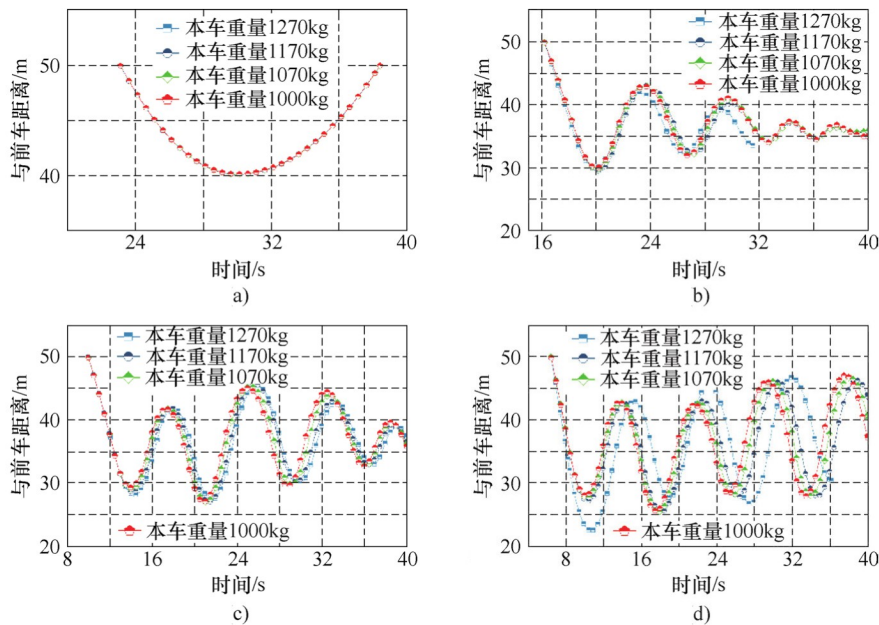


图8 前车先减速后加速状态相对距离

BP神经网络分析

1.BP神经网络建模

BP神经网络中，是由输入层神经元负责接收外界信息，然后将其传给中间各层神经元。中间层神经元对信息进行处理和变换，根据最终结果的需求，中间层可设计为单隐层或者多隐层结构；最后一层隐层将信息传递到输出层，后输出信息处理结果。若结果并不符合期望，再进行反向传播。误差通过梯度下降的方式不断调整各层权值，重新重复前面的过程，该过程一直持续到神经网络误差减少到期望值时方可停止，也可单独设置学习次数^[6]。

网络结构为5个输入单元，多个隐含层，一个输出单元，输出单元为汽车在自动紧急制动系统下的汽车刹车距离，本文的BP神经网络结构如图9所示。

在BP神经网络中，首先有数据集，本文主要通过选择“前车速度”“本车最大速度”“本车减速速度”“刹车时间”和“车体质量”五要素作为车辆刹

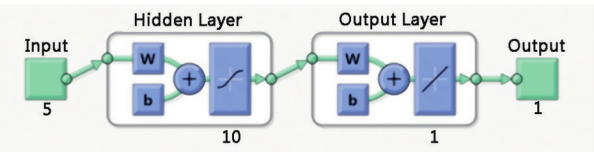


图9 BP神经网络结构

车距离预测模型，即该神经网络的输入层神经元要有这五个要素。

本文在进行模型构建时，着重选择与刹车距离相关的因素作为输入神经元，这样才能有效的使模型反映出车辆行驶过程中的刹车距离。同时，该模型通过一组验证数据样本提高了其泛化能力，从而防止了训练样本的过拟合。

2.BP神经网络的训练

选用MATLAB中的BP神经网络工具箱进行训练，训练算法采用Levenberg-Marquardt函数，训练集、验证集、测试集分别为总训练集的70%、15%和15%，隐藏层层数从1到20，分别进行训练，训练结果如图10所

示。

最终发现，当隐藏层层数为10时，训练结果最为理想，BP神经网络在12次迭代过程中不断的收敛，对训练样本和验证样本进行拟合误差检验的性能损失函数不断减小。在第6次迭代时，验证样本的最佳性能为0.001 280 4，该模型的性能损失函数与迭代次数之间的关系图线如图11所示。

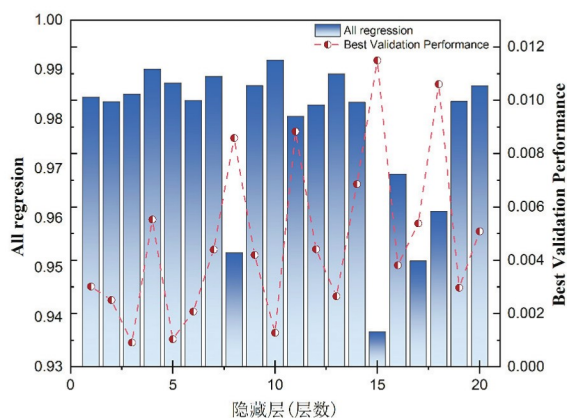


图10 不同隐藏层训练结果

通过图12中R系数（预测输出与目标输出之间的相关性）可以看出：该模型训练集的R值为0.999 02，总体的R值为0.991 99。其预测与输出数据之间的关系密切，符合测试精度要求，对其进行保存，方便后续的验证分析。

从表1可知，预测值与测试真实值之间的误差在0.6m以内，相较于回归分析，更加精确的对本车刹车

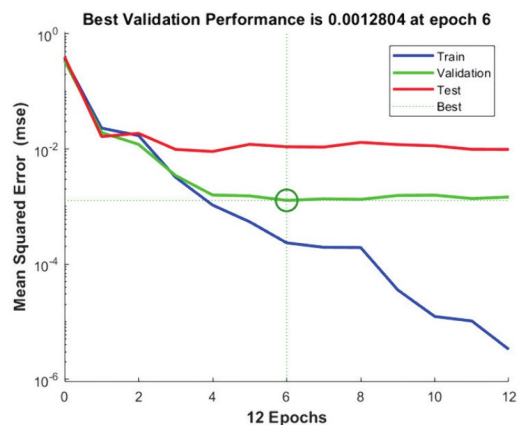


图11 性能损失函数与迭代次数关系

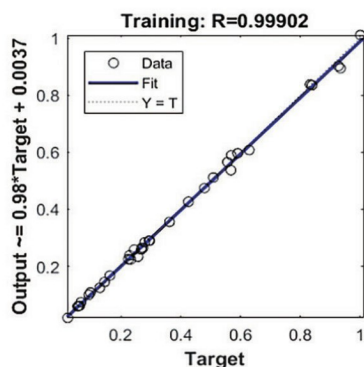
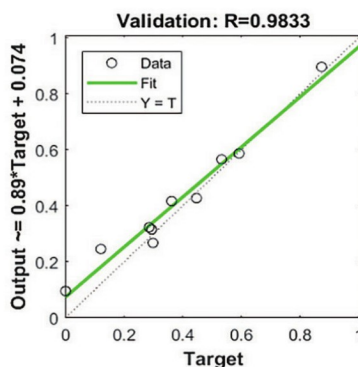
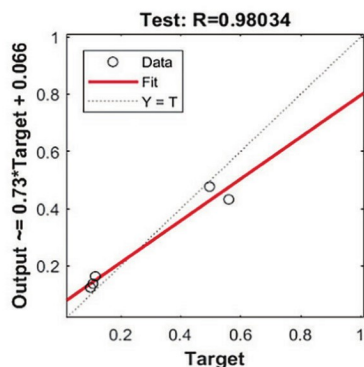
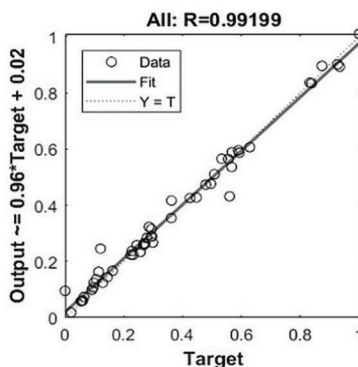


图12 R系数（预测输出与目标输出之间的相关性）

表1 验证分析

序号	预测值 /m	测试真实值 /m	本车设定速度 / (km/h)	本车减速速度 / (km/h)	前车速度 / (km/h)	本车质量 /kg	刹车时间 /t
1	33.177 9	34.680 48	70	27.17539	27.25	1270	3.95
2	37.892	36.205 08	70	22.60318	22.45	1170	3.55
3	18.584 4	18.021 31	40	22.70048	22.3	1070	3.525
4	28.017 6	27.699 18	60	23.30459	23.3	1070	3.425
5	27.543 9	27.166 17	60	22.81135	23.15	1000	3.325

距离进行了预测。

结语

本文通过CarSim软件建立了车辆AEB系统虚拟测试场景，选择了三种不同工况进行测试，建立主车雷达模型，然后利用CarSim建立了车辆动力学模型，利用MATLAB/Simulink对车辆AEB系统进行节气门制动压力控制，搭建了CarSim/Simulink联合仿真平台，基于以上不同场景对AEB系统进行了仿真模拟和结果分析。对仿真过程的相对距离、速度、节气门开度进行仿真结果分析。并对刹车距离、本车速度、前车速度、本车质量及刹车时间进行了BP神经网络分析，得出刹车距离与其余几者之间的关系，其误差在允许误差之内，为0~1.5m。

参考文献：

[1] 舒红，张光琛，何杉，等.汽车自动紧急制动系统控制研究[J].公路交通科技，2023，40（7）：216-223，230.
[2] 李月明，商思义，王鹏翔，等.碰撞试验中自动紧

急制动过程模拟方法的探讨[J].汽车零部件，2023（5）：13-17.

[3] 齐伟.浅析AEB自动紧急制动系统[J].汽车维修，2023（1）：13-20.
[4] 孟育博，赵科，郭鹏，等.基于CarSim的垂直泊车系统仿真研究[J].河南工程学院学报（自然科学版），2023，35（3）：41-46.
[5] 张驰皓，施卫，秦忆南，等.基于模型预测控制的智能车辆纵向控制研究[J].专用汽车，2023（5）：20-22.
[6] Wang Q， Wu B， Zhu P， et al. ECA-Net： Efficient Channel Attention for Deep Convolutional Neural Networks[C]// 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition（CVPR）. IEEE， 2020. **AUTO1950**