

# 一、毕业设计（论文）课题背景（含文献综述）

## 1.1 自动紧急制动系统（AEB）的背景

随着我国经济的不断增长，人民的物质文化生活也得到极大地改善，汽车作为现代生活不可或缺的交通工具，越来越多的走入寻常百姓家。2009 年我国汽车产销量突破一千万辆，双双跃居世界第一。到 2017 年，我国汽车年产销量分别达到 2901.5 万辆和 2887.9 万辆，连续九年位居世界第一。然而，伴随着汽车产业的发展，环境问题、能源问题和行车安全问题亦日益凸显，成为社会各界关注的焦点。

在享受汽车带来的生活便利之外，交通事故带来的人民生命、财产损失却不容忽视。根据《中国统计年鉴 2013 交通事故情况》，2012 年全国共发生交通事故 204196 起，死亡 59997 人，受伤 224327 人，共造成直接经济损失近 11.75 亿元<sup>[1]</sup>。美国国家高速公路安全委员会（NHTSA）的调研表明，在道路交通致死事故中，因驾驶员过失造成的约占 90%，而因车辆故障造成的仅占约 3%<sup>[2]</sup>。随着交通安全问题越来越凸显，传统的汽车安全理念也在逐渐发生变化，传统的安全理念，如安全带、安全气囊、保险杠等只能在事故发生后，减轻事故的破坏程度，并不能有效预防交通事故的发生。随着科技的进步，汽车的主动安全的研究逐渐成为热点。汽车自动紧急制动系统系统(Autonomous Emergency Braking)利用现代信息技术、传感技术来获取的外界信息(如车速、行人或其他道路信息等)，在紧急情况下，自动采取措施控制汽车主动避开危险，保证车辆安全行驶，从而减少交通事故，提高交通安全性。自动紧急制动系统对于提高行车的安全性、智能化具有十分重要的意义，而纯电动汽车是我国未来汽车产业发展的主要战略方向。因此，电动汽车自动紧急制动系统的研究对于汽车产业的发展，对于解决汽车安全、节能环保等问题，具有丰富的工程背景和深远的研究意义。

## 1.2 自动紧急制动系统（AEB）国外研究现状

汽车安全技术通常可分为主动安全技术（active safety technology）和被动安全技术（passive safety technology）。汽车被动安全技术无法预防车辆交通事故的发生，它只能在事故发生时通过安全带、安全气囊等系统来有效地保护驾乘人员，减轻冲击和损伤的程度。与被动安全不同，主动安全的作用时间是事故发生前，通过车载传感器等设备，预测事故的发生，同时采取适当的措施，如制动、转向等，避免事故的发生、减轻事故所造成的生命财产损失。90 年代以来，由于信息融合、电子控制等技术的发展，汽车主动安全技术得到了快速的发展。近年来，随着智能交通系统（ITS）的概念在全球的兴起，汽车主动避撞系统成为智能交通领域的重要研究内容。而自动紧急制动系统（AEB），正是主动避撞系统中最为重要的一部分。

在国外，自动紧急制动系统的研究已有多年的历史。最初针对自动紧急制动系统的研究集中于机器人、船舶、飞行器，直到汽车主动安全的概念不断发展，才开始应用于汽车。2003 年，西班牙人 José E. Naranjo 等将自适应模糊控制应用于车间距保持系统，取得了比传统控制方法更好的效果<sup>[3]</sup>。随后，在 2006 年，他们又将 ACC 系统与 Stop-Go 系统结合起来，通过油门和刹车模糊控制，模仿人的驾驶习惯，取得了良好的效果<sup>[4]</sup>。2011 年，David Fernández Llorca 等人，通过模糊转向控制进行了对汽车进行行人自动紧急制动系统研究，首先通过实验得到驾驶习惯和传感器灵敏度，再将数据应用于控制器的设计<sup>[5]</sup>。2014 年，日本的 Naoki Shibata 等人，将机器人动作研究中常用的速度势场应用于自动紧急制动系统的控制，即使是针对移动的障碍，也能够得到合理的避撞轨迹<sup>[6]</sup>。除了各科研团队，国外各大汽车公司也在主动自动紧急制动系统方面投入了大量的精力。在日本，自 1991 年起，由

企业、高校、政府联合成立了先进安全车辆（ASV）推进研讨会，长期开展 ASV 的开发、普及工作<sup>[7]</sup>。为了响应该计划，丰田、本田、三菱、日产等汽车公司都开展了汽车主动安全系统的研发，并取得了丰富的成果。丰田公司采用毫米波雷达和 CCD 摄像机对本车与前车的距离进行动态监测，当两车相对距离小于设定值时，系统将发出警报<sup>[8]</sup>。本田、三菱和日立等公司亦开发了基于扇形激光束扫描雷达或毫米波雷达的主动防撞系统。在欧美，汽车防撞系统的也得到了很好地发展。奔驰公司与英国劳伦斯电子公司联合开发的汽车防撞报警系统，其探测系统达 150 米，并且已经得到了实际的应用。福特公司的防撞系统工作频率为 24.725GHz，探测距离为 106 米，该系统能够根据转弯时的角度信息自动适应路面的转弯，避免非本车道障碍物的影响。

美国也已开始研究汽车主动安全技术与智能化驾驶技术，美国交通部已计划与通用公司联合研究避撞系统，该系统既能防止前方碰撞，也能防止本车的后方被追尾碰撞<sup>[9]</sup>。因为在商用汽车追尾乘用车的事故中，乘用车上人员受伤害情况较为严重，所以在文献中也研究了针对商用汽车（包括重型卡车、拖挂车和半挂车）的 AEB 系统应用。目前在美国，已经有 Dynamic Brake Support (DBS) 动态制动辅助用于重型车辆<sup>[10]</sup>。

欧洲也在研究车辆安全保障技术。欧洲开放基金 (Publicly Funded) 中主要研究内容集中在驾驶员的驾驶特性、传感器的环境感知、抬头显示、列队驾驶以及车车通讯等方面。欧洲委托基金 (Commission Funding) 正在支持纵向 (Longitudinal) 和侧向 (Lateral) 防撞研究<sup>[11]</sup>。

梅赛德斯奔驰的 PRE-SAFE Brake 系统<sup>[12]</sup>也是一种利用毫米波雷达实现测距的避撞系统。在高于 30km/h 的速度的情况下，使用驾驶员的输入来转向、节气门和制动、以及关于车辆的速度和旋转的动态数据，以确定是否紧急正在采取行动。如果汽车失去控制，系统使用可逆张紧器将安全带拉紧，并且如果认为车辆有侧面碰撞或翻转的可能，则系统会关闭电动车窗和天窗。如果驾驶员即将碰撞的情况下没有采取避撞动作，系统会在碰撞发生前 2..5s 进行制动。其中 Mercedes C-Class Coupe、Mercedes Benz C Class、Mercedes Benz E-Class 等车辆已经装配此系统。

德尔福集团推出一套集成了 50 项先进技术的集成安全系统 (ISS integration safety system)<sup>[13]</sup>。它包含了可以减少车辆碰撞，提高对乘员的保护。其目标是在行驶途中的任何时候（包括正常驾驶、预警、躲避碰撞、碰撞、碰撞后等）对提高对乘员的保护。

2015 年，斯堪尼亚在商用车型上也应用了主动安全技术，利用雷达和摄像头监控车辆前方道路。如果车辆即将发生碰撞，则该避撞系统会向驾驶员发出警报，如果危险依然存在，而驾驶员没有采取任何措施，则斯堪尼亚的 AEB 系统会自动实施制动，从而避免事故发生。在斯堪尼亚 Streamline R560 LA 6 x 2 MAN V8，斯堪尼亚 Streamline G480 LA 6 x 2 MAN 等重型卡车也已经开始装配 AEB 系统<sup>[14]</sup>。

本田在 2010 年发布碰撞减轻制动系统 (Collision Mitigation Brake System, CMBS)，该系统是利用雷达传感器测距的 AEB 系统<sup>[15]</sup>。当本车车速高于 15km/h 时，系统开始工作，雷达能够探测前方静态与动态的目标，当 CMBS 检测到本车即将发生碰撞时，会先警告驾驶员，如果驾驶员没有进行避撞动作，该系统会拉紧安全带并进行轻度制动，如果驾驶员依然没有采取避撞动作，系统将会进一步拉紧安全带并采取全力制动，避免或减轻碰撞事故的伤害。Honda Civic、Honda Accord 等已经装配这个系统。

2013 年斯柯达前方辅助系统可用来减轻或避免即将发生的追尾事故。在车的前方位置装有一个远距雷达，可以探测前方长达 80 米有可能发生碰撞到的车辆。前方雷达的信息与

风挡玻璃处的摄像头联合计算可能发生的碰撞。系统用计算确定危险点的方法,帮助驾驶员避免碰撞。首先,当系统计算有可能发生碰撞时,它产生一个视觉和听觉的警告并且准备预制动。如果驾驶员对警告没有反应,则系统产生一个震动警告,以提醒驾驶员做出反应。同时,系统也保持预制动,以便于驾驶员进行制动。如果驾驶员任然没有做出反应,则系统会实施自动制动以减轻碰撞。对于 30km/h 以上的工况,前方辅助系统会实施全力制动,系统会探测能探测运动或静止的物体。对于车速在 30km/h-80km/h 的工况,如果前方探测到一个静止的物体,则系统只会警告驾驶员而不会采取制动。对于探测到运动的物体时,在车速处于 30km/h-200km/h,系统会实施警告、部分制动、全力制动。

2014 年,宝马汽车公司发布行人检测和城市主动制动系统(Pedestrian Warning with City Brake Activation)<sup>[16]</sup>。当该系统检测到即将发生碰撞的行人时,系统警告驾驶员注意行人。这套系统是通过摄像头检测行人。当车速在 10km/h 到 60km/h 之间时,如果驾驶员对警报无响应,系统会自动制动。这套系统的功能是减少或避免低速行人交通事故。根据宝马汽车公司统计,此套系统能减少 20%-30%的危险事故。

### 1.3 自动紧急制动系统(AEB)国内研究现状

2002 年-2004 年,北京大学的侯德藻等人对汽车自动紧急制动系统中的关键技术及其报警算法进行了初步研究,随后又建立了应用于燃油汽车的自动紧急制动系统纵向动力学模型,通过实验得到一种新的驾驶员模型,通过最优跟踪理论设计了自动紧急制动系统控制器<sup>[17]-[20]</sup>。

2009 年,湖南大学的李诗福借助于 CarSim 软件强大的建模功能,建立了求取期望节气门开度和期望制动压力的逆车辆动力学模型,为汽车避撞控制系统研究做准备。进行了汽车避撞控制系统的安全距离模型的研究,提出了预警临界距离和制动临界距离两个模型,并进行了避撞预警算法的研究,规划了汽车追尾避撞的碰撞预警和碰撞避免算法。针对汽车的强非线性,他采用具有良好的自适应性和参数自整定功能的单神经元 PID 控制策略,设计了汽车避撞控制系统的单神经元 PID 下位控制器。为了满足汽车避撞控制系统的不同功能要求,他还分别设计了不同的上位控制器,并基于 Matlab 和 CarSim 软件环境进行了联合仿真,以验证所设计的算法的准确性。仿真结果表明所提出的算法能够符合汽车避撞控制系统的要求,可以为相关研究提供参考和借鉴。<sup>[21]</sup>

2010 年,湖南大学的刘冬在主动避撞过程中综合考虑车辆的稳定性,将车辆的主动避撞控制和稳定性控制作为一个整体系统,在仿真软件中建立两个控制子系统分别用于避撞控制和稳定性控制。从而初步保证车辆在避撞失稳时能够得到有效地稳定性控制干预,防止了车辆因为紧急避撞而引起的车辆失稳的危险情况出现。他通过对特定工况的仿真分析,得到车辆主动避撞与稳定性联合控制的结果。结果表明在车辆直行避撞工况下,联合控制一方面能够使车辆避开撞击,另一方面还能够保证车辆在制动以及转向过程中的稳定性,而且还间接地提高了避撞控制的效果<sup>[22]</sup>。

2011 年,吉林大学的杨凯和对自动紧急制动系统毫米波雷达进行了研究,在算法设计中,应用了傅里叶快速变化算法和 Kalman 滤波算法,并针对不同的车辆行驶工况应用了不同的目标模型。通过设计机动参数,对目标车辆进行分类,使用不同的模型并行处理。他在建模中应用了 CV 模型和 Singer 模型。在对相对速度的计算中,他没有使用传统的多普勒频移方法测量,而是通过距离信息的变化率,进行回归分析得到目标的速度,得到了一种优化的多模型估计算法,解决了单一目标模型不能适应车辆复杂行驶环境的问题,同时,通过回归分析的

方法,解决了依靠距离变化率的方法获得速度信息的问题<sup>[23]</sup>。

2014 年,吉林大学的胡蕾蕾针对四轮驱动电动汽车采用最优控制理论进行了自动紧急制动系统的研究,并通过 Micro Auto Box II 和 dSPACE 实验平台进行了仿真验证<sup>[24]</sup>。目前,我国在汽车自动紧急制动系统的应用方面与国外还存在很大的差距,主要表现在行车距离探测方面,缺少可靠地能够进行中远距离探测的测距仪器。2008 年 12 月,由南京理工大学长江学者陈钱教授带头研发的基于激光雷达探测的自动紧急制动系统通过了评审专家组的鉴定,才填补了我国在这一领域的空白<sup>[25]</sup>。

#### 1.4 基于虚拟仿真平台的 AEB 测试研究现状

2017 年,国内重庆理工大学的吕章洁在虚拟仿真平台 PreScan 上进行了汽车 AEB 系统控制算法研究。他利用 PreScan、CarSim、Simulink 软件联合仿真建立、分析、验证 AEB 系统控制算法,研究这一算法的对于能否及时准确无误的判断本车即将发生碰撞,并且警告及自动的做出制动。他首先从总体上分析汽车 AEB 系统的判断紧急情况、自动的应对危险情况、做出警告及制动的动作三个功能,又研究在汽车制动时的制动距离模型,对比不同的汽车 AEB 测试规则。他根据实车建立相应的车辆动力学模型,并且根据三个软件联合仿真对 CarSim 进行相应的配置。利用 PreScan 软件建立 AEB 测试场景与传感器,并且搭建驾驶员在环的汽车 AEB 系统测试平台。他分析了五种汽车安全距离模型并建立相应的 Simulink 模型,并且在 AEB 系统中验证对比五种安全距离模型的控制效果;包括同一条车道的追尾工况,同时他还研究了复杂的测试工况和相应的汽车 AEB 系统控制算法。他还对 TTC (Time to Collision 即碰时间)算法进行试验验证对比,并且为了提高 TTC 算法的避撞成功率,在仿真模型中优化验证 TTC 算法<sup>[26]</sup>。

在国外,Masahiro Yamaura 等人提出了一个改进 ADAS 设计和评估的闭环仿真框架。拟议的仿真框架由四个工具组成:Dymola, Simulink, OpenMETA 和 Unity3D 游戏引擎。Dymola 模拟在 Modelica 中编写的车辆动力学模型。Simulink 用于车辆控制软件建模。OpenMETA 提供了设计工具之间的横向集成。OpenMETA 还可以通过使用 PET (参数化探索工具)和 DSE (设计空间探索)工具来提高设计效率。Unity 提供了关键功能来实现交互式或闭环 ADAS 仿真,其中包含 ADAS 传感器模型,道路环境模型并提供可视化<sup>[27]</sup>。

## 二、毕业设计（论文）方案介绍（主要内容）

### 2.1 课题拟研究的内容

本课题以电动汽车自动紧急制动系统为研究对象，在汽车系统动力学和现代控制理论的基础上，针对电动汽车的特点设计电动汽车自动紧急制动系统的总体方案，以总体方案为指导，利用 simulink 和 OpenModelica 软件对整车系统建模、安全距离模型、控制系统等方面进行研究，并最终在 Unity3D 上实现城市环境模拟仿真测试。

### 2.2 安全距离模型

电动汽车自动紧急制动系统模型的建立是避撞控制的基础，而要实现避撞系统的控制功能就离不开对汽车安全状态的判定。其中，最主要的就是安全距离模型的建立。美国高速公路安全局（National Highway Traffic SafetyAdministration，NHTSA）数据显示，在所有追尾碰撞事故中，有 88%是由驾驶员注意力不集中和跟车距离过近引起的<sup>[28]</sup>。因此，本课题将对汽车制动过程及车辆在各种工况下的安全距离进行研究，建立适合电动汽车自动紧急制动系统的安全距离模型。

### 2.3 自动紧急制动系统（AEB）控制策略

电动汽车自动紧急制动系统作为一个控制系统，主要分为传感器、控制器和被控对象三个部分。其中，传感器即汽车自动紧急制动系统的信息采集系统，一般采用激光、微波、红外线、机器视觉等几种形式。本课题的主要研究内容是电动汽车自动紧急制动系统控制器和被控对象。控制器的主要作用是通过传感器采集到的环境道路信息以及自车行驶状态信息，确定期望加速度的大小。被控对象包括车辆逆纵向动力学模型及车辆模型（通过 OpenModelica 建立）。由逆纵向动力学模型将期望加速度转化为期望电机驱动力矩或期望制动压力，并将其施加于车辆动力学系统，以实现控制器的期望加速度指令，达到自动紧急制动的功能。

为保证电动汽车自动紧急制动系统的控制精度，本课题将采用分层控制的模式，在 simulink 中实现控制策略。在根据安全距离模型计算出期望距离后，上层控制器通过期望距离、实际距离与两车实际运动情况计算出期望加速度；下层控制器根据车辆动力学系统的传递特点，控制车辆按照系统的期望行驶，其控制输出为控制加速度。

由于自动紧急制动系统控制器最终输出量为控制加速度，而其执行器（电机和制动执行器）所需的输入量为期望扭矩和期望制动压力，这就需要建立电动汽车的逆纵向动力学模型，将期望的加速度转化为期望扭矩和期望制动压力。再经由电机和制动器，产生实际的驱动扭矩和制动扭矩施加给车辆动力学系统，实现上位控制器的期望加速度，从而实现电动汽车自动紧急制动系统的功能。

### 三、毕业设计（论文）的主要参考文献

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴 2013 交通事故情况[R].国家统计局,2013
- [2] 宋晓琳,冯广刚,杨济匡. 汽车主动防撞系统的发展现状及趋势[J]. 汽车工程,2008,04:285-290.
- [3] Naranjo J E, González C, Reviejo J, et al. Adaptive fuzzy control for inter-vehicle gap keeping[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 4(3):132-142.
- [4] Naranjo J E, González C, García R, et al. ACC+Stop&Go Maneuvers With Throttle and Brake Fuzzy Control[J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2006, 7(2):213 - 225.
- [5] Llorca D F, Milanés V, Alonso I P, et al. Autonomous Pedestrian Collision Avoidance Using a Fuzzy Steering Controller[J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2011, 12(2):390 - 401.
- [6] Shibata N, Sugiyama S, Wada T. Collision avoidance control with steering using velocity potential field[J]. Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE, 2014:438 - 443.
- [7] 蒋飞. 汽车主动防撞雷达系统的研究[D].武汉理工大学, 2006.DOI:10.7666/d.y860557.
- [8] 宫勤. 用于汽车防撞系统的小型高频激光测距机研究[D].南京理工大学,2007. DOI:10.7666/d.y1366663.
- [9] Haskitt P,Hampel R.Open Source Platforms Challenge Traditional Proprietary Ivi Systems[J] Sae International, 2012,01-0015.
- [10] Every JL,Salaani MK,Barickman FS, et al.Braking Behavior of Truck Drivers in Crash Imminent Scenarios[J].Sae International,2014,7(2):487-499.
- [11] Altendorfer Richard Wirkert-Sebastian Heinrichs-Bartscher-Sascha.Sensor Fusion as an Enabling Technology for Safety-critical Driver Assistance Systems [J]. SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems,2010,3:183-192.
- [12] Ueki Jumpei Tasaka-Sentarou Hatta-Yuji Okada-Hiromi.Vehicular-Collision Avoidance Support System(VCASS) by inter-vehicle communications for advanced ITS [J]. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences,2005:1816-1823.
- [13] .Collision Warning Systems 防碰撞预警系统[J].汽车与配件,2003:38.
- [14] 张颖. 斯堪尼亚推出中国 50 周年主动安全升级版车型\_张颖[J]. 汽车与配件,2015:33-34.
- [15] Zellner JW, Van auken RM, Chiang DP, et al. Extension of the Honda-dri “safety Impact Methodology”(sim) for the Nhtsa Advanced Crash Avoidance Technology (acat) Program and Application to a Prototype Advanced Collision Mitigation Braking System[J]. Sae International,2009,2(1):875-894.
- [16] .Mobileye 系统芯片 Eye Q2 和计算机视觉算法为宝马 1 系碰撞预警系统提供支持.汽车工艺与材料,2012,(2);38-38.
- [17] 侯德藻,李克强,郑四发,连小珉. 汽车主动防撞系统中的报警方法及其关键技术[J].汽车工程,2002,05:438-441+444.
- [18] 侯德藻,高峰,李克强,连小珉. 应用于汽车主动防撞系统的车辆纵向动力学模型[J].清华

- 大学学报(自然科学版),2004,02:258-261.
- [19] 侯德藻,刘刚,高峰,李国强,连小珉. 新型汽车主动避撞安全距离模型[J].汽车工程,2005,02:186-190+199.
- [20] 侯德藻. 汽车纵向主动避撞系统的研究[D].清华大学,2004.
- [21] 李诗福. 汽车避撞控制系统建模与仿真研究[D].湖南大学,2009.
- [22] 刘冬. 基于稳定性控制的车辆主动避撞初期研究与仿真[D].湖南大学,2010.
- [23] 杨凯和. 基于毫米波雷达的汽车主动防撞预警系统信号分析与处理[D].吉林大学,2011.
- [24] 胡蕾蕾. 电动汽车主动安全避撞控制系统研究[D].吉林大学,2014.
- [25] 佚名. 激光探测汽车主动防撞智能安全系统[J].激光与光电子学进展, 2009,(2):7-7.
- [26] 吕章洁. 汽车 AEB 仿真控制算法优化及验证[D]. 重庆理工大学, 2017.
- [27] Yamaura M, Arechiga N, Shiraishi S, et al. Adas virtual prototyping using modelica and unity co-simulation via openmeta[C]//The First Japanese Modelica Conferences, May 23-24, Tokyo, Japan. Linköping University Electronic Press, 2016 (124): 43-49.
- [28] Konstantinidis E I, Patoulidis G I, Vandikas I N, et al. Development of a collaborative vehicle collision avoidance system[J]. Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE, 2010:1066 - 1071.
- [29] 张立存.高速汽车弯道前方预警算法的研究:[吉林大学硕士论文].长春: 吉林大学,2004,5
- [30] Peter Seiler, Bongsob Song, J. Karl Hedrick. Development of a Collision Avoidance System. Society of Automotive Engineers. 98PC-417
- [31] 袁凯, 关伟. 城市快速路交通流车头时距分布特性分析[J].交通运输系统工程与信息, 2011, 11(6):68-73. DOI:10.3969/j.issn.1009-6744.2011.06.011.
- [32] 孔祥东,王益群.控制工程基础.北京:机械工业出版社,2015 年 5 月:117.
- [33] 张孝祖.车辆控制理论基础及应用.北京: 化学工业出版社, 2006., 96~100.
- [34] 张峰.线性二次型最优控制问题的研究, [硕士学位论文].天津: 天津大学, 2009.
- [35] GB/T 18386-2005,电动汽车能量消耗率和续驶里程试验方法[S].

四、审核意见

指导教师审核意见：（针对选题的价值及可行性作出具体评价）

指导教师签名\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

专业审核意见：

负责人签名\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日