

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学 号: 25320141151774

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于车辆动力学的单车道路安全分析和  
回归模型

Single Vehicle Road Safety Analysis and Regression Model

Based on Vehicle Dynamics

张巍

指导教师姓名: 孙璐 教授

雷鹰 教授

专 业 名 称: 工 程 力 学

论文提交日期: 2017 年 4 月

论文答辩时间: 2017 年 5 月

学位授予日期: 2017 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评阅人: \_\_\_\_\_

2017 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题(组)的研究成果，获得（ ）课题(组)经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

经过多年的发展，我国道路交通建设领域取得了巨大的成就，促进了国民经济的发展和社会的进步，但与交通建设的快速发展相比，当前道路安全水平的提高落后于道路建设速度。根据统计资料，多年来我国的道路交通事故和伤亡人数均高居世界前列，造成了巨大的经济损失，因此道路安全问题也成为社会关注的焦点。随着道路通车里程以及汽车保有量的持续增长，道路安全将面临更为严峻的挑战，因此急需对道路安全进行研究，从而为道路设计、施工以及运营管理提供建议，提高道路的行车安全水平。目前道路安全评价作为预防性地减少道路交通事故的方法，有效地提高了道路行车安全水平，并受到世界各国的重视，因此开展道路安全评价研究对于提高我国道路安全水平，促进道路交通行业和国民经济发展具有重要的意义。本文主要开展了以下研究：

(1) 根据牛顿运动定律和动力学理论建立了四轮八自由度整车模型的运动方程，在 Matlab\Simulink 中采用“魔术公式”轮胎模型建立车辆模型，同时在 CarSim 中设置相同的车辆参数，对比两种仿真模拟得到的车辆动力学响应。

(2) 本文采用 CarSim 软件进行人-车-路闭环仿真模拟，以美国道路安全信息系统(HSIS)中的华盛顿州 2006-2015 十年的道路事故数据为基础，通过对十年道路事故数据的整理分析，对轿车和运动型多用途汽车(SUV)在道路曲线段上的侧滑和侧翻事故开展研究。在 CarSim 中通过人-车-路闭环仿真模拟获取车辆在各个道路曲线段上的动力学响应，并考虑车辆动力学变量之间的相互联系，通过回归分析建立了轿车和运动型多用途汽车(SUV)基于车辆动力学变量的侧滑和侧翻事故率回归模型。

(3) 根据整理的轿车和运动型多用途汽车(SUV)的侧滑和侧翻事故数据，考虑道路因素以及道路因素之间相互联系对于道路安全水平的影响，通过回归分析建立了轿车和运动型多用途汽车(SUV)基于道路因素的侧滑和侧翻事故率回归模型。在此基础上，考虑车辆动力学变量对于道路事故率的影响，建立了基于道路因素和车辆动力学变量的道路事故回归模型。同时基于 CarSim 进行车辆动力学仿真模拟，分析了不同道路因素对于车辆动力学响应的影响。

**关键词：**车辆动力学；仿真模拟；回归分析；道路因素；道路安全

## Abstract

After years of development, road transport construction in China has gotten great achievement. That promotes the development of the national economy and social progress. However, compared with the rapid development of traffic construction, the current road safety level is behind the road construction. The current road safety level is behind the road construction speed. According to statistics, over the years, road traffic accidents and casualties are the highest in the world. That results in a huge economic losses, so the road safety problem has become the the great concern for society. With the road mileage and car ownership continuing to grow, road safety will face more serious challenges. So it is imperative to study road safety to advise for road design, construction and management to improve road safety level. The current road safety evaluation as a preventive way to reduce road traffic accidents, effectively improve the road safety level, and by the attention of countries around the world. Therefore, it is of great significance to carry out the study on road safety assessment to improve the road safety and promote the development of road traffic and national economy. This paper mainly carried out the following research:

(1) According to Newton motion law and dynamics theory, the motion equations of four-wheel-eight-degree-of-freedom vehicle model are built. This paper uses "magic formula" tire model to build vehicle model in Matlab \ Simulink. At the same time, this paper sets the same vehicle parameters in CarSim, and compares to the two simulation simulation of the vehicle dynamic response;

(2) In this paper, CarSim software is used to simulate the driver-vehicle-road closed-loop simulation. Based on road safety data in the Washington state 2006-2015 decade in the Highway Safety Information System (HSIS), through the analysis of road accident data, this paper researches the sideslip and rollover accident about the Car and Sports utility vehicle(SUV) on the road curve. The vehicle dynamic response is obtained on each road curve segment by driver-vehicle-road closed-loop simulation in CarSim. With considering the interconnection between vehicle dynamic variables, the regression models of sideslip and rollover accident rate based on vehicle dynamic variables for the Car and Sports utility

vehicle(SUV) were established by regression analysis;

(3) According to the sideslip and rollover accident data of the Car and Sports utility vehicle(SUV), the regression models of the Car and Sports utility vehicle(SUV) based on road factors were established by regression analysis, with considering the impact of road factors and interconnection between road factors on road safety. On this basis, considering the impact of vehicle dynamic variables on road accident rate, a road accident regression models based on road factors and vehicle dynamic variables were established. At the same time, The impact of different road factors on vehicle dynamic response is analyzed by CarSim vehicle dynamics simulation.

**Keywords:** vehicle dynamics; simulation; regression analysis; road factor ;road safety

## 目录

摘要.....	I
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.1.1 道路安全面临的的问题.....	1
1.1.2 道路工程的特点和采用车辆动力学的优势.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 道路安全评价的研究现状.....	2
1.2.2 车辆动力学与道路安全的研究现状.....	5
1.3 研究内容以及技术路线.....	7
1.3.1 研究内容.....	7
1.3.2 研究的技术路线.....	9
第二章 车辆动力学仿真建模.....	10
2.1 概述.....	10
2.2 基于 CarSim 仿真模型的建立.....	11
2.2.1 Carsim 仿真模拟软件介绍.....	11
2.2.2 CarSim 建模过程.....	12
2.3 基于 Matlab\Simulink 仿真模型的建立.....	14
2.3.1 道路模型.....	14
2.3.2 整车模型.....	15
2.3.3 轮胎模型.....	17
2.3.3.1 轮胎纵向力和侧向力计算.....	18
2.3.3.2 轮胎垂直力计算.....	19
2.3.4 驾驶员模型.....	21
2.4 CarSim 和 Matlab\Simulink 车辆动力学仿真分析.....	21
2.5 本章小结.....	26
第三章 单车车辆动力学分析的道路交通安全事故预测方法.....	27





<b>3.1 道路事故数据的整理</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2 人-车-路闭环仿真</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3 建立基于车辆动力学变量的道路事故回归模型</b> .....	<b>31</b>
3.3.1 车辆动力学变量与道路事故率之间的相关性分析.....	32
3.3.2 车辆动力学变量与道路事故率的回归分析.....	34
3.3.2.1 轿车车辆动力学变量与道路事故率之间的回归分析.....	35
3.3.2.2 运动型多用途汽车(SUV)车辆动力学变量与道路事故率之间的回归分析.....	37
<b>3.4 回归模型的优化</b> .....	<b>40</b>
3.4.1 轿车回归模型的优化.....	40
3.4.2 运动型多用途汽车(SUV)回归模型的优化.....	42
<b>3.5 本章小结</b> .....	<b>43</b>
<b>第四章 道路因素和车辆动力学变量对单车行车安全的影响分析</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 道路因素与道路事故率之间的相关性分析</b> .....	<b>45</b>
4.1.1 道路因素与轿车道路事故率相关性分析.....	46
4.1.2 道路因素与运动型多用途汽车(SUV)道路事故率相关性分析.....	46
<b>4.2 道路因素与道路事故率的回归模型</b> .....	<b>47</b>
4.2.1 道路因素与轿车道路事故率回归分析.....	47
4.2.2 道路因素与运动型多用途汽车(SUV)道路事故率回归分析.....	49
<b>4.3 考虑道路因素相互作用与道路事故率的回归分析</b> .....	<b>53</b>
4.3.1 轿车考虑道路因素相互作用与道路事故率的回归分析.....	53
4.3.2 运动型多用途汽车(SUV)考虑道路因素相互作用与道路事故率的回归分析.....	54
<b>4.4 考虑道路因素和车辆动力学变量的道路事故率回归模型</b> .....	<b>56</b>
4.4.1 轿车考虑道路因素和车辆动力学变量与道路事故率的回归分析.....	56
4.4.2 运动型多用途汽车(SUV)道路因素和车辆动力学变量与道路事故率的回归分析.....	58
<b>4.5 道路因素对于车辆动力学响应的影响</b> .....	<b>60</b>
4.4.1 道路超高对于车辆动力学响应的影响.....	60

---

4.4.2 道路坡度对于车辆动力学响应的影响.....	62
4.4.3 道路曲线半径对于车辆动力学响应的影响.....	63
4.4.4 道路转角对于车辆动力学响应的影响.....	65
4.5 本章小结.....	66
<b>第五章 结论与展望.....</b>	<b>68</b>
5.1 结论.....	68
5.2 展望.....	69
参考文献.....	70
致谢.....	76
附录 攻读硕士学位期间的科研成果.....	77

## Contents

<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Research Background and Significance .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Road Safety Problems .....	1
1.1.2 The Characteristics of Road Engineering and the Advantages of Using Vehicle Dynamics.....	1
<b>1.2 Research Status at Home and Abroad.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Research Status of Road Safety Evaluation .....	2
1.2.2 Research Status of Vehicle Dynamics and Road Safety .....	5
<b>1.3 Research Content and Technical Route .....</b>	<b>7</b>
1.3.1 Research Content.....	7
1.3.2 The Technical Route of the Study .....	9
<b>Chapter 2 Vehicle Dynamics Simulation Modeling.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Overview .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 The Establishment of Simulation Model Based on CarSim .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Introduction to Carsim Simulation Software .....	11
2.2.2 CarSim Modeling process .....	12
<b>2.3 The Establishment of Simulation Model Based on Matlab \ Simulink .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Road Model .....	14
2.3.2 Vehicle Model .....	15
2.3.3 Tire Model .....	17
2.3.3.1 Calculation of the Tire Longitudinal Force and Lateral Force.....	18
2.3.3.2 Calculation of the Tire Vertical Force .....	19
2.3.4 Driver Model.....	21
<b>2.4 Simulation Analysis of CarSim and Matlab \ Simulink Vehicle Dynamics.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Chapter Summary .....</b>	<b>26</b>



**Chapter 3 Prediction Method of Road Traffic Safety Accident for Single Vehicle Dynamics Analysis.....27**

**3.1 Road Accident Data Collation..... 28**

**3.2 Driver - Vehicle - Road Closed Loop Simulation ..... 30**

**3.3 Establishment of Road Accident Regression Model Based on Vehicle Dynamic Variables..... 31**

3.3.1 Correlation Analysis between Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate..... 32

3.3.2 Regression Analysis of Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate 34

3.3.2.1 Regression Analysis of Car Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate ..... 35

3.3.2.2 Regression Analysis of SUV Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate ..... 37

**3.4 Optimization of Regression Model ..... 40**

3.4.1 Optimization of Car Regression Model ..... 40

3.4.2 Optimization of SUV Regression Model ..... 42

**3.5 Chapter Summary ..... 43**

**Chapter 4 Impact Analysis of Road Factors and Vehicle Dynamic Variables on Single Driving Safety.....45**

**4.1 Correlation Analysis between Road Factors and Road Accident Rate ..... 45**

4.1.1 Correlation Analysis between Road Factors and Road Accident Rate about Car ..... 46

4.1.2 Correlation Analysis between Road Factors and Road Accident Rate about SUV ..... 46

**4.2 The Regression Model of Road Factors and Road Accident Rate ..... 47**

4.2.1 Regression Analysis of Road Factors and Road Accident Rate about Car ..... 47

4.2.2 Regression Analysis of Road Factors and Road Accident Rate about SUV ..... 49

**4.3 Regression Analysis of Road Factor Interaction and Road Accident Rate ..... 53**

4.3.1 Regression Analysis of Road Factors Interaction and Road Accident Rate about Car.....	53
4.3.2 Regression Analysis of Road Factors Interaction and Road Accident Rate about SUV.....	54
<b>4.4 Road Accident Rate Regression Model of Road Factors and Vehicle Dynamic Variables.....</b>	<b>56</b>
4.4.1 Regression Analysis of Road Factors and Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate about Car .....	56
4.4.2 Regression Analysis of Road Factors and Vehicle Dynamic Variables and Road Accident Rate about SUV .....	58
<b>4.5 Impact of Road Factors on Vehicle Dynamic Response .....</b>	<b>60</b>
4.4.1 The Impact of Superelevation on Vehicle Dynamic Response .....	60
4.4.2 The Impact of Slope on Vehicle Dynamic Response .....	62
4.4.3 The Impact of Curve Radius on Vehicle Dynamic Response .....	63
4.4.4 The Impact of Road Corner on Vehicle Dynamic Response .....	65
<b>4.5 Chapter Summary .....</b>	<b>66</b>
<b>Chapter 5 Conclusion and Outlook.....</b>	<b>68</b>
5.1 Conclusion of the Thesis .....	68
5.2 Outlook of the Thesis .....	69
<b>Reference.....</b>	<b>70</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>76</b>
<b>Appendix: Research Project During Master's Degree.....</b>	<b>77</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景和意义

#### 1.1.1 道路安全面临的问题

改革开放以来，我国道路交通建设领域取得了巨大的成就，到 2013 年底，中国完成高速公路建设里程超过十万公里，居世界第二位。随着国家高速公路建设的快速推进，平原地区的高速公路网络日趋完善，为了促进地区经济的平衡发展，改善偏远地区的交通状况，国家加大了对偏远地区基础设施建设的投资力度，因此近些年来修筑了大量半径小、弧度大的曲线路段，这些路段都是道路事故频繁发生的危险路段。随着国民经济的发展和居民财富的迅速增长，尤其是中国加入 WTO 以后，国内汽车市场的开放，我国的汽车总量快速增加。截止到 2014 年底，中国各类型汽车总量已超过 1.54 亿辆，并且每年还在以近千万的数量快速增加。但是与此同时，我国的道路交安全却面临严峻的形势，目前交通事故每年造成全球超过 70 万人死亡，2000 多万人受伤<sup>[1]</sup>，在我国仅 2014 年道路交通事故就导致超过 6 万人死亡，并且造成了数百亿的经济损失。因此交通事故对于国民经济的发展和人民生命财产都造成了巨大的损失，因此道路交通安全已成为各国研究人员重要的研究内容。

道路交通系统是一个由驾驶员和行人、机动车、道路以及道路周围环境等因素共同构成的复杂动态系统，各个因素之间相互作用相互联系，其中任意一个因素的变化都会影响系统的稳定，从而造成道路事故<sup>[2]</sup>。随着交通运输行业的快速发展，需要不断面对新的问题和挑战，包括道路车流量的不断增加；车型的不断变化，尤其是车身尺寸的变化；车内其他干扰驾驶员的电子设备的增加；驾驶员自身因素，包括驾驶习惯、经验和健康状况等，这些因素都会对道路安全构成挑战<sup>[3]</sup>，历年道路交通事故的统计分析结果表明了已经运营的道路都存在数量不等的危险路段，通过对在这些危险路段所发生事故的原因进行分析研究，发现道路事故与道路因素之间存在紧密的联系，因此开展道路安全评价对于识别道路危险路段，降低道路事故率，提高道路安全水平具有重要作用。

#### 1.1.2 道路工程的特点和采用车辆动力学的优势

道路工程具有产品固定性、多样性、投入高和建设周期长等特点，而且每段道路都



是不同的，因此无法像普通产品一样进行检验验证；而进行道路实车检验具有较高的危险性，并且由于道路工程自身特点，发现问题并重建将造成巨大的经济损失。

随着车辆动力学仿真模拟技术的发展，通过建立车辆仿真模型，以车身参数、道路线形、路面条件、驾驶员操作为人-车-路仿真模型的输入函数，获得车辆的动力学变量沿程的变化情况，了解车辆运行的动力学状态，使得对于车辆行驶状态的分析更加高效。在车辆动力学仿真模拟过程中可以实现对侧滑、侧翻等道路事故类型模拟，还可以通过改变道路参数、车型和控制条件等，分析不同道路参数、车型和控制条件等因素对车辆动力学的影响<sup>[4]</sup>。因此与其他道路安全评价方法相比，基于车辆动力学仿真模拟方法开展道路安全评价的优势包括：可以全面地考虑影响道路交通安全的各种因素，从而更全面真实地反映道路交通系统的动态过程；根据仿真模拟结果对道路安全开展评价，评价结果更加客观；采用计算机实现车辆动力学仿真模拟，可重复性强，操作简便，因此具有广泛的工程应用价值。

根据道路事故统计资料可知，我国当前面临的道路安全形势十分严峻，需要开展道路安全评价，识别道路的危险路段，并对此进行优化改善，从而提高道路行车的安全水平。由于车辆动力学仿真模拟技术的快速发展及其具有的优势，结合道路工程的自身特点，使得车辆动力学在道路安全评价领域的运用具有广阔的前景，不仅有助于道路安全评价研究的发展，也为道路运营和管理提供了新的思路。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 道路安全评价的研究现状

道路安全评价的目的是识别道路危险路段，通过对道路设计方案或已运营道路的安全评价，针对道路事故多发的路段提出优化和改进方案，进而提高道路安全水平。目前被广泛运用的道路安全评价指标分为两种：一种是根据非交通事故统计资料的间接指标来衡量道路的安全水平，即“事前型”指标；另一类是基于历年交通事故统计资料而获得的直接指标，并以此来衡量道路的安全水平，即“事后型”指标。

“事后型”指标，基于交通统计数据，计算不同路段的事故率指标，以此来识别出危险路段，通过调查分析，找出危险路段发生事故的原因，从而提出相应的解决方案<sup>[5]-[9]</sup>。危险路段的识别方法有很多，其差别在于采用不同的量化评价指标，例如绝对指标是基



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库