

分类号: TH12  
学号: 20222109075

密级:  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 汽车前备箱锁系统的设计研究

学位申请人	李新奇
指导教师	李俊伟 教授 王欢 工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2025年6月



分类号: TH12  
学号: 20222109075

密级:  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 汽车前备箱锁系统的设计研究

学位申请人	李新奇
指导教师	李俊伟 教授 王欢 工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2025年6月



**Research on the design of the front trunk lock system of automobiles**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Engineering**

By

**Li Xinqi**

**(Mechanical)**

Dissertation Supervisor: Prof.Li Junwei

June, 2025



# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：李新奇

时间：2025年5月23日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：李新奇

时间：2025年5月23日

导师签名：李俊伟

时间：2025年5月23日



## 摘要

汽车前备箱锁系统作为车辆关键的安全组件，在保障车辆行驶安全以及防盗方面发挥着极为重要的作用。目前汽车行业正在向电动化和智能化方向发展，但该系统目前多为纯机械式，存在锁体集成度低、系统智能化程度低的问题，且对于该系统的研究较少，具有一定的研究价值，本文选取前备箱锁系统作为研究对象，通过集成式设计及增加智能化控制系统设计了一套汽车前备箱锁系统。利用静力学仿真软件对前备箱锁体进行静力学分析和结构优化设计，在验证结构设计合理性的同时优化锁体结构参数，利用动力学仿真软件对优化前后的锁体进行动力学分析，对比优化前后解锁力的大小，对前备箱锁系统的控制系统进行设计研究，对前备箱锁系统的功能进行测试分析。具体研究内容如下：

(1) 明确当前前备箱锁系统锁体集成度和智能化程度低的原因，提出把一道锁和二道锁集成设计并且增加电动执行器及电动撑杆的新思路，通过对前备箱锁的功能需求和设计要求进行分析，确定前备箱锁的总体设计方案及工作原理，并对核心零部件进行了理论分析和参数设计。

(2) 对前备箱锁锁体进行力学特性分析与结构优化设计，应用 HyperMesh 对锁体开展静力学分析，得到锁体各零部件的受力情况，在锁体各零部件满足强度要求的前提下，确定结构优化设计方案；采用基于变密度法的拓扑优化理论，建立锁体拓扑优化模型，对锁体进行拓扑优化设计，得到最终拓扑优化结构，通过 HyperMesh 对优化后结构的合理性进行验证，同时对优化前后的锁体进行动力学仿真分析，对比优化前后解锁力差异。最终前备箱锁锁体结构减重 23g，解锁力减小了 5N。

(3) 对前备箱锁系统的控制系统进行设计研究。完成了外接硬件模块的选型和设计，利用霍尔接近开关、GPS 定位和加速度传感器，对车辆状态进行监测；基于 STM32F103C8T6 单片机开发板，对前备箱锁系统主控制器模块、车辆状态检测模块、执行模块、OLED 显示模块、车辆加速度测量模块及 4G 通信模块进行电路设计。完成了软件系统的设计及开发，利用 C 语言结合 Keil 软件进行驱动开发，分别对前备箱锁系统整体控制流程、车辆状态检测、电动执行器、电动撑杆控制及防夹、数据通信协议及显示模块的驱动进行了控制逻辑的研究。

(4) 对控制系统进行仿真分析，加工锁体样件及 PCB 板，搭建前备箱锁系统测试平台，对前备箱锁系统进行功能验证和灵敏度测试。结果表明，前备箱锁系统功能正常，解锁时间为 120ms，反应迅速，灵敏度高，按控制逻辑执行对应动作，达到前备箱锁系统设计目标。

**关键词：**汽车前备箱锁；力学仿真；结构优化；智能锁；微控制器

## Abstract

As a key safety component of the vehicle, the front lock system of the vehicle plays an extremely important role in ensuring the safety of the vehicle and anti-theft. At present, the automobile industry is developing in the direction of electrification and intelligence. However, the system is mostly purely mechanical, and there are problems of low integration of the lock body and low intelligence of the system. In addition, there are few studies on the system, which has certain research value. In this paper, the front trunk lock system is selected as the research object, and a set of automobile front trunk lock system is designed through integrated design and intelligent control system. The static analysis and structural optimization design of the front container lock body are carried out by using the static simulation software. The structural parameters of the lock body are optimized while verifying the rationality of the structural design. The dynamic analysis of the lock body before and after optimization is carried out by using the dynamic simulation software. The size of the unlocking force before and after optimization is compared. The control system of the front container lock system is designed and studied, and the function of the front container lock system is tested and analyzed. The specific research contents are as follows :

(1) The reasons for the low degree of integration and intelligence of the lock body of the current front lock system are clarified, and a new idea of integrating the design of one lock and two locks and adding electric actuators and electric struts is proposed. Through the analysis of the functional requirements and design requirements of the front lock, the overall design scheme and working principle of the front lock are determined, and the theoretical analysis and parameter design of the core components are carried out.

(2) The mechanical characteristics analysis and structural optimization design of the front container lock body are carried out. The static analysis of the lock body is carried out by HyperMesh, and the stress of each part of the lock body is obtained. Under the premise that the parts of the lock body meet the strength requirements, the structural optimization design scheme is determined. Based on the topology optimization theory of variable density method, the topology optimization model of lock body is established, and the topology optimization design of lock body is carried out to obtain the final topology optimization structure. The rationality of the optimized structure is verified by HyperMesh. At the same time, the dynamic simulation analysis of the lock body before and after optimization is carried out, and the difference of unlocking force before and after optimization is compared.

(3) The control system of the front trunk lock system is designed and studied. The selection and design of the external hardware module are completed, and the vehicle state is monitored by using the Hall proximity switch, GPS positioning and acceleration sensor. Based on the STM32F103C8T6 microcontroller

development board, the main controller module, vehicle state detection module, execution module, OLED display module, vehicle acceleration measurement module and 4G communication module of the trunk lock system are designed. The design and development of the software system are completed, and the drive development is carried out by using C language combined with Keil software. The control logic of the overall control flow of the front trunk lock system, vehicle state detection, electric actuator, electric strut control and anti-pinch, data communication protocol and display module drive are studied respectively.

(4) The simulation analysis of the control system is carried out, and the lock body sample and PCB board are processed. The test platform of the trunk lock system is built, and the function verification and sensitivity test of the trunk lock system are carried out. The results show that the front container lock system has normal function, the unlocking time is 120ms, rapid response and high sensitivity. According to the control logic, the corresponding action is executed to achieve the design goal of the front container lock system.

**Keywords:** car front trunk lock; mechanical simulation; structural optimization; intelligent lock; microcontroller

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	IV
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 国内外研究现状及分析.....	2
1.3 存在问题.....	4
1.4 研究目标与内容.....	4
1.4.1 研究目标.....	4
1.4.2 研究内容.....	5
1.5 研究方法与技术路线.....	6
1.5.1 研究方法.....	6
1.5.2 技术路线.....	6
1.6 本章小结.....	6
第 2 章 前备箱锁结构设计.....	8
2.1 前备箱锁的功能分析.....	8
2.2 前备箱锁的方案分析.....	9
2.3 前备箱锁扣设计.....	12
2.4 前备箱锁锁体设计.....	13
2.4.1 锁体的性能要求.....	13
2.4.2 锁舌和棘爪设计.....	13
2.4.3 基板与上盖板的设计.....	16
2.4.4 顶起器的设计.....	17
2.5 前备箱锁释放机构设计.....	18
2.5.1 释放拉线设计.....	19
2.5.2 解锁按钮设计.....	20
2.5.3 电动执行器设计.....	20
2.6 电动撑杆设计.....	23
2.7 各部件铆接方式设计.....	24
2.8 全锁状态检测开关设计.....	26

2.9 本章小结.....	26
第3章 前备箱锁结构轻量化设计.....	27
3.1 前备箱锁拓扑优化数学模型及优化准则的建立.....	27
3.1.1 前备箱锁应用的拓扑优化理论.....	27
3.1.2 前备箱锁应用的变密度法拓扑优化理论.....	28
3.1.3 轻量化中插值模型的选取.....	29
3.1.4 轻量化应用的变密度法求解算法.....	32
3.1.5 轻量化中优化准则法的求解流程.....	35
3.2 前备箱锁轻量化设计.....	36
3.2.1 锁舌棘爪有限元模型的建立.....	36
3.2.2 锁体其它零部件有限元模型的建立.....	38
3.2.3 锁体各零部件使用材料性能参数.....	39
3.2.4 全锁状态时锁体载荷和边界条件的建立.....	40
3.2.5 各零件结构拓扑优化.....	43
3.2.6 锁体结构拓扑优化后强度验证.....	47
3.3 锁体轻量化前后解锁力对比.....	48
3.4 本章小结.....	50
第4章 前备箱锁控制系统的设计研究.....	51
4.1 前备箱锁控制系统工作任务及要求.....	51
4.2 前备箱锁控制系统总体方案设计.....	51
4.3 前备箱锁控制系统各模块功能.....	52
4.4 系统硬件部分设计.....	53
4.4.1 控制器及其外围电路设计.....	53
4.4.2 车辆状态检测模块电路设计.....	56
4.4.3 电动撑杆控制电路设计.....	60
4.4.4 蜂鸣器电路设计.....	61
4.4.5 4G 通讯模块电路设计.....	62
4.5 软件系统部分设计.....	63
4.5.1 系统整体控制流程设计.....	63
4.5.2 车辆状态检测模块控制流程.....	66
4.5.3 电动执行器控制流程.....	66
4.5.4 4G 通讯模块自检与传输.....	67
4.5.5 前备箱锁系统云服务器.....	68
4.6 本章小结.....	69

第 5 章 汽车前备箱锁系统测试分析 .....	70
5.1 STM32 单片机调试 .....	70
5.2 前备箱锁控制系统仿真分析 .....	70
5.3 前备箱锁控制系统仿真结果分析 .....	73
5.4 模块测试 .....	77
5.4.1 PCB 板加工 .....	77
5.4.2 车辆状态检测模块测试 .....	77
5.4.3 4G 通讯模块检测 .....	79
5.5 系统整体测试 .....	80
5.6 本章小结 .....	81
第 6 章 结论与展望 .....	82
6.1 结论 .....	82
6.2 创新点 .....	82
6.3 展望 .....	83
参考文献 .....	84
致谢 .....	89
作者简介 .....	90

## 第 1 章 绪论

### 1.1 研究背景和意义

社会经济持续发展，居民生活质量显著提升，生活节奏愈发紧凑。汽车作为重要的出行工具，在人们日常生活里的地位愈发关键<sup>[1]</sup>。近 10 年来，中国汽车年总产销量总体呈现增长趋势，如图 1-1 所示。在复杂多变的国际环境与内需增长动力趋缓的双重挑战下，中国汽车制造业展现出强劲的发展韧性，年度产销规模突破历史峰值，充分彰显了产业体系的抗风险能力与市场适应能力，不断促进经济增长。2024 年中国汽车产销双超 3100 万辆<sup>[2-3]</sup>，这是继 2023 年之后，我国汽车产销再次站稳 3000 万量级台阶。

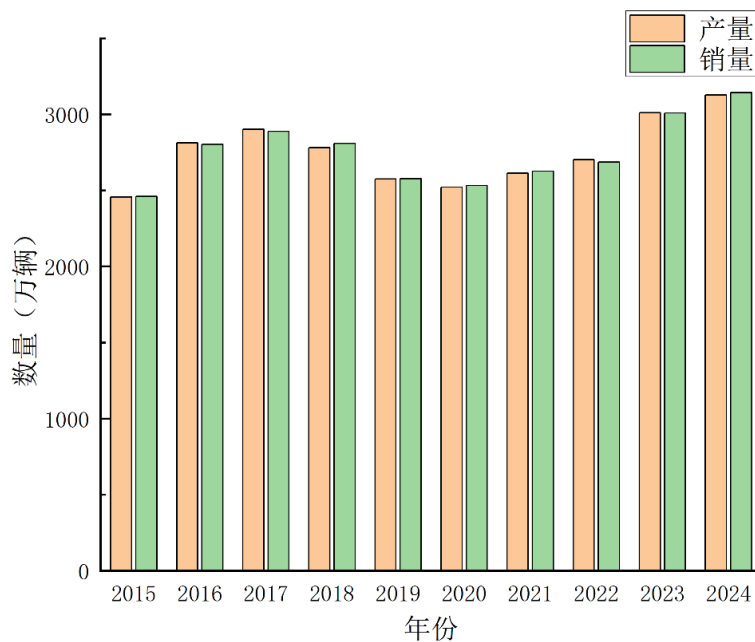


图 1-1 2015-2024 年我国汽车年产销量

Fig.1-1 China 's annual automobile production and sales in 2015-2024

2024 年 8 月我国新能源汽车国内渗透率首次超过 50%则表明<sup>[4]</sup>，新能源汽车已从曾经的边缘产品跃升为市场主流。在当代社会经济结构的深刻变革下，消费者需求呈现显著的个性化与多元化趋势<sup>[5]</sup>，驱动市场导向型汽车产业迅速适应趋势实现跨越式发展。随着车型样式的多样性提升，消费者的选择空间不断扩大，其价值取向已由单纯关注产品外观与车辆成本逐步转向对车辆可靠性、安全性能、智能配置及人机交互体验等核心属性的系统性考量<sup>[6]</sup>。国家持续推进健全行业法规与标准体系，落实三包责任制度与缺陷产品召回机制的实施，对整车制造质量设定了严格的技术门槛。整车性能的可靠性与

安全保障,本质上取决于各子系统的高度协同与零部件的工艺精度,其中基础元器件的质量水平直接决定了产品的全生命周期表现。

新能源汽车中的纯电动汽车,通过电动机代替传统的发动机给汽车提供动力,发动机位于汽车前舱内,而电动机安装于前轴或者后轴上<sup>[7]</sup>。纯电动汽车大多数无变速箱,采用电机直接驱动车轮,采用固定齿比的单级减速器。带变速箱的车型,电动机和变速箱往往也是集成在一起的<sup>[8]</sup>。这都使前舱可利用空间大大增加,为充分利用这个空间,许多车企优化前舱内零部件的空间布置,让汽车拥有前备箱<sup>[9]</sup>。前备箱的容量从特斯拉 Model 3 的 88 升到福特 F-150 Lightning 的 400 升,最小都能装下一个 24 寸的行李箱,需要让车主们把这个空间充分利用起来。

前备箱锁系统是汽车的关键构成部分与重要安全组件,发挥着至关重要的作用。其核心功能是依据特定情形执行锁止或解锁操作。当处于锁止状态时,前备箱锁系统能够确保前备箱盖与车身维持相对固定的位置关系,并且在各类工况及行驶状态下,有效防止前备箱自行开启,为车辆的安全行驶提供坚实保障。解锁则是当需要打开前备箱盖时,能顺利解锁,将前备箱盖打开。目前前备箱锁基本上都还是纯机械式的,前备箱的使用便利性没有后备箱强,导致大部分车主都没有把前备箱利用起来,提升前备箱的使用便捷性和智能化程度是非常有必要的<sup>[10]</sup>。一套智能化的前备箱锁系统能大大提升前备箱的使用便捷性,让车主们充分利用前备箱空间。

## 1.2 国内外研究现状及分析

冯晓<sup>[11]</sup>通过对比分析汽车前备箱盖锁扣动态力的不同测试方案,得出基于三分力传感器的采集方案,此方案实施简单,适用于锁扣各种工况下受力采集,数据可信度高,为前备箱锁系统开发过程中锁扣的受力测试提供了参考。范奇达<sup>[12]</sup>发现汽车前备箱盖锁扣固定螺钉因折叠裂纹与氢同时存在,在较高的轴向载荷作用下导致螺钉发生延迟断裂,提出通过控制摩擦系数、螺纹折叠、热处理工艺及电镀工艺来预防螺钉装配延时断裂。

赵磊<sup>[13]</sup>对前备箱锁的布置及质量控制进行了研究,对卡板式、分体式、一体式前备箱锁的布置难度、成本、安装调整性进行对比分析,由行人头部碰撞保护对前备箱锁的空间布置提出要求,通过人机工程分析来确定驾驶员的操作空间,通过仿真分析对比了双锁和单锁布置在不同车速下前盖的振颤情况,指出了零件设计的重点为第一道锁开启力和第二道锁开启力,对于锁体试验也给出了相关要求,为前备箱锁的布置、安装、设计和试验提供了参考。荣辉<sup>[14]</sup>从法规要求、欧洲 NCAP 星级要求、SUV 车辆、非 SUV 车辆、出口欧盟的车型等方面对前备箱锁基于行人保护方面的布置进行了研究。

陈瑜<sup>[15]</sup>针对前备箱盖非正常下落导致无法锁止的问题,以数学模型结合有限元仿真,高效准确模拟闭锁过程,优化锁舌曲面,使其能正常锁止。S.M.Darwish<sup>[16]</sup>应用有限元分