

# 同濟大學

## 工程硕士学位论文选题报告 及论文工作计划

课题名称 针对汽车方向盘 NVH 性能的拓扑优化

学 号 \_\_\_\_\_

研 究 生 \_\_\_\_\_

专业、年级 \_\_\_\_\_

所在院、系 \_\_\_\_\_

导 师 \_\_\_\_\_

副 导 师 \_\_\_\_\_

选题时间 \_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

同济大学研究生院

年 月 日

## 一、立论依据

### 1. 课题来源

本课题来源于某汽车方向盘零部件供应商公司与其客户某汽车整车公司的合作项目。

### 2. 选题依据和背景情况

汽车方向盘是汽车转向系统的重要零部件，其性能决定着汽车转向系统的性能，从而影响汽车整车的性能，其设计显得尤为重要。方向盘的设计涉及许多学科，其中包括结构强度和刚度性能、碰撞安全性能、NVH 性能和疲劳耐久性能，以及基于这些性能的轻量化、工艺优化和成本优化。传统的方向盘设计方法通常基于工程师的工作经验和简单力学理论公式计算后进行初步设计，然后制作样件进行实验，以验证上述性能是否满足，如果不满足，继续改进设计，然后再进行制作样件和再进行实验，直到方向盘性能满足上述所有性能要求。这种设计方法是一个反复做样件修改和反复实验校核的过程，设计开发周期较长，设计开发工作量大，设计开发参与人员较多而且设计开发成本较高。

近三十多年来，随着计算机和数值计算分析技术的快速发展进步，计算机辅助工程（Computer Aided Engineering, CAE）作为一门专门的学科而诞生。CAE 技术是指在工程实际中，通过计算机辅助技术，求解有关复杂产品的结构力学性能，进而优化产品结构性能。随着数值计算分析技术的发展，汽车设计的整个过程都依赖于 CAE 技术的应用。CAE 技术能够解决新产品开发过程中的许多技术难题，得到了各个企业的认可。其在现代汽车产品设计中的作用越来越重要，通过对产品的 CAE 分析，可以缩短开发周期，降低设计成本，减少人员投入，使产品提前上市。

基于这种理念，展开本课题的研究工作。本文利用 CAE 技术去分析和优化汽车方向盘，主要针对汽车方向盘 NVH 性能的进行有限元建模仿真和拓扑优化，同时兼顾满足强度和刚度性能、碰撞安全性能和疲劳耐久性能，使方向盘满足上述性能的同时达到轻量化的减少重量和降低成本要求。

### 3. 课题研究目的

本课题的研究目的主要包括以下几个方面：

1) 准确的 CAE 模型需要准确的 CAD 模型和准确的材料物理性能参数作为输入。所以首先，利用 CAD 软件 CATIA 或 UG 建立汽车方向盘初步的几何模型，使其几何尺寸和形状满足设计尺寸、使用功能和安装配合等几何要求。其次，利用实物实验和 CAE 仿真相结的方法，获得方向盘结构镁合金材料物理性能参数，如密度、弹性模量、屈服极限、强度极限和真实应力-应变曲线。

2) 利用 CAE 软件 Abaqus 基于几何模型建立求解方向盘在静态弯曲和静态扭转工况下的强度和刚度性能的有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保强度和刚度性能计算结果可信性和准确性。例如，在强度方面的最大应力和疲劳应力和在刚度方面的最大变形和残余变形满足企业标准要求。这个通过实验验证后的求解强度和刚度性能 CAE 模型，用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的强度和刚度性能是否满足要求；

3) 利用 CAE 软件 Ls-Dyna 基于几何模型建立求解汽车方向盘的碰撞安全性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保碰撞安全性能计算结果可信性和准确性。例如，我国的强制性标准 GB11557-2011《防止汽车转向机构对驾驶员伤害的规定》的转向机构的头型撞击试验法规要求；这个通过实验验证后的求解碰撞安全性能 CAE 模型，用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的碰撞安全性能是否满足要求；

4) 利用 CAE 软件 Nastran 基于几何模型建立求解汽车方向盘的 NVH 性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保 NVH 性能计算结果可信性和准确性。例如，为了避免发生怠速共振现象，转向系统模态频率应尽量大于发动机激振频率，所以相应的方向盘的模态频率应大于某个要求频率。这个通过实验验证后的求解 NVH 性能的详细的 3D 实体单元 CAE 模型，用作后续检验利用 OptiStruct 软件建立的简化的 1D 梁单元模型，这种 1D

梁单元模型是专门用来针对 NVH 性能进行拓扑优化；

5) 利用 CAE 软件 OptiStruct 基于几何模型建立求解汽车方向盘的拓扑优化的 NVH 性能分析力学模型(简化的 1D 梁单元模型), 并验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型的 NVH 性能计算结果的一致性。通过拓扑优化进行方向盘结构各个截面尺寸参数化优化, 获得各个截面最优设计尺寸, 使得方向盘的设计满足 NVH 性能, 同时兼顾强度和刚度性能、碰撞安全性能和疲劳耐久性能, 使方向盘满足上述性能的同时达到轻量化的减少重量和降低成本要求。其中, 拓扑优化时, 优化变量是方向盘不同截面的设计尺寸; 方法是基于 OptiStruct 的拓扑优化; 目标是实现方向盘使用材料最少且模态频率最高。

#### 4. 工程应用价值

本论文的理论意义和实际应用价值在于:

1) 本课题从方向盘满足多学科设计要求的观点出发, 充分利用 CAE 技术和各种 CAE 软件和分析优化方法, 主要针对汽车方向盘 NVH 性能的进行有限元建模仿真和拓扑优化, 同时兼顾强度和刚度性能、碰撞安全性能和疲劳耐久性能, 这是全面考虑方向盘所有性能的全面分析和优化;

2) 通过实物样件实验和 CAE 技术相结合的方法和思路, 把上述所有 CAE 技术建立的所有模型(详细的 3D 实体单元模型)通过实验进行标定和校核准确, 也就是验证详细的 3D 实体单元模型的强度和刚度性能、碰撞安全性能、NVH 性能和疲劳耐久性能的仿真计算结果和实物样件实验的结果的一致性, 使 CAE 模型具有可信性和准确性;

3) 运用基于 OptiStruct 拓扑优化 NVH 性能的技术和方法, 建立准确的求解汽车方向盘的拓扑模型(简化的 1D 梁单元模型), 并验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型的 NVH 性能的仿真计算结果的一致性。基于校核验证后的简化的 1D 梁单元模型, 通过拓扑优化进行方向盘结构各个截面尺寸参数化优化, 获得各个截面最优设计尺寸, 使其满足 NVH 性能的前提下同时兼顾其他性能, 实现轻量化减重设计, 这能使方向盘大批量生产时减少材料的使用, 大量减低生产成本;

4) CAE 技术在提升产品性能、减少试验、缩短开发周期和降低开发成本等方面给企业作出的巨大贡献。本课题全方位应用 CAE 技术和各种 CAE 软件和分析优化方法, 对向整个汽车行业推广和普及 CAE 知识、思路和方法具有重大意义和作用。本课题应用 CAE 技术和方法优化汽车方向盘, 其他汽车零部件、系统和整车可以借鉴这种方法和思路。

## 二、文献综述

### 1. 国内外研究现状、发展动态

随着计算机技术的迅猛发展,用于工程分析的软件和硬件有了很大的变化。从普通的微机到高速计算机,发展到现在的工作站和超大型计算机,一些通用化,商业化的有限元分析软件也相继出现并日趋完善。目前在世界各大汽车公司广泛使用的 CAE 分析软件有:HyperWorks、Abaqus、Ls-Dyna、Nastran 等。

经过三十年多年的积累和发展,国外各大汽车公司建立了高性能的计算机辅助工程分析系统,其应用领域,比如:

- 1、结构分析。如车身静态刚度、强度分析;耐久性分析;塑性变形分析;复合材料分析。
- 2、车辆模拟碰撞分析。可以模拟车辆的正面、侧面、追尾碰撞、约束系统以及模拟碰撞中成员的姿态。
- 3、NVH 分析。包括各种振动、噪声、如摩擦噪声、风噪声等和整车及零部件的模态分析。
- 4、优化分析。包括对结构形状与尺寸的拓扑优化和灵敏度优化,结构重量最轻,动静特性最优等综合分析。
- 5、流体分析。如整车空气动力特性分析、发动机仓换热分析、除霜除雾分析等。

在国外,1970 年美国宇航局有限元结构程序 NASTRAN 的引入,标志着以有限元分析为基础的 CAE 技术进行汽车结构设计与分析的开始。1977 年,通用汽车开始率先在车身开发中应用了分析与试验验证相结合的方法,利用有限元法先对结构进行动静分析及碰撞模拟,然后用试验对结果进行证明。针对方向盘的设计,国外很多学者都对方向盘的性能进行了介绍和优化。Zane Z Yang 等详细介绍了方向盘骨架的各种性能,包括 NVH 性能、静态刚度性能以及动态碰撞性能,并运用有限元仿真计算方法,针对方向盘骨架性能要求及虚拟开发技术进行了探讨<sup>[33]</sup>。W Altenhof 等人运用有限元法研究并比较了三辐方向盘与四辐方向盘骨架的碰撞性能,并深入探讨了方向盘角度和转向管柱角度大小对方向盘骨架吸能特性的影响<sup>[32]</sup>。CS Ko 等人通过拓扑优化的方法合理设计转向管柱支架,最终使转向系统(包括方向盘)满足频率要求。Subrata Nayak<sup>[34]</sup>等建立了详细的方向盘骨架有限元模型,讨论了骨架截面结构形式对方向盘静态刚度性能的影响。BKhatib-Shahidi 等深入研究了转向系统的振动分析,并基于 NASTRAN 软件使转向系统的设计满足 NVH 性能要求<sup>[31]</sup>。

我国在七十年代末八十年代初在高校和有关研究所开始从事有限元法的 CAE 技术的研究和应用,如长春汽研所的谷安涛等人建立了车架的有限元模型,并进行了分析计算。当时汽车行业研究工作主要集中在车架分析以及用梁单元来模拟大客车骨架等方面的工作。九十年代以来,随着微机的发展和普及以及大型有限元分析程序微机的问世,有限元分析法迅速地被应用到实际汽车零部件结构的分析中去。例如,吉林工业大学的乔淑平等人采用板壳单元对某款轿车白车身进行了有限元建模,并计算了主要零部件以车身扭转和弯曲刚度的影响。提出了提高车身扭转和弯曲刚度的最优方法,并提出了简化车身有限元模型时应注意的原则。清华大学的马幼鸣等人用超参数厚壳单元对某轻型越野车车身骨架建立了有限元模型并进行了静态工况分析,并用刚度敏感尺寸法对车身骨架结构进行了优化。上海大众与同济大学合作建立了桑塔纳整车有限元模型,进行了车身及方向盘等零部件的静态扭转计算。刘检华等人用板壳单元建立了型面包车承载式车身有限元模型,并进行了车身的弯曲和扭转刚度分析。郑州工业大学的秦东晨等人利用梁单元和板壳单元建立了轻型货车的驾驶室有限元模型。以车身的长宽高、前围、地板、顶盖的厚度为设计变量,以车身重量为目标函数,考虑了性能、频率、位移等约束条件,对车身进行了优化分析。

国内各大汽车公司已逐步在汽车方向盘设计中应用了有限元分析技术,针对转向机构(包括方向盘)碰撞安全性能的设计。例如,上海交通大学的张晓云等人建立了某车型转向机构有限元模型,进行碰撞安全性能的仿真分析,研究结果表明数值仿真方法可以有效评估汽车转向机构的碰撞安全性能<sup>[2]</sup>。重庆车辆检测研究院的颜长征等人建立了基于转向机构的某台车试验

有限元模型和头型、人体模块撞击试验有限元模型，探究了转向机构在不同的试验条件下，对驾驶员伤害程度的差异<sup>[4]</sup>。清华大学汽车安全与节能国家重点实验室的李志刚等人，依照有关法规要求进行了撞击方向盘的动态仿真分析，从而评估方向盘的碰撞安全性能，并进一步分析了人体模块输出加速度对某些工况参数的敏感程度<sup>[3]</sup>。在 NVH 性能分析方面，张波、王玉国及郝照明得出有限元仿真分析法求解结构固有频率的结果与试验模态分析法测量的结果基本吻合，表明有限元模态分析法能快速有效进行方向盘模态分析<sup>[5]</sup>。合肥工业大学的李芳龙运用 CAE 技术，通过优化转向系统支架厚度提高了系统固有频率，对转向系统的开发和改进设计具有指导意义<sup>[6]</sup>。但是对于转向系统 NVH 性能，目前主要研究的是仪表盘横梁结构和转向管柱安装支架结构，往往忽略了对方向盘自身的研究。针对此问题，东北大学的纪广昊就工程实际问题，在方向盘开发阶段采用有限元的方法对方向盘自身的振动特性进行仿真分析，并通过方向盘骨架结构的改进，达到控制方向盘自身振动特性和静态强度特性的目的<sup>[7]</sup>。

从上面方向盘设计的研究现状来看，虽然研究比较深入，但是基本都停留在建立详细的有限元模型的基础上进行仿真分析，并且设计过程仅进行单学科的优化，再对其他学科进行校核，无法同时满足方向盘的多学科的性能或保证整体性能最优。在汽车方向盘的 CAE 技术的研究与优化中，有些研究论文主要是针对方向盘某一方面的性能进行建模计算和分析优化，如对模型进行碰撞安全性能或 NVH 性能分析，然后在粗略校核或直接忽略其他方面的性能。这样做仅仅会使设计的方向盘不能满足全部的强度和刚度性能、碰撞安全性能、NVH 性能和疲劳耐久性能。一些研究论文在建立 CAE 仿真模型时，详细的 3D 实体单元模型或简化的 1D 梁单元模型时没有通过实验验证，没有保证仿真计算结果和实物样件实验的结果的一致性。这样的 CAE 仿真模型不具有可信性，也无法进一步做变更设计的计算和优化方案的使用。在优化方面研究论文，不同的研究人员所用的优化软件和优化方向可谓是大不相同，合适的优化软件和正确的优化方法是非常重要的。不会合适的优化软件和优化方向导致最终没有起到优化减重降本的效果，或在优化后的零部件失去了应该满足的性能。在 CAE 软件应用方面，国内外的有限元虚拟仿真技术研究有着巨大的差距。主流 CAE 软件全部都是国外著名软件供应商的产品，重要的 CAE 分析方法、技术手段和推广程度都是国外远远领先国内。

本课题从方向盘满足多学科设计要求的观点出发，充分利用 CAE 技术和各种 CAE 软件和分析优化方法，建立详细的 3D 实体单元模型，并通过实物实验验证 CAE 模型的准确性，然后对方向盘的强度和刚度性能、碰撞安全性能、NVH 性能和疲劳耐久性能进行全方面的分析和优化。最后运用基于 OptiStruct 拓扑优化的 NVH 性能分析技术和方法，建立准确的求解汽车方向盘的拓扑模型（简化的 1D 梁单元模型），并验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型在仿真计算结果的一致性。在满足 NVH 性能为主和兼顾上述性能的前提下实现轻量化减重设计，这能使方向盘大批量生产时减少材料的使用，大量减低生产成本；

## 2. 所阅文献的查阅范围及手段

查阅文献主要来源于同济大学图书馆馆藏文献和电子资源，以及汽车学院图书馆资料文献。使用的电子资源包括中国知网、教学参考书光盘、外文科技图书、维普中国科技期刊、中国学术期刊、万方数字资源系统、SAE 论文和外国相关学术论文集。

## 3. 主要参考文献

- [1] 国家标准化工作委员会. 强制性标准 GB/T 11557-2011 《防止汽车转向机构对驾驶员伤害的规定》. 北京：中国标准出版社，2011.
- [2] 张晓云，金先龙，朱亚群等. 汽车转向机构碰撞安全性计算机仿真. 高技术通讯，2003(10): 66-69.
- [3] 李志刚，张金换，马春生等. 汽车转向机构安全性仿真分析及试验研究. 清华大学学报（自然科学版），2010，50(5): 649-653.
- [4] 颜长征，王欣，覃祯员等. 汽车转向机构对驾驶员伤害的试验与仿真分析. 汽车技术，2011(2): 38-42.
- [5] 张波，王玉国，郝照明. 基于有限元技术的汽车方向盘模态分析. 重型汽车，2005(4): 11-

13.

[6] 李芳龙. 轿车转向系统振动的 CAE 分析: [合肥工业大学硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2009, 47-56.

[7] 纪广昊. 方向盘系统有限元建模及动静特性分析: [东北大学硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2010, 35-50.

[8] 张哲蔚. 基于简化模型的车身结构分析与优化: [同济大学硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2009, 52-77.

[9] 唐任松. 概念设计阶段轿车白车身刚度仿真: [上海交通大学硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009, 29-57.

[10] 常伟波, 张维刚, 谢伦杰, 等. 概念设计阶段薄壁直梁的耐撞性优化. 汽车工程. 2013, 35(2): 147-151.

[11] 苏瑞意, 桂良进, 吴章斌, 等. 大客车车身骨架多学科协同优化设计. 机械工程学报, 2010, 46(18): 128-133.

[12] 靳春梅, 樊灵. CAE 模拟分析在汽车数字化开发中的应用及展望[J]. 上海汽车, 2008, 4(1): 14-20

[13] 朱颜. CAE 技术在汽车轻量化设计中的应用[J]. 山东: 农业装备与车辆工程, 2008, 3(1): 313-348.

[14] 范习民. 汽车 NVH 正向设计探讨[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2007, 4: 10-15.

[15] 靳晓雄. 汽车振动分析[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002: 75-115.

[16] 赵洪辉. 轿车转向盘振动分析与控制[D]. 吉林: 吉林大学, 2006, 3: 6-22.

[17] 王勖成, 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 165-192.

[18] 郭乙木, 万力, 黄丹. 有限元法与 MSC.Nastran 软件的工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 56-73.

[19] 张胜兰, 郑冬黎, 郝琪, 李楚琳. 基于 Hyperworks 的结构优化设计技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 15-38.

[20] 李邦国, 路华鹏, 胡仁喜. Patran2006 与 Nastran 2007 有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 11-32.

[21] 何天明, 徐向龙等. 半承载式客车车身的强度分析[J]. 武汉: 武汉汽车工业大学学报, 2007, 18(1): 623-629.

[22] 李芳龙. 轿车转向系统振动的 CAE 分析[D]. 合肥工业大学, 2009.3,(3):6-9.

[23] 陈家瑞. 汽车构造(下册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 199~243.

[24] 庞剑, 何华等. 汽车噪声与振动分析[M]. 北京理工大学出版社, 2006: 216.

[25] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 56.

[26] G Prater, AM Shahhosseini, EY Kuo, et al. Finite Element Concept Models For Vehicle Architecture Assessment and Optimization. SAE Paper, 2005(114), 1667-1675.

[27] D Mundo, R Hadjit, S Donders, et al. Simplified modeling of joints and beam-like structures for BIW optimization in a concept phase of the vehicle design process. Finite Elements in Analysis Design, 2009(45): 456-462.

[28] M Andersson, H Kristofferson. Structural Optimization of Product Families with Application to Vehicle Body Structures. diva-portal.org, 2006.

[29] S Donders, Y Takahashi, R Hadjit. A Reduced Beam and Joint Concept Modeling Approach to Optimize Global Vehicle Body Dynamics. Finite Elements in Analysis Design, 2009(45), 439-455.

[30] G Prater, AM Shahhosseini, EY Kuo, et al. Finite Element Concept Models For Vehicle Architecture

Assessment and Optimization. SAE Paper, 2005(114),1667-1675.

[31] B Khatib-Shahidi, W Ho, B Han, Steering Column/Instrument Panel NVH Analysis in Full Size Pickup Trucks Using MSC/NASTRAN. SAE Paper, 1996,NO 962190.

[32] W Altenhof, B Arnold, Z Li, et al. A Comparison of the Crash Performance of Three-spoke and Four-spoke Steering Wheel Armatures during Impact Loading. International Journal of Vehicle Design, 2004, 35(3): 186-209.

[33] Zane Z Yang, Srinivasa Raman, Deren Ma. Virtual Tests for Facilitating Steering Wheel Development. SAE Paper, 2005, 2005-01-1072.

[34] Subrata Nayak, Ankit Garg, and SM Kumar. Virtual Design Optimization of Thermoplastic Steering Wheel. SAE Paper, 2011, 2011-01-0023.

[35] Saji H, Kirioka K, Hotta Y. Elasto-Plastic Analysis of Automobile Body Structure By the Finite Element Method[J], SAE, No 940039,1974: 318-325.

[36] Schiller T, Osawa T. Incorporation of Analytical Simulations into the NVH Design and Development Process of the Nissan Quest[J], SAE, 1992, No 922121.

[37] Jasuja SC, Kosik RC. Application of CAE Analysis for Improved NVB Performance of the New 1992 Econoline[J]. SAE Transaction, 1992:1125-1135.

[38] Shahidi BK, Ho W, Han B. Steering Column/Instrument Panel NVH Analysis in Full size Pickup Trucks Using MSC/NASTRAN-Part 1[J], SAE, 1996, No 962190.

[39] Brebbia CA. Finite Element Systems-A Hand Book. Springer-Verlag, Berlin. 1985 : 1-18.

[40] Scott Amman, Ray Meier, Kelly Trost, Perry Gu. Equal annoyance contours for steering wheel hand-arm vibration[C]. SAE, 2005-01-2473.

### 三、研究内容

#### 1. 学术构想与思路、主要研究内容及拟解决的关键技术

##### (1) 学术构想与思路

本课题拟以汽车方向盘结构的设计与优化为研究对象，具体学术构想与思路分为三步：

第一步：准确的 CAE 模型需要准确的 CAD 模型和准确的材料物理性能参数作为输入。

首先，利用 CAD 软件 CATIA 或 UG 建立汽车方向盘初步的几何模型，使其几何尺寸和形状满足设计尺寸、使用功能和安装配合等几何要求。其次，利用实物实验和 CAE 仿真相结的方法，获得方向盘结构镁合金材料物理性能参数，如密度、弹性模量、屈服极限、强度极限和真实应力-应变曲线。

第二步：通过实验验证建立求解强度和刚度性能和碰撞安全性能的 CAE 模型，用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的这两项性能是否满足要求；

利用 CAE 软件 Abaqus 基于几何模型建立求解方向盘在静态弯曲和静态扭转工况下的强度和刚度性能的有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保强度和刚度性能计算结果可信性和准确性。例如，在强度方面的最大应力和疲劳应力和在刚度方面的最大变形和残余变形满足企业标准要求。这个通过实验验证后的求解强度和刚度性能 CAE 模型，用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的强度和刚度性能是否满足要求；

利用 CAE 软件 Ls-Dyna 基于几何模型建立求解汽车方向盘的碰撞安全性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保碰撞安全性能计算结果可信性和准确性。例如，我国的强制性标准 GB11557-2011《防止汽车转向机构对驾驶员伤害的规定》的转向机构的头型撞击试验法规要求；这个通过实验验证后的求解碰撞安全性能 CAE 模型，用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的碰撞安全性能是否满足要求；

第三步：通过实验验证建立求解 NVH 性能的 CAE 模型，用作后续检验利用 OptiStruct 软件建立拓扑优化的 NVH 性能分析力学模型（简化的 1D 梁单元模型），并进行 NVH 性能拓扑优化；

利用 CAE 软件 Nastran 基于几何模型建立求解汽车方向盘的 NVH 性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），并通过实物实验校核确保 NVH 性能计算结果可信性和准确性。例如，为了避免发生怠速共振现象，转向系统模态频率应尽量大于发动机激振频率，所以相应的方向盘的模态频率应大于某个要求频率。这个通过实验验证后的求解 NVH 性能的详细的 3D 实体单元 CAE 模型，用作后续检验利用 OptiStruct 软件建立的简化的 1D 梁单元模型，这种 1D 梁单元模型是专门用来针对 NVH 性能进行拓扑优化；

利用 CAE 软件 OptiStruct 基于几何模型建立求解汽车方向盘的拓扑优化的 NVH 性能分析力学模型（简化的 1D 梁单元模型），并验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型的 NVH 性能计算结果的一致性。通过拓扑优化进行方向盘结构各个截面尺寸参数化优化，获得各个截面最优设计尺寸，使得方向盘的设计满足 NVH 性能，同时兼顾强度和刚度性能、碰撞安全性能和疲劳耐久性能，使方向盘满足上述性能的同时达到轻量化的减少重量和降低成本要求。其中，拓扑优化时，优化变量是方向盘不同截面的设计尺寸；方法是基于 OptiStruct 的拓扑优化；目标是实现方向盘使用材料最少且模态频率最高。

这是通过实物样件实验和 CAE 技术相结合的方法和思路，即上述所有 CAE 技术建立的所有模型（详细的 3D 实体单元模型）都首先通过实验进行标定和校核准确，也就是验证详细的 3D 实体单元模型的强度和刚度性能、碰撞安全性能、NVH 性能和疲劳耐久性能的有限元模型仿真计算结果和实物样件实验的结果的一致性，使 CAE 模型具有可信性和准确性。然后基于校核准确的 CAE 模型，做出多种优化和改进方案进行综合对比，清晰地找到并阐明影响方向盘上述性能相关的因素，最终确定最优的设计方案。

本课题是汽车方向盘结构的设计与优化，其中使用大量的 CAE 有限元建模分析优化软件，从程序使用角度看，在解决工程实际问题时，有限元分析可分为三个主要阶段：前处理、求解和后处理，下面是三个阶段的概述，如图 1 有限元分析基本流程图所示。



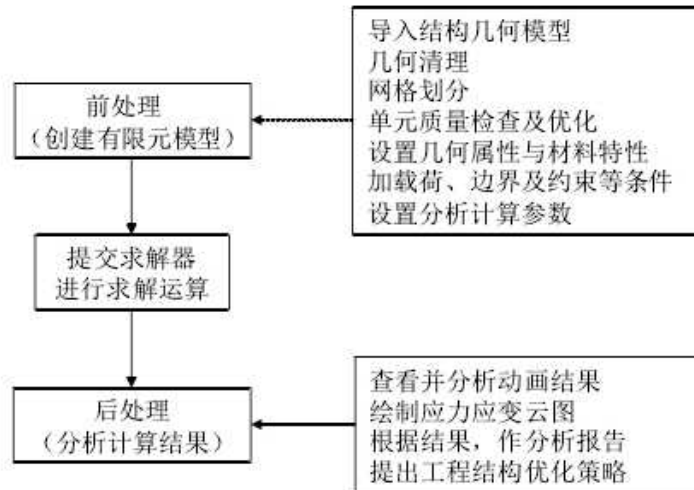


图 1 有限元分析基本流程图

本课题是汽车方向盘结构的设计与优化，以方向盘性能满足要求作为前提和目标，汽车方向盘性能分解图，如图 2 所示。通过方向盘性能进行分解，明确方向盘的各种性能的内容和影响因素、标准或法规要求和相应分析优化软件。

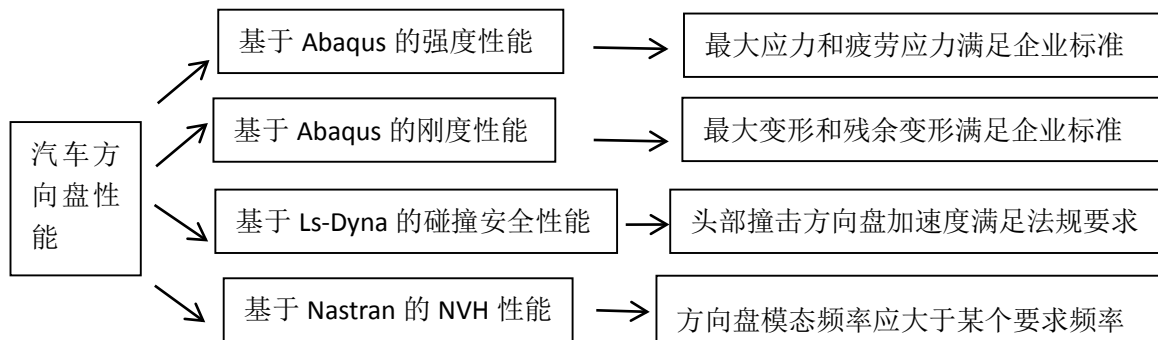


图 2 汽车方向盘性能分解图

本课题是汽车方向盘结构的设计与优化，其中使用大量的 CAE 有限元建模分析优化软件，进行分析优化方向盘多个方面的性能，并进行拓扑优化以实现其满足多方面性能的轻量化，基本研究思路和方法是比较清晰的，本课题研究构思图，如图 3 所示。

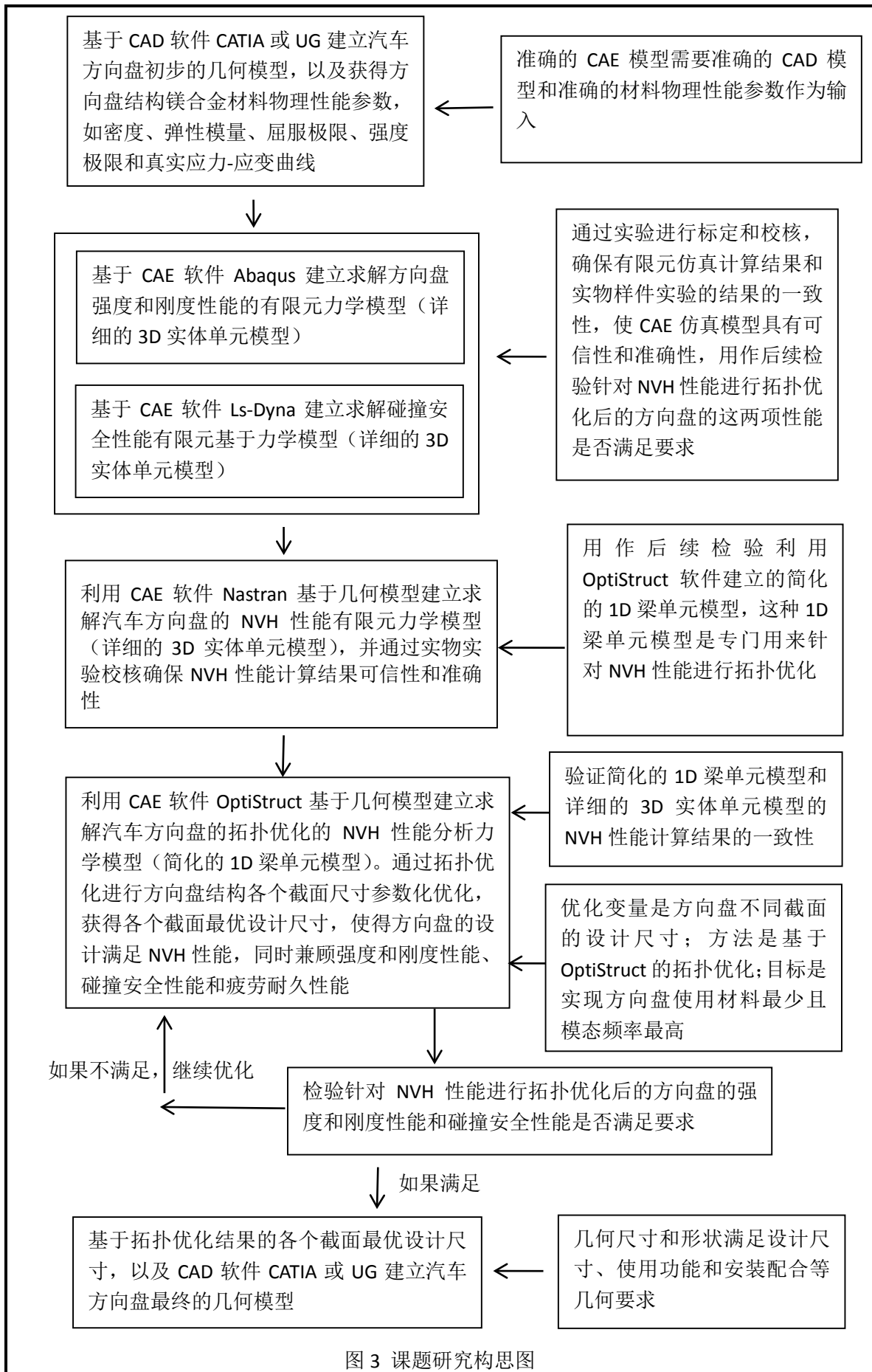


图 3 课题研究构思图

## (2) 主要研究内容

本课题研究的内容主要包括以下几个方面：

- 1) 准确的 CAE 模型需要的输入，即获取准确的 CAD 模型和准确的材料物理性能参数。
- 2) 建立通过实验进行标定和校核的强度和刚度性能以及碰撞安全性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），这用作后续检验针对 NVH 性能进行拓扑优化后的方向盘的这两项性能是否满足要求。
- 3) 建立通过实验进行标定和校核的 NVH 性能有限元力学模型（详细的 3D 实体单元模型），这用作后续检验利用 OptiStruct 软件建立拓扑优化的 NVH 性能分析力学模型（简化的 1D 梁单元模型）的准确性，这种 1D 梁单元模型是专门用来针对 NVH 性能进行拓扑优化。
- 4) 利用 CAE 软件 OptiStruct 基于几何模型建立求解汽车方向盘的拓扑优化的 NVH 性能分析力学模型（简化的 1D 梁单元模型）。通过拓扑优化进行方向盘结构各个截面尺寸参数化优化，获得各个截面最优设计尺寸，使得方向盘的设计满足 NVH 性能，同时兼顾强度和刚度性能、碰撞安全性能和疲劳耐久性能。其中，拓扑优化时，优化变量是方向盘不同截面的设计尺寸；方法是基于 OptiStruct 的拓扑优化；目标是实现方向盘使用材料最少且模态频率最高。

## (3) 拟解决的关键技术

- 1) 通过材料实验和 CAE 技术相结合的方法获得需要的结构材料的物理性能参数，特别是应力-应变曲线数据，以及复杂六面体网格的建模技术和网格尺寸和质量对计算结果影响的分析和验证的技术。基于 CAE 软件建立强度和刚度性能、碰撞安全性能和 NVH 性能的有限元力学模型时，通过实验进行标定和校核，确保有限元仿真计算结果和实物样件实验的结果的一致性，使 CAE 仿真模型具有可信性和准确性的技术。
- 2) 基于 OptiStruct 拓扑优化的 NVH 性能分析技术，建立准确的求解汽车方向盘的拓扑模型（简化的 1D 梁单元模型），验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型的 NVH 性能仿真计算结果的一致性，确保 NVH 性能拓扑优化结果的准确性和可行性，拓扑优化目标是实现方向盘使用材料最少且模态频率最高，同时满足强度和刚度性能、碰撞安全性能的技术。

## 2. 拟采取的研究方法、技术路线、实施方案及可行性分析

### (1) 研究方法

本课题研究以 CAE 技术和实物样件实验联系实际方向盘设计和优化，以多种 CAE 软件为技术支持平台，以试验验证和 CAE 软件分析验证作为最终的优化方案的评价体系。广泛查阅书籍、论文和期刊等中外相关技术资料，充分总结和借鉴国内外已有研究成果，并在与合作企业充分交流和学习的基础上做了创新研究和尝试，使其在指导企业实际设计研发和分析优化中起到重大作用。

### (2) 技术路线和实施方案

- 1) 通过通过材料实验和 CAE 技术相结合的方法确定在建立上述所有性能分析的 CAE 有限元力学模型需要的准确的材料物理性能参数、应力-应变曲线数据。
- 2) 通过多年 CAE 技术经验和多次仿真试算，实现复杂六面体网格（详细的 3D 实体单元模型）的建模技术和确定网格尺寸和质量对计算结果影响的分析和验证的技术。。
- 3) 通过实验进行标定和校核，以及凭借多年 CAE 技术经验积累，确保有限元仿真计算结果（详细的 3D 实体单元模型）和实物样件实验的结果的一致性，使详细的 3D 实体单元模型 CAE 仿真模型具有可信性和准确性。
- 4) 借鉴和查阅其他拓扑优化的方法和思路，使用 OptiStruct 建立的求解汽车方向盘的 NVH 性能拓扑模型（简化的 1D 梁单元模型）准确和有效，并验证验证简化的 1D 梁单元模型和详细的 3D 实体单元模型的仿真计算结果的一致性，使简化的 1D 梁单元模型有可信性和准确性。其中，拓扑优化时，优化变量是方向盘不同截面的设计尺寸；方法是基于 OptiStruct 的拓扑优化；

目标是实现方向盘使用材料最少且模态频率最高。

### (3) 可行性分析

首先，本人在汽车行业从事 CAE 有限元仿真分析优化工作已经有 5 年工作经验，在这方面已经积累了大量的 CAE 软件技术、CAE 方法和思路，还有上百个 CAE 项目的实践经验，可以保证详细的 3D 实体单元模型和 1D 梁单元模型的有可信性和准确性。通过 CAE 技术与实物实验的方法进行仿真分析优化工作，并充分发挥各种不同的软件在不同学科方面的优势，能够使汽车方向盘结构的设计与优化取得更大成果。

其次，广泛参考国内外关于汽车方向盘结构的设计与优化方面的已经做过大量的研究工作，并参考和阅读大量的书籍、论文、标准、法规和其他相关资料，作为知识储备；

最后，本课题来源于某汽车方向盘零部件供应商公司与其客户某汽车整车公司的合作项目，还有同济大学教授和老师的指导和帮助。无论是从 CAE 软件和技术资料方面还是实物实验图片和实验数据方面，都有良好和丰富的支持和保障。

因此，本课题切实可行。

#### 四、研究基础

##### 1. 所需实验手段、研究条件和实验条件

- 计算机硬件一台
- 专业软件 CAD 软件：CATIA 或 UG 等
- 专业软件 CAE 软件：HyperMesh、HyperView、HyperGraph、Abaqus、Ls-Dyna、Nastran、OptiStruct 等
- 项目所用方向盘结构的相关尺寸、材料参数等
- 相关试验设备和数据处理软件等

##### 2. 所需经费，包含经费来源、开支预算（工程设备、材料须填写名称、规格、数量）

经费来源：本课题所用经费学校或个人提供。

项目	费用（元）
书籍、资料购买、打印和复印	1500
软件、试验	企业提供
通讯（电话、上网、传真）	1000
差旅	2000
总计	4500

## 五、工作计划

序号	阶段及内容	工作量估计 (时数)		起讫日期	阶段成果形式
1	阅读大量的书籍、论文、标准、法规和其他相关资料	400		2016.03-2016.05	建立汽车方向盘结构的设计与优化方面必备知识库
2	准确的 CAD 模型和准确的材料物理性能参数	200		2016.05-2016.06	准确的 CAD 模型和准确的材料物理性能参数
3	通过实验进行标定和校核的求解方向盘强度和刚度性能的有限元力学模型	200		2016.06-2016.07	准确的强度和刚度性能的有限元力学模型
4	通过实验进行标定和校核的求解碰撞安全性能的有限元力学模型	200		2016.07-2016.08	准确的碰撞安全性能的有限元力学模型
5	通过实验进行标定和校核的求解 NVH 性能的有限元力学模型	200		2016.08-2016.09	准确的 NVH 性能的有限元力学模型
6	基于 OptiStruct 针对 NVH 性能建立拓扑优化模型, 验证模型准确性, 进行分析优化, 并验证另外两项性能	400		2016.09-2016.11	准确的拓扑优化模型, 获得各个截面最优设计尺寸且满足以 NVH 为主的上述性能
7	总结研究工作, 撰写论文, 准备答辩	800		2016.11-2017.03	撰写毕业论文、答辩
		合计	2400		

同济大学硕士研究生学位论文选题报告评分表

评审项目	权重	评分标准		得分(百分制)
一、选题依据(A)	30%	80~100分	选题有较强的理论意义、实用价值，深刻的学术研究内涵。	
		60~80分	选题有一定的理论意义、实用价值，有一定的学术研究内涵。	
		60分以下	选题缺乏理论意义和实用价值。	
二、理论基础和专门知识(B)	20%	80~100分	较好的掌握坚实宽广的理论基础和系统专业知识	
		60~80分	基本的掌握坚实宽广的理论基础和系统专业知识	
		60分以下	未能掌握坚实宽广的理论基础和系统知识	
三、选题难度及先进性(C)	30%	80~100分	研究课题属本学科发展方向并居前沿位置，具有自己独特的思考、研究课题具有较强的先进性	
		60~80分	研究课题属本学科的发展方向，并具有先进性。	
		60分以下	研究课题与本学科的发展方向先进性不明显，难度欠佳。	
四、文字表达(D)	10%	80~100分	条理清晰，分析严谨，文笔流畅	
		60~80分	条理较好，层次分明，文笔较流畅	
		60分以下	写作能力较差	
五、口头报告(E)	10%	80~100分	课题严密、逻辑性强、表达清楚。	
		60~80分	基本概念清晰、层次分明。表达较清楚。	
		60分以下	表达较差	
总分		总分=0.3A+0.2B+0.3C+0.1D+0.1E		

备注：评审专家只对五项指标每一项的最后一栏内打分（百分制），不必计算总分。

评审小组组成：

组成	姓名	职称	单位	签字
导师				
成员				

注：此评分表作为硕士研究生课程成绩单必备的材料之一

年 月 日

六、评审意见

导师（或导师组）对本课题的评价

导师签名\_\_\_\_\_

年 月 日

评审小组的审查结论

组长\_\_\_\_\_组员\_\_\_\_\_

年 月 日

学科专业委员会意见

负责人签名\_\_\_\_\_

年 月 日