

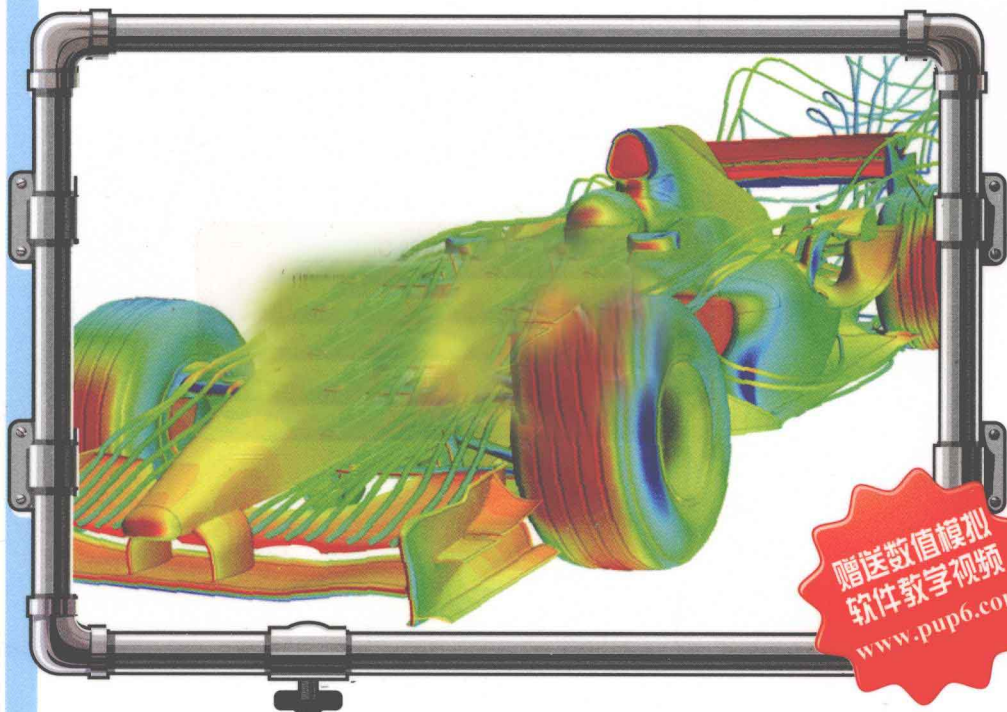


21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

汽车空气动力学 数值模拟技术

张英朝 编著

- ✓ 阐述了汽车空气动力学基础理论与方法
- ✓ 介绍了汽车空气动力学重要问题的研究技巧
- ✓ 体现了汽车空气动力学的创新研究成果



赠送数值模拟
软件教学视频
www.pup6.com



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

汽车空气动力学数值模拟技术

张英朝 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车空气动力学的基本研究内容, 计算流体力学基础理论, 汽车空气动力学研究过程中开展汽车空气动力学数值模拟的流程, 进行汽车外流场、内流场和气动噪声数值模拟的具体技术, 以及结合计算流体力学商用软件 STAR-CCM+ 进行的软件应用实例。

本书是编著者及其研究小组多年研究工作的总结, 可作为高等院校汽车类相关专业本科生和研究生学习汽车空气动力学数值模拟的教材, 对于从事汽车设计、车身造型设计、汽车空气动力学研究的工程技术人员有重要参考价值, 对于进行其他行业空气动力学或者流体力学数值模拟研究的工程技术人员也有很好的借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车空气动力学数值模拟技术/张英朝编著. —北京: 北京大学出版社, 2011. 6

(21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-16742-7

I. ①汽… II. ①张… III. ①汽车—空气动力学—高等学校—教材 IV. ①U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 195769 号

书 名: 汽车空气动力学数值模拟技术

著作责任者: 张英朝 编著

责任编辑: 童君鑫

标准书号: ISBN 978-7-301-16742-7/TH·0220

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 416 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

序

汽车空气动力学对于车辆整车的经济性,动力性,舒适性和行驶安全性的研究具有特殊重要的意义,它是车辆工程领域一个非常重要的研究方向。高速列车、汽车已被列入国家长远战略规划,特别是着力落实国家节能减排政策的紧迫形势,使高速车辆的空气动力特性的研究,显得尤为迫切和重要。

我国的汽车空气动力学历经几十年的发展,逐渐形成一个比较系统的专业。但其研究成果还远落后于世界发达国家,这正需要我国汽车空气动力学科技工作者加倍努力,加快前进步伐。

随着计算机技术和流体力学数值计算理论的发展,计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)已成为了汽车空气动力学研究的重要手段。传统的汽车空气动力学研究依赖于汽车风洞试验,但是现在应用 CFD 空气动力学数值模拟技术,可以在计算机上完成汽车风洞试验,使得对汽车空气动力学开展全面系统的科学研究更简便、快速而有效。

张英朝副教授是吉林大学培养的优秀青年学者,多年来一直致力于汽车空气动力学的基础研究,在汽车风洞试验技术,汽车空气动力学数值模拟,汽车气动外形设计等方面有较系统深入的研究,取得一些具有创新性的研究成果。《汽车空气动力学数值模拟技术》一书是他及其科研小组近十年进行汽车空气动力学数值模拟的教学与研究成果的总结凝练与提升。

工程仿生的实践使我深深感到,空气动力学、CFD 和先进的数值仿真技术对流体减阻仿生研究的重要性和有效性。2010 年,张英朝副教授进入吉林大学工程仿生教育部重点实验室做博士后,与我们合作进行运载工具气动减阻降噪的构形与形态仿生研究,愿他取得更大的成果。

《汽车空气动力学数值模拟技术》不仅阐述了汽车空气动力学数值模拟的基础理论与基本方法、数值模拟的流程、相关重要工程问题研究的技巧,而且针对不同汽车空气动力学问题数值模拟的具体方法,也进行了详细介绍。

特别是,该书对空气动力学研究中复数车辆的空气动力学问题以及侧风问题的研究方法进行了重点介绍,对人们较关注的国内外最新研究,如瞬态超车、会车方法等研究也做了介绍。值得指出的是,该书还对西迪阿特公司(CDAJ - China)的 CFD 商业软件进行了介绍和应用阐释,将汽车空气动力学数值模拟技术与实际操作紧密结合,可以令读者学习、掌握和应用之更简捷,更有效。

相信《汽车空气动力学数值模拟技术》的出版,不仅是我国汽车空气动力学领域的一件好事,而且将会有更多的高校师生、科研机构研究人员和企业的工程技术人员从中获益。

任露泉

中国科学院院士

吉林大学工程仿生教育部重点实验室 教授

2011 年 4 月

前 言

2010年,我国国产汽车产销量分别为1826.5万辆和1806.2万辆,刷新全球产销记录,是全球产销量第一的国家。虽然我国汽车工业呈现快速增长的发展态势,但是我国还没有成为全球汽车强国。

在这些年国家战略政策引导下,汽车工业逐渐开始走向自主开发的道路。随着能源问题的日益突出,节能减排也成为汽车设计的主要目的。汽车空气动力学研究也引起越来越多人的关注。汽车空气动力学研究可以指导汽车外形设计,降低汽车气动阻力系数,改善汽车操纵稳定性;可以改善发动机舱等部件的散热问题,降低汽车噪声,改善汽车乘坐舒适性。因此,也受到越来越多人的重视。

汽车风洞试验和数值模拟是研究汽车空气动力学的两种主要方法。随着计算机计算能力的增强和计算流体力学的发展,汽车空气动力学数值模拟成为研究汽车空气动力学便捷有效的方法,数值模拟技术在汽车工程研究中得到了广泛的应用。

然而,目前汽车空气动力学数值模拟方面的参考资料非常少,特别是系统介绍汽车空气动力学数值模拟技术方面的专业书籍。本书系统介绍了汽车空气动力学的基本研究内容,计算流体力学基础理论,汽车空气动力学研究过程中开展汽车空气动力学数值模拟的流程,进行汽车外流场、内流场、气动噪声数值模拟的具体技术,以及结合计算流体力学商用软件STAR-CCM+进行的软件应用实例。

本书作者参与了多项汽车空气动力学数值模拟研究,承担了关于风洞试验数值模拟的国家自然科学基金项目,开展了多项与整车企业合作的汽车空气动力学数值分析与气动外形设计项目。多年的汽车空气动力学教学和科研工作以及建设吉林大学汽车专业风洞的过程中,作者掌握了较为成熟的汽车空气动力学数值模拟的方法以及丰富的实际操作经验。在结合空气动力学的理论和现在汽车空气动力学数值模拟技术的基础上,作者编著了本书。

在本书编写过程中,吉林大学汽车工程学院空气动力课题组的所有同事给予了大量的帮助,在此对他们表示感谢。作者的同事胡兴军、杨博、王夫亮、吴允柱、贺宝琴和王靖宇给予了大力协助,提供了大量素材和建议。吉林大学的张喆博士也为书稿的整理和校核做了大量工作,作者的硕士生赵婧,本科生屈丹、韦甘、勾鹏飞等也做了大量的资料搜集,文字校对与整理工作。吉林大学的杨博,东风汽车公司的汪源利和严旭撰写了第五章的部分内容。在此对他们的支持和帮助表示感谢。

本书编写过程中还得到了西迪阿特公司的大力协助,公司技术总监刘俊先生审阅了本书,并提出了不少修改意见。在此对西迪阿特公司及公司所有为本书出版给予帮助的朋友表示感谢!感谢国家自然科学基金项目(10802033)对本书中研究工作的支持。

谨以此书,感谢作者的硕士生导师傅立敏教授、博士生导师李杰教授、汽车工程学院院长管欣教授对我在汽车空气动力学领域的指导和帮助;感谢作者博士后的合作导师任露

泉院士在仿生减阻方面的指导，感谢他在百忙之中为本书作序。

由于时间仓促，学识有限，本书内容难免有疏漏或不妥之处，望广大读者批评指正。

张英朝

2011年4月于吉林大学

汽车动态模拟国家重点实验室

目 录

第1章 绪论	1	2.4 车型开发过程中的汽车空气动力学	43
1.1 汽车工业	2	2.4.1 汽车造型开发流程	43
1.1.1 中国汽车工业	4	2.4.2 汽车空气动力学的作用	45
1.1.2 世界汽车工业	4	思考题	45
1.1.3 汽车技术的发展趋势	5	第3章 数值模拟理论基础	46
1.2 汽车空气动力学的产生与发展	5	3.1 数值模拟理论	47
1.2.1 基本形状造型阶段	7	3.1.1 流体动力学控制方程	47
1.2.2 流线型化造型阶段	7	3.1.2 湍流控制方程	49
1.2.3 车身细部优化阶段	8	3.1.3 湍流的数值模拟方法	51
1.2.4 汽车造型的整体优化阶段	9	3.2 数值模拟的实现	55
1.3 汽车空气动力学研究手段与发展趋势	10	3.2.1 CFD求解流程	55
1.3.1 汽车空气动力学研究手段	10	3.2.2 控制方程的空间离散	55
1.3.2 汽车气动外形设计趋势	16	3.2.3 控制方程的时间离散	57
思考题	21	3.2.4 湍流流动的壁面区处理	57
第2章 汽车空气动力学基础	22	3.3 边界条件	58
2.1 汽车空气动力学基础理论	24	3.3.1 边界条件概述	58
2.1.1 气动力和力矩	24	3.3.2 流动入口边界条件	59
2.1.2 车身表面压力分布	30	3.3.3 流动出口边界条件	59
2.2 汽车相关的流场	30	3.3.4 壁面边界条件	59
2.2.1 汽车外部流场	31	3.3.5 对称边界条件与周期性边界条件	62
2.2.2 汽车内部流场	31	3.3.6 使用边界条件时的注意事项	63
2.3 汽车气动噪声	32	3.4 网格策略	64
2.3.1 流场中的声源	32	3.4.1 结构网格	64
2.3.2 汽车气动噪声的定义与分类	39	3.4.2 非结构网格	65
2.3.3 风扇噪声	40	3.4.3 混合网格	66
2.3.4 管系噪声	41	3.4.4 多面体网格	66
2.3.5 汽车周围的流场与汽车的气动噪声	42	3.4.5 网格划分要求	67
		3.5 后处理物理量	67
		3.5.1 标量	67
		3.5.2 矢量	68
		3.5.3 流线和流迹	69



3.5.4	等值面和等值线	70	4.4.4	动态数值模拟计算域和 网格划分	131
3.5.5	声压级	71	4.4.5	边界条件和求解设置	133
3.6	三维空气动力学数值模拟 商业软件	71	4.5	汽车超车会车空气动力学数值 模拟技术	133
3.6.1	数值模拟前处理软件	71	4.5.1	超车会车研究综述	134
3.6.2	商业求解器	78	4.5.2	稳态超车的空气动力学 数值模拟技术	135
3.6.3	数值模拟后处理软件	89	4.5.3	瞬态超车空气动力学 数值模拟	139
3.6.4	一维流体系统模拟软件	92	4.5.4	会车的空气动力学数 值模拟技术	143
思考题		93	思考题		149
第4章	汽车外流场数值模拟技术	95	第5章	汽车其他方面的数值 模拟技术	151
4.1	外流场综述	96	5.1	汽车气动噪声数值模拟技术 综述	152
4.1.1	汽车外流场研究目标	96	5.1.1	气动噪声数值模拟研究的 特点	152
4.1.2	汽车外流场数值模拟 流程	97	5.1.2	汽车气动噪声的 研究方法	153
4.1.3	物理建模与计算域	97	5.2	汽车后视镜气动噪声数值 模拟技术	157
4.1.4	数字模型建立和模型 表面处理	101	5.2.1	后视镜区域气动噪声	157
4.1.5	其他问题	102	5.2.2	几何模型	157
4.2	一般汽车外流场数值模 拟技术	102	5.2.3	网格生成与求解设置	158
4.2.1	汽车数值模拟前处理	103	5.2.4	稳态数值模拟结果	159
4.2.2	汽车外流场数值模拟 边界条件	107	5.2.5	子域选取与网格细化	161
4.2.3	汽车外流场数值模拟 后处理	108	5.2.6	稳态 RANS 结果映射	162
4.2.4	摩托车外流场数值 模拟	109	5.2.7	求解设置	162
4.2.5	汽车内外流场数值 模拟	114	5.2.8	瞬态数值模拟结果	163
4.3	虚拟风洞数值模拟技术	117	5.2.9	气动噪声计算结果	165
4.3.1	虚拟风洞原理	117	5.3	车窗除霜除雾的数值模拟技术	166
4.3.2	虚拟风洞模型	117	5.3.1	除霜原理	167
4.4	侧风作用下的汽车空气动力学 数值模拟技术	119	5.3.2	STAR-CCM+中除霜 模型的建立	167
4.4.1	侧风作用下汽车空气 动力学研究方法	120	5.3.3	结果分析	169
4.4.2	稳态侧风数值模拟 方案	124	5.4	汽油机进气歧管数值 模拟技术	172
4.4.3	瞬态侧风数值模拟 方案	128	5.4.1	流动模型的建立及验证	172

5.4.2 原型机进气歧管模拟 结果分析	173	6.2.16 STAR-CCM+的退出 方法	217
5.4.3 改进后的进气歧管数值 模拟结果分析	176	6.3 STAR-CCM+汽车外流模拟 流程	217
思考题	178	6.3.1 导入表面网格	218
第6章 STAR-CCM+软件应用		6.3.2 选择网格模型	220
实例	179	6.3.3 设置网格尺寸	221
6.1 STAR-CCM+概述	181	6.3.4 生成体网格	223
6.1.1 STAR-CCM+的显著 特点	181	6.3.5 选择物理模型	224
6.1.2 STAR-CCM+的网格 方案	188	6.3.6 设置边界条件	225
6.1.3 STAR-CCM+的物理 模型	192	6.3.7 工程数据监控	226
6.1.4 STAR-CCM+在工业 界中的应用	195	6.3.8 求解控制	227
6.1.5 STAR-CCM+的模拟 流程	198	6.3.9 计算执行	227
6.1.6 STAR-CCM+的网格 生成功能	199	6.3.10 输出监控数据	228
6.1.7 STAR-CCM+术语	203	6.3.11 生成压力云图	229
6.2 冷却水套的流动模拟	204	6.3.12 生成速度矢量图	230
6.2.1 模拟概述	205	6.3.13 生成流线图	230
6.2.2 STAR-CCM+的启动 方法	205	6.3.14 退出模拟	233
6.2.3 模拟的开始方法	206	思考题	233
6.2.4 网格数据的读入	206	第7章 STAR-CCM+使用技巧	234
6.2.5 STAR-CCM+的 界面	207	7.1 STAR-CD 和 STAR-CCM+ 间的数据传递	236
6.2.6 STAR-CCM+的 文件	207	7.1.1 STAR-CD ver3.2 的 数据传递给 STAR-CCM+	236
6.2.7 视图显示	207	7.1.2 STAR-CCM+的数据传 递给 STAR-CD ver4	236
6.2.8 鼠标视图操作	208	7.2 STAR-CCM+的执行方式和 串行计算、并行计算的设定	239
6.2.9 Scene 工具栏	208	7.2.1 STAR-CCM+执行 方式	239
6.2.10 显示网格线	208	7.2.2 串行计算	239
6.2.11 模型设定	210	7.2.3 并行计算	241
6.2.12 设定物性值	212	7.3 数据文件输出	244
6.2.13 设定边界条件	213	7.3.1 边界数据输出	244
6.2.14 结果显示设定	214	7.3.2 监测数据输出	247
6.2.15 执行计算	216	7.4 Field Function	247
		7.4.1 Field Function 介绍	248
		7.4.2 通过 Report 求入口和 出口的压力值	250



7.4.3 通过 Field Function 功能 求压力损失	251	7.7.1 阻力系数	263
7.4.4 生成 Plot Scene	252	7.7.2 多孔介质设定	267
7.5 表面修复功能	254	7.7.3 多孔 Baffle 设定	269
7.5.1 表面修复功能	254	7.8 在外流模拟中生成虚拟空间面 ...	270
7.5.2 表面修复实例	257	7.9 宏命令	272
7.6 网格质量检查	259	7.9.1 STAR-CCM+宏文件 (.java)生成方法	272
7.6.1 通过云图确认网格 质量	260	7.9.2 STAR-CCM+批处理 (执行 batch 文件)	273
7.6.2 通过数值确认网格 质量	261	思考题	275
7.7 多孔介质/多孔 Baffle 模型	262	参考文献	277

第1章

绪论



本章学习目标

- ★ 了解汽车工业的发展状况，熟悉汽车空气动力学的产生和发展过程
- ★ 熟悉汽车空气动力学最初的研究手段，把握汽车空气动力学的发展趋势



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
汽车工业现状	了解汽车工业的需求； 汽车工业技术的发展趋势	汽车技术的发展同科学技术发展的关系
汽车空气动力学的产生和发展	熟悉汽车空气动力学的历史发展阶段	基本形状、流线型化、车身细部优化，整体优化四个阶段
汽车空气动力学最初的研究手段	熟悉汽车空气动力学的研究手段； 把握汽车空气动力学的发展趋势	风洞试验和道路试验； 汽车的总布置设计和汽车空气动力学设计发展方向



导入案例

2008 年我国汽车的保有量为 4975 万辆, 2009 年达到 6300 多万辆, 2010 年全年中国国内产销汽车纷纷突破 1800 万辆。2011 年初, 我国汽车保有量已经达到 8000 万辆的规模。

但同时因为汽车保有量的增长, 能源消耗的数量也在大幅增加。2009 年, 中国汽车的销量为 1300 万辆, 已经占全球总销量的 22%, 能源消耗也达到全球总能耗的 22%。中国进入汽车社会以来, 石油的消耗量巨大。

汽车工业面临巨大的能源挑战, 除了现有的发展新能源汽车的应对策略, 对于传统汽车节能减排的要求也越来越突出。

汽车空气动力学是汽车节能的重要方面。从目前我国汽车空气动力学设计水平来看, 轿车、大客车到商用卡车气动力系数还有 0.03~0.05 左右(大约为现有汽车气动阻力系数的 10%) 的降低空间, 如果以轿车阻力系数降低 0.03 来计算, 可以使每辆车百公里燃油消耗约可以节省 2% 左右, 轿车燃油消耗以百公里 8L 来计算, 假设我们国家汽车保有量为 8000 万辆(所有车辆都按轿车计算), 每辆车每年行驶 8000km, 将可以为我国每年节省 $8 \times 2\% \times 8000 / 100 \times 8 \times 10^7 = 1.024 \times 10^9 \text{L}$ 这个油量比一个低产油省一年的汽油产量还要多, 燃油的节省将给我国的能源问题带来巨大的缓解, 每年能节省将近几十亿元人民币的用于燃油消耗的资金。

中国汽车空气动力学研究应该引起足够的重视。

自首辆汽车诞生的一个多世纪以来, 世界汽车工业蓬勃发展, 汽车技术日新月异, 造型也由初始的箱形汽车逐渐变成具有良好空气动力特性的流线型汽车。在这一百多年间, 汽车空气动力学的理论逐渐完善, 汽车空气动力学在现代汽车设计中扮演的角色也越来越重要。本章首先简要介绍世界汽车工业的发展历史及当今世界汽车技术的发展趋势; 接下来详细介绍汽车空气动力学的产生与发展、汽车空气动力学的研究手段和发展方向; 最后讨论汽车气动外形的设计趋势。

1.1 汽车工业

自 1886 年卡尔·本茨发明第一辆汽车以来的 100 多年里汽车技术发生了翻天覆地的变化。如图 1.1 所示, 第一辆汽车看起来还不如现在的三轮摩托车, 虽然该车包含了很多非常有创造性乃至现在还在应用的结构设计, 但是从车身看起来还是非常简单的, 它没有车身, 也没有现在的电子控制系统。然而 100 多年后的今天, 汽车已经成为流动的住房, 有人每天将近 1/6 的时间都在汽车中度过。美国人亨利·福特首创了流水线式生产汽车的方式, 使汽车真正成为工业产品。自此汽车工业进入了蓬勃发展的新阶段。

接下来的时间汽车工业飞速的发展, 汽车产量逐渐增加, 汽车逐渐改变着人们的生活方式。德国汽车工业协会(VDA)的最新统计显示, 2004 年, 全世界投入使用运行的汽车总数量(即轿车+商用车的总保有量)已突破 8.5 亿辆大关, 达到 8.512 亿辆, 平均每千人

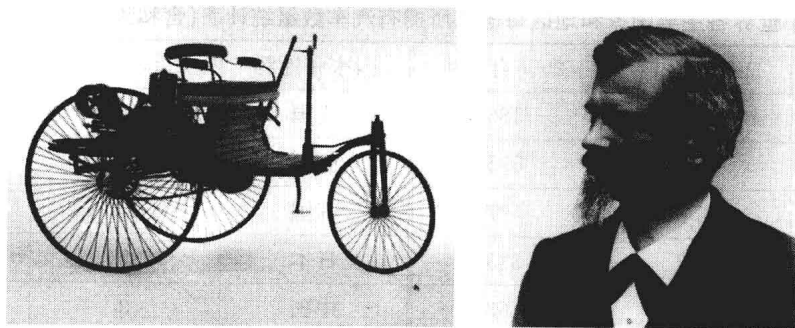


图 1.1 卡尔·本茨和其发明的世界上第一辆汽车

拥有汽车约 131 辆(这一概念国外又称汽车密度,以 X 辆/千人来表示)。在世界总的汽车保有量中,轿车占 72.3%,达到 6.161 亿辆。

据统计,2006 年汽车年产量已经接近 7000 万辆,轿车年产量也接近 5000 万辆(表 1-1)。2010 年中国的汽车产量超过 1800 万辆。

表 1-1 2006 年世界前 12 大汽车整车制造企业所生产的汽车总量和私人轿车总量统计表

/千辆

排名	汽车整车制造企业	所生产的各种汽车总量	所生产的私人轿车总量
1	通用汽车集团	8926	5708
2	丰田集团	8036	6800
3	福特集团	6268	3801
4	雷诺-日产联盟	5715	4599
	其中:		
	雷诺公司	2492	2086
	日产公司	3223	2513
5	大众集团	5685	5430
6	现代-起亚集团	3844	3413
7	本田集团	3670	3550
8	标志-雪铁龙集团	3357	2961
9	克莱斯勒集团	2545	710
10	菲亚特集团	2318	1754
11	铃木集团	2297	2004
12	戴姆勒-克莱斯勒集团	2045	1275
	其他汽车整车制造企业	14551	7978
	全世界所有汽车整车制造企业	69257	49983

随着中国汽车工业的发展,中国的人均汽车拥有量逐年增加。从表 1-2 中的数据可以看出,中国的汽车人均拥有量已经从 1985 年的每千人 3 辆增加到 2006 年的每千人 23 辆。虽然中国汽车产量逐年增加,汽车人均拥有量也在逐年增加,但是和欧美国家的差距还是很大的,甚至与世界人均汽车拥有量也相距较大。



表 1-2 世界各主要国家和地区每千人所拥有汽车数量统计表(含私人轿车和商务用车)

国家和地区	1985 年/辆	2006 年/辆	国家和地区	1985 年/辆	2006 年/辆
欧盟 15 国	380	586	美国	708	813
法国	446	595	巴西	86	124
德国	450	597	韩国	25	322
波兰	117	385	日本	375	593
罗马尼亚	—	163	中国	3	23
土耳其	27	115	印度	3	12

1.1.1 中国汽车工业

新中国成立初期建立了第一汽车制造厂,自此中国汽车工业开始正式进入历史舞台,但是在当时的环境下,中国汽车工业发展相当缓慢。改革开放之初,国内车型基本不变,就是传统的老三样。改革开放 30 年之后的今天,中国汽车工业进入了飞速发展的时期。2008 年的经济危机给世界汽车工业带来了巨大的冲击,中国的汽车工业也受到一定程度的影响,但是从另一个层面上看,中国汽车工业也面临着一个前所未有的机遇。在国外汽车企业面临发展困境的时候,国内汽车企业还能保持一定的增长,这充分展现了中国经济发展的强劲势头。最近几年,中国汽车自主品牌不断发展壮大,红旗、奇瑞、吉利、荣威等自主轿车品牌不断推出新车型,每年国内都有十几款轿车新车型上市。解放、东风、重汽、福田等卡车企业也逐渐进入世界舞台。客车企业也涌现出像宇通、金龙这样的客车品牌。轿车、卡车、客车产业也都进入了高速发展的轨道。

中国汽车工业进入了飞速发展的时期,而北美和欧洲国家的经济持续低迷,汽车工业受到了非常严重的影响。汽车工业的重心开始从北美和欧洲向亚洲转移。北美及欧洲的汽车集团,甚至日本、韩国的汽车集团纷纷在亚洲投资建厂,特别是在我国。目前,已经有包括丰田、通用、福特、大众、标致-雪铁龙、雷诺-日产、现代、本田等汽车集团在我国投资建立汽车生产工厂,甚至有的国家将自己的研究院建在中国。2008 年 9 月 16 日,美国通用汽车公司百年庆典日当天,计划投资总额为 2.5 亿美元的通用汽车中国园区暨前瞻技术科研中心正式破土动工,通用汽车在中国再次完成了一次前瞻性战略布局。从中我们可以看出国外汽车集团对中国的信心,未来的中国将会扛起世界汽车工业的大旗。

1.1.2 世界汽车工业

在世界大经济形式的影响下,美国、欧洲的汽车工业受到重大冲击。通用早已是四面楚歌,在经历了美国车市连续 8 个月的下滑后,被丰田赶下全球第一的交椅;2008 第二季度继续亏损 155 亿美元(约合人民币 1058 亿元),而在美国市场的销量跌幅达到 18%;产品结构面临彻底调整,但针对低油耗新车型的研发资金严重匮乏。

2008 年世界汽车工业经历着前所未有的变动。世界汽车工业的格局虽然并未发生明显的变化,但是欧美汽车工业渐渐感觉到它们的统治地位受到了威胁。德国为了防止其他国家控制它们的汽车工业,“促成”了保时捷对大众的收购。美国三大汽车公司都面临非常巨大的亏损,处在生死存亡的边缘。

同时世界各大汽车企业集团都已经看到了中国潜在的汽车市场,也看到了中国良好的企业发展环境,逐渐在中国投入资金,发展自己的势力,瓜分“中国”的汽车工业,让它们成为中国汽车工业的一部分。

1.1.3 汽车技术的发展趋势

汽车技术的发展经历了由逐渐完善汽车机械结构、完善汽车空气动力学到开发先进电子控制技术三个主要阶段。第一个阶段,目前的汽车机械结构已经逐渐发展,接近完善,趋于最佳。近些年,基于机械结构的汽车技术的创新非常少。第二个阶段,对于汽车空气动力学技术的进步国外发展的比较成熟,各大汽车公司都建有自己的专用汽车风洞试验室。而我国随着汽车工业的发展,逐渐意识到汽车空气动力学的重要性,纷纷开始建设专用的汽车风洞。目前吉林大学已经建成中国第一座轿车专用汽车风洞,同济大学的汽车风洞也已经建设完成,我国的汽车企业也在筹划建立自己的汽车风洞,汽车空气动力学在国内得到越来越多的重视。目前世界汽车工业正在经历汽车技术的第三个阶段,电子控制技术的创新和发展的繁荣期。我国也在大力推动汽车电子控制技术的发展。对于我国来说,由于汽车工业的需要,汽车空气动力学和汽车电子控制技术需要同时发展,同时进步。目前的清洁能源汽车也很大程度上依赖电子控制技术。

汽车空气动力学的发展与目前汽车的发展主题相适应。目前在我国汽车工业快速发展的时期,也需要进行汽车空气动力学研究,汽车空气动力学研究与以下方面关系密切。

1. 安全性

可以说,汽车空气动力学同汽车安全性息息相关。改善汽车空气动力特性可以提高汽车的操控性能,使车辆的主动安全性提高,驾驶更加安全。

2. 节能

汽车空气动力学的研究,很重要的一项内容就是降低汽车的气动阻力。我国汽车的气动阻力系数还是有很大的改善空间。简单估算一下,如果每辆汽车降低气动阻力系数0.01,每年可以为我国节省燃油消耗超过1亿升,每年能节省将近5亿人民币的用于燃油消耗的资金。

3. 环保

减少燃油消耗当然对环境保护也有很大好处,低油耗就意味着低排放。

汽车空气动力学的发展适应了汽车工业乃至世界发展的需要,我国开展汽车空气动力学的研究也势在必行。

1.2 汽车空气动力学的产生与发展

从第一辆汽车问世,汽车已有一百多年的历史。由于人们的不断创造和改进,汽车从只有车架和车轮等简单的行驶系统,逐步地具备了较完善的传动机构和制动机构,并装上了发动机,终于发展成今天结构复杂而精密的现代汽车。道路车辆的雏形继承了马车形状,其设计只能先解决机械问题。由于这些汽车的速度很低,所以还不存在空气动力特性



方面的问题,把空气动力学的概念与研究成果引入汽车设计中,形成独特的汽车空气动力学学科,是从20世纪20年代开始的。

在第一辆汽车发明约25年后,人们开始对汽车空气动力特性有了一定的认识。最初只注意降低气动阻力,随着车速的提高,人们注意到气动升力及侧风稳定性问题。近期汽车空气动力学的发展又注意了驾驶室内流、发动机冷却、空气动力噪声及消除车身上泥土附着等问题。

汽车空气动力学的发展历史表明,汽车空气动力学是伴随着由于道路状况的变化和使用要求的提高而引起汽车造型的变化而发展起来的,可以说汽车造型变化的历史就是汽车空气动力学发展的历史。

汽车空气动力学经历了图1.2所示的4个发展阶段。

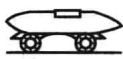
特征	年代	车型	
基本形状	1900 ~ 1930	 鱼雷形	 船尾形
		 气艇形	
—	1921 ~ 1923	 拉普勒	 布卡提
流线形化	1922 ~ 1939	 杰瑞	
	1934 ~ 1939	 康贝	 舒勒
	1955	 雪铁龙	 NSU-Ro80
细部优化	1974	 大众-西若柯I	 大众-高尔夫I
整体优化	1983	 奥迪100Ⅲ	 福特 雪拉

图1.2 汽车空气动力学的4个发展阶段

汽车空气动力学是一门工程应用科学或所谓经验科学,大量的汽车空气动力学方面的重要结论来自对工程试验数据的分析和推理。能源危机和高速公路的发展是推动汽车空气动力学发展的重要因素。由于市场的激烈竞争以及人们对汽车舒适性、安全性的要求,促使制造厂商在寻求最佳气动外形设计的同时,寻求更为人们所接受的美的造型。在汽车设计过程中,人们通过大量的风洞试验,不断地改进汽车设计,而风洞试验又不断地揭示各种气动现象,推动汽车空气动力学研究的发展。

值得一提的是,赛车空气动力学的发展在汽车空气动力学的发展历程中也起到了至关

重要的作用。很多民用汽车上的空气动力学改进都源于赛车空气动力学上的发明和发现。

1.2.1 基本形状造型阶段

汽车空气动力学发展的第一阶段是从 20 世纪初期开始的,人们从外形上注意了空气动力特性,把它总结为基本形状化阶段。

基本形状是人们直接将水流和气流中的合理外形应用到汽车上,采用了鱼雷形、船尾形、气艇形等水滴形汽车外形。早期的汽车外形在考虑了基本形状化后,相对于马车来说,其气动阻力系数明显地改善了。但当时的一个通病是没有认识到气流流经这种旋转体时已不再是轴对称的了,因为汽车使旋转体靠近地面,又加上了车轮及行驶系统,与单纯水滴形的流场已不相同。由于早期的汽车造型实用性不强,并且难以被人们的审美要求所接受,因而没有获得广泛应用。

1.2.2 流线型化造型阶段

1. 用空气动力学观点指导汽车造型

空气动力学理论被用于汽车设计中,经历了一个很缓慢的发展历程。1911 年 Riedle 对汽车的行驶阻力所做的分析,是人们对汽车空气动力学认识的基础,随着 Prandtl 和 Eiffel 进一步揭示了气动阻力的本质,空气动力学也越来越多地应用于汽车设计中。

在这一阶段,外形已不是简单的水滴形,地面效应也已被人们所认识。这期间,人们力图降低气动阻力,并获得了可观的进展。

在这个时期,Jaray 的理论对汽车空气动力学的发展作出了贡献。他把空气动力学理论应用在汽车设计中,使汽车外形设计有了巨大的进步,出现了气动阻力系数 $C_D = 0.28$ 的低阻汽车(1924 年的 Rumplen)。

2. 对内流阻力及操纵稳定性的认识

汽车空气动力学最初研究的是在静止空气中的纵向对称流动的气动阻力问题,但人们很快注意到驾驶室内通风、发动机冷却及侧风稳定性等方面的问题。

(1) 低阻汽车的侧风稳定性较差。人们认识到低阻汽车侧风稳定性较差,同时也认识到高速行驶中遇到侧风时,方向稳定性非常重要。Kamm 指出,对于大阻力的带棱角的车型,气动阻力系数随横摆角的增加变化很小,而对于流线型汽车,随着横摆角变化,阻力系数有很大变化,即低阻汽车侧风稳定性较差。

(2) 加尾翼可以减小横摆力矩,改善操纵稳定性。人们注意到侧风的危险主要来自于阵风,由于建筑物的突然出现,或者一段开阔地及菜地都会自然地产生阵风。人们发现,长尾车由于横摆力矩大出现操纵稳定性的问题,而切尾的快背式汽车横摆力矩并不大。后来沙瓦茨基通过试验证明:加尾翼可以减小横摆力矩,改善汽车操纵稳定性。

(3) 冷却系的气流增加了阻力。随着汽车空气动力学系统研究的进展,人们认识到冷却系的气流增加了阻力,开始详细地研究冷却系的气流,如汽车散热器和风扇之间的相互作用、驾驶室内通风问题以及外部流场与流经驾驶室的空气流之间的关系等,并研究了通过适当地调节内部流态改善舒适性等问题。

3. 流线型车的发展

为了获得低阻汽车,人们曾试图采用“半车身”形状。1939 年出现了实际“半车身”