

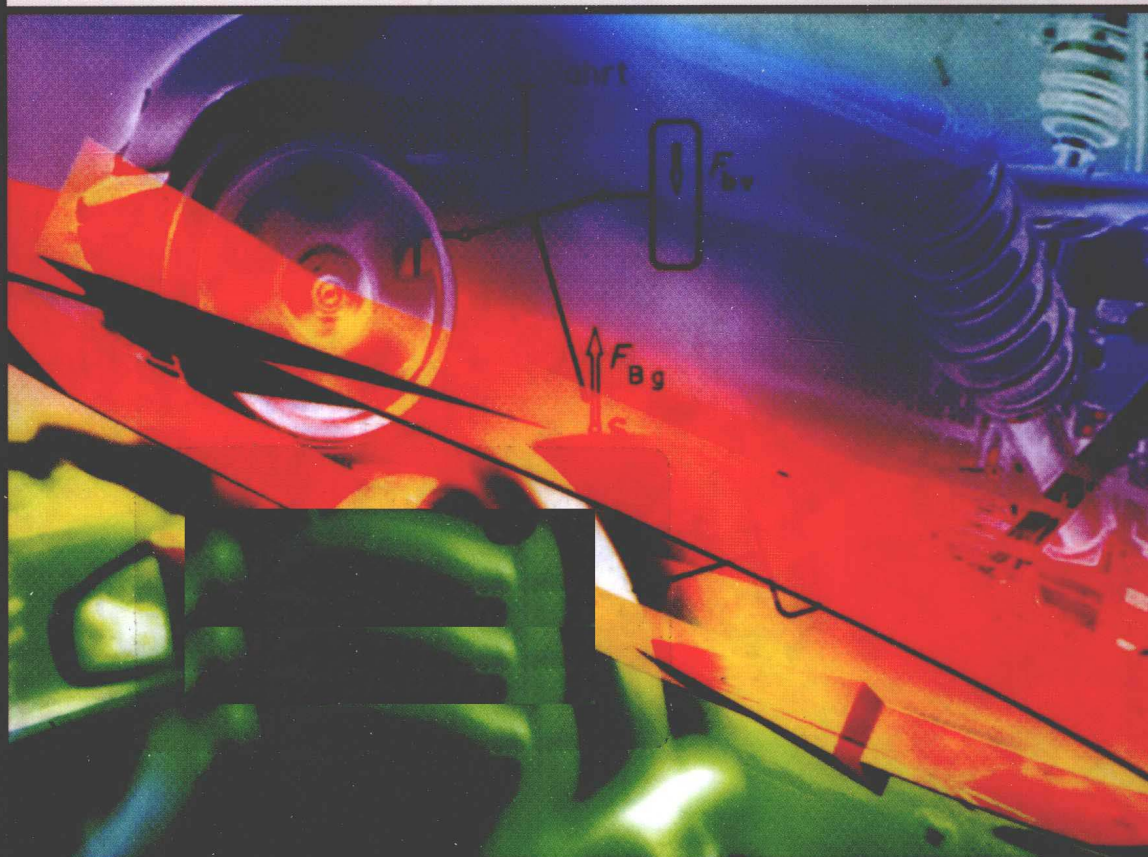
德国版权引进图书

Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens

# 汽车行驶动力学性能的 主观评价

【德】 贝尔恩德·海森英 编  
汉斯·于尔根·布兰德耳

石晓明 陈祯福 译  
管欣 宗长富 审



 VOGEL

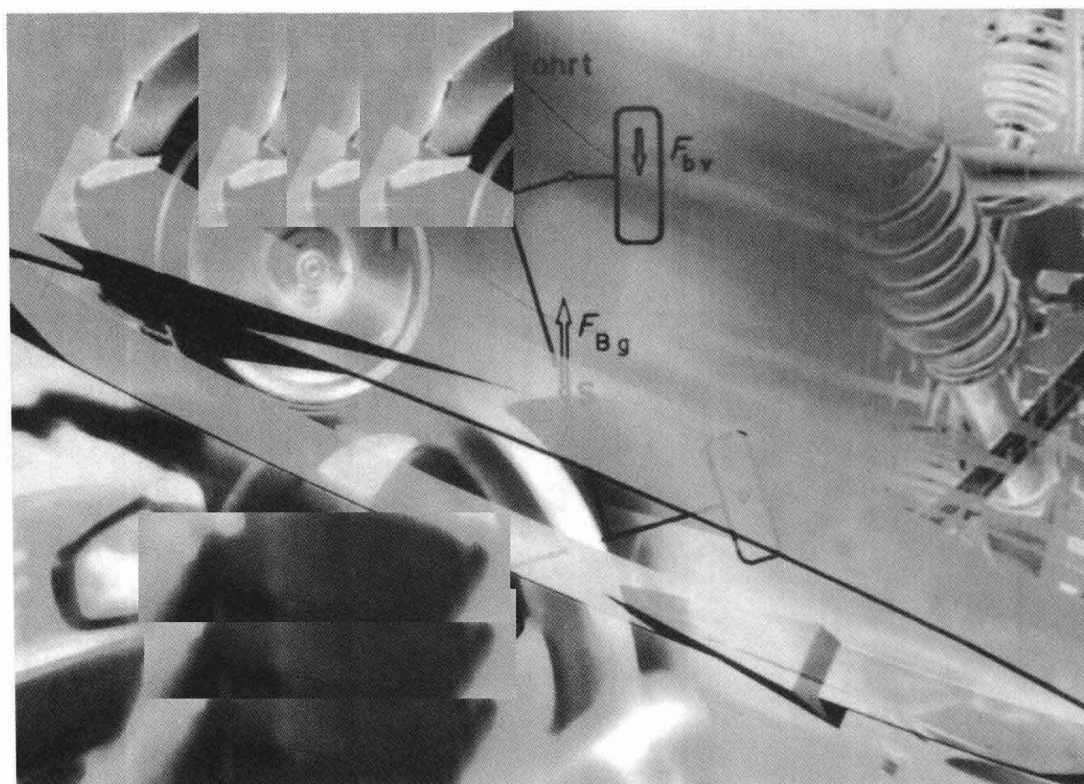


人民交通出版社  
China Communications Press

德国版权引进图书

# Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens 汽车行驶动力学性能的主观评价

【德】 贝尔恩德·海森英 编 石晓明 陈祯福 译  
汉斯·于尔根·布兰德耳 管欣 宗长富 审



 VOGEL

 人民交通出版社  
China Communications Press

## 内 容 提 要

本书以由浅入深、循序渐进的方式，对汽车行驶动力学性能主观评价的基本理论、方法和结果表达，进行了较为详尽地介绍。书中所述内容是德国汽车设计专家多年实践经验的积累，适合汽车设计人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车行驶动力学性能的主观评价 / (德) 海森英 等编; 石晓明, 陈祯福译. —北京: 人民交通出版社, 2010. 10

ISBN 978-7-114-08726-4

I. ①汽… II. ①海…②石…③陈…  
III. ①汽车-动力学-研究 IV. ①U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 202002 号

书 名: 汽车行驶动力学性能的主观评价  
著 作 者: 贝尔恩德·海森英 汉斯·于尔根·布兰德耳  
译 者: 石晓明 陈祯福  
责任编辑: 林宇峰  
出版发行: 人民交通出版社  
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门内大街斜街 3 号  
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>  
销售电话: (010) 59757969, 59757973  
总 经 销: 人民交通出版社发行部  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 中国电影出版社印刷厂  
开 本: 880 × 1230 1/16  
印 张: 9.5  
字 数: 317 千  
版 次: 2010 年 10 月 第 1 版  
印 次: 2010 年 10 月 第 1 次印刷  
书 号: ISBN 978-7-114-08726-4  
印 数: 0001-3000 册  
定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

Die Deutsche Bibliothek-CIP-Einheitsaufnahme

Heißing, Bernd:

Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens/Bernd Heißing;  
Hans Jürgen Brandl.

— 1. Auflage. — Würzburg : Vogel, 2002

ISBN 3 - 8023 - 1903 - 6

ISBN 3 - 8023 - 1903 - 6

1. Auflage. 2002

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2002 by Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg

Umschlaggrafik: Michael M. Kappenstein, Frankfurt/Main

Herstellung: dtp-project Peter Pfister, 97222

Rimpar-Maidbronn

版权登记号: 01-2010-5691

# 作者简介

**贝尔恩德·海森英 大学教授，工学博士**

1945 年出生。就读于亚琛工业大学机械系汽车专业。

从 1971 年起在保时捷汽车公司 Weissach 开发中心工作，从事试验场地自动化研究工作。

从 1973 年起在亚琛工业大学汽车学院，汽车动力学方向任教授助理。

1979 年获博士学位，主攻方向为汽车动力学仿真模拟。从 1980 年起在莱茵技术监护公司担任道路交通安全研究负责人。

从 1986 年起到奥迪汽车公司担任汽车动力学仿真模拟负责人。从 1995 年起担任奥迪汽车公司底盘开发部部长。在此期间对奥迪汽车公司所有系列车的底盘进行了改进和提升。

自 2001 年起担任慕尼黑工业大学汽车专业教授。

另外，从 1974 年起就是德国汽车动力学专业标准委员会成员。

从 1981 年至 1982 年期间任科隆应用技术学院汽车底盘技术的兼职教授。

从 1988 年至 2000 年期间任慕尼黑工业大学汽车底盘和汽车行驶动力学兼职教授。

1977 年以来共发表了 50 篇左右有关汽车技术，汽车安全和汽车研发产品的论文。

**汉斯·于尔根·布兰德耳 工学学士**

1947 年出生。就读于慕尼黑奥斯卡 - 冯 - 米勒应用技术学院机械专业。

从 1969 年至 1971 年期间在宝马汽车公司和保时捷汽车公司任底盘系列开发试验工程师。

从 1972 年起到奥迪汽车公司工作。开始任底盘调校，悬架弹簧及阻尼试验工程师。

从 1986 年起在奥迪汽车公司负责汽车系列开发和改进设计的底盘调校和汽车动力学。

1992 年至 1994 年临时参与奥迪四轮驱动车的底盘调校为世界拉力锦标赛准备赛车。

从 2000 年起在奥迪汽车公司底盘前期开发部任底盘调校、汽车动力学方面的高级专家。

# 序

汽车行驶动力学发展至今，已有七十多年历史，大量关于汽车行驶动力学性能的评价方法也应运而生。到目前为止，在新车底盘动力学性能开发中还没有可适用的客观评价方法和指标，新车开发最终要经过有经验的设计师主观评价。目前国外各大汽车厂商有成熟主观评价方法和高水平的评车师，我国少部分厂家有自己的主观评价方法和指标体系，但不成熟、不完善。大部分国内整车厂家委托国外公司进行底盘开发。

针对主观评价在现代汽车开发中的重要作用，本书德文原版的作者贝尔恩德·海森英教授与汉斯·于尔根·布兰德耳教授对于汽车行驶动力学性能主观评价的应用背景、理论基础和工程实践方法进行了全面介绍，并结合汽车底盘系统各总成，对各主观评价指标的设计目标、评价方法和影响因素给出了详细具体的解释。他们在汽车动力学方面的深刻理解与多年的工作、教学经验使得该书在内容上不仅适于工程人员阅读参考，也适于在校大学生与研究生拓展视野。

石晓明博士与陈祯福博士在繁重工作之余对德文原著进行了研读，并在翻译过程中，针对车辆动力学术语选用以及评价内容表述等关键问题，与我的学生管欣教授、宗长富教授进行了频繁的交流与沟通。他们的心血与汗水，使得本书在充分体现原著者思想的同时，其文字表述更适于我国汽车工程领域研究人员学习、理解。

在此书中文翻译版出版之际，我由衷地希望本书能够帮助广大科研人员、学生以及爱好者对于汽车行驶动力学性能的主观评价形成更为清晰的认识，为提高我国汽车自主研发能力创造有利条件。

郭孔辉

# 前 言

汽车行驶动力学性能的匹配与调校工作与新车的造型设计一样，是一个创造性的过程。直至今日，该项工作仍主要依赖于驾驶者的主观评价。

人们对汽车的评价通常来源于大量看到的和感受到的信息。这里，常用的评价表述有：较好的、舒适的、动感的、结实的、刚猛的、柔软的等。然而，就汽车行驶动力学性能的匹配与调校工作而言，则需要评价者对主观感觉有更为精确和详细的解读。

本书试图将汽车行驶动力学性能主观的评价工作所涉及的常用概念加以分类描述，指出并详尽阐释影响底盘动力学性能的重要因素。同时，本书也对为了获取相关评价结果所需使用的试验方法进行了论述。

本书有意避免使用数学公式来描述汽车的行驶动力学性能。同样，也不倾向于描述那些用来评价行驶动力学性能的客观试验方法及其特征值。如此安排的主要原因在于，当前大量专业且优秀的文献和出版物，已经对这些问题进行了较为详尽地论述。

本书可以作为培训汽车底盘评价及调校人员的指导手册，也适于整车、零部件厂家及专业杂志的测试评价人员学习参考。此外，本书还能够满足那些对汽车行驶动力学性能主观评价工作具有浓厚兴趣的技术爱好者的学习需要。

近年来，伴随着汽车行驶动力学性能客观测试与计算机仿真技术的广泛应用，汽车产品的研发流程发生了具有深远意义的转变。在新车产品的概念开发和优化设计过程中，计算机技术无论是在缩短产品开发周期方面，还是在提升车辆性能方面，都产生了积极影响。

然而，在当前条件下，我们以客观测试结果量化主观感觉的能力还相当有限。评价人员对汽车行驶动力学性能的主观感觉（如舒适或不舒适），仍然是决定汽车底盘调校工作成败的关键。本书为把目前我们在汽车行驶动力学性能评价工作中积累的实践经验记录下来，尽可能详尽地描述了各种针对汽车的行驶状态表现所产生的主观感受。

本书为进一步发展基于客观测试技术及计算机模拟技术的评价和优化方法提供了条

件，使得汽车研发过程中的优化工作能够得以更为快速且更有针对性地进行。  
感谢奥迪汽车以及其他为本书提供技术资料的公司和团体。

贝尔恩德·海森英  
汉斯·于尔根·布兰德耳

# 目 录

1	汽车底盘的匹配与调校方法 .....	1
2	驾驶员任务 .....	6
2.1	驾驶员 - 汽车 - 环境闭环控制系统 .....	6
2.2	极限行驶工况 .....	8
2.3	对底盘工程师提出的要求 .....	9
3	评价标准 .....	11
4	评价体系 .....	14
5	试验样车 .....	16
5.1	准备工作 .....	16
5.2	装载状态 .....	17
5.3	技术数据 .....	18
6	试验流程 .....	21
6.1	试验道路 .....	21
6.2	行驶状态 .....	34
6.3	环境温度和零部件温度 .....	35
6.4	评价任务 .....	35
7	行驶动力学性能评价 .....	36
7.1	加速性能 .....	36
7.2	制动性能 .....	45
7.3	转向性能 .....	57
7.4	弯道行驶性能 .....	70
7.5	直线行驶性能 .....	86
7.6	行驶舒适性 .....	97



<b>8 评价结果的表达</b> .....	123
8.1 行驶动力学性能的蜘蛛图表达 .....	123
8.2 混合型蜘蛛图 .....	132
8.3 行驶性能 - 行驶舒适性特性场图 .....	134
<b>9 展望</b> .....	135
<b>参考文献</b> .....	137
<b>图表来源索引</b> .....	141

# 1 汽车底盘的匹配与调校方法

汽车底盘匹配与调校的目标是：以均衡或折中的方案对行驶性能和行驶舒适性进行协调，以实现整车底盘性能的优化。为实现这一目标，工程设计人员往往在汽车底盘开发的概念设计阶段，就对那些与汽车行驶动力学性能密切相关的重要总成及零部件提出了设计要求。这些零部件不仅包括底盘系统自身的组件，也包括车身系统和控制系统的相应组件（图 1.1）。在汽车底盘匹配与调校的过程中，首先要明确定义出各个零部件的设计目标，然后通过反复的设计与改进，达到这些目标。对此，有三种不同的开发方法可供使用：

- ①借助道路试验，对汽车的行驶性能和行驶舒适性进行主观评价；
- ②借助道路试验，对表征汽车行驶性能和行驶舒适性的指标进行客观测试<sup>[1-7]</sup>；
- ③借助计算机仿真技术，对表征汽车行驶性能和行驶舒适性的指标进行仿真计算<sup>[8-12]</sup>。

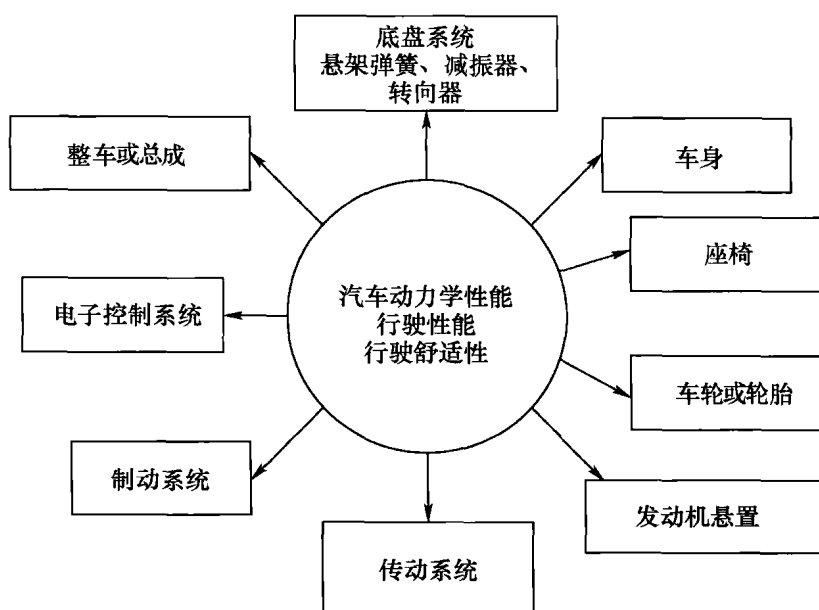


图 1.1 受底盘匹配与调校调试目标影响的各总成及零部件

在底盘开发过程中，工程设计人员通过使用上述三种方法，经由反复迭代，最终制定出能够满足新车产品定型与量产的设计方案（图 1.2）。由图可见，在结构设计的基础上，要为计算机仿真建立必要的仿真模型，并为道路试验制造相应的原型样车。在完成零部件及总成结构设计的前提下，通常借助计算机仿真手段来对新车的前、后车轴进行运动学与静力学分析。在此基础上，进一步开发出适于整车动力学仿真的计算机模型。仿真结果，则主要通过客观指标及特征值来进行评价。由于在该阶段尚不能对车轴模型和整车模型的精确性加以验证，因此，必须使用公认的、可靠的仿真软件来完成建模工作。图 1.3 所示为一个使用多体动力学仿真软件建立的整车模型。

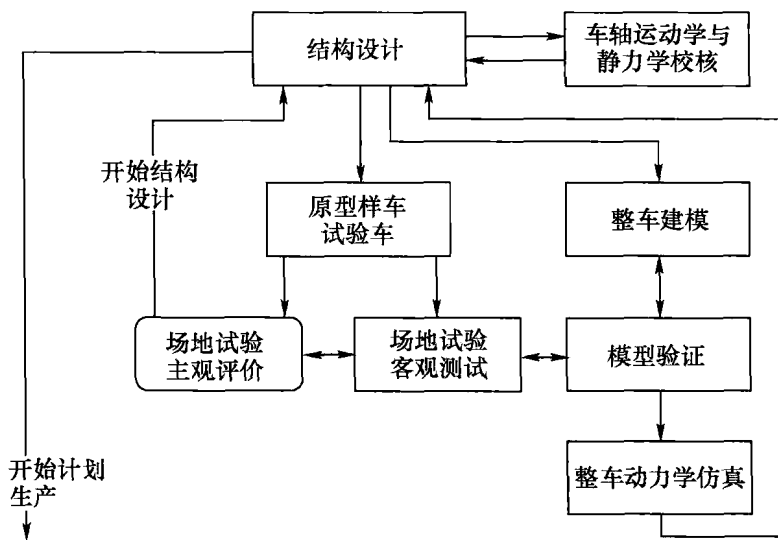


图 1.2 汽车底盘匹配与调校方法总体框图

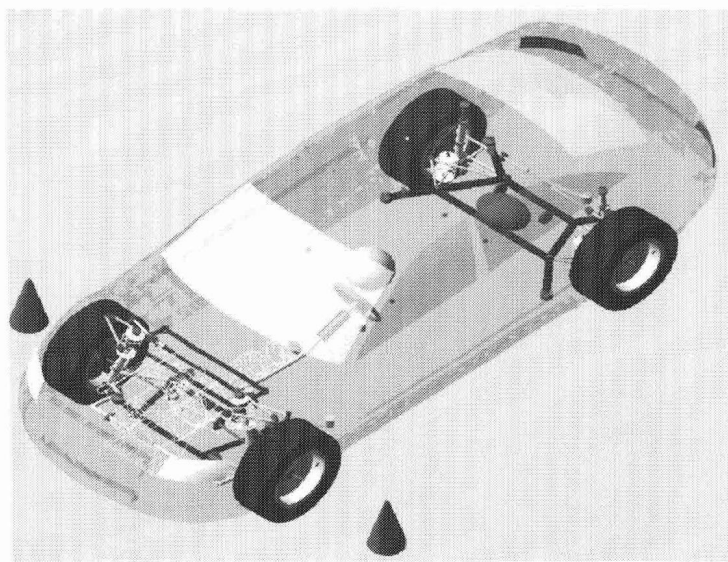


图 1.3 使用多体动力学仿真软件建立的整车模型

在上述工作的基础上，我们便可以对汽车底盘的关键参数进行预优化，并根据相应的优化结果，制造出原型样车或试验车。通过原型样车或试验车的场地试验测得的客观数据，我们便能够对先前建立的整车模型加以验证，进而使模型更为精细、准确。对于试验结果的评价，则可以通过主观评价或客观测试的方法来实现。

主观评价属于传统的底盘性能匹配与调校方法。在进行主观评价时，驾驶员同时承担着驾驶汽车和觉察汽车的任务。这是一种非常有效的方法，其原因在于：这种针对目标进行的觉察，往往可以获得精度较高的分析结果，且耗时较短，无需大量的准备工作。因此，这种方法是目前能够全面、有效地评价汽车复杂行驶过程的唯一方法。但使用这种方法的前提条件是，试车人员已接受过充分的培训。

客观测试与仿真的方法，虽然至今仍无法对汽车的底盘动力学性能做出全面评价，但已成为主观评价结果的一个重要补充。然而，由于计算机模型对行驶舒适性所涉及的中高频振动问题的预测能力有限，且当前可供使用的、能与主观评价标准相对应的客观评价指标略显不足，因此，客观测试与仿真的方法，在实际应用过程中受到了一定的限制。

运用客观测试量和仿真结果，对汽车行驶动力学性能进行评价的前提是：有一套与主观评价体系精度相当或者比其精度更高的客观测试方法；有一系列经过主观评价验证的客观指标；以及有一个能够详尽描述底盘性能的整车模型。随着测量方法、客观评价指标体系以及车辆模型的不断发展与完善，我们可以越来越精确地对汽车的行驶动力学性能进行预测。当然，这种发展与进步，也是建立在丰富的试车经验以及对客观指标深入分析理解的基础之上的。

客观测试与仿真的优势在于，能够超出主观判断获得很多驾驶员觉察不到的系统信息。图 1.4 所示为一个在行驶试验中记录车轮定位参数的测量装置。类似的信息也可以通过整车模型仿真来获得。客观测试和仿真的这种优势，可以使得我们能够更为简单易行地对底盘性能进行优化。

总而言之，在汽车底盘匹配与调校的具体过程中，主观评价、客观测试和计算机仿真这三种方法能够相互补充，为最终获得一个均衡的或折中的设计方案提供保障。这一过程主要包括以下步骤：

- ①结构设计；
- ②建立计算机仿真模型；
- ③借助计算机仿真手段，对车辆底盘性能进行预优化；
- ④根据预优化的结论制造原型样车或试验车；
- ⑤通过行驶试验进行主观评价；

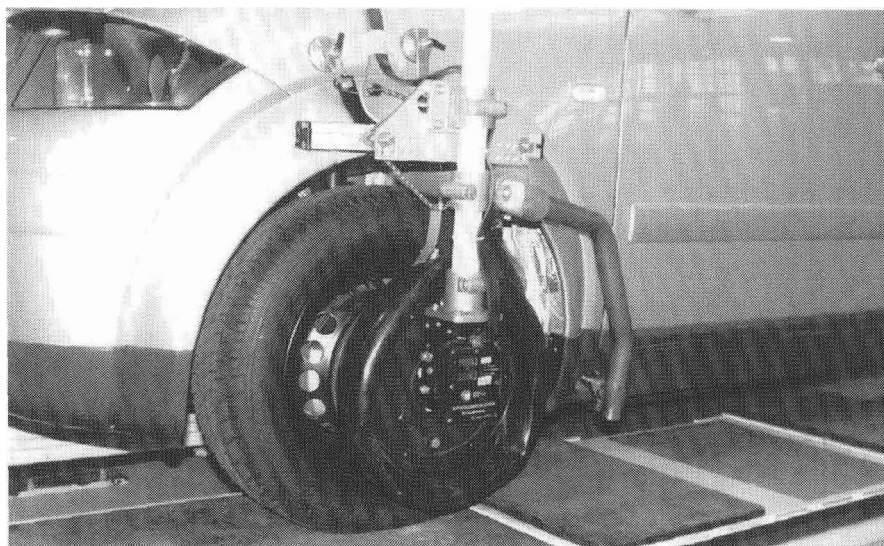


图 1.4 装有车轮定位测量装置的汽车

- ⑥验证车辆模型的精度；
- ⑦借助客观测试与计算机仿真，对主观评价过程中发现的问题进行深入分析；
- ⑧在“结构设计——计算机仿真——行驶试验”的流程中，反复进行迭代，优化设计方案；
- ⑨通过主观评价，最终定型车辆的设计方案并准备正式投产。

获得最佳匹配与调校结果的前提条件之一是，在整车产品开发的概念设计阶段，就已经明确定义出了汽车行驶动力学主体性能的设计目标，以及关键设计参数的选取范围。这里，关键设计参数包括：轴荷分配的边界值、整车质心高度、空气动力学升力系数、底盘离地间隙、车身抗弯曲刚度、车桥连接点的局部刚度、转向柱刚度以及那些与汽车振动频率和悬架行程密切相关的弹簧参数等。在这一阶段，也经常会出现整车总布置上的冲突。一般情况下，如果汽车的某些性能指标超出了预先定义的范围，则需要通过追加研发费用及设计成本来加以补救。图 1.5 所示为汽车底盘系统的典型开发流程。

获得最佳匹配与调校结果的另一个前提条件是，应及早地确定出与汽车转向特性和振动特性相关的底盘设计目标（比如偏重舒适的悬架特性；偏重运动的转向特性等）。这些目标（见图 1.6）通常是在综合考虑所有研发部门目标和要求后才确定的（如市场策略、用户需求、竞争车型等），并会被记录到设计说明书以及产品说明书中<sup>[14~18]</sup>。

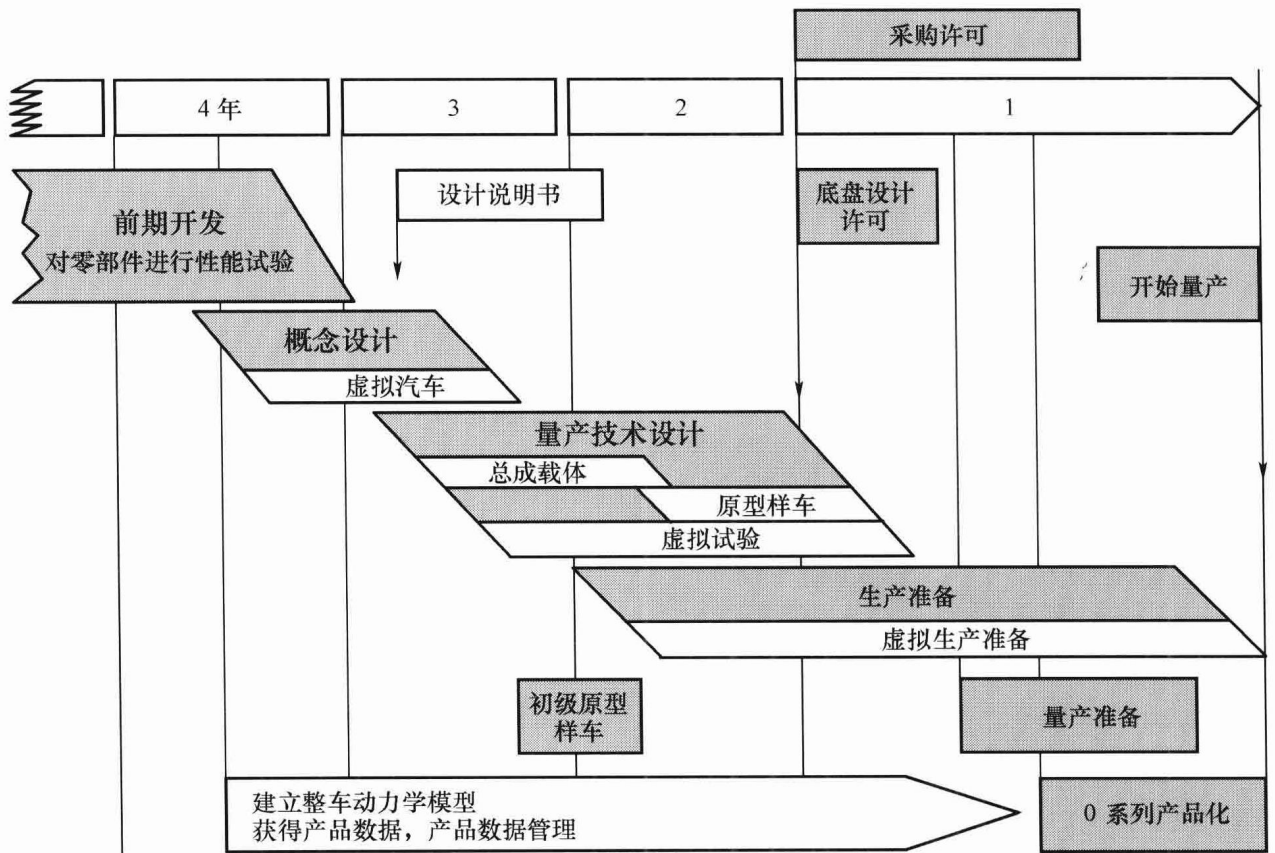


图 1.5 汽车底盘开发流程图

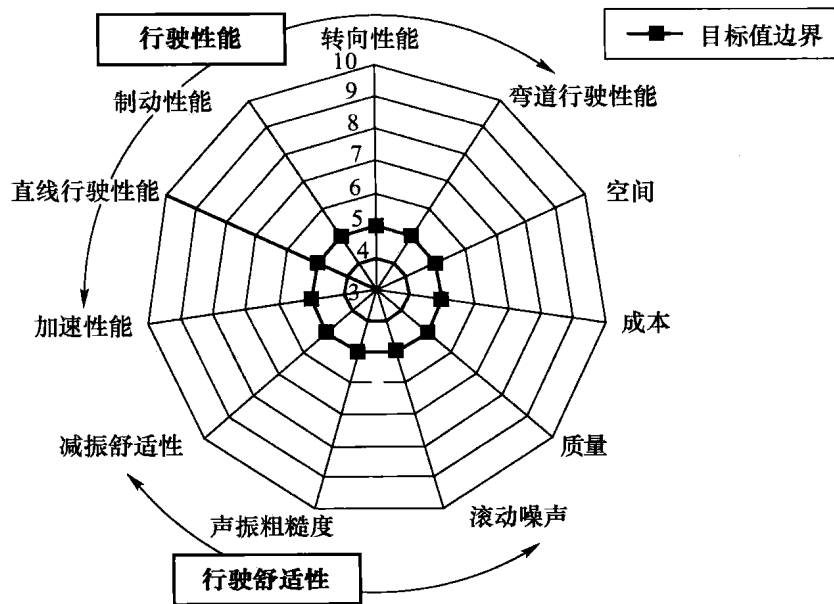


图 1.6 新车产品开发的目標设定

## 2 驾驶员任务

### 2.1 驾驶员 - 汽车 - 环境闭环控制系统

驾驶员在驾驶汽车的过程中，承担着操纵车辆和控制车辆的任务。驾驶员在不知不觉中采集了大量的视觉、听觉和触觉等动态信息，并将这些信息与控制目标进行比较，进而发出相应的控制指令（图 2.1）。在这一过程中，信息的来源既包括由于驾驶员的操纵行为所引起的汽车运动响应，又包括由于环境因素引起的汽车运动状态变化。驾驶员的驾驶任务一般被划分为以下三个环节（图 2.2）：

- ①规划——设定目的地，明确道路网络，选择行车路线；
- ②预瞄——确定行驶路径，并同时考虑各种约束条件，如道路状况，行驶法规及交通情况等；
- ③校正——当汽车的实际行驶路径与目标路径存在偏差时，对其加以修正。

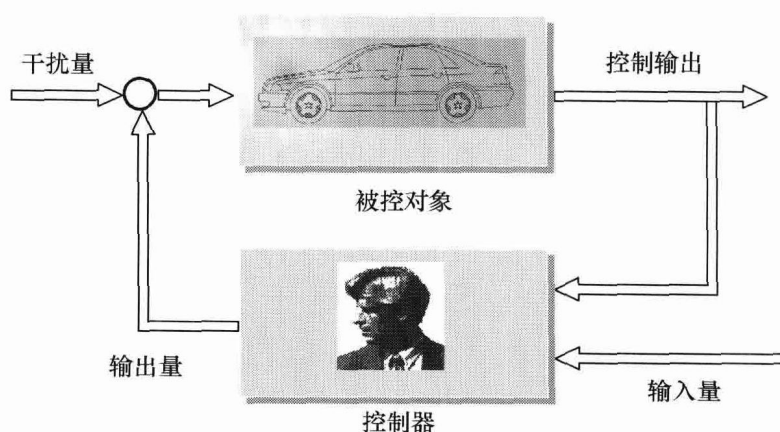


图 2.1 驾驶员 - 汽车闭环控制系统

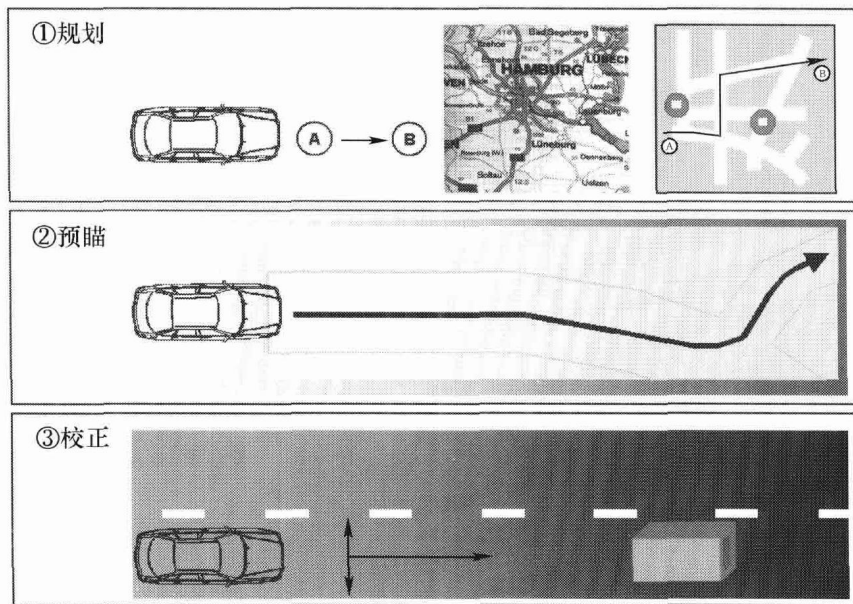


图 2.2 驾驶员的驾驶任务

在驾驶汽车的过程中，上述三个环节是具有先后次序的（图 2.3）<sup>[19]</sup>。汽车的底盘行驶动力学性能与校正控制的效果直接相关，并同时影响预瞄环节存在着较小程度的影响。在对汽车的行驶性能进行主观评价时，我们重点关注的是驾驶员校正控制的效果，因此可以认为，主观评价的结果主要受汽车自身行驶动力学性能的影响。另一方面，汽车的

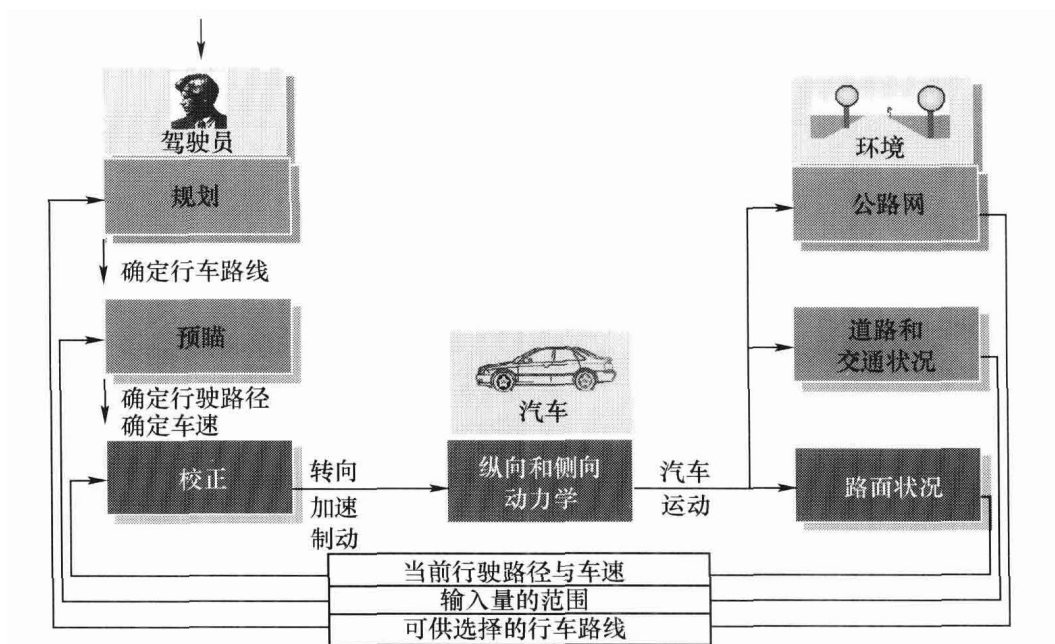


图 2.3 驾驶员 - 汽车 - 环境闭环控制系统



行驶舒适性对于驾驶员的某些主观感受（如行驶安全感、驾驶乐趣、协调感、操控信息）以及驾驶方式的选取也具有一定影响。

## 2.2 极限行驶工况

为减轻驾驶员的驾驶负担，避免危险工况下发生事故，我们对汽车在极限行驶工况下的行驶动力学性能提出了更高的要求。图 2.4 描述了外部干扰与驾驶员—汽车闭环系统特性的关系。驾驶员的驾驶状态、汽车的行驶状态以及天气条件，对于当前行驶工况的危险程度具有十分显著的影响。该危险程度随驾驶员反应时间的增长而上升，并受到驾驶员驾驶习惯及汽车动力学响应特性的影响。危险程度随驾驶员反应时间的上升率越小，系统的自我稳定性能也越好。汽车对驾驶员校正控制的响应特性，以及驾驶员驾驶习惯决定了驾驶员的反应模式。

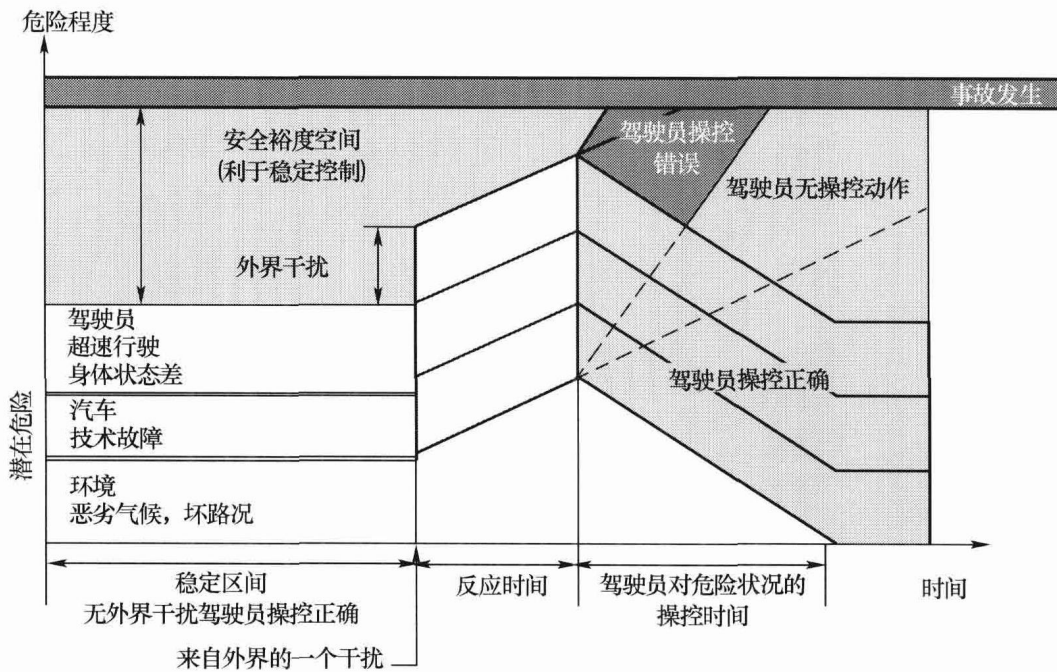


图 2.4 极限行驶工况下的安全裕度

为了使汽车在极限工况下仍能保持良好的动力学性能，我们在设计开发的过程中应力争实现以下目标：

- ①汽车对于转向输入的响应及载荷的变化，应具有可预见性；
- ②汽车应具有较高的横摆阻尼；