



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

# 汽车试验学

## Automotive Testing

吉林大学 杨志华 © 主编



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

# 汽车试验学

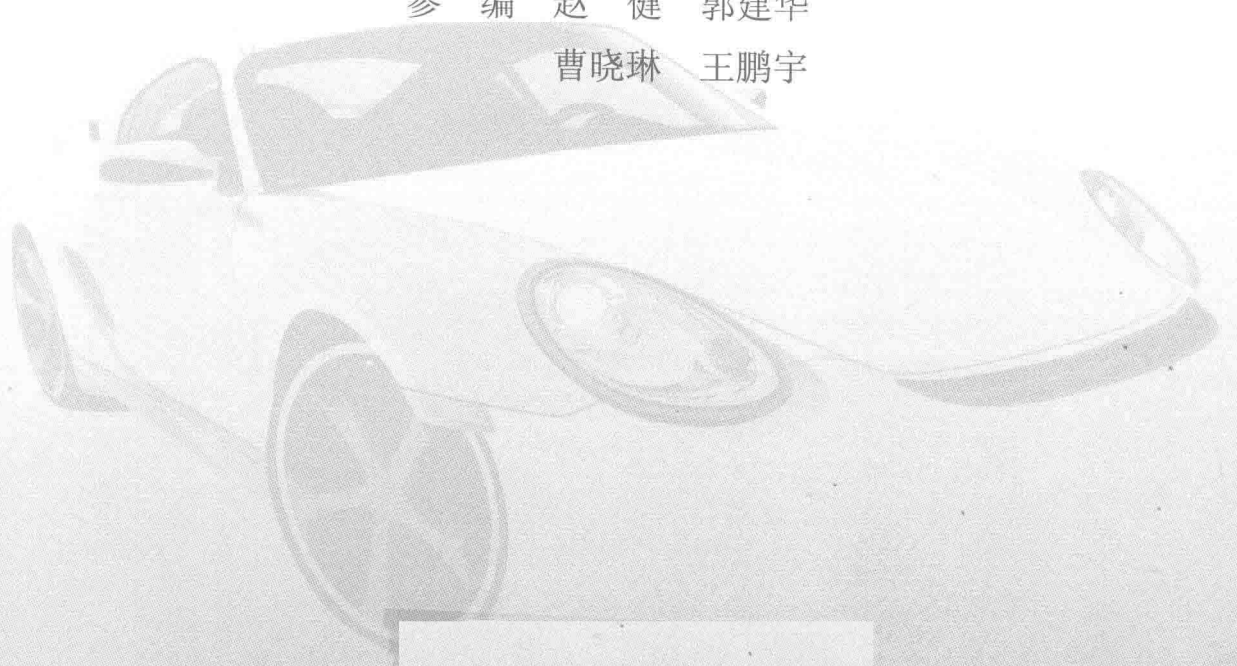
主 编 杨志华

副主编 宋大凤 朱 冰

许 楠

参 编 赵 健 郭建华

曹晓琳 王鹏宇



机械工业出版社

本书从汽车试验的基本概念出发,介绍了汽车试验的必要性、理论分析与试验研究的关系、汽车试验的分类和基本步骤,讨论了汽车试验与汽车检测、专业试验仪器与车载传感仪表的关系,以及试验标准等相关问题。

本书共九章,第一章为概述;第二~六章阐明了现代试验技术的模块化组织思想和电测法技术手段,讲述了测试系统的一般组成、测试系统的数学转换特性、机械量的电测量技术和典型的汽车试验仪器与设备,介绍了相似理论和正交试验方法等试验设计理论,讨论了测量误差分析以及试验数据的静态与动态处理的数学原理、基本方法和典型应用;第七~九章以汽车整车的主要使用性能和汽车主要系统、总成及零部件为研究对象,讲述了常见汽车试验项目的组织方法、试验装置的组成与特点和试验操作要点,对一些关键数据和限值的要求进行了分析与讨论,并对虚拟试验技术和V模式等汽车先进开发流程做了简要介绍。

本书可作为高等学校车辆工程专业或其他相关专业汽车试验理论与技能培养的专业教材,也可作为汽车设计、制造、检测和修理等相关行业从业人员的汽车试验检测方面的技术参考。

本书配有电子课件PPT,可免费赠送给采用本书作为教材的教师,可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载,或与编辑联系 ([tian.lee9913@163.com](mailto:tian.lee9913@163.com))。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车试验学/杨志华主编. —北京:机械工业出版社,2016.8

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

ISBN 978-7-111-54029-8

I. ①汽… II. ①杨… III. ①汽车试验—高等学校—教材 IV. ①U467

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第131746号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:宋学敏 责任编辑:宋学敏 李 然

版式设计:霍永明 责任校对:陈 越

封面设计:张 静 责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·494千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54029-8

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线:010-88379649 机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前言

本书作为高等院校车辆工程等专业本科生的试验理论与技术培养的专业课程教材，其理论基础是高等数学、工程力学和电工电子技术等学科基础课程（依各院校课程设置不同，也可能包括测试与传感技术等课程），汽车理论和汽车构造为其专业先修课。

作者根据多年教授车辆工程专业本科学生的实践经验，并通过对现行培养方案和专业课程体系的调研，同时参考毕业生就业单位和研究生培养单位的反馈信息，发现在车辆工程专业本科生的试验素质培养方面，需要一本综合性较强、涵盖面较广，同时具有相当的理论深度和较强工程实用性的教材。本书力图从汽车试验的基本问题、机械量的电测量技术与设备、试验设计方法、数据分析与信号处理、整车性能试验和底盘主要总成及零部件的典型试验等方面，对汽车试验理论与技术进行讲述与讨论，为学生的实践工作能力奠定坚实的基础。本书也可供相关行业人员作为汽车试验检测方面的技术参考。

希望有关院校在选用本书作为教材时，依据自身条件和培养计划，配置相应的试验课程。

作为车辆工程等专业的本科专业课教材，汽车试验学涉及较多的力学、数学、电工电子技术以及先进工程测试技术等方面的知识与理论。限于课时安排和学生的知识基础等因素，本书在某些部分直接引述了上述学科的结论和成果。如果读者有兴趣深入研究，请自行查阅相关教材和资料。

另外，作者在多年的汽车试验类课程教学中发现，用较大篇幅单纯地罗列乃至摘录试验标准，与高等院校专业教学的定位和人才培养的目的不符，而且标准文件有更新周期，过于详细地叙述其具体内容和参数要求等意义不大。因此，在各具体试验项目部分，本书致力于汽车试验的组织思想、被测参数的意义和测量原理以及基本测试方法的讲授，而对于试验标准部分，介绍得不是很系统、详细。希望读者在制订试验大纲和进行实际测试作业之前，先查阅相关试验项目的最新标准。

同时，本书中字体为楷体并铺了底纹的内容，为相对次要，或有一定难度，或与教材主题稍远的内容。

本书由吉林大学汽车工程系组织编写。其中，杨志华编写第一章、第二章的第一节和第二节、第四章和第五章（不含第三节），宋大风编写第二章的第三节、第三章、第七章和第九章，朱冰编写第八章（不含第五节），许楠编写第六章（不含第二节中“值域分析”部分），赵健编写第八章第五节，郭建华编写第六章第二节中“值域分析”部分，曹晓琳编写第二章第四节，王鹏宇编写第五章第三节。在编写过程中，得到了中国第一汽车股份有限公司技术中心、中国汽车技术研究中心等单位的大力支持和帮助，谨此致谢。

由于编者水平有限，书中必然存在不当之处，恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

前言	
第一章 汽车试验概述 .....	1
第二章 机械量的电测量技术基础 .....	10
第一节 测试系统的数学转换特性 .....	10
第二节 传感器 .....	27
第三节 信号的中间变换、传输与记录 .....	53
第四节 计算机数据采集系统 .....	75
思考与习题 .....	78
第三章 典型汽车试验设备与设施 .....	79
第一节 典型汽车试验仪器及设备 .....	79
第二节 典型汽车试验设施 .....	93
第三节 汽车试验场 .....	104
思考与习题 .....	107
第四章 试验设计理论与方法 .....	108
第一节 相似理论 .....	108
第二节 正交试验设计 .....	116
思考与习题 .....	120
第五章 测量误差分析 .....	121
第一节 误差分析概述 .....	121
第二节 直接测量参数的处理与计算 .....	125
第三节 间接测量参数的误差分析 .....	135
思考与习题 .....	139
第六章 试验数据处理 .....	140
第一节 静态测量数据处理 .....	140
第二节 动态测量数据的处理与分析 .....	155
思考与习题 .....	184
第七章 汽车整车性能试验 .....	186
第一节 通用试验条件 .....	186
第二节 动力性试验 .....	189
第三节 燃料经济性试验 .....	196
第四节 排放性试验 .....	202
第五节 噪声试验 .....	210
第六节 制动性试验 .....	213
第七节 操纵稳定性试验 .....	220
第八节 平顺性试验 .....	228
第九节 通过性试验 .....	233
第十节 汽车可靠性试验的基本理论 .....	234
第十一节 电动汽车整车性能试验 .....	239
思考与习题 .....	250
第八章 汽车总成与零部件试验 .....	252
第一节 发动机试验简介 .....	252
第二节 传动系统试验 .....	254
第三节 行驶系统试验 .....	280
第四节 转向系统试验 .....	291
第五节 制动系统试验 .....	302
第六节 汽车主动安全电子控制系统 试验 .....	314
第七节 电动汽车主要总成试验 .....	322
思考与习题 .....	330
第九章 车辆先进测试系统和开发 流程 .....	331
第一节 汽车虚拟仪器系统 .....	331
第二节 汽车虚拟试验 .....	334
第三节 汽车现代开发流程 .....	338
思考与习题 .....	341
参考文献 .....	342

## 一、基本概念

汽车试验，简单地说，就是通过实测的手段确定汽车的或与汽车有关的某个（些）参数。

这里的“参数”，一般是指物理量的定量数值，如力、温度、速度或者声级等（也包括各类疲劳寿命试验的循环次数等数据）；有些情况下也可能是定性评价，例如，有关操纵稳定性或越野通过性的一些试验，采用主观评价法，由试验员给出诸如“好”“较好”“一般”“较差”等的定性评价。

一般来说，汽车试验所采用的仪器设备、试验场所、试验环境和操作方法等，都应遵循国家或者相关部门、行业或企业颁布的正规标准文件。标准可以确保试验操作规范、安全，数据结果准确、可信且具有典型性、代表性和可比性。而有些探索性、创新性试验，也可以由研究人员选取或自行制定试验标准和操作规范，这也是对汽车基础理论、设计制造技术和汽车试验方法的有力推动。

## 二、理论分析和试验研究的关系

可以说，“试验”是和“理论分析”相对的。对汽车的同一个参数，既可以采取实测的办法获取，也可以通过理论分析计算得到。例如，确定一辆汽车的最高车速，可以从车辆结构参数、行驶环境参数和驾驶人操作（意图）出发，运用汽车动力性分析理论，由驱动力—行驶阻力平衡关系或功率平衡关系等，计算出该车在给定条件下能够达到的最高行驶车速；而如果由试验员驾驶一辆被测汽车在实际道路上行驶，按标准规定的方法和程序，通过测量汽车通过给定路段的时间或者利用各种速度测量仪器直接测量其瞬时速度，这就是汽车试验。

理论分析的价值在于，可以定量地揭示车辆结构参数、行驶环境和车辆性能之间的内在关系，可以在不对车辆原型进行实际操作的条件下预测其性能，对于产品的设计开发有很强的指导作用。然而，理论分析无法完全取代实际测试，尤其是对于现代汽车行业来说，汽车试验的必要性主要体现在以下几方面。

首先，理论源于实践。广义而言，任何一种理论，只有经过客观、准确的科学试验，得到验证后才能成立。实践是理论研究的前提和基础。理论研究进展困难，常常是因为



试验研究发展缓慢，而一旦试验研究有了突破，科学理论就会随之进步，这在我们的研究工作乃至科学发展史上都是屡见不鲜的事实。

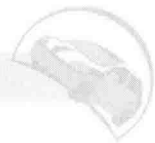
其次，作为一种室外交通工具，汽车的使用条件复杂，其自身参数、工作条件和行驶环境等难以全面预测。对这些纷繁复杂的使用条件建立完整且普遍可靠的理论模型，是比较困难的，即使存在理论模型，相关参数的确定和模型本身的求解有时也很困难，甚至是不可能的。例如上述的“求解最高车速”问题，车辆载荷的精确值，载荷在各车轴以及各车轮之间的分配，滚动阻力与车速的关系，轮胎与地面的滑转问题，车身的空气动力学特性，发动机、底盘和车身的技术状况，润滑油（脂）的技术状况和温度乃至燃油的品质以及车身门窗密封程度等，对于实际车速都是有影响的，但是在理论模型中是很难全面考察这些因素的，一般将其视作常数或者忽略不计。也就是说，理论模型与实际情况是有出入的。如果要计算的是加速时间，那么除了上述不精确因素外，用发动机的稳态台架试验数据代替实际动态工作特性会造成误差，旋转质量换算系数 $\delta$ 的估算也不可能绝对准确，而且对起步时离合器的滑磨过程、换挡时刻的选取以及对换挡过程中的动力衔接等若干问题均采取了“忽略不计”的处理，理论计算的误差将会更大。很显然，无论是车辆理论的基础研究还是新产品、新技术的工程验证，如果需要对这类问题精确求解，进行实车测试是更可靠的。

再如，对于地面车辆的通过性等研究，由于轮胎（或履带等）和土壤机械特性的复杂性，目前尚无可靠且普遍成立的理论模型可以精确预测给定行走机构在任意地面上的牵引性能，那么试验研究的价值和可信度就显得更高。

第三，汽车是一种高度普及的社会化民用商品，研究、制造单位之间的竞争异常激烈，企业为了争夺市场，势必要在产品的性能、质量和成本之间做出平衡。除了少数军用和专业比赛车辆的研发外，“不惜血本”的模式是走不通的，在理论研究深度方面过分“精益求精”也是不符合商业规律的。一个研发任务，要在有限的人力、物力和时间限制下，寻求在法规允许和市场满意框架下的利益最大化，势必要通过科学、合理的试验手段，定量、可靠地确定产品的使用性能和设计参数，达成研发和制造效费比的最优化。而在深层次的理论分析和机理解释方面，暂时有所欠缺也是可以接受的。以上述“最高车速”问题为例，无论是企业自身的产品验收还是各公权机关的法规检定与认证，都会选择在规范试验场地进行标准化试验，而不是追求建立一个足够精确的理论模型进行预测。

第四，进行汽车试验，不仅能解决试验者当前面临的工程实际课题，还有可能将试验中提取出的单纯经验性的结论，通过科学的归纳和推演，上升到理论规律的高度。例如，操纵稳定性和牵引通过性等领域的大量试验研究，为轮胎侧偏特性理论和土壤本构模型的建立和验证，提供了广泛、可靠的数据支撑。可见，汽车试验可以弥补现有知识体系的缺失并创建新的理论学说，从而推动汽车基础理论研究和设计制造技术的进步。

因此，进行汽车试验，以及对汽车试验自身的理论方法进行研究，对于优化汽车产品的设计、推动汽车工业的发展、完善汽车基础理论研究以及刺激和带动相关技术理论的发展等，都具有重要意义。



### 三、汽车试验的分类

汽车试验的研究范围广泛、试验项目繁杂，可以从不同角度进行分类。

#### 1. 按试验目的分类

(1) **质量检查试验** 通过定期检查，鉴定目前生产的汽车产品质量的稳定性，如果检查要求由用户提出，也可以不定期。如果发现问题还要进行简要分析。由于产品的技术性能和质量指标参数已经确定、试验规范已经成型，而且产品质量检查强调时效性，所以这类试验比较简单、快捷。

(2) **新产品定型（鉴定）试验** 新产品（包括整车、总成或零部件）在正式投产前进行的全面性能试验，必须按国家有关试验标准和规程进行，通常还要选择不同试验环境验证其在不同温度、湿度、海拔以及环境气氛下的适应性。一般要进行多轮试验，样件数量逐轮增加，每轮发现的问题应及时改进，直到性能要求全面满足，产品设计和工艺等参数全部确定。

有时将质量检查试验和新产品定型试验统称为**产品检验性试验**。

(3) **科研探索类试验** 为了改进现有产品或研制新产品、开发新技术，就要对车辆的新部件、新结构、新材料和新工艺等进行系统而广泛的研究，其中试验验证是必不可少的。另外，还包括对汽车及相关领域基础理论和技术的研究，以及对汽车试验方法本身的探讨。

科研探索类试验，其研究对象大都是目前尚未普遍应用的产品和技术，涉及诸多尚未普遍成立的理论和方法，试验项目的深度、广度较大，试验规范和操作实施方法的自由度大，可以由试验者根据具体的试验项目灵活确定，对试验数据的精确度要求很高，试验设备先进，试验手段通常较复杂，试验周期长短不一。与之相比，产品检验性试验在试验项目、规范、过程和操作等方面必须依据国家和部门、行业的相关标准进行，确保试验工作有章可循，试验对象之间的定量分析具有可比性。

#### 2. 按试验对象分类

试验按车辆结构层次可划分为三类：整车试验、机构及总成试验和零部件试验。

(1) **整车试验** 该试验通常是在整车不解体或仅拆卸少量外露零部件的条件下对汽车的各主要使用性能进行考察和评价，主要包括汽车的动力性、燃油经济性、制动性、操纵稳定性、平顺性和通过性等，还有环保性、电磁兼容性、整车技术参数的测量以及虚拟试验等。汽车整车试验，尤其是整车的道路试验，相对于其他汽车试验更接近汽车的真实使用状况，对于客观评价汽车使用性能、发现和暴露实际使用工况下的异常状况和可靠性问题、考察汽车的设计制造水平、对汽车以及相关领域理论方法的验证和创新，都具有重要意义。但由于整车不解体，试验中的部分异常现象和故障难以准确判断其来源，车辆性能与各组成部分之间的影响关系也不易理清。

(2) **机构及总成试验** 该试验主要考察机构或总成的工作性能、强度和耐久性等。例如测试发动机的功率、变速器的静扭强度或钢板弹簧总成的疲劳寿命等。

(3) **零部件试验** 该试验主要考察被试件的设计和工艺的合理性，主要测试项目包括强度（包括静强度和疲劳寿命）、刚度、抗磨损能力和工艺、选材的合理性等。例如各





类齿轮的疲劳寿命试验、传动轴滑动花键的磨损试验、整体式驱动桥壳的垂直弯曲刚度和强度试验等。

本书主要介绍各类金属零部件的试验。在相关章节中，也会介绍一些电气、电子系统和轮胎等非金属零件的试验。

上述(2)机构及总成试验和(3)零部件试验，这两个层次的划分不是绝对的，有时候其界定是比较模糊的，尤其是“总成”与“部件”两个称呼，很多时候其使用就是根据使用者的主观习惯。因此，在汽车使用、维修和检测等行业中经常将汽车试验按对象简单划分为两大类：整车试验、总成与零部件试验。本书第七章讲述的就是整车性能试验，总成与零部件试验则统归入第八章。

### 3. 按试验场所分类

试验场所主要有室内和室外两个场所。在这两个场所进行试验各有优劣、互为补充。

(1) **室外道路试验** 室外道路试验是指在室外实际道路上对车辆的技术性能进行验证。试验场地条件和车辆的实际运行条件一致，通常不需要对车辆进行解体，驾驶操作真实，可以进行几乎所有整车性能试验，而且其结果可信度较高。但室外行驶条件不易控制，试验过程易受各种无关因素的干扰，数据重复性较差。车载条件也对测试仪器设备提出了更高的要求。而且室外道路试验的组织和实施耗时较长，动用人员较多。近年来，随着测试技术的进步，小型高性能传感器、电子化智能化车载数据记录处理设备和信号短距离无线传输遥测系统等的的应用日益增多，大大提高了汽车道路试验的能力，降低了试验难度。

对于有越野性能要求的车辆，“道路”也可以包括泥土地、涉水地、沙地、冰雪地等非铺装地面。

(2) **室内台架试验** 室内台架试验是指在汽车实验室内搭建专用试验台架，利用试验台模拟实际使用工况，对汽车整车或总成、零部件进行测试。室内环境，易于控制试验条件，允许对被试件施加各种可控载荷，可以消除天气、道路状况和交通流量等室外随机因素的影响，有利于组织和安排试验，缩短试验周期，且试验数据精密度高、重复性好、可比性强。但汽车行驶阻力、整车或车轮的惯量、车轮垂直载荷变动、悬架动变形或路面附着系数等真实行驶工况，需要靠台架模拟，其精确度是一个需要重视的问题，否则试验结果是不可信的。而且，由于室内台架试验的被试件大多停留于原地，缺乏迎面风，长时间大负荷运转时需配置散热设备。台架本身搭建和调试时间可能较长，但试验操作本身过程较短（对于疲劳寿命类试验，台架运行的时间很长，但一般并不需要全程人工操作和监控），仪器设备大多是固定式的，比较容易布置和操控。需要考虑设备运转时周围操作人员的安全防护问题。

(3) **试验场试验** 试验场试验也可以看成是一种室外道路试验，但其路面（地面）是根据不同试验项目和目的严格按照规范修建的。同一个试验场，划分为不同的功能区，建有不同的分场地（跑道）以供不同试验项目使用，如图1-1所示。大型试验场还具有配套设施完备、服务周全和试验安全性高等优点。利用汽车试验场，试验安排和组织更有条理，测试过程更科学，试验工况更具典型性，大大提高了试验的效率和数据结果的



精确度和可比性。

汽车试验场占地面积较大，建设成本高，数量不多。



图 1-1 汽车试验场全貌及其高速环形跑道

(4) **使用试验** 所谓“使用试验”就是在实际使用中对车辆（或车辆的某部分）的某个指标进行测试。这当然也是在室外道路上进行的。但这种“试验”往往并不是利用专业试验仪器设备进行通常意义上的测试，而是仅仅由试验员（此处的“试验员”一般来说就是该车的实际驾驶人）对某些行车信息进行记录，如行车环境、车辆技术状况反馈、手脚操作动作和次数、维护、补给、润滑以及修理项目与次数等。对于行驶道路和气象条件、车辆装载情况、驾驶操作规范、车辆技术状况和维修调整作业等不做任何额外规定，完全按驾驶人意图和实际工作条件操作。可以看出，这种使用试验，其实就是对日常行驶进行详细记录，其优点是行驶状况最为真实可信；但是驾驶人的操作技能与习惯、试验车辆的技术状况和使用环境等均存在差异，这种“真实可信”仅对该车、该驾驶人与该时间段成立，试验数据的典型性和重复性不好，而且实际工作中还可能存在一些难以预测的不公平因素，导致其可操作性很差。能够采用使用试验方式的汽车试验项目并不多。

#### 四、汽车试验的基本步骤

不同的汽车试验项目，被试对象、被测参数和试验工况各异，具体实施手段千差万别，详略繁简各不相同，不可能有详细而统一的模式和规程。总体而言，一个汽车试验可以划分为以下四个基本步骤。

##### 1. 制定试验大纲

汽车试验的技术性很强，试验结果的影响因素很多，在实际测试前必须进行周密的计划、组织与准备。首要任务就是制定试验大纲，它是指导试验的纲领性技术文件，它的编制是否科学、合理，将影响整个试验的成败。

试验大纲主要规定内容如下：试验目的；试验必须完成的任务，以及要达到的目标；操作项目与测试条件；所有被测参数与对应的仪器设备；试验操作的程序和具体方法；人员组织与计划进度；计划外事件的应对预案等。

##### 2. 试验仪器设备和人员的准备

严格按照试验大纲的要求，准备好所需的全部仪器设备，包括购置、安装（搭建）、



调试、标定、试运行等各项工作。针对各仪器设备和各项测试操作，安排好专门的试验人员。同时配置必要的记录表格。

### 3. 具体实施操作

根据试验大纲规定的试验项目和目的，使用仪器设备对被试件进行测试，以获取试验数据和结果。具体作业（包括现场操作和数据的分析与处理等）需严格遵循各级标准和有关技术文件的要求，以确保试验过程安全、有序，数据结果真实、准确、有效。

### 4. 编写试验报告

试验报告是对试验的全面总结。报告中需要回顾本次试验问题的提出和简要的测试方案，所选用的试验方法和测试系统的组成等。着重描述现场试验的条件，包括时间、地点、参与人员、环境条件和配套设施条件等，如实叙述具体操作过程和得到的各项结果和数据，对观察到的现象和发现的问题进行必要的分析，对测试数据进行误差分析，论述对试验结果是否满意、试验目的是否达到、试验中出现的问题以及提出的对策等。有可能的话，通过归纳与推演，将试验数据与资料提升到理论规律的高度，对现有理论知识体系进行改进与完善。

## 五、几个相关问题

### 1. 汽车试验与汽车检测

如前所述，“汽车试验”就是通过实测的手段确定汽车或与汽车有关的某个（些）参数。

而某些实测项目，例如，确定一辆在用汽车的外轮廓尺寸、车速表指示误差、车轮定位参数、发动机润滑系统压力与机油品质或者前照灯的发光强度与照射方向等，更多的是被运用于行业检测领域以及指导汽车的故障诊断与修理方面，而不是在制造企业、科研单位和高等院校中。习惯上，通常把这类作业较简单、快捷并对数据结果的精度和重复性要求相对不高的实际测试，称为“汽车检测”，而不是“汽车试验”。汽车试验主要针对的是某项汽车新结构、新技术或者新理论，检测更多的是侧重于确定某辆具体汽车的技术状况。

也可以这样说，“试验”强调的是专业性和学术性，对测试结果的定量精度和可信度要求较高，试验的组织、试验场地的设置、试验台架的搭建与仪器的安置、试验的操作过程等较复杂，试验进程可由试验组织者灵活掌握，对试验对象可进行不同层次的解体拆装或改造，对试验数据往往要认真研究、分析，对数据结果有异议时可以进行重复测试乃至更改试验方案、重新试验；而“检测”则更倾向于行业管理、维修生产和法规约束，对检测作业的速度和管理的智能化要求很高，主要强调的是方便、快捷，同时要求尽量不对车辆进行解体，检测设备的自动化和智能化要求很高，检测结果产生后往往立即生效（其结果有时只是定性的“合格”或者“不合格”，而不一定给出精确的定量数据）。

需要注意的是，“试验”与“检测”在物理本质上并没有区别，都是利用测试系统感知和处理被测信号，根据测试系统的输出来推断输入信号（亦即被测量）；在



基本技术手段上，也都是采用电测法。

“检测”与“试验”在项目和设备方面也并没有严格的、绝对的区别。例如，在底盘测功机或道路上测试汽车的燃油消耗量、在制动试验台或道路上确定汽车的制动性能，又或是测试汽车的排气污染物的成分和数量等，既属于“汽车综合性能检测”的范畴、又可以称作“汽车试验”。

因此，本书讨论的电测量的原理与数据处理的方法，基本上不细究其属于“检测”还是“试验”，而一律采用“试验”或者“测试”的说法。

## 2. 汽车专业试验仪器设备与车上传感设备的关系

现代测试与传感系统，其基本组织和工作原理都是近似的，基本上都是由传感器、信号的中间变换与传输装置以及必要的记录、数据处理和显示打印等输出设备组成。只是在用于不同场合和测试目的时，其技术含量、复杂程度和测试结果的具体运用方式等有所不同。

**汽车专业试验仪器设备**，指的是为进行某项汽车试验而专门配置的硬件设施以及相关软件，它不属于汽车的组成部分，也就是说，不做试验时它与汽车是无关的。由于其目的是专门用于汽车试验，而且相对于各类车上设备，专业的试验仪器设备对成本不敏感，所以它的技术含量和测试精度是非常高的。例如，测试汽车的行驶速度，做汽车试验时会用到五轮仪、光电计时设备或者各类非接触式车速仪，其测试精度很高；但仪器的安装、试验现场的布置、试验实施、信号的记录以及后续处理等相对复杂。

**车上传感设备**则是汽车的一部分，其目的是为汽车的正常运行或驾乘人员的安全和舒适服务，具体又可分为两类：**车载显示仪表**和**车载传感器**。**车载显示仪表**，是为了行车安全与方便，向驾驶人提供一些信息，其显示部位通常在驾驶室内部的组合仪表上，方便驾驶人观察或调取。其特点是要适应车载的运行环境，对工作可靠性和耐久性要求较高，但是显示数值的定量可信度并不高。例如，同样是测试汽车的行驶速度，车速表可以非常便捷直观地向驾驶人显示实时车速，也不需要额外安装，比上述各种专用的速度测试仪器方便得多；但是该仪表的指示误差较大，只是一个大致的参考信息，对于专业试验来讲其定量数据基本上没有意义（车速表检测标准的相对误差上限允许达到20%）。**车载传感器**，是为汽车各电控系统提供输入信号的基础元件，其信号供电控单元分析与处理，并据此控制各执行器的动作，对驾驶人来说其信号一般是不可见的。车载传感器要能适应各种苛刻的车载条件（其工作条件可能比车载显示仪表还要恶劣），同时为了提高汽车电控系统的控制精度与合理性，其测量精度要求也比显示仪表要高。例如，防抱死制动系统需要轮速传感器，其基本原理与各种汽车试验专用的转速传感器相同，精度也相仿；而发动机电控系统内的各种曲轴转速/位置传感器、空气流量（压力）传感器、爆燃传感器和各类温度传感器等，其工作环境比外置的汽车试验仪器设备要恶劣得多，对工作可靠性和抗干扰能力的要求很高，而其测量精度一般不如固定式的汽车专业试验仪器设备。同时，各种车上传感设备属于汽车的组成部分，对于成本相对更敏感

一些。

可见,无论是汽车专业试验仪器设备、车载显示仪表还是车载传感器,都能对某些汽车参数进行测量和/或显示,都属于现代测试系统(车载传感器只是整个测试系统的前端,整个系统还包括电控单元中的输入信号分析与处理部分)。但是,出于设置目的、应用场合以及成本控制等要求的不同,三者和技术原理、设计特色、数据的精度和可信度、测试过程与结果显示的便捷性等方面有很大的区别。

本书的“测试装置”、“仪器设备”等术语,主要指的是各种汽车专业试验仪器设备。在相关章节中,对车上传感设备的基本原理也会做一些介绍。

### 3. 关于试验标准

从严格意义上说,任何一项汽车试验都应遵从某项标准。

标准按照适用范围,可以划分为以下六种。

(1) **国际标准** 它由国际标准化组织 ISO (International Standards Organization) 制定。例如,ISO 2631《机械振动与冲击 人体暴露于全身振动环境中的状态分析》,就对人体的坐姿受振模型、各振动轴向和各频率段的加权关系、平顺性的评价指标—加权加速度均方根值的计算方法等,给出了详细的规定。很多与汽车平顺性分析和试验有关的国家或行业标准,都是以该国际标准为基础编制的。

(2) **国际区域性标准** 较典型的如欧洲经济委员会标准 ECE (Economic Commission of Europe) 和欧洲经济共同体标准 EEC (European Economic Community) 等。

(3) **国家标准** 我国的国家标准简称为 GB。如果国家标准号以 GB 开头、后面紧跟号码,就是强制性标准,俗称“法规”,必须执行,如 GB 7258《机动车运行安全技术条件》;如果在 GB 后面还有字母 T,就是推荐性标准,如 GB/T 12678《汽车可靠性行驶试验方法》。

(4) **行业标准** 某些行业,需要有统一的、通行的技术要求与规范,而暂时又没有国家标准的则制定行业标准。相应的国家标准实施后,该行业标准即行废止。我国汽车行业标准的简称为 QC,交通行业标准的简称为 JT。

(5) **地方标准** 对于没有国家标准和行业标准而又需要在某省、市、自治区范围内统一规定的技术要求与规范,则需制定地方标准。国家或行业标准公布后,该地方标准即行废止。

(6) **企业标准** 企业根据自身特点,参考国家与行业标准,制定仅适用于该企业内部的标准。企业标准的主要目的是提高企业自身的产品质量和管理水平,企业标准的技术要求可以高于国家标准和国际标准,且一经当地政府标准化行政主管部门备案后不得自行降低。企业标准代号通常以“Q”开头。

汽车试验标准的制定,是一项庞大的系统工程。标准一经颁布执行,就具有技术上的权威性和一定的法律属性。无论是整车性能试验还是总成及零部件试验,都要在试验标准的指导下进行,否则试验就失去了严肃性和结果的可比性。

汽车试验标准繁多,标准文件更新频繁。本书的出发点和定位是车辆工程及相关专业的专业课教材以及汽车试验原理、方法方面的参考资料,而不是单纯的标准



宣贯或岗前培训。所以，在相关章节中介绍试验项目时，会在不同程度上涉及和引述试验标准，目的是以标准为例证和参照，重点讲述试验的组织思想和信号的测量方法，对标准中的重要步骤和关键参数还会进行分析和讨论；但不会全面细致地讲解各项试验标准中的所有要求。而且部分列举的标准要求或数据，在读者阅读时可能已经废止或更新，所以在实际工作中，进行各项汽车试验的具体操作时，请试验工作者一定要查阅最新的、有效的标准文件，结合现场条件和仪器设备，制定科学、合理且具有可操作性的试验大纲。

对于科研探索类试验，由于涉及较新颖的、尚未成型的产品或技术，可能没有现行的适用标准，也允许试验者自行拟定标准，制定试验大纲。



在现代社会的国民经济建设、科学研究、国防建设和社会生活的各个领域，为了获取被研究对象的特征信息，经常需要测量各种参数和物理量。包括汽车试验在内，现代测试技术普遍具有两大特点：从测试系统的总体组织和构成的角度看，采用的是“模块化”；在信号测量的具体技术手段上，采用的是“电测法”。

针对某给定试验任务，构建一整套测量装置，也就是测试系统，而这个系统是由若干既相互联系、又相对独立的环节（可称之为“子系统”）组成的，这就是模块化。另一方面，这些子系统不一定只运用于该项特定试验。试验结束后，可以将整个测试系统再次拆解成若干子系统；当这些子系统按不同方式重新组合时，又可以构成另一套测试系统（可能需要增减某些子系统或辅助元件），进行另一项试验。显然，这种“搭积木”式的组织方法，有利于提高试验准备和试验实施过程的效率，也有利于提高试验仪器设备的利用率。

在汽车试验中，被测物理量往往是力、应力、加速度、温度、流量等非电机械量。对这些机械量的测量，传统上可以采取机械、气动等方式。但是现代的专业测试技术，普遍是先将这些非电量转换为某种电信号，再进行后续的传输、处理和记录显示等，这就是电测法。与机械式测量方法相比，电测法的主要优点包括：测量的灵敏度和精确度高，测量范围广；更适用于高频信号的动态测量；测试系统对被测系统的干扰小，单向性好（“单向性”的概念参见本章第一节）；电信号的传输、处理、记录、复制和显示等更方便；试验过程的自动化、智能化程度高；便于远距离测量与控制等。

本章的主要内容是介绍汽车试验系统的各组成环节，研究被测量在试验测试系统中的转换和传输。

### 第一节 测试系统的数学转换特性

本节讨论的“测试系统”，仅是针对被测信号的感知、传输处理和记录分析等流程而言的，也就是直接服务于被测物理量的测量。而整个汽车试验的硬件体系还要包括被试件、动力输入装置、加载装置和其他配套设施等环节，这些环节的功用，就是产生并向测试系统提供一个或几个被测物理量，同时维持测试系统的正常运行。



例如，图 2-1 所示的是一套发动机试验台架的示意简图，被测参数是发动机输出功率或燃油消耗率等。发动机是被试件，同时也是动力输入装置，电力测功器作为加载装置提供阻力，变速器实现台架的机械连接，同时使得发动机的输出特性与测功器的工作特性得以匹配，三者联合工作产生输出转矩和转速两个被测量。为了测量这两个机械量，可以使用测功机的转速与转矩测量功能。本例中，对测功机自带的测速精度不满意，另外使用了测速发电机，当然也可以使用其他种类的转速传感器。如果再加上油耗传感器则可以测量燃油消耗量。整套试验台架中的转速、转矩和油耗等传感器，及其信号的后续传输、处理和记录显示装置等，就是本节讨论的“测试系统”。

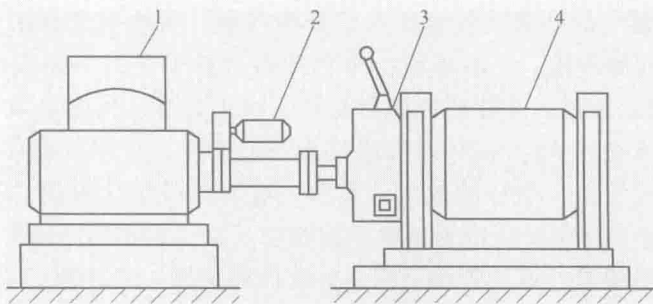


图 2-1 发动机台架试验

1—电力测功器 2—测速发电机 3—变速器 4—被试发动机

## 一、测试系统的基本组成

按照“模块化”的观点，一整套测试装置，可以看成是一个总系统，它是由若干环节（即子系统）组成的。

汽车试验项目繁多，不同试验的测试对象、被测参数、试验工况和试验条件等均存在差异，所采用的具体试验装置千差万别，但就总体而言，一个完整的测试系统，从被测物理量的变换和传输过程来看，主要包括三个环节：传感器、信号调节器和记录与显示装置。另外还可能有定度、校准装置和电源等装置，如图 2-2 所示。

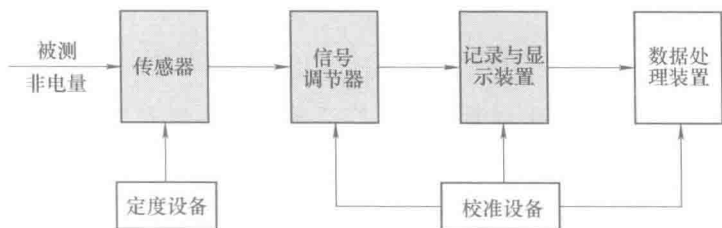


图 2-2 测试系统的基本组成



在有些测试与传感技术的资料文献中，按测试信号的转换流程，将整个测试系统划分为三个级，即初级是检测-传感级（或称为敏感元件-传感器级），中间级是信号调理级，终端级称为读出-记录级，分别对应上述传感器、信号调节器和记录与显示装置。

**(1) 传感器** 在不同的应用领域和不同的文献中，对“传感器”可能有不同的定义，但其本质都是相同的。从信号处理的角度出发，本书将其定义为将被测物理量（通常是非电量）转换成电信号的装置，也称为感应器或变送器。传感器的基本功用就是感知被测信号，这种感知有时被形象地称作“拾取”。

**(2) 信号调节器** 信号调节器也称为信号调理器，指的是信号的中间变换，同时包括各种变换装置之间的传输。一般来说，来自传感器的信号，不能直接使用（显示或记录），需要经过中间处理后，才能成为能量足够、波形标准、不易失真、干扰少、便于传输的电信号，供记录或显示。“信号调节器”是一个统称，具体种类有很多，功能包括阻抗匹配，多路信号的切换，信号的放大、整形、滤波，调制与解调，数字量和模拟量的相互转换等。在实际工作中，应根据试验目的和信号特点，选用不同的信号调节器。

**(3) 记录与显示装置** 该装置就是测试系统的输出端，或称为“负载”。测试系统的输出信号，就是通过这个环节记录或直接显示，供使用者分析或利用数据处理机分析计算的。记录方式目前多采用磁介质记录，属于隐形记录，记录信号是数字量，便于信息的储存、复制、重放和分析处理；显性则指的是在纸介质或者屏幕上直观地显示信号的连续变化波形，属于模拟输出。记录或显示的数据通常交由数据处理装置做进一步分析和计算，但该装置已不属于“被测物理量的变换和传输过程”范畴。

对于汽车试验所使用的各种测量元件和硬件器材，在实际工作中经常使用各种“计”、“表”、“仪（器）”等称呼，本章则更多地使用“装置”的说法。它们都属于同一概念，其本质都是“测量或指示被测量值的装置”。不同说法只是源于不同的标准称呼或行业习惯等。

例如，汽车驾驶室组合仪表中的速度显示装置一般称为“速度表”或“车速表”，专业汽车试验用的测速装置则习惯称为“速度计”或“速度仪”；测量燃油消耗的装置称为“油耗仪”、“油耗计”或“油耗传感器”。本书不对这些术语做严格界定。

**(4) 数据采集系统** 现代化试验测试，广泛采用计算机技术。这种运用计算机进行信号的各种拾取、转换、运算、记录和存储等工作的测试系统，通常称为“计算机数据采集系统”或“数据采集系统”，有时简称“数采”。需要注意的是，“数据采集系统”不仅具有数据采集的功能，也能进行相当多的数据处理操作，很多时候就是一套完整的测试系统。

试验的被测量通常是在时间上连续变化的模拟量，由传感器拾取后，产生的原始电信