



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车试验技术

第2版

主编 何耀华

VEHICLE



课外
延伸



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车试验技术

第2版

主 编 何耀华
参 编 杨 灿 刘毅辉
黄 锋 邓小禾

机械工业出版社

本书共十三章,内容包括汽车试验系统的组成与特性分析、汽车试验系统中常用的典型传感器、信号的调理与补偿、试验数据的采集与处理、虚拟仪器系统、汽车整车出厂检验系统、汽车整车性能道路试验系统、汽车整车室内台架试验系统、汽车试验场试验、汽车 NVH 试验技术、车载试验系统、汽车试验新方法的探索与研究等。

本书从汽车产业的实际出发,力求能反映汽车试验领域的最新发展动态;避免内容过时以及与其他课程的重复;力求让学生能系统而全面地掌握汽车试验技术的全貌和细节。

本书可作为高等院校车辆工程及相关专业的教材,也可供汽车制造、试验及交通管理等领域的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车试验技术/何耀华主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2019.2
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

ISBN 978-7-111-61771-6

I. ①汽… II. ①何… 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 (2019) 第 006318 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:赵海青 责任编辑:赵海青

责任校对:樊钟英 封面设计:张 静

责任印制:孙 炜

北京玥实印刷有限公司印刷

2019 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.25 印张 · 417 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61771-6

定价:49.00 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

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com



前 言

近些年,我国汽车产销量位居世界第一,汽车试验基地的建设水平和速度也遥遥领先。各大汽车制造公司均投入巨资建设了规模空前、设备领先的试验基地,国内几家汽车专业研究院所、国家级汽车质检中心在汽车试验基地建设上的投入也丝毫不亚于任何一家大型汽车制造公司。由此不难理解“试验”在我国汽车产业中的地位,同时也结束了在过去相当长的一个时期国内对汽车试验工作不太受重视的历史。我国自主品牌不断壮大,并实现自主品牌汽车产销量反超合资品牌,这也进一步印证了“试验有时是解决工程技术问题的仅有方法”这一重要论断。

汽车试验设备和试验基地在汽车产品研发中固然重要,但若缺少具备理论知识的人员,拥有再先进的试验设备也不可能开发出高质量、高水平、高可靠性的汽车产品。为了适应我国汽车产业快速发展的新要求,借本书再版的机会,对内容作了较大的调整:①取消了与本课程关联度不是特别大的第六章 DSP 技术;取消了第四章信号的传输部分中“同轴电缆传输”。②将汽车噪声试验系统调整为在汽车产业领域越来越重要的包含噪声测试在内的“汽车 NVH 测试与评价”。③新增了近些年逐渐应用于汽车产业领域的一些新的试验系统和试验技术,包括激光雷达测距传感器、NO_x 传感器、电阻应变片式传感器在胎压监测中的应用、CCD/CMOS 图像传感器在振动测试与自动驾驶系统中的应用、相位调制与解调、测试信号抗干扰技术、整流检波解调的频域分析、相敏检波解调的频域分析等内容和车载测试系统构成新的一章第十二章 汽车标定试验。④虚拟仪器系统一章从内容到结构等均作了大幅调整;第五章试验数据的采集与处理,不仅补充了汽车行驶平顺性试验新的标准,而且结构和内容都作了大幅调整。⑤将系统误差的发现与消除部分中找规律的方法改为用数学表达式描述,如此正好用函数补偿与修正的方法处理系统误差;多项式回归部分中用差分法求解 n 改为直接用试算的方法。

本书修订过程中坚持从实际需要出发,本着力戒内容过时和与其他课程重复的原则,及时反映汽车试验技术的最新发展,力求让学生能系统而全面地掌握汽车试验技术的全貌和细节。

本书由武汉理工大学汽车工程学院何耀华主编。编写分工如下:第一、二、四、五、七、八、九、十、十二、十三章由何耀华编写,第三章由何耀华、刘毅辉、黄锋编写,第六章由杨灿编写,第十一章由邓小禾编写。

本书在编写过程中得到了国内同行和汽车试验仪器设备制造商的大力帮助和支持,书中用到了德国杜尔、德国申克、德国达特朗、美国宝克、美国 MTS、美国野马、美国 CRUDEN、日本安全自动车株式会社、日本赫瑞巴、日本鹭宫制作所、日本堀场、佛山南华等汽车试验仪器设备制造公司的设备示例,也用到了部分期刊和网络上的资料。在此,对在本书

编写过程中给予帮助和支持的同行、汽车试验仪器设备制造公司以及期刊与网络资料的作者表示衷心的感谢!

本书可作为高等院校车辆工程及相关专业的教材,也可供汽车制造、试验及交通管理等领域的工程技术人员使用和参考。

由于编者水平有限,书中难免会有疏漏和不足之处,敬请业内专家、同行和读者批评指正。

目 录

前 言	
第一章 概论	1
第一节 汽车试验在汽车产业中的地位	1
第二节 汽车试验的分类	3
第三节 汽车试验系统的组成	7
第四节 汽车试验技术与试验设备	8
第二章 汽车试验基础理论	12
第一节 汽车试验系统的特性	12
第二节 试验系统的动态响应	17
第三节 试验系统动态特性的试验测定	30
第四节 试验系统的负载效应	31
第五节 试验系统的不失真测量	36
第六节 试验误差与精度	38
第七节 试验数据的回归分析	43
第三章 汽车试验系统中常用的典型传感器	48
第一节 电阻式传感器	48
第二节 电容式传感器	56
第三节 电感式传感器	63
第四节 气体传感器	66
第五节 GPS/北斗传感器	71
第六节 压电式传感器	74
第七节 磁电式传感器	77
第八节 热电式传感器	80
第九节 光电式传感器	84
第十节 霍尔式传感器	86
第十一节 CCD/CMOS 图像传感器	87
第十二节 激光雷达传感器	92
第四章 信号的调理与传输	94
第一节 信号的调制与解调	94
第二节 信号的模拟滤波	103
第三节 信号的数字滤波	110
第四节 试验系统阻抗匹配	115

第五节	信号的传输	117
第六节	信号的补偿和修正	123
第五章	试验数据的采集与处理	128
第一节	数据采集技术基础	128
第二节	计算机数据采集系统	129
第三节	汽车动态试验数据处理	132
第四节	研究汽车行驶平顺性常用的方法	141
第五节	动态数据处理中的泄漏	142
第六节	动态信号处理的栅栏效应与细化技术	147
第六章	虚拟仪器系统	150
第一节	虚拟仪器的组成与特点	150
第二节	虚拟仪器的硬件	151
第三节	虚拟仪器的软件	158
第四节	虚拟仪器系统在汽车试验中的应用	165
第七章	汽车整车出厂检验系统	168
第一节	汽车出厂检验的主要内容与设备	168
第二节	汽车出厂检验工艺流程	172
第三节	汽车出厂检验评价方法	172
第八章	汽车整车性能的道路试验	174
第一节	汽车整车性能试验前的准备性试验	174
第二节	汽车动力性试验	175
第三节	汽车经济性试验	177
第四节	汽车制动性能试验	179
第五节	汽车操纵稳定性试验	180
第六节	汽车行驶平顺性试验	184
第七节	汽车噪声试验	186
第八节	汽车道路性能试验用仪器设备	188
第九章	汽车室内台架试验系统	192
第一节	汽车整车性能室内台架试验系统	192
第二节	汽车整车道路振动模拟试验系统	196
第三节	汽车排放试验系统	197
第四节	汽车主要总成室内台架试验系统	199
第十章	汽车试验场试验	204
第一节	汽车试验场简介	204
第二节	汽车试验场试验的主要内容	207
第三节	汽车试验场试验规范	210
第十一章	汽车 NVH 测试与评价	212
第一节	汽车 NVH 性能	212
第二节	汽车 NVH 试验场地	213

第三节	汽车 NVH 试验专用台架	216
第四节	汽车 NVH 测试系统	221
第五节	汽车 NVH 性能评价	232
第十二章	汽车标定试验	237
第一节	电控燃油喷射发动机标定试验	237
第二节	EPS 系统标定试验	240
第三节	电动汽车制动能量回收系统标定试验	242
第四节	汽车“三高”标定	244
第十三章	试验设计与试验研究	248
第一节	试验设计的一般程序与要求	248
第二节	试验规划与设计	250
第三节	试验新方法的探索与研究	259
参考文献	265

对车辆工程专业的学生来说,若只学书本知识而不动手实践,就不可能深入了解汽车,更谈不上技术创新;对于汽车而言,若不进行大量广泛的试验,人们就不可能知道其质量、性能优劣。当然,强调实践的重要性,并不意味着可以忽视理论知识学习。科学实验,尤其是现代科学实验,若没有理论的指导、问题的启发便不可能得到发展。科学实验和理论的密切结合是近代科学技术的一个显著特点,二者相互依赖、相辅相成。许多理论上的创新从表面上看似乎是理论自身的发展,但其实都是立足于坚实的试验基础之上。我们并不否认理论有其相对的独立性,理论一旦具备了完整的逻辑形态,也会自然而然地引出新的理论观点和科学预见。试验是理论的主要源泉,理论工作上不去往往是因为缺少试验的推动。试验有了突破,理论就会出现新的发展。在工程技术中,任何一个成功的产品都是设计和试验密切结合的产物。理论为设计提供方法,试验为设计提供依据并对设计出的产品进行验证。在包括汽车在内的许多工程及生产实践中,有时试验是解决问题的唯一方法。

第一节 汽车试验在汽车产业中的地位

在当今社会,有人形象地将城市称为房子和汽车的组合体。由于汽车产品直接面向全球所有的老百姓,又处在极其复杂的交通环境之中,因此,汽车产品在设计 and 制造方面的任何缺陷都可能会造成严重的后果。为避免存在内部缺陷的汽车产品投放市场,最有效的方法就是做大量广泛的试验。此外,汽车产品的技术进步一直是汽车制造商获得市场竞争力的有力武器。而汽车技术的任何进步,无一例外都需要试验直接推动。因此,业内人士普遍认为,无论是新设计,还是正在生产的汽车产品,也不论在设计上考虑得多么周密、在制造过程中有多么细致认真,都需经过科学而严格的试验。通过试验可以检验产品设计、制造及结构的先进性、设计思想的正确性、制造工艺的合理性、使用维修的方便性和各总成部件工作的可靠性。

汽车工业的发展已有 100 多年的历史,在早期的手工生产阶段,由于汽车产量小,速度低,人们对其性能和质量提不出具体的要求,因此汽车试验工作处于一种较为原始的状态。汽车试验方法是操作体验和主观评价,主要是与马车比速度和比舒适度。尽管如此,汽车试验工作仍受到制造商和用户的普遍重视,任何一辆汽车在出厂之前都要开到道路上去试一试;用户在购买之前大多也要驾车体验一番;汽车制造商不时还会举行一些展示汽车性能的比赛活动。

20 世纪初,亨利·福特在伊利·惠特尼发明汽车“标准化部件”的基础上发明了“汽车流水生产方式”,从此宣告汽车大批量生产阶段的开始。随之而来的汽车使用可靠性、寿命和性能方面的问题日渐突出。为了使“流水生产方式”所带来的高效率、低成本得以充分发挥,各汽车生产厂商开始了大量的有关材料、工艺、可靠性、寿命、磨损和性能等诸多

方面的试验研究,推动了汽车标准化工作的长足进步。在此期间的汽车试验,除借助于其他行业比较成熟的技术和方法外,还逐渐形成了汽车行业自己的试验研究体系,研究出了具有行业特色的试验方法,开发出了符合行业发展要求的试验仪器设备,如整车转鼓试验台、发动机性能试验台架、研究汽车空气动力学的试验风洞、各总成部件的闭式试验台和疲劳试验台等。在此阶段,道路试验亦得到足够的重视,1924年美国通用汽车公司在全球率先建起了规模庞大、功能齐全的米尔费德试车场,从此拉开了汽车制造商竞相建设汽车试验场的序幕。1945年9月以后,国际上有影响的汽车制造公司相继建起了自己的汽车试验场。汽车生产方式的变化带来了汽车试验方法的根本变革,汽车试验已由手工生产阶段的操作体验、主观评价发展为仪器检测和客观评价。尽管当时的汽车试验规模不大、范围不是很广、试验设备比较简单,但汽车试验工作的基本方法是在这一时期形成的,且为后期的发展打下了良好的基础。

20世纪80年代,美国国家仪器公司提出并制造出世界上第一套虚拟仪器系统后,汽车试验仪器设备系统的构成发生了根本性的变化。由于虚拟仪器系统成功地将现代计算机技术和信息技术用于汽车试验系统中,为汽车试验的高精度、高效率、自动化和智能化提供了技术和设备的支持。国际性的汽车公司为了提高其自身的竞争力,纷纷投巨资大规模建设汽车实验室和汽车试验场。每个公司长年都有数百辆汽车整车和总成部件在汽车实验室和汽车试验场进行各类试验。图1-1所示是国外某汽车公司整车实验室的一角,该实验室可容纳数十辆汽车同时进行试验,其试验规模可见一斑。



图1-1 汽车整车实验室

第二节 汽车试验的分类

任何一款全新开发的汽车产品,从设计构思到市场化的产品开发全过程中,试验费约占全部开发费的1/3以上,其试验项目累计有千余项。为了帮助读者了解如此复杂的汽车试验内容,下面介绍3种常见的分类方法。

一、按试验特征分类

按试验特征的不同,汽车试验可分为室内台架试验、汽车试验场试验和室外道路试验。

1. 室内台架试验

室内台架试验的重要特征在于,试验不受环境的影响,台架可24h运行,特别适合于汽车性能的对比试验和可靠性、耐久性试验。室内台架试验的突出特点是试验效率高。室内台架试验不仅适用于汽车的总成部件,也适用于汽车整车。图1-2~图1-4是汽车整车和发动机的室内台架试验场景照片。

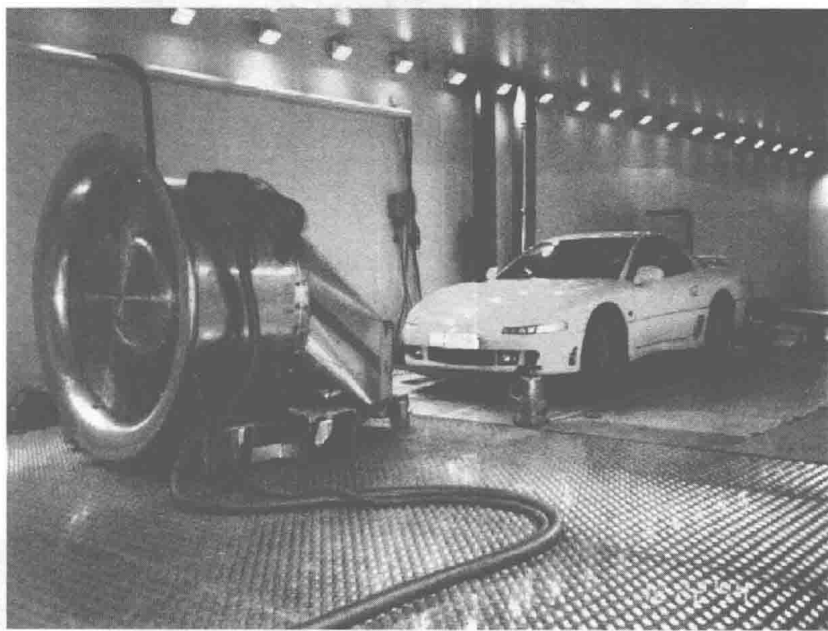


图1-2 汽车整车室内台架试验

2. 汽车试验场试验

汽车试验场试验越来越受到汽车界的重视,其原因是汽车试验场上可以设置各种不同的路面,如扭曲路面、比利时砌石路面、高速环道、汽车性能试验专用跑道等(图1-5)。在汽车试验场上,可在不受道路交通影响的情况下完成汽车各项性能试验,尤其是汽车的可靠性、耐久性试验和环境适应性试验。由于在汽车试验场上可以进行高强化水平的试验,因此可以大大地缩短试验周期。

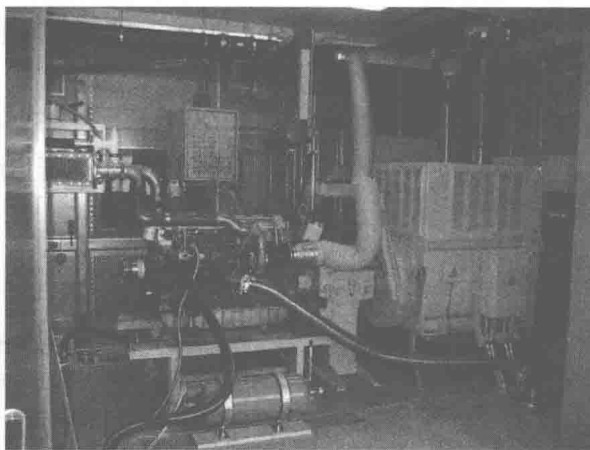


图 1-3 发动机室内台架试验



图 1-4 变速器室内台架试验

3. 室外道路试验

汽车产品最终都要交到用户手中在不同气候、不同交通状况的地区、不同道路条件的各种路面上行驶。要想使汽车的各项性能都能满足实际使用要求，就必须到实际的道路上进行试验。因此，任何一种新开发出来的汽车产品都必须经历室内台架试验、汽车试验场试验和室外道路试验这一复杂的试验过程。



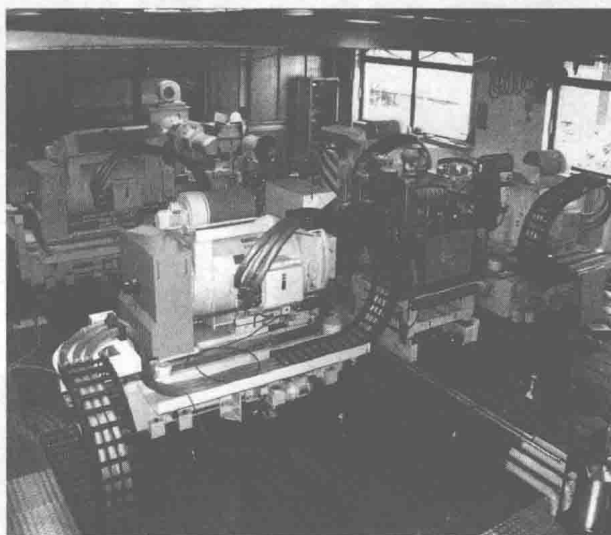
图 1-5 汽车试验场

由于试验场试验和室外道路试验均在道路上进行，因此业内常将二者统称为道路试验。

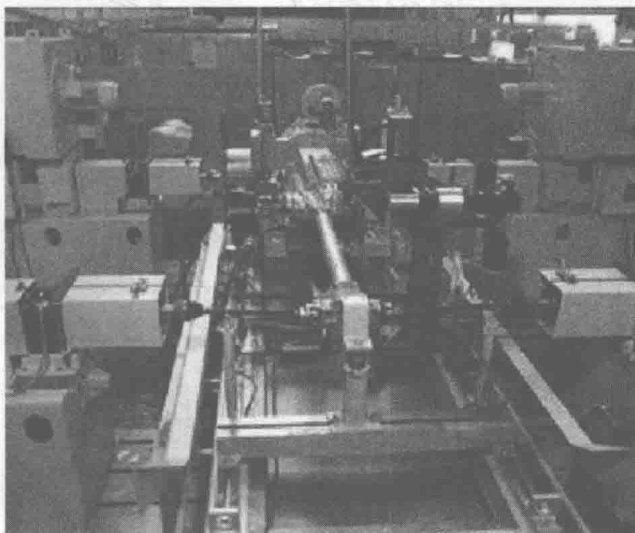
二、按试验对象分类

按试验对象的不同，汽车试验可分为整车试验、总成与大系统试验、零部件试验。

汽车由若干个不同的总成、数万个零部件组成。要想制造出性能优良的整车，就必须确保每一个零部件及各大总成的质量。但在此需特别指出的是，即使全部用质量上乘的汽车零部件不等于就一定能组装出性能优良的汽车整车。由此可见，不仅汽车整车应进行全面而苛刻的试验，汽车零部件及各大总成均应进行大量的各类试验，如图 1-2 ~ 图 1-4、图 1-6 ~ 图 1-8 所示。



a) 汽车动力系统的道路模拟试验



b) 全轮驱动汽车的动力系统试验

图 1-6 汽车动力系统试验

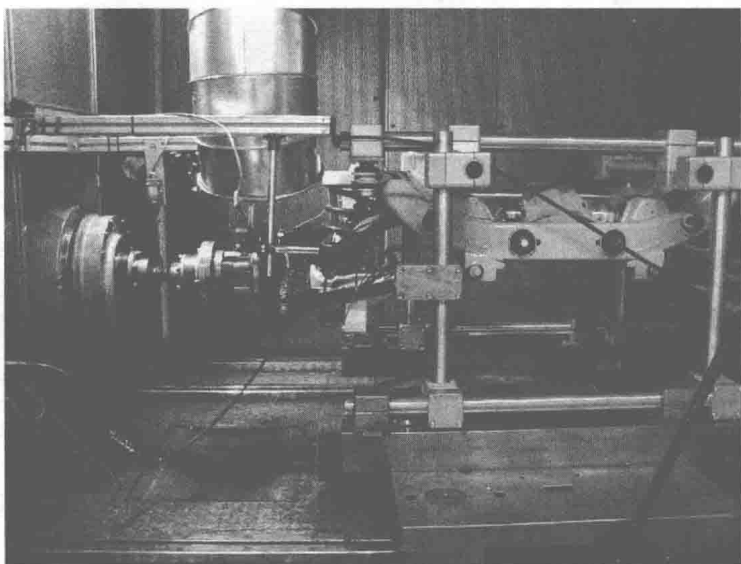


图 1-7 汽车制动器试验

三、按试验目的分类

按试验目的的不同，汽车试验可分为质检试验、新产品定型试验和科研试验。

汽车试验有各种各样不同的目的，围绕着如何保证汽车产品质量所开展的试验称为质量检查试验，简称质检试验；以考核新开发的汽车产品是否符合设计要求及考核其是否满足汽车法规为目的的试验称为新产品定型试验；为了推进汽车的技术进步所开展的各项试验，如汽车新产品、新结构、新技术、新材料和新工艺的试验以及汽车试验新方法的探索性试验，统称为科研试验。

四、各类试验的关系

对于汽车试验而言，无论是何种试验对象（整车、总成、零部件），还是哪种试验目的（质检、定型、科研），通常均需进行室内台架试验、汽车试验场试验和室外道路试验。其试验顺序是：先进行室内台架试验，若台架试验达到了相关要求则进行试验场试验，试验场试验的结果符合相关要求后，在汽车产品正式投放市场之前，必须要进行道路适应性试验。汽车总成及零部件在试验场无法独立进行试验，必须将其装在整车上试验；汽车总成及零部件室内台架试验均利用专用总成部件试验台架独立进行试验。

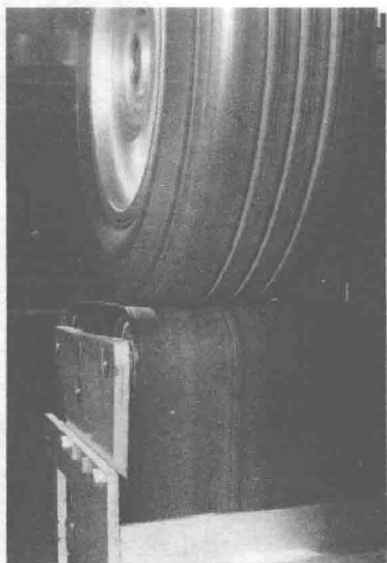


图 1-8 汽车轮胎试验

第三节 汽车试验系统的组成

汽车试验设备通常分为室内台架试验设备和道路试验设备。由于道路试验设备所处的环境十分恶劣，因此对防尘、防振、防潮和抗环境老化的能力均要求很高。对于室内台架试验设备，由于不可能在室内建设汽车试验所需的道路，因此需要搭建一个台架模拟汽车整车和总成部件的运动与所需的外界环境，以实现其有关参数的测量。由此可见，汽车道路试验设备和室内台架试验设备的功能和构成等方面均存在较大的差异，下面以汽车整车试验为例介绍汽车道路试验设备和室内台架试验设备的组成与原理。

一、汽车道路试验系统的组成与原理

图 1-9 所示是汽车道路试验最常用的仪器系统，它由数据采集与数据处理系统和各种不同类型的传感器组成，该系统可以满足汽车动力性、经济性、制动性和操纵稳定性等各项性能中全部项目的试验要求。现代汽车试验系统最突出的特点是：将信号的前处理功能（信号放大、模数转换、滤波等）全部集成到数据采集与数据处理系统中，需要进行汽车性能试验时，只需配上与之对应的传感器就可以完成相应的试验，即数据采集与数据处理系统是

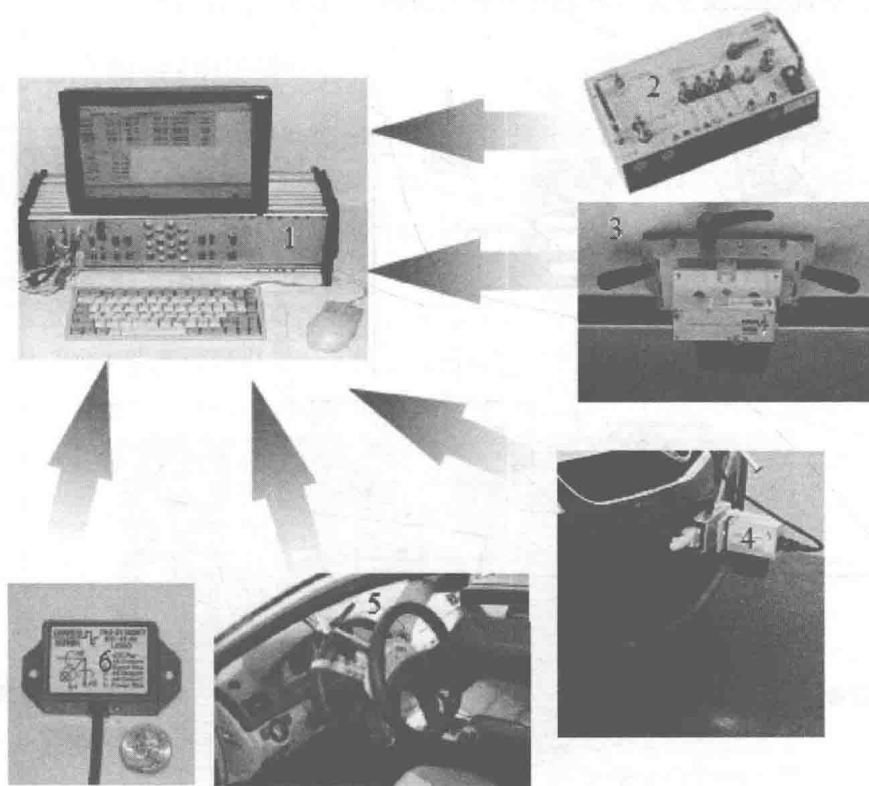


图 1-9 汽车道路试验系统

- 1—数据采集与数据处理系统 2—燃油流量传感器 3—高度传感器
4—双向速度传感器 5—转向盘转角/转矩传感器 6—陀螺仪

汽车道路试验系统的通用核心部件，试验系统的功能扩充十分简单。若要开发新的试验项目，只需配置与之对应的传感器及对软件作相应的调整；若来不及开发新的软件，将试验系统设置到手动操作模式也可以完成相应的试验。

二、汽车台架试验系统的组成与原理

汽车台架试验系统通常比道路试验系统复杂，除具有汽车道路试验系统中的数据采集与数据处理系统及各种传感器外，还必须配置模拟汽车运行工况的装置及控制该装置按试验要求运行的电控系统，如图 1-10 所示。图 1-10 中的主控计算机除具有控制底盘测功机按试验要求运行及控制自动驾驶仪按试验规程对汽车进行驾驶操作外，还兼有数据采集与试验数据处理的功能。底盘测功机转鼓的转动就像是连续不断的移动路面，汽车在道路上行驶的各种阻力（滚动阻力、坡道阻力、加速阻力、空气阻力）由测功机通过联轴器施加在转鼓上。汽车的动力性、经济性等可以通过对安装在底盘测功机上的转速传感器、转矩传感器及安装在汽车供油管路中的燃料流量传感器测出。汽车底盘测功机通常不用于汽车制动性和操纵稳定性试验，汽车制动性常在专用的制动试验台上进行测试（也有汽车底盘测功机与汽车制动试验台一体化的设备），汽车操纵稳定性一般都在汽车操纵稳定性模拟试验台或汽车试验场专用试车道上进行测试。此外，汽车底盘测功机还是汽车整车室内试验的基础设备，汽车噪声、排放、空调效果及各类与环境有关的试验都要用到汽车底盘测功机。

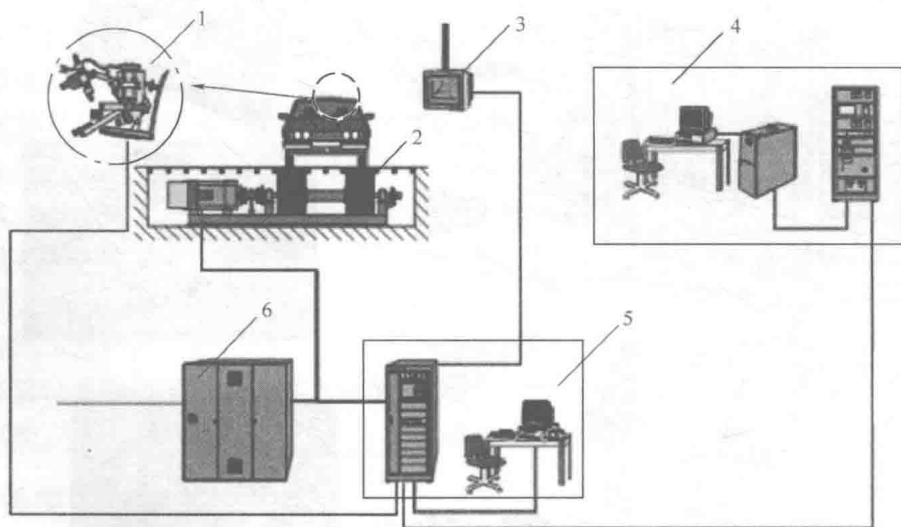


图 1-10 汽车整车台架试验系统

1—自动驾驶仪 2—底盘测功机 3—显示器 4—实验室中心机房 5—主控计算机 6—电源柜

第四节 汽车试验技术与试验设备

汽车试验技术的发展与汽车试验方法的更新、试验仪器设备的完善密切相关。

一、汽车试验方法

谈到汽车试验方法,人们很容易想到国家及行业标准。事实上,国家及行业标准所涉及的试验内容只是其中很少的一部分。汽车试验的内容很广,包括:探索性试验;新结构的原理验证试验;获取原始控制数据的标定试验;为产品、结构改进提供支持的功能试验;生产工艺的改进与验证试验;整车及总成部件的可靠性、耐久性试验;产品质量控制试验;汽车试验技术的探索、研究试验等。汽车试验方法是汽车试验大纲或规范内的重要内容,随着汽车及产业技术的不断进步与提高,汽车试验方法亦随之更新和发展。关于汽车试验方法的发展,主要表现在以下2个方面。

1. 试验内容逐年增加

为了满足人们对汽车要求的日益提高,需要不断地增加试验项目和试验内容;汽车功能的扩展,各种新结构、新技术在汽车上的应用必然要增加新的试验内容。

2. 试验方法的不断更新

高等级公路及高速公路的发展使汽车行驶速度显著提高,汽车进入家庭进程的加快,新手大量上路等不可避免地会带许多新的问题,为此需要进行更多的试验,需更新和补充新的试验内容与方法;汽车和交通法规日渐严格,需要更新试验方法;试验技术的进步也会带来试验方法的变化。

二、汽车试验仪器设备

为了适应试验方法的变化,必然有更多更新的汽车试验用仪器设备推出。为了提高试验精度、降低试验成本,必须有功能更强、精度更高、效率更高的仪器设备源源不断地取代落后的设备。汽车试验用仪器设备发展的重要特征是:

1. 自动化程度越来越高

现代汽车试验用仪器设备的开发,不仅包括仪器设备自身的结构和功能,还包括对被试对象操控的内容。对于这类仪器设备,不仅仪器设备自身的操作控制已完全实现了自动化,而且对于许多试验项目而言,试验中的车辆或总成部件也由计算机自动操控,如图1-11所示。



图1-11 汽车发动机自动试验系统