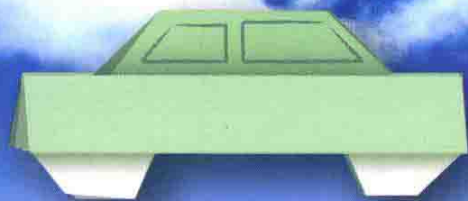


卓越工程师教育培养计划配套教材

车 辆 工 程 系 列

上海汽车工业教育基金会资助



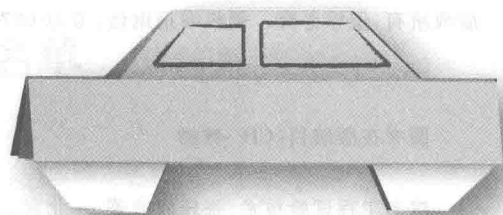
汽车工程试验技术

张珏成 编著

清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

车辆工程系列



汽车工程试验技术

张珏成 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍汽车试验技术的主要内容,共11章。从汽车试验的基本概念入手,介绍了试验系统的研究方法,分析了汽车试验测控子系统的组成、汽车试验装置的原理结构,以典型的汽车试验标准为例,讨论了汽车试验的依据和规律,最后介绍试验数据误差的概念、静态试验数据和动态试验数据处理方法。

把汽车试验的运行、测量、数据处理三个部分结合在一起,是本书的主要特点。另一个特点是,对典型汽车试验标准进行了分析,有助于在开展汽车试验中运用有关标准,具有实用性。本书可以作为车辆工程专业及相关专业本科生的教材,也可以作为研究生和工程技术人员的参考资料。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

汽车工程试验技术/张珏成编著. —北京:清华大学出版社,2017

(卓越工程师教育培养计划配套教材·车辆工程系列)

ISBN 978-7-302-47288-9

I. ①汽… II. ①张… III. ①汽车工程—高等学校—教材 IV. ①U46

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第122643号

责任编辑:许龙 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21.25

字 数:515千字

版 次:2017年8月第1版

印 次:2017年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:58.00元

产品编号:050393-01

卓越工程师教育培养计划配套教材

总编委会名单

主任：丁晓东 汪 泓

副主任：陈力华 鲁嘉华

委员：(按姓氏笔画为序)

丁兴国 王岩松 王裕明 叶永青 刘晓民

匡江红 余 粟 吴训成 张子厚 张莉萍

李 毅 陆肖元 陈因达 徐宝钢 徐新成

徐滕岗 程武山 谢东来 魏 建

卓越工程师教育培养计划配套教材

——车辆工程系列编委会名单

主 任：陈力华

副主任：王岩松 陈因达

委 员：(按姓氏笔画为序)

马 红 叶永青 邢彦锋 吴训成 宋新萍

张珏成 张缓缓 杨国平 陈凌珊 陈 浩

范平清 罗素云 赵 波 赵晓昱 顾 静

汽车是促进社会经济发展和提高人类生活质量不可或缺的交通工具。进入 21 世纪以来,我国综合国力进一步增强,人民生活水平不断提高,汽车产业高速发展。2009 年,我国因汽车产销量突破 1300 万辆而成为全球第一汽车产销大国。2010 年,我国汽车产销量均超 1800 万辆,稳居世界第一。2011 年,我国汽车产销量双超 1840 万辆,再次刷新全球历史纪录。2002 年至 2011 年的 10 年间,我国汽车产销量平均增幅超过 22%,汽车产业已经成为我国经济发展重要的支柱产业。

培养造就一大批适应汽车产业发展需求的人才队伍,是保障我国汽车产业长期繁荣与持续发展的关键。伴随我国汽车产业的高速发展,汽车人才的短缺问题日益凸显。这不仅反映在人才培养数量上不能满足需求,而且体现在人才培养质量上存在较大差距。国外高校的汽车专业教育更加强调学生的动手能力和实践能力,学生有很多机会到汽车企业和制造车间进行实践锻炼,所以其开发创新能力更强。改革开放以来,我国的高等工程教育取得了巨大成就,但也存在人才培养模式单一,缺乏多样性和适应性,工程教育中工程性缺失、实践环节薄弱,评价体系导向重论文、轻设计、缺实践等问题。走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人才强国等已经成为教育界和企业界的共识,这对高等工程教育改革发展提出了迫切要求。教育部于 2010 年开始实施的“卓越工程师教育培养计划”就是要培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务。

上海工程技术大学车辆工程专业在建设过程中,以服务国家和地区经济建设为宗旨,始终坚持学科链、专业链对接产业链的办学模式。2010 年,车辆工程专业被列为教育部“卓越工程师教育培养计划”首批试点专业。为满足车辆工程专业“卓越工程师教育培养计划”的需要,上海工程技术大学车辆工程专业的骨干教师与上海汽车工业(集团)公司和上海交运(集团)公司的技术骨干合作编写了“卓越工程师教育培养计划”车辆工程专业系列教材。该系列教材包括《汽车发动机构造》《汽车底盘构造》《汽车车身结构》《汽车理论》《汽车设计》《汽车工程试验技术》《汽车制造工艺学》(配习题集)、《汽车车身制造工艺》《汽车电器与电子技术》《UG CAD 教程》《汽车造型基础》《车辆工程英语精读教程》《车辆工程英语听力教程》《汽车专业英语》等。

系列教材在编写过程中,按照理论与实践相结合的原则,参阅了大量的中外文参考书籍和文献资料,吸收和借鉴了现有部分教材的优点,参考了汽车企业的相关材料。系列教材强



调理论联系实际,体现“面向工业界、面向世界、面向未来”的工程教育理念,以社会对汽车车辆工程人才的需求为导向,以实际的汽车车辆工程为背景,以汽车工程技术为主线,着力于提升学生的工程素质,强化培养学生的工程能力。系列教材具有基础性、系统性、应用性等特点,能够满足车辆工程专业“卓越工程师教育培养计划”的教学目标和要求。

上海工程技术大学 陈力华

2012年1月

在多年的工作实践中,编者深感“试验”的思维模式对工程技术人员的重要意义。在技术进步的过程中,我们可以看到“试验”起到的巨大作用。

编者以为,试验不能没有测量,但测量不仅仅出现在试验活动中,试验活动也不仅仅是测量。除了测量,试验还有许多其他内容,例如“模拟”及试验装置设计制造、数据处理等。

本书以这个认识为纲领,将内容分为四个部分。

第一部分包括第1章至第3章,介绍与汽车试验有关的基础知识。第1章的目的是引起学生学习本课程的兴趣,思考汽车技术、汽车工业发展与汽车试验的因果关系。第2章以基本知识的提法,对汽车试验的“模拟”、测量、数据处理三个部分做了简单介绍,但术语改为“运行”。事实上,汽车试验都要使试验对象进入工作状态,再测量有关参数。第3章介绍试验系统的特性,是基础知识的核心。在本书中,试验系统包括试验对象、试验装置、测量及控制系统三个子系统,系统特性的理论知识不局限于测量系统。

第二部分为第4章至第7章,介绍汽车试验系统的测控子系统组成方面的基本知识,包括选用测量仪器。由于测量仪器、控制系统都是非常专业的技术,不可能在汽车试验技术一类课程中详细介绍,因此本书采取详略结合的内容处理方法。在第4章中,把汽车试验常用传感器、测量仪器、控制系统的电路单元和显示、记录装置等方面的基本概念和作用一并加以概括介绍;在第5章至第7章,对常用传感器、测控子系统的主要电路单元、显示与记录装置展开详细讨论。

在教学中可以只安排第4章,特别是对于少课时情况。编写第5章至第7章的目的主要是给读者提供一些参考资料,方便他们使用有关知识。

第三部分介绍汽车试验装置方面的基本知识,由第8章和第9章构成。汽车试验装置的共性是“模拟”。由于汽车试验的范围很广,试验装置的种类也很多,而试验装置结构更是“八仙过海”,各有巧妙,因此,第8章中只能概括地介绍试验设施的组成、原理结构以及功率吸收装置等,并简要说明了汽车试验场的基本情况。在第9章,通过介绍几个典型的技术标准,说明汽车试验的依据和设计方法,并讨论汽车试验的共性与规律。

第四部分为汽车试验数据处理的基础理论知识,包括第10章和第11章。因为误差分析的内容很多,而本书介绍的内容侧重于试验数据的置信度,因此,第10章没有起名“误差分析”,而是叫做“试验数据误差的基本概念”。第11章简要概括地介绍了动态、静态试验数据处理方法的基本理论知识,并给出应用实例。

衷心感谢上海工程技术大学汽车工程学院的同事们。虽然编者独立完成本书,但编写过程中,同事们给予了许多帮助;同事之间的切磋交流,使编者得到许多启迪。

衷心感谢各种参考资料的作者和编者,尤其是其他教材的作者。参考资料和本人的见解、知识互相印证,使本书避免了过多失误。

衷心感谢上海工程技术大学,学校提供了本书编写的各种物质条件。

衷心感谢清华大学出版社,他们的大力支持和辛勤劳动使本书得以出版,并因为出版社认真细致的编辑和检查校对,修正了本书原稿存在的许多错误。

在本书的编写过程中,编者力求使内容能够较全面、系统地体现汽车工程试验技术的相关知识和技术进步,对读者朋友的实际工作或学习有一点切实的帮助。但因自己才疏学浅,水平和能力有限,挂一漏万在所难免,编者在这里敬祈读者朋友不吝赐教。

张珏成

2017年7月

于上海松江

第 1 章 绪论	1
1.1 汽车试验的意义	1
1.2 汽车试验技术的发展	2
1.3 汽车试验的地位与作用	4
1.4 本课程的性质和特点	5
思考题	6
第 2 章 汽车试验基本知识	7
2.1 汽车试验及其范围	7
2.2 汽车试验的基本概念	8
2.3 汽车试验的分类	10
2.3.1 汽车试验的基本工作内容	10
2.3.2 汽车试验的分类方法	11
2.3.3 质量控制性试验	13
2.3.4 研究开发性试验	14
2.4 汽车试验标准概况	15
2.4.1 标准基础知识	15
2.4.2 我国汽车试验标准	16
2.4.3 试验对象的工况和运转循环	18
2.4.4 通用汽车试验规范介绍	19
2.5 汽车试验的组织实施	20
思考题	23
第 3 章 汽车试验系统的特性	24
3.1 汽车试验系统的构成	24
3.2 汽车试验系统特性的描述	25
3.3 系统的静态特性	26

3.3.1	系统静态特性的表达方式	26
3.3.2	系统静态特性参数	28
3.4	系统的动态特性	32
3.4.1	系统动态特性的解析表示	32
3.4.2	系统动态特性的特征参数表示	38
3.4.3	系统动态特性的图形表示	41
3.4.4	系统的动态稳定性	46
3.5	系统动态特性的试验确定	49
3.5.1	一阶系统时间常数的确定	49
3.5.2	二阶系统动态特性参数的确定	51
3.6	汽车试验系统的一般要求	53
	习题与思考题	56
第4章	测量系统概况	58
4.1	测量系统	58
4.2	测量系统的类型与组成	59
4.3	测量要素	62
4.4	测量仪器系统的选用	63
4.5	传感器的基本概念	68
4.6	信号处理的基本概念	70
4.7	虚拟仪器技术简介	71
	习题与思考题	77
第5章	常用传感器	78
5.1	电阻式传感器	78
5.2	电感式传感器	83
5.3	电容式传感器	90
5.4	磁电式传感器	93
5.5	霍尔式传感器	96
5.6	热电偶	98
5.7	化学电池式传感器	101
5.8	压电式传感器	104
5.9	光电子式传感器	108
5.9.1	光电池式传感器	108
5.9.2	调制方式的光电子式传感器	111
5.9.3	光纤传感器	112
	习题与思考题	117

第 6 章 主要电路单元	118
6.1 测量电路	118
6.1.1 简单测量电路	118
6.1.2 电桥	119
6.1.3 放大器测量电路	127
6.2 放大器	128
6.2.1 放大器的基本概念	128
6.2.2 常用放大器	130
6.2.3 阻抗匹配	134
6.3 滤波器	135
6.3.1 滤波器的基本概念	135
6.3.2 典型滤波器	139
6.3.3 滤波器的频率覆盖范围与选择性	142
6.4 调制器与解调器	145
6.4.1 信号调制与解调的概念	146
6.4.2 调幅器与检波器	146
6.4.3 调频器与鉴频器	152
6.5 模/数转换器	156
6.6 数/模转换器	159
习题与思考题	162
第 7 章 系统连接和显示、存储装置	163
7.1 系统连接	163
7.1.1 系统连接概况	163
7.1.2 跨接导线连接	164
7.1.3 集流环	166
7.1.4 遥测遥感系统	167
7.1.5 通信接口	168
7.2 显示装置	170
7.3 存储记录装置	174
7.3.1 纸介质记录装置	174
7.3.2 磁介质记录装置	176
7.3.3 光介质记录装置	179
7.3.4 半导体存储记录装置	182
思考题	185
第 8 章 试验设施概况	186
8.1 试验设施	186

8.2	试验设施的组成	187
8.3	常用测功机的原理简介	192
8.4	汽车试验场简介	200
8.4.1	汽车试验场的功能	200
8.4.2	汽车试验场的典型道路设置	201
8.4.3	汽车定型可靠性试验规范	205
8.5	常用车速测试仪	207
	思考题	211
第9章	典型汽车试验标准介绍	212
9.1	引言	212
9.2	汽车动力性试验	213
9.2.1	汽车车速性能试验	213
9.2.2	汽车加速性能试验	216
9.2.3	汽车爬坡性能试验	219
9.2.4	汽车动力性台架试验	221
9.3	乘用车经济性试验	225
9.3.1	乘用车经济性试验标准的概况	225
9.3.2	燃料消耗量的测量方法	228
9.3.3	底盘测功机的设定	231
9.3.4	燃料消耗量的试验方法	234
9.3.5	试验数据的计算与校正	237
9.4	汽车可靠性试验	240
9.4.1	汽车可靠性试验的基本概念	240
9.4.2	汽车可靠性行驶试验条件	243
9.4.3	汽车可靠性行驶试验规范	244
9.4.4	试验数据处理及结果表达	246
9.5	整车产品定型试验	247
9.5.1	产品定型试验的实施条件	248
9.5.2	产品定型试验项目和评定依据	248
9.5.3	产品定型试验程序及试验报告	250
9.6	汽车发动机性能试验	251
9.6.1	发动机试验标准概况	251
9.6.2	发动机性能试验条件	253
9.6.3	发动机性能试验方法	257
9.6.4	发动机性能试验结果的表达	261
9.7	汽车离合器面片性能试验	264
9.7.1	汽车离合器面片相关标准概况	264
9.7.2	汽车离合器面片性能试验方法	266



9.7.3 汽车离合器面片性能试验结果的表示·····	268
思考题·····	270
第 10 章 试验数据误差的基本概念 ·····	271
10.1 试验数据的误差·····	271
10.1.1 测量过程与误差·····	271
10.1.2 测量误差分类与表示·····	273
10.1.3 试验数据的精确度和不确定度·····	274
10.2 随机误差的计算依据·····	276
10.3 系统误差的发现和排除·····	280
10.4 测量数据的处理和结果表达·····	284
10.5 间接测量的误差·····	287
习题与思考题·····	290
第 11 章 试验数据处理简介 ·····	292
11.1 试验数据处理的作用与任务·····	292
11.2 静态试验数据处理·····	294
11.2.1 静态试验数据表格与图像·····	294
11.2.2 回归分析简介·····	295
11.3 动态试验数据分类与处理过程·····	305
11.3.1 动态试验数据分类·····	305
11.3.2 动态试验数据处理过程·····	308
11.4 相关分析简介·····	312
11.5 频域分析简介·····	316
习题与思考题·····	321
参考文献 ·····	322
后记 ·····	324

绪 论

一百多年来,汽车与汽车工业不仅使人类社会发生了巨大的变化,自身也得到充分的发展。在此过程中,汽车试验发挥了关键作用。

1.1 汽车试验的意义

试验是人们为了考察行为的效果或所生产产品的性能而进行的活动,针对汽车及其零部件的质量和性能而进行的试验就是汽车试验。

汽车从萌芽时期就与试验紧紧地联系在一起,可以说没有试验就没有汽车及其工业的发展。无论是最早的蒸汽汽车、第一台煤气四冲程发动机、第一台汽油机,还是第一辆汽车,都是通过实物试验来证实预先的构想。在汽车技术与汽车工业的发展过程中,工程技术人员都是通过汽车试验才得以发现以往的不足,寻求改进方案,并以实物试验确认改进的效果,从而推动汽车技术进步的。

在整车或零部件新产品开发中,实物试验是检验产品性能的基本手段。工程技术人员通过试验来验证产品设计构思,发现问题,探索并验证所采取的改进措施,从而不断提高产品性能。在当前,虽然基于虚拟样机的仿真模拟试验技术在整车或零部件新产品开发与制造中得到广泛应用,但从根本上说,仍须以实物试验作为最终手段,判断所开发的新产品是否满足设计要求,是否符合有关法规和国家技术标准的有关规定。

在生产制造中,试验对提高产品质量与控制生产成本也有重要意义。工艺设计人员可以通过试验,分析汽车故障和零部件失效的原因;探索新的加工制造工艺与方法;探讨工艺参数与质量的关系;寻找工艺与成本之间的规律;改进生产的组织与管理。在汽车的使用、维护与修理方面,汽车试验可以起到降低运营成本和延长汽车使用寿命的作用。工程技术人员和管理人员可以通过试验发现故障原因,消除隐患,降低燃料消耗等。

现在,整车或零部件新产品的设计中,已经普遍利用计算机进行仿真与模拟试验,用有限元分析等方法进行设计计算,以克服传统方法不能解决的困难。这些现代设计手段离不开大量试验数据的支撑。

因此,试验技术在汽车工业发展中发挥着重要作用,是汽车工业技术中的重要组成部分,也是汽车工业技术水平的重要标志。无论在整车或零部件产品设计方面、生产制造工艺

方面和控制产品质量与成本方面,还是在生产组织与管理方面,甚至汽车的使用、维护修理方面,都离不开试验。汽车试验是推动汽车技术进步的一种极为重要的方法。

汽车试验之所以有如此重要的作用,是因为现实问题非常复杂,无法完全依靠理想的理论分析来获得对汽车及其零部件的完整认识,只能利用试验来了解汽车或零部件在使用中所出现的各种现象的本质及规律。客观地讲,科学技术建立在掌握大量事实基础上。没有对客观事物各种现象的本质认识以及现象之间相互关系和规律的认识,也就没有真正的科学技术。所谓掌握事实,就是了解客观事物各种现象的细节。因此,科技进步离不开试验和测量。在工程上,试验是发现问题、研究并解决问题的根本手段与方法。

1.2 汽车试验技术的发展

汽车试验技术与汽车和汽车工业协同发展,汽车及汽车工业的发展得到汽车试验技术的支撑,反过来,汽车及汽车工业的发展又促进了汽车试验技术的进步。

1906年,法国勒芒市举行了法国汽车俱乐部大奖赛,是世界上第一场汽车大奖赛。有人认为,这场比赛是汽车道路试验的重要标志。实际上,在1887年,法国《汽车》杂志就于巴黎举办了汽车道路比赛,目的在于检验汽车性能,宣传车辆的安全性和可靠性,它带有汽车道路试验性质。在汽车诞生时就已经出现了汽车道路试验,而当时的试验中损坏汽车是经常的事情。1769年,法国工程师尼古拉斯·古诺为拖运军队的大炮研制出世界上第一辆蒸汽机汽车(见图1-1),这辆汽车在道路试验时因碰撞到石头墙而损坏。

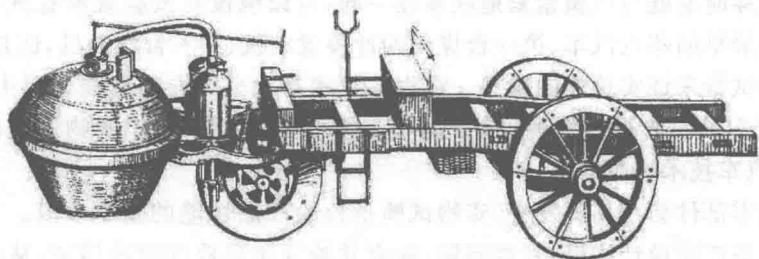


图 1-1 尼古拉斯·古诺研制的第一辆蒸汽汽车

这个事件以及其他类似事件说明,在一个事物的发展过程中失败是无可避免的,只有通过试验,才能找出失败的原因和解决方案。

汽车外形的演变更能说明这个道理。德国发明家戈特利布·威廉·戴姆勒等人在发明汽车时,不可能认识到风力和风阻的存在与作用,也不可能想象出当代汽车的形状。他们只能在原有马车的基础上进行探索和改进,当时的汽车只能是“没有马的马车”(见图1-2)。等到汽车真的行驶起来,风力和风阻等方面因素的影响才凸显出来,于是出现了挡风玻璃以及车厢等,逐步地使汽车外形演变为今天的样子。人们在克服风力上的最初构思如图1-3所示,企图利用挡风板引导气流的流向,按照这个构思制造的汽车见图1-4。显然这个构思是不成功的,因此,出现了挡风玻璃。早期挡风玻璃的历史图片见图1-5。

到了20世纪,汽车工业开始采用流水线进行大规模生产汽车,而广泛采取各种测量措施是保证产品质量和大规模生产的前提条件。测量对象从简单的几何尺寸,发展到材料性

能、零部件质量和汽车产品性能。为提高生产效率,测量工具从简单卡尺、量规发展到自动量仪和电测量仪表。测量仪器种类极大增加,需要测量的数据也更多。

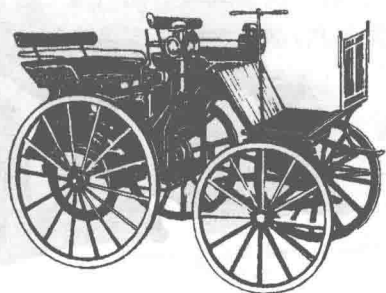


图 1-2 戈特利布·威廉·戴姆勒发明的汽车

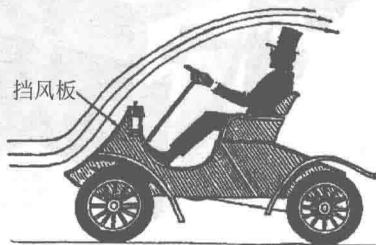


图 1-3 克服风力的最初构思

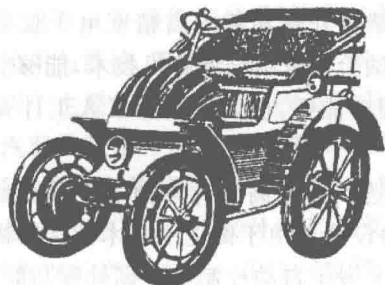


图 1-4 安装挡风板的汽车

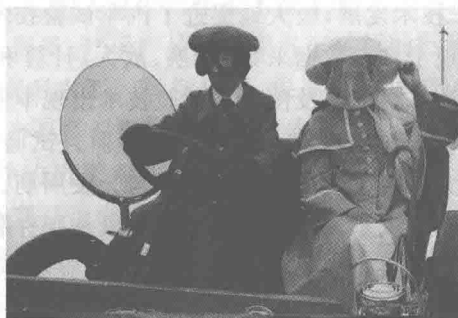


图 1-5 早期的挡风玻璃

在大规模生产条件下,早期单纯依靠普通道路试验的模式已不能解决汽车性能和质量试验方面的需要,于是建立了专门的汽车试验场,敷设各种情况的路面,模拟汽车运行时可能遇见的道路情况,如直线路和曲线路,平面路、搓板路和坑洼路,柏油路、卵石路和砾石路,水平路和各种坡道,等等。

汽车试验场虽然解决了在较小空间中再现复杂路面问题,但试验过程不容易再现,试验的影响因素不可控制,因而对某些试验,其结果的重复性不强。此外,对汽车的各个总成、部件以及零件而言,虽然道路试验是最终的检验方案,但对前期研究和特定情况,采用道路试验是不经济的。因而,也发展了利用试验设备进行试验的方法,如汽车风洞、整车试验台(或称为底盘测功机)、发动机试验台和变速器试验台,等等。因为汽车关系到人民群众的生命财产安全,因此,现在已完全没有不经过试验的汽车零件与总成或部件。

图 1-6 所示为某种滚筒式底盘测功机的外形。滚筒皮带式底盘测功机的运行情况如图 1-7 所示。滚筒式底盘测功机以滚筒模拟道路负荷。试验时,汽车不行驶,其驱动轮转动并带动滚筒旋转。滚筒连接着测功机(图中未示意出,测功机是一种将机械能转化为热能或电能等其他形式能量的装置),改变测功机的负荷就使汽车驱动轮的负荷得到改变,因此可模拟汽车道路行驶状况。

汽车试验中,不仅使用大量的专门试验设备,也利用各种通用的试验仪器,如材料拉伸试验机、疲劳试验台和振动试验台等。