



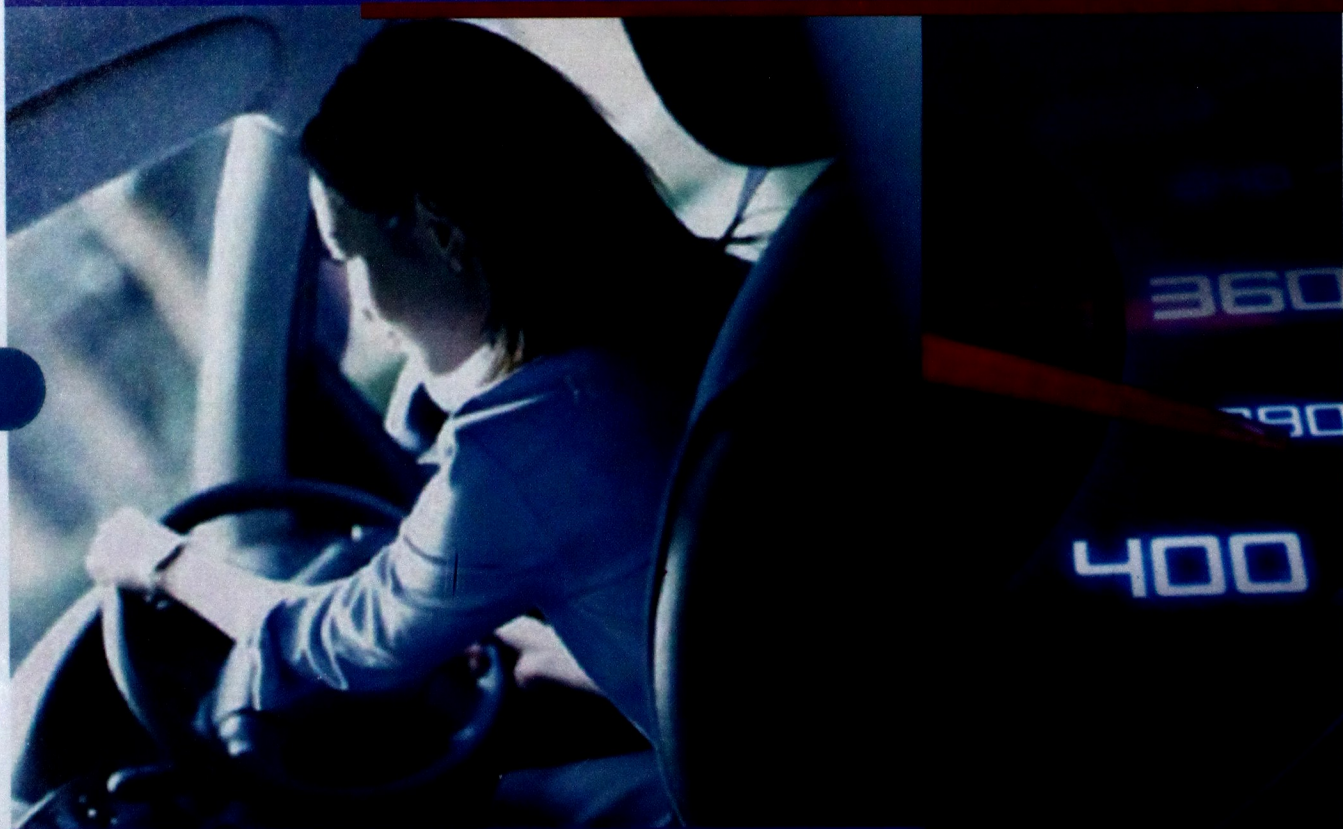
普通高等学校“十二五”规划教材

汽车



杨志华◎编著

试验方法



国防工业出版社

National Defense Industry Press

014005233

U467-43

11

普通高等学校“十二五”规划教材

汽车试验方法

杨志华 编著



U467-43

11

国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1692235

885200110

内 容 简 介

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和汽车试验的目的、分类、基本步骤,讨论了汽车试验与汽车检测、汽车试验仪器与车上仪表的关系。

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,介绍了测试系统的一般组成、测试系统的数学转换特性和机械量的电测量的典型试验装置,讨论了测量误差分析、试验数据的静态与动态处理的数学原理和基本方法。

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,介绍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。

本书适用于高等学校车辆工程专业或其他相关专业本科生作为汽车试验技能培养的专业教材,也可供汽车制造、检测和修理行业相关人员作为汽车试验检测方面的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车试验方法/杨志华编著. —北京:国防工业出版社,2013.9

普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-08899-1

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(2013)第 209449 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 322 千字

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书的主要定位是作为车辆工程专业高年级本科生的试验技能培养专业教材,其理论基础是工程力学、工程数学和电工电子技术等学科基础课程,汽车理论和汽车构造为其专业先修课。

作者通过多年的车辆工程专业本科生教学实践,并通过对现行培养方案和专业课程体系的调研,发现在汽车试验技能培养方面,需要一本综合性较强、涵盖面较广的教材。本书就是力图从汽车试验概述、机械量的电测量技术、试验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诸多方面,对汽车试验方法进行介绍与讨论。

另外,在多年的汽车试验类的课程教学中,发现用较大篇幅单纯地罗列乃至摘录试验标准,与本科生教学的目的和定位不符,而且标准文件更新较快,过于详细地叙述其细节内容和参数要求等意义不大。所以本书致力于汽车试验的组织思想、仪器原理和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、很详细,希望读者在制定试验大纲和进行实际测试作业时查阅具体试验项目的最新标准。

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,配置相应的实验课程。

本书由吉林大学汽车工程学院杨志华编著,在取材、章节体系和具体编写内容等方面,得到了吉林大学车辆工程学科以及汽车试验学(亦称“汽车试验方法”)课程教研组各位同仁的大力支持与帮助。在此,编者表示衷心的感谢。

最后,恳请广大读者对书中的错误与疏漏提出宝贵意见。

编者

目 录

第一章 汽车试验概述	1
一、基本概念	1
二、试验与理论的关系、试验的必要性	1
三、汽车试验的分类	2
四、汽车试验的基本步骤	4
五、几个相关问题	5
第二章 机械量的电测量技术	7
第一节 测试系统的转换特性	7
一、测试系统的基本组成	7
二、对测试系统的基本要求	9
三、系统的基本思想	10
四、测试系统的静态特性	10
五、测试系统的动态特性	13
第二节 传感器	19
一、电阻式传感器	20
二、电容式传感器	27
三、电感式传感器	30
四、压电式传感器	33
五、磁电式传感器	35
六、霍耳式传感器	37
七、光电式传感器	39
八、热电式传感器	40
第三节 信号的中间变换、传输与记录	41
一、电桥	41
二、滤波器	50
三、放大器	51
四、调制与解调	53
五、信号的传输	54
六、记录器	58
第四节 测量误差分析	59
一、基本概念	59
二、随机误差的统计学规律	62
三、等精密度直接测量参数测定值的处理与计算——随机误差分析	63

第五节 静态测量数据的处理..... 68

 一、概述 68

 二、回归分析 70

 三、回归分析的检验 72

第六节 动态测量数据的处理与分析..... 75

 一、数据的分类 75

 二、动态数据处理的基本步骤 78

 三、时域分析 81

 四、值域分析 87

 五、频域分析 89

第三章 汽车整车性能试验 96

 第一节 通用试验条件..... 96

 第二节 动力性试验..... 98

 一、底盘测功试验 98

 二、滑行试验 101

 三、最低稳定车速试验 102

 四、最高车速试验 102

 五、加速试验 103

 六、爬坡试验 104

 第三节 燃料经济性试验 106

 一、概述 106

 二、燃料经济性试验项目 107

 三、试验结果的重复性检验和数据的校正 109

 四、油耗仪 110

 第四节 排放性试验 113

 一、汽车排气污染物的主要成分及危害 114

 二、排气污染物的表示方法 114

 三、排气污染物的取样方法 115

 四、排气污染物的检测原理 116

 五、排气污染物的试验方法 119

 第五节 噪声试验 121

 一、声音的评价指标 122

 二、噪声试验的仪器——声级计 123

 三、车外噪声试验方法 124

 四、车内噪声试验方法 125

 五、驾驶员耳旁噪声试验方法 125

 六、汽车喇叭噪声试验方法 125

 第六节 制动性试验 126

 一、制动性的道路试验 126

 二、制动性的台架试验 130

80	第七节 操纵稳定性试验	132
80	一、稳态回转试验	133
07	二、转向盘角阶跃输入下的瞬态响应试验	135
57	三、转向盘转角脉冲输入试验	136
27	四、转向回正性试验	137
27	五、转向轻便性试验	138
87	六、蛇行试验	140
18	第八节 平顺性试验	141
78	一、汽车的平顺性的试验思想和评价指标	141
88	二、平顺性道路试验的测试系统	143
80	三、随机输入行驶试验	143
80	四、脉冲输入行驶试验	144
80	第九节 通过性试验	145
80	第十节 汽车可靠性试验的基本理论	146
101	一、基本概念	146
501	二、可靠性分析中常用的理论分布模型	149
501	三、快速可靠性试验的基本原理	150
801	四、汽车可靠性行驶试验的要点	150
	第四章 汽车总成与零部件试验	152
80	第一节 发动机总成试验简介	152
801	一、发动机功率试验——外特性的测定	152
701	二、部分负荷特性试验——万有特性的确定	153
801	第二节 传动系统试验	154
011	一、离合器试验	154
811	二、机械式变速器试验	159
411	三、传动轴试验	166
411	四、驱动桥试验	172
211	第三节 转向系统试验	178
811	一、机械式转向器试验	178
811	二、转向盘试验	183
121	三、动力转向总成试验	185
221	第四节 制动系统试验原理与试验装置简介	187
821	一、行车制动器试验	187
421	二、驻车制动器试验	189
221	第五节 行驶系统试验	191
221	一、车桥试验	191
221	二、悬架试验	194
221	三、车轮试验	199
501	参考文献	201

第一章 汽车试验概述

一、基本概念

所谓“汽车试验”，简单地说，就是通过实际测试的手段确定汽车的某个(些)参数。这里的“参数”，一般是指物理量的定量数值，例如，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)；个别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，可以采取某些主观评价法，由试验员给出诸如“好”“较好”“一般”“较差”……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、试验环境和试验工况等，都应该遵循国家或者相关部门、行业或企业发布的正规标准文件。标准可以确保试验操作规范、安全，数据结果准确、可信，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、试验与理论的关系、试验的必要性

可以说，“试验”是和“理论分析计算”相对的。例如，要确定一辆汽车的最高车速，既可以通过理论分析的方法，也可以通过试验测试的方法得到结果。理论分析，就是由车辆结构参数、行驶环境参数和驾驶员操作(意图)出发，通过汽车理论的动力学分析，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试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，就是试验方法。

理论分析的价值在于，可以定量地揭示各参数之间的内在关系，可以在没有实物原型、不需要进行实际操作的条件下，预测研究对象的性能，对于产品的设计开发有很强的指导作用。然而，理论分析决不能完全取代实际测试，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。

(1) 作为一种室外交通工具，汽车的使用条件复杂，整车、各系统、机构和零部件会遇到各种难以预料的载荷、工作条件和行驶环境。对这些纷繁复杂的使用条件建立完整且精确可靠的理论模型，是比较困难的、有时甚至是不可能的。例如，汽车车身的防雨密封性，如果完全进行理论预测，需要建立雨滴尺寸、分布密度、降水化学成分、雨滴相对于车身的速度和角度等模型，需要考虑车身不同部位内外蒙皮和各类密封件的缝隙几何尺度、排水结构设计、抗水性、浸润性和含水能力……试图在此基础上精确预测是否渗漏及渗漏(包括滴、流)的水滴速度，是极其困难的。

(2) 汽车是一种高度普及的社会化的民用商品(军用和专业比赛车辆不在此列)，研究、制造单位之间的竞争异常激烈。厂商为了争夺市场，势必要在产品的性能、质量和成本之间

做出平衡,“不惜血本”的模式是走不通的,过分的“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、物力和时间条件下,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,暂时有所欠缺是可以接受的。

(3) 汽车研究和设计的许多问题,已经有了理论模型,但是这些模型并非普遍适用,或者模型中的某些参数不易确定。例如,上述的“求解最高车速”问题,车辆载荷的精确值、载荷在各车轴及各车轮之间的分配、底盘和车身的技术状况、润滑油(脂)的技术状况和温度、发动机进排气系统的通畅程度、燃油的品质、门窗密封程度等,对于实际车速是有影响的,但是在汽车理论模型中是很难考察这些因素的,一般是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。再例如,关于汽车的操纵稳定性问题、关于轮胎的侧偏特性,当前进行了大量研究,取得了许多成果,但要精确、可靠地定量评价一辆给定汽车的操纵稳定性能,或者哪怕只是给定轮胎在任意工况下的侧偏刚度,都是非常困难的。而如果需要对此类问题精确求解,进行实车测试显然是更可靠的。

(4) 由上述几点可以看出,理论不能代替试验,归根结底,在于现有理论的不准确性或者局限性。而进行汽车试验,不仅能弥补这种局限性,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,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、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,进行汽车试验及对汽车试验的方法进行研究,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及激励和带动相关技术理论(如,传感技术、信号分析理论和技术、电子设备制造技术等)的发展,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、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。如果检查出问题还要进行简要分析。由于产品的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(整车或总成、零部件)在正式投产前必须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地区验证其在不同温度、湿度、海拔及大气条件下的适应性。一般要进行多轮试验,样件数量逐轮增加,每轮发现的问题及时改进,直到性能要求全面满足,产品尺寸、材料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,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及汽车试验方法本身的探讨。

科研探索类试验,所涉及的大都是目前尚未成熟的技术或者尚未普遍成立的理论,试验

项目的深度、广度较大，试验规范和操作实施方法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，采用的设备非常先进，手段通常较复杂。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、行业的有关标准来进行，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

就是按车辆结构层次划分为三类：整车试验、机构及总成试验和零部件试验。

(1) 整车试验。通常称作“整车性能试验”，是在不解体条件下对汽车的各主要使用性能进行的考察和评价，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、车内空间舒适性和整车基本参数的测定等。待测性能不同，试验项目和评价指标也不同，例如动力性试验要测试最高车速、最大爬坡度和加速时间等项目，制动性则要通过制动距离或者制动减速度等来评价。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，对于客观地评价汽车使用性能、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、对汽车及相关领域基本理论的验证和创新，都具有重要意义。但由于整车不解体，试验中的有些异常现象和故障难以准确判断其来源。

(2) 机构及总成试验。主要考察机构或总成的工作性能和耐久性。如测试发动机的功率、变速器的效率或转向器总成的疲劳寿命等。

(3) 零部件试验。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(静载和疲劳)、刚度、抗磨损能力和选材的合理性等。例如各类齿轮的疲劳寿命试验、滑动花键的磨损试验、驱动桥壳的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。对于汽车上使用日益广泛的非金属零件和电工电子元器件，也要根据其设计特点和工作环境制定试验项目、进行测试。

机构及总成试验和零部件试验，这两个层次的划分不是绝对的，或者说有时是比较模糊的。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。本书第三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四章。

3. 按试验场所分类

主要就是室内和室外两个场所。两类试验各有优劣、互为补充。

(1) 室外道路试验。就是在室外实际道路上对车辆的技术性能进行验证。由于试验环境条件真实，驾驶操作真实，通常不需要对车辆进行解体，可以进行几乎所有整车性能试验，而且其结果可信度较高。但室外条件不易控制，试验过程易受无关因素干扰，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，大大提升了汽车道路试验能力，降低了试验难度。

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

(2) 室内台架试验。就是在室内专用试验场地内搭建专用试验台架，利用试验台模拟实际使用工况，对整车或总成、零部件进行测试。室内试验，可以消除天气、道路状况和交通流量等不确定因素的影响，有利于组织和安排试验，缩短试验周期，试验数据精密度高、重复性好、可比性强。但行驶阻力、整车惯量、车轮负荷变动或路面附着系数等真实行驶工况的模拟是一个需要重视的问题，否则试验结果是不可信的。台架本身搭建时间可能较长，但试

验操作本身过程较短(对于疲劳类试验,台架运行的时间很长,但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。

(3) 试验场试验。这是又一类室外道路试验,但是其路面(地面)是根据不同试验目的、严格按照规范铺装的。同一个试验场,有不同的分场地(跑道)可供不同试验项目使用,试验安排和组织更合理,测试过程更科学。专用、统一的试车场地能提高试验环境条件的典型性和均匀性、试验数据的重复性和可比性。专用场地还具有设施完备、服务周全和行驶安全性好等优点。还可以利用各种刻意“恶化”的路面(地面),人为地提高车辆行驶和人员操控的难度,加大试验负荷,进行所谓“强化”或“浓缩”试验(参见第三章第十节“快速可靠性试验的基本原理”部分),尽快暴露出问题,缩短试验周期。

汽车试验场占地面积较大,建设成本高,数量不多,如图 1-1 所示。

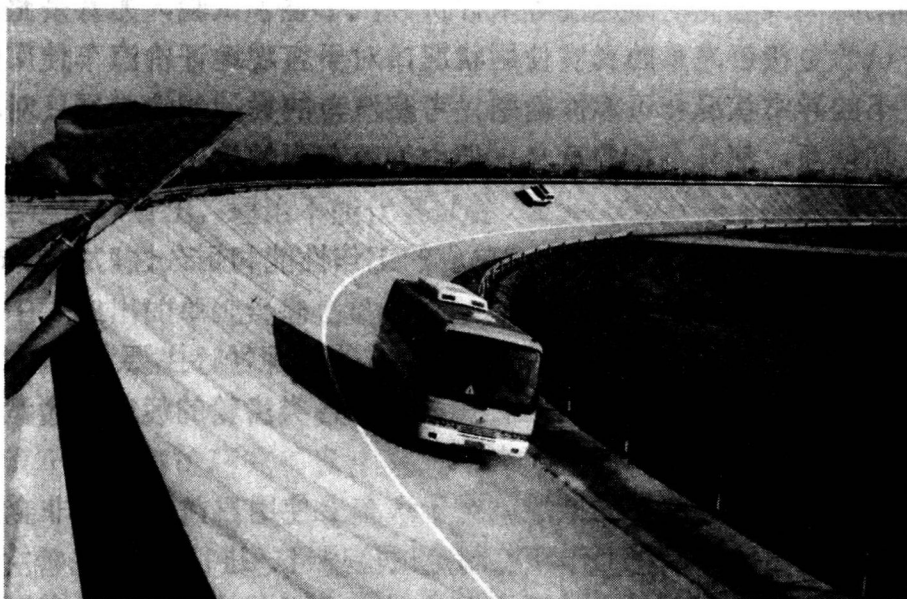


图 1-1 汽车试验场高速环形跑道

(4) 使用试验。顾名思义,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。这也是一种在室外道路上进行的试验,但这种“试验”往往并不是利用专业设备进行通常意义上的试验测量,而是仅仅由驾驶员对某些行车信息进行记录,如行车环境、发动机水温 and 油温、加油数量、手脚操作动作和次数、维护与修理项目与次数等。对于道路和气象条件、车辆载荷、驾驶操作习惯、车辆技术状况和维修调整作业等不做任何特殊规定,完全按驾驶员意图和实际行驶环境操作,得到的结果最为真实可信。但是由于驾驶员习惯和使用环境等随机性影响因素的存在,使得试验数据的典型性和重复性不好,且可操作性很差。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,实施手段千差万别,详略繁简各不相同。总体而言,可以划分为四个基本步骤。

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。

试验大纲主要规定如下内容：试验必须完成的任务，以及要达到的目的；试验项目与测试条件；所有测试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。同时针对各仪器设备和各环节操作，安排好专门的试验人员，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)要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配置等。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、试验中出现的问题及提出的对策。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”就是通过实际测试的手段确定汽车的某个(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、前照灯的发光强度与照射方向……更多的是被运用在行业检测领域及指导汽车的故障诊断与修理，而不是制造企业、科研单位和高等院校。习惯上，通常把这类作业较简单、快捷，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”。

也可以这样说，“试验”强调的是学术性，对测试结果的定量精度和可信度要求较高，试验的组织、试验平台的搭建与仪器的安置、试验的操作过程等较复杂，试验进程可以由试验组织者灵活掌握，对试验对象可以进行不同层次的解体拆装或者改造，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；而“检测”由于其目的基本上是为行政管理或者维修生产活动服务，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，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更高，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”，而不一定要求精确的定量数据)。

需要注意的是，“试验”与“检测”在测量学上没有本质的区别，都是利用测试系统感知和拾取被测量，根据测试系统的输出来推断输入信号(也就是被测量)；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，在底盘测功机或者道路上测试汽车的燃油消耗量、在制动试验台或者道路上确定汽车的制动性能、测试

汽车的排气污染物的成分和数量,既属于“汽车综合性能检测”的范畴、也可以称作“汽车试验”。

因此,本书讨论的信号测试与处理的原理、各项实际测试项目,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”的提法。

2. 汽车试验仪器设备与车上测试设备的关系

现代测试系统,其基本组织和工作原理都是相同的,基本上都是由传感器、信号的中间变换与处理(包括传输)装置及必要的记录、数据处理和显示打印等输出设备组成。只是用于不同场合和目的时,其技术含量、复杂程度和测试结果的精度、可信度及数据使用的便利性有所不同。

汽车试验仪器设备,指的是为了进行某项汽车试验而专门配置的硬件设施和相关软件,它不属于汽车的组成部分,也就是说,不做试验的时候它与汽车是无关的。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,专用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、信号的记录及后续处理等相对复杂。

车上测试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。具体又可以分为两类: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,给驾驶员提供一些信息,其显示部位通常在驾驶室内部的组合仪表上,方便驾驶员观察或调取。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员显示实时车速,也不需要额外安装,比上述各种专用速度仪方便得多;但是该仪表的指示误差较大,只是一个大致的参考信息,其定量数据基本上不可信(车速表检测标准的相对误差上限可允许达到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,对驾驶员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,制动防抱死系统需要轮速传感器,其基本原理和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、燃油流量和压力传感器、排气成分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,对工作可靠性的要求很高,而其测量精度一般不如固定式的汽车试验仪器设备。

可见,无论是汽车试验仪器设备、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,都属于测试系统(车载传感器是测试系统的一部分,完整的系统还包括电控单元中的输入信号处理电路等)。但是,出于设置目的、应用场合及成本控制等要求的不同,三者和技术含量、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,主要指的是各种专用的汽车试验仪器设备。在相关章节对车上测试设备的基本原理也会略作介绍。

第二章 机械量的电测量技术

在现代社会，试验测试手段和方法广泛应用于国民经济和社会生活的各个领域。包括汽车试验在内，现代测试技术普遍具有两大特点：从测试装置的组织和构成的角度看，采用的是“模块化”；在信号测量的实现手段上，采用的是“电测法”。

模块化，就是指某项试验所使用的整套测量装置，是由若干既相互联系、又相对独立的元件(也可以称为“环节”)组成。也就是说，整个测试系统是由若干子系统组成，而这些子系统不一定只运用于某项固定的试验。一项试验结束后，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，也有利于提高试验装置的利用率。

电测法就是指现代的专业试验技术普遍是将被测量先转换成某种电信号。当然，如果被测量本身就是电信号，就无需此转换。与机械式测量方法相比，电信号的传输、处理、记录和显示更方便，电测法的精度、自由度和智能化程度更高。例如，用弹簧测力计测量力或者重量，属于简单的机械式测量，弹簧的刚度特性和标尺的精度变化难于控制，量程也有限，测量结果只能采用纸质记录等方式，分析和处理效率低；而采用电测法，先由应变式或其他类型的传感器将被测非电量——这里指的就是力转换成某种电信号，再进行信号的中间变换、记录和重放处理等操作，整个测试过程的精度和自动化程度高，量程大，结果的存储、复制和传输等较简单。

本章就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 测试系统的转换特性

一、测试系统的基本组成

汽车试验所使用的各种硬件元件和器材，实际工作中经常见到各种“计”“表”“仪(器)”等不同术语，本节则大量出现“装置”的提法。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”。不同提法只是源于行业习惯或标准定义。

例如，汽车组合仪表中的速度测量和显示装置一般叫“速度表”或“车速表”，专业汽车试验用的测速装置则习惯称作“速度计”或“速度仪”；测量燃油消耗的装置叫“油耗仪”或者“油耗传感器”都可以……

从“模块化”的观点出发，一整套测试系统，是由若干部分(即“子系统”)组成的。汽车试验项目众多，所采用的具体试验装置千差万别，但是总体而言，一个完整的测试系统，从被测信号变换和传输的过程来看，主要包括三部分：传感器、信号调节器、记录与显示装置。另外还可能有定度设备、校准设备和数据处理装置等，如图 2-1 所示。

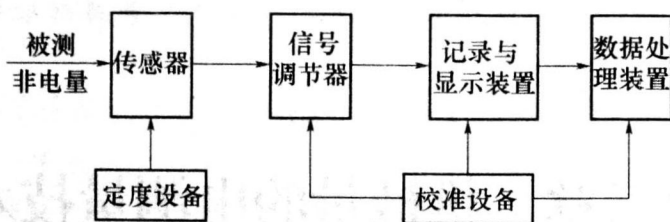


图 2-1 测试系统的基本组成

传感器：将被测量(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。

有的定义认为，“变送器”指的是能够输出标准化信号的传感器，也就是说，“变送器”已经兼具信号调节的部分功能。

信号调节器也称信号调理器，指的是信号的中间变换(包括各种变换之间的传输)。来自传感器的信号，经过中间处理后，才能成为能量足够、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。

记录与显示装置，也就是测试系统的输出端，或称“负载”。测试系统的输出信号，就是通过这个环节记录或者直接显示，供使用者分析或利用数据处理机分析计算。记录方式目前多采用磁介质记录，属于隐性记录，记录信号是数字量，便于信息的存储、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。

在有些学科领域和资料中，按测试信号的流程将测试系统划分为三级，初级是检测—传感级(或敏感元件—传感器级)、中间级是信号调理级、终端级叫读出一记录级，分别对应上述传感器、信号调节器和记录与显示装置。

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，通常被称作“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。

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，产生的原始电信号也是模拟量；另一方面，测试结果很多情况下也需要以连续的模拟量的形式输出。但是作为数据采集系统核心的计算机，只能处理数字量，所以数据采集系统必须要在输入端将模拟量转换为数字量(A/D)、在输出端将数字量转换为模拟量(D/A)，中间运算和处理交由数字计算机完成，如图 2-2 所示。

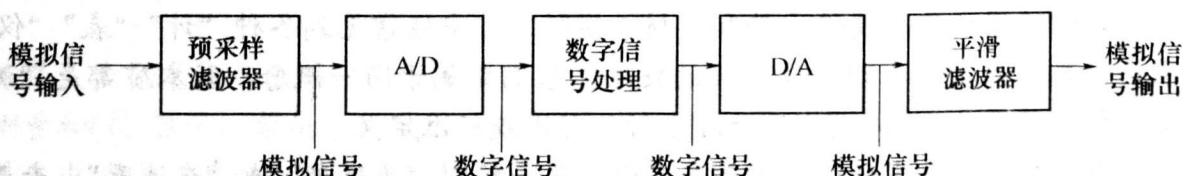


图 2-2 数据采集系统简图

传感器、信号调节器、记录与显示装置这 3 个环节是测试系统的主干，它们直接负责被测信号的测量。

同时，为了使测试系统自身工作正常、结果可靠，还需要有定度和校准等设备。

定度也叫标定，就是确定测试装置的输出—输入关系，传感器等测试装置，如果未经标定，那么即使通过试验操作，测试系统产生了输出信号，也无法确定与其对应的输入量，就

是被测量的数值，试验是没有意义的。

对于试验工作中所使用的各种中间变换装置，由于装置自身老化或者环境不标准等因素的影响，其增益倍率或截止频率等标称性能参数不一定准确，这时就需要校准。校准，就是在同一输入信号的作用下，用该工作装置和更高精度等级的标准装置的输出信号进行比较，找出工作装置的误差，进行修正。

此处的“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、加载装置和其他联接支承设备等环节，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。

例如，图 2-3 所示的是一个完整的发动机台架试验示意图，发动机是被试件、同时也是动力输入装置，测功机作为加载装置提供阻力，变速器实现台架的机械联接和动力的传递与转换，三者匹配产生输出转矩和转速两个被测量。为了测量这两个机械量，要使用测速发电机(或其他转速测传感器)，测功机要有转矩测试功能。如果加上油耗传感器则可以测量燃油消耗率。此处的转速、转矩和油耗传感器，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”。

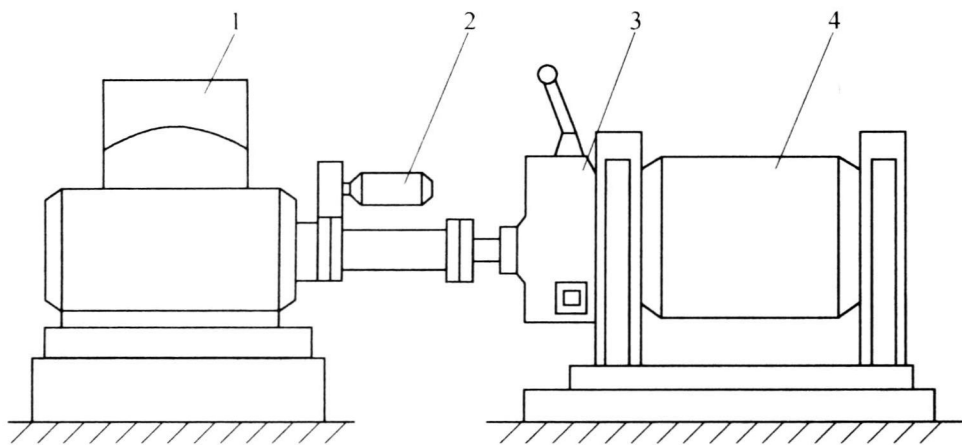


图 2-3 发动机台架试验

1—测功机；2—测速发电机；3—变速器；4—被试发动机。

二、对测试系统的基本要求

一个理想的测试系统，要满足两点基本要求：

1. 具有单值、确定的输出—输入关系

也就是说，系统的输入 x 和输出 y 之间满足“一一映射”的数学定义。否则，同一个输入会引起不同的输出，或者同一个输出对应不同的输入，系统将无法工作。

2. 满足单向性

所谓“单向性”，是指被测系统的运作可以对测试系统施加影响，而测试系统对被测系统没有反作用或者反作用尽量小。就是说不能因为安置了测试系统而影响被测系统原来的工作状况。例如，测试振动或者温度信号时，需要在被试件上安装加速度传感器或者温度传感器，要求这些传感器质量轻、面积小、埋藏浅，尽量不改变被试件原来的质量、刚度或者温度分布特性。再如，本章第二节介绍的“滑变电阻式传感器”，由于触头和电位计导线的接触摩擦，会使得传感器的单向性有所降低。

一般来说,非接触式测量的单向性更好。另外,我们也希望测试系统的输出—输入关系成线性(图 2-4),但不是必须的。因为很多测试装置的物理背景就是非线性的,在数据处理过程中将非线性数据修正成线性的也不是很困难。

三、系统的基本思想

所谓“系统”,按全国科学技术名词审定委员会的定义,就是“为实现规定功能以达到某一目标而构成的相互关联的一个集合体或装置(部件)。”按这个定义的表述,测试系统就是为了确定某物理量的数值而由传感器、信号调节器和记录与显示装置等构成的一个集合体。

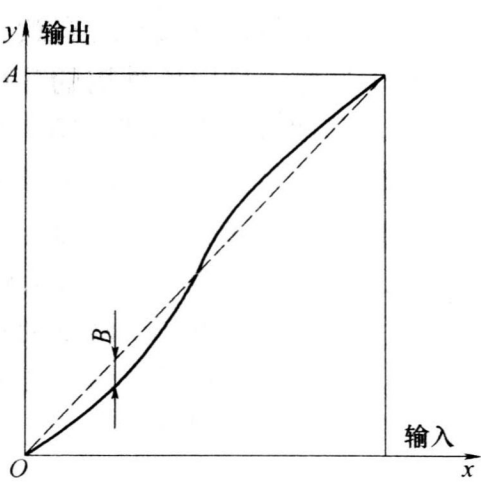


图 2-4 定度曲线与非线性度

如果不细究测试系统内部的具体组成、各子系统的不同功用和工作原理,可以将整个测试系统看作一个单元,这个单元有输入、也有输出。也就是说,暂时不考察测试系统内部的详细构造和物理原理,将其视作一个“黑箱”,那么这个黑箱的基本功能就是将输入量 x 按某种关系转换成输出量 y ,这里的“某种关系”指的就是系统本身的特性,通常用符号 h 代表。其转换关系如图 2-5 所示。

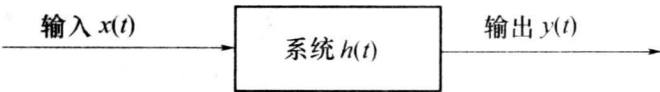


图 2-5 系统转换特性

显然,在输入、系统和输出 3 个环节中,已知两个,就可以求解另一个。

- (1) 已知系统特性 h 和输出 y , 就可以推断输入信号 x , 这就是测量。显然, (汽车) 试验就是利用特性已知的系统, 将被测输入量转换成输出, 观察和分析输出信号, 从而确定输入量。
- (2) 已知输入 x 和输出 y , 可以确定系统特性 h , 这就是定度(标定)。也就是说, 定度是对系统施加一个已知的输入量, 得到一个输出量, 系统特性就体现为输出量和输入量之间的关系。
- (3) 如果已知输入 x 和系统特性 h , 则可以在不进行实测的条件下确定输出 y 。这称为输出信号预测。

可见,对于试验(测量)来说,最终目的就是求输入量。求输入量 x 需要输出信息 y 和系统特性 h 。 y 由测试系统的终端环节给出(如仪表显示,或记录、处理后的数据),那么测量的一个关键就是确定测试系统的特性。打个比方,用弹簧测力计测量力,弹簧的变形量是输出量,由仪器直接给出,那么必须事先知道弹簧的转换特性,也就是变形 y 和受力 x 的关系,才能根据变形量 y 来推断受力 x 。(而当确定了这种转换特性后,就可以根据变形—受力的关系,把力的刻度直接标划在测力计上,方便使用。)

本节所研究的“系统特性”,就是基于这种“输入→系统→输出”的模型,主要从数学转换的角度研究系统特性,也就是输出量 y 与输入量 x 的关系,而不详细研究试验装置的具体物理构型和工作原理。涉及到的一些物理模型只是作为系统特性分析的实例。

四、测试系统的静态特性

静态,指的就是测试系统的输入和输出都不随时间变化的状态。对于工程实际测试,如