

 同济大学研究生教材

汽车试验技术

Automobile Testing Technology

周鎡 编著

汽车试验技术

周 鋈 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书共分四篇二十五章,系统论述了汽车试验的整个过程,包括试验的基本理论、测试技术、汽车性能试验和试验数据处理。本书凝聚了同济大学汽车实验室几十年的试验项目案例,并结合我国汽车行业发展实际状况及当代汽车试验技术,力求通过试验,基本理论知识、试验技术方法和实践能力方面的阐述,对汽车试验技术有一个全面的理解和认识。同时对开展相关汽车试验实践提供指导和借鉴。本书可用作车辆工程专业学生“汽车试验技术”课程的教材,也可供从事汽车试验的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车试验技术/周鉉编著. --上海:同济大学出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-5608-5801-2

I. ①汽… II. ①周… 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(2015)第 060892 号

汽车试验技术

周 鉉 编著

责任编辑 张平官 责任校对 徐春莲 封面设计 张 微

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 20.5

字 数 511 000

版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5801-2

定 价 60.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

本书根据同济大学汽车学院的“汽车试验技术”教学要求,在多年的教学和实践的基础上编写而成。本书可用作车辆工程专业学生“汽车试验技术”课程的教材,也可供从事汽车试验工作的技术人员参考。

全书共分四篇二十五章,从试验的基本理论、测试技术、汽车性能试验和试验数据处理四个方面较系统地叙述了汽车试验的整个过程。

本书在编写中结合同济大学汽车实验室几十年的试验项目,根据我国汽车行业发展的实际状况,努力反映当代汽车的试验技术,以利于学生掌握试验知识和加强试验能力。

本书由同济大学汽车学院汽车试验技术方向责任教授周铤编著,汽车学院张涛博士、马立英博士、靳畅博士、徐刚博士协助参与了编写,王欣参与了书稿的编排和整理。

本书在编写和出版过程中得到了同济大学汽车学院和同济大学许多部门的支持和帮助,在此表示感谢。对于书中存在的不足之处,希望使用、阅读此书的师生及相关读者批评指正。

编著者

2014年12月

目 录

前言

0 绪论	1
0.1 汽车试验技术的发展	1
0.1 汽车试验技术研究对象	2
0.1 学习本课程的目的及意义	3

第一篇 试验的基本理论

第1章 测量系统的基本特性	7
1.1 测量系统	7
1.1.1 测量的基本概念	7
1.1.2 测量系统的基本组成	8
1.1.3 现代测量系统的特点	8
1.2 测量系统的基本特性	9
1.2.1 测量系统的静态特性	9
1.2.2 测量系统的动态特性	14
第2章 相似理论	21
2.1 相似定理	21
2.1.1 相似的概念	21
2.1.2 相似第一定理	23
2.1.3 相似第二定理	26
2.1.4 相似第三定理(也称 Π 定理)	27
2.1.5 相似定理的用途	28
2.2 相似准则的求法	30
2.2.1 方程分析	30
2.2.2 量纲分析法	33
第3章 测量误差理论	37
3.1 概述	37
3.1.1 测量误差及其分类	37
3.1.2 测量的精密度与准确度	38
3.1.3 研究测量误差理论的任务	38

3.2	随机误差	38
3.2.1	统计直方图	38
3.2.2	随机误差的特性	39
3.2.3	标准误差与概率积分	40
3.3	测量列与测量结果的精密度	41
3.3.1	测量列的精密度参数	41
3.3.2	有限次测量时测量列精密度的估计	42
3.3.3	有限次测量时测量结果的精密度	45
3.4	测量结果误差分析	46
3.4.1	直接测量参数测定值处理	46
3.4.2	间接测量的误差分析	47
3.5	系统误差与疏失误差	51
3.5.1	系统误差及其分类	51
3.5.2	系统误差的判别方法	52
3.5.3	疏失误差及处理准则	53
第4章	正交试验设计简介	54
4.1	正交试验设计所要解决的问题	54
4.2	正交试验设计的基本工具——正交表	55
4.3	试验设计的基本过程	56

第二篇 测试技术

第5章	应变测试技术	63
5.1	应变片	63
5.1.1	应变片基本概念	63
5.1.2	工作原理	64
5.2	应变片的特性	65
5.2.1	应变片的基本特性	65
5.2.2	应变片的动态特性	69
5.3	应变仪	70
5.3.1	应变仪的组成	70
5.3.2	测量电桥	71
5.3.3	应变仪的一些其他装置	81
5.3.4	动态应变的标定	82
5.3.5	测点位置确定	83
第6章	拉(压)力和荷重的测量	84
6.1	概述	84
6.1.1	测力的基本方法	84
6.1.2	压力测量	84
6.2	电阻应变式测力传感器	85

6.2.1 电阻应变式测力传感器的原理和特点	85
6.2.2 常用的弹性元件和贴片方式	85
6.2.3 电阻应变式压力传感器	87
6.3 霍尔效应式压力计等	89
6.3.1 霍尔效应及霍尔电势	89
6.3.2 活塞式压力计及其压力传感器的标定	91
第7章 扭矩测量	92
7.1 测量扭矩的基本途径	92
7.2 测量扭矩中的几个基本问题	92
7.3 常用扭矩仪	93
7.3.1 电阻应变片式扭矩仪	93
7.3.2 相位差式扭矩仪	94
第8章 流体流量测量	100
8.1 流量测量的基本方法	100
8.2 测量仪器	100
8.2.1 容积式流量计	100
8.2.2 速度式流量计	103
8.2.3 节流型流量计	103
第9章 位移与转速的测量	105
9.1 位移测量	105
9.1.1 电阻式位移计	105
9.1.2 电感式位移计	109
9.2 转速测量	117
9.2.1 光电式转速计	117
9.2.2 磁电式转速计	119
9.2.3 转速脉冲测读方法	119
第10章 温度的测量	121
10.1 概述	121
10.1.1 温标	121
10.1.2 温度计分类	121
10.2 接触式温度计	122
10.2.1 热电阻温度计	122
10.2.2 热电偶温度计	123
10.3 非接触式温度计	127
10.3.1 红外测温仪	127
10.3.2 红外热像仪	127
第11章 振动测量	130
11.1 振动基础	130
11.1.1 简谐振动	130

11.1.2	复杂周期振动	131
11.1.3	随机振动	131
11.1.4	振动的测量	131
11.2	测振传感器	132
11.2.1	相对式测振传感器	132
11.2.2	惯性式测振传感器	134
11.2.3	非接触式测振传感器	142
第 12 章	噪声测量	144
12.1	声学基础	144
12.1.1	基本概念	144
12.1.2	噪声定义和分类	145
12.1.3	衡量噪声的基本物理量	145
12.2	噪声测量	149
12.2.1	噪声测量的目的及内容	149
12.2.2	基本测量系统	149
12.2.3	测量传感器	149
12.2.4	测量电路(极化测量电路)	151
12.2.5	测量方法	153
12.2.6	声强的测量	154
第三篇 汽车性能试验		
第 13 章	汽车性能试验概述	159
13.1	汽车性能试验的目的	159
13.2	汽车性能试验的基本内容	159
13.3	汽车性能试验的方法	160
13.4	汽车性能试验的评价方法	160
第 14 章	汽车动力性能试验	161
14.1	道路加速性能试验	161
14.1.1	试验方法	161
14.1.2	测量参数	162
14.1.3	测速方法	162
14.2	车速试验	165
14.2.1	最低稳定车速试验	165
14.2.2	最高车速试验	165
14.3	行驶阻力试验	165
14.3.1	行驶阻力路试方法	166
14.3.2	行驶阻力台架试验	166
14.4	爬坡能力试验	168
14.4.1	实际坡道法	168

14.4.2	专用坡道法	168
14.5	动力性能的室内模拟试验	169
14.5.1	室内试验台分类	169
14.5.2	测功机	170
14.6	试验实例	173
14.6.1	试验目的及试验条件	173
14.6.2	试验方法	173
14.6.3	试验数据	173
第 15 章	汽车制动性能试验	176
15.1	汽车制动性能的道路试验	176
15.1.1	制动性能评价参数	176
15.1.2	汽车制动性能的道路试验	177
15.1.3	防抱死制动系统(ABS)性能试验	178
15.2	汽车制动性能试验实例	181
15.2.1	试验目的	181
15.2.2	试验方法	181
15.2.3	测量参数及测量设备	181
15.2.4	试验结果	181
第 16 章	汽车操纵稳定性试验	184
16.1	基本参量测量	184
16.1.1	重心高度	184
16.1.2	转动惯量	184
16.1.3	悬架 K&C 特性	185
16.1.4	四轮定位参数	186
16.1.5	转向系参数	186
16.2	操纵稳定性道路试验	186
16.2.1	试验准备	186
16.2.2	直线行驶性能试验	187
16.2.3	转弯行驶性能试验	188
16.2.4	急促移线试验	192
16.2.5	主观评价试验	193
16.3	操纵稳定性试验仪器	193
16.3.1	陀螺仪	193
16.3.2	测力方向盘	195
16.4	操纵稳定性试验实例	195
16.4.1	稳态回转试验描述	196
16.4.2	试验数据处理方法	196
16.4.3	试验结果表达	196
16.4.4	试验结论	197

第 17 章 汽车行驶平顺性试验	198
17.1 平顺性随机输入行驶试验	198
17.1.1 人体的振动特性	199
17.1.2 实际行驶中人体加速度测量	200
17.1.3 试验方法	201
17.1.4 平顺性评价方法	201
17.2 平顺性脉冲输入试验	201
17.2.1 试验目的	201
17.2.2 试验方法	202
17.2.3 评价方法	202
17.2.4 试验案例	202
17.3 悬架系统固有频率与相对阻尼系数测量	204
17.3.1 试验方法	204
17.3.2 数据处理方法	204
第 18 章 汽车可靠性与耐久性试验	206
18.1 汽车可靠性与耐久性试验方法	206
18.1.1 道路实车试验	207
18.1.2 试验场试验	207
18.1.3 耐久性室内台架试验	210
18.2 整车台架道路模拟试验	212
18.2.1 试验目的	212
18.2.2 试验依据	212
18.2.3 试验仪器设备	212
18.2.4 道路载荷谱采集	212
18.2.5 道路载荷谱编辑(采集数据分析处理)	213
18.2.6 四通道台架道路模拟试验	214
第 19 章 汽车燃料经济性试验	216
19.1 等速油耗试验	216
19.2 多工况燃料消耗量试验	218
19.3 直接挡全油门加速燃料消耗量试验	219
19.4 限定条件下的平均使用燃料消耗量试验	219
第 20 章 被动安全性试验	221
20.1 碰撞试验设备及测量系统	221
20.1.1 碰撞试验设备	221
20.1.2 碰撞试验测量系统	225
20.2 实车碰撞试验	228
20.2.1 实车正面碰撞试验	228
20.2.2 实车侧面碰撞试验	230
20.2.3 其他实车碰撞试验	231

20.3 滑车模拟碰撞试验	231
20.3.1 冲撞型滑车模拟碰撞试验设备	231
20.3.2 冲击反弹式滑车模拟碰撞试验设备	233
20.3.3 发射型滑车模拟碰撞试验设备	233
第21章 试验计划与组织	235
21.1 试验计划	235
21.2 试验大纲	236
21.3 试验报告	237

第四篇 试验数据处理

第22章 静态试验数据处理	241
22.1 回归分析处理试验数据	242
22.1.1 一元线性回归分析	242
22.1.2 一元非线性回归的转化	250
22.2 试验数据的图像表示	253
22.2.1 数据的整理	254
22.2.2 坐标系的选择与分度	254
22.2.3 回归线的描述	255
第23章 动态试验数据处理	256
23.1 数据分析的一般流程	256
23.1.1 目视分类	257
23.1.2 随机性检验	257
23.1.3 平稳性检验	259
23.2 采样及预处理	259
23.2.1 采样	259
23.2.2 频率混淆	262
23.2.3 野点剔除	265
23.2.4 趋势项消除	266
第24章 信号处理理论简介	268
24.1 信号的截断、能量泄漏及窗函数	268
24.1.1 信号的截断及能量泄漏效应	268
24.1.2 常用窗函数	269
24.2 傅里叶变换	272
24.2.1 离散傅里叶变换(DFT)	272
24.2.2 快速傅里叶变换(FFT)	273
24.2.3 FFT 算法应用	273
24.3 其他频谱技术分析	277
24.3.1 细化谱分析	277
24.3.2 功时谱分析	279

24.3.3 最大熵谱分析	281
24.4 滤波技术	283
24.4.1 滤波器分类	283
24.4.2 理想滤波器	284
24.4.3 实际滤波器	286
24.4.4 模拟滤波器的应用	287
24.4.5 数字滤波简介	290
第 25 章 幅值域分析	292
25.1 信号的幅值统计	292
25.1.1 载荷信号的峰值和谷值	292
25.1.2 载荷信号幅值的平均值、方差和标准差	292
25.1.3 载荷信号的有效值	294
25.1.4 载荷信号的分布特性	295
25.1.5 载荷信号幅值的计数法	297
25.1.6 各种计数法的评价和选用	303
25.2 工程载荷的获得	304
25.2.1 平稳性检验	304
25.2.2 计数法的选择	305
25.2.3 按计数法统计处理	305
25.2.4 载荷分布形的推断	305
25.2.5 载荷累积频次图的合成	307
25.2.6 总和累积频次图的扩展	308
25.3 程序载荷谱的编制	309
25.3.1 载荷分级	309
25.3.2 确定试验子程序数及每个子程序的试验频次数	310
25.3.3 略去低幅载荷缩短试验时间	311
25.3.4 确定加载次序	311
25.3.5 程序疲劳试验的强化及疲劳寿命推断	312
参考文献	314

0 绪 论

0.1 汽车试验技术的发展

汽车工业作为综合性工业在国家经济发展中起着重要的支柱作用,是衡量一个国家工业水平的重要标志。随着经济的发展和人民生活水平的提高,在国家政策和社会的支持下,我国汽车工业得到迅速发展且前景广阔。

汽车试验体系是伴随着汽车工业的诞生和发展而逐渐成长起来的。汽车产品在使用或投放到市场以前,都必须经过复杂的试验研究和严格的试验检验,以确保其满足设计和安全的要求,达到预期的使用性能。所以汽车试验体系与汽车工业的发展紧密地联系在一起,两者相互促进共同发展,汽车试验技术本身也逐步形成一个相对完整的技术领域。

汽车试验技术发展至今大致可以分为四个阶段:

第一阶段,从第一辆汽车问世至福特公司建成“汽车流水生产线”。早期的汽车生产,主要利用手工方式进行。产量少,效率低,性能质量差,生产成本低。由于当时人们对汽车的性能和品质要求不高,因此,在早期的汽车生产阶段汽车试验工作一直处于原始阶段。

第二阶段,从第一条“汽车流水生产线”建成到 20 世纪 40 年代第二次世界大战结束。20 世纪初期,汽车工业率先创立了流水作业的生产方式,使劳动生产率大幅度提高,生产成本下降,产量增加。随着汽车使用范围的扩大,汽车产品的性能、质量、可靠性等问题受到越来越多的关注,在客观上促进了汽车的试验研究工作。这期间汽车生产者在借鉴其他行业较为成熟的试验方法和技术的基础上,逐渐形成了自己的试验方法和试验研究体系,同时开发了符合汽车行业发展要求的试验仪器和设备,如典型的测功机、疲劳试验台等,这些设备除了在结构和控制方面逐步改进外,其原理一直沿用至今。

在此阶段,作为汽车试验专门领域的道路试验也得到了足够的重视,道路试验成为汽车试验的基本试验之一,有实力的汽车公司开始建设汽车试验场。

第三阶段,从 20 世纪 40 年代到 70 年代。汽车试验理论、试验设备、试验标准和相关法规都得到了迅速发展,汽车试验技术基本形成了一门较完整、较系统的学科。汽车空气动力学特性、车辆地面力学、车辆结构强度与载荷、车辆实际工作过程等基础性研究工作的进步推动了汽车试验技术的发展。20 世纪 60 年代,随着电子技术、传感器技术的发展,开发了各种自动测试、控制等方面的仪器,使试验设备日趋完善,促进了汽车试验学的进一步发展。

第四阶段,从 20 世纪 70 年代至今。在此阶段,电子计算机在汽车试验中得到广泛的应用。同时,试验理论、标准和法规得到了进一步完善,试验设备和试验方法更加先进。计算机在汽车性能预测、强度计算上提供了快速、准确的运算工具,如操纵稳定性、空气动力学特

性、车身以及车架的有限元计算等方面。高度自动化设备——模拟道路状态的电子液压振动试验台、电控汽车底盘测功机试验台,以及风洞、试验场等大型设备设施的应用,使汽车试验技术无论在方法上还是在设备上都达到了空前完善的程度。

0.2 汽车试验技术研究对象

研究工程技术问题的基本方法通常可以分为理论分析方法和试验研究方法。两者的关系,即理论以试验为基础,试验需理论作指导。应正确认识、明确两者关系,使两者紧密结合,相互依赖,相辅相成,更好地完成工程技术问题的研究。

汽车试验技术是以汽车为研究对象讨论汽车性能试验方法,主要是整车试验方法、各种参数的测量方法、用于汽车整车或零部件试验的试验设备及数据分析处理方法。

1. 试验的基本理论

试验的基本理论主要包括:

(1) 试验系统特性分析方法:用于了解汽车试验系统的静态、动态特性,合理选择和使用试验系统。

(2) 试验误差理论:用于了解在汽车试验中可能产生的各类误差、各类误差的分类特点及减小误差的方法。

(3) 模型设计理论:在对某些产品不能进行整车或实物试验的条件下,以模型为研究对象,用于了解模型和实际研究对象的关系,从而通过对模型的研究来反映实物。

(4) 正交试验设计:在有众多参数影响的试验中如何选择最优的试验方法,对试验对象进行有效的试验。

2. 测量技术

在汽车试验中测量各种试验参数时,会涉及很多物理量,如速度、加速度、位移、力、荷重、扭矩、转速及应力等。将这些物理量转换成可方便测量、记录、计算的电量,是测量技术的研究内容。具体为:

(1) 各类传感器(一次仪表):将各类非电量转换成电量的器件。

(2) 各类调理器(二次仪表):对于一次仪表转换成的电量,在要求高精度的测量时,还需进行放大、调制、检波及滤波等处理。

(3) 记录分析仪器(三次仪表):经二次处理后的信号还需根据要求保存、分析和处理。

3. 汽车试验方法与试验设备

汽车试验的发展与汽车试验方法的更新及试验仪器设备的进步和完善密切相关。汽车试验设备通常分为两大类,即室内台架试验设备和室外道路试验设备。由于道路试验设备所处的环境十分恶劣,因此对防尘、防震、防潮及抗环境老化的能力要求高。对于室内台架设备,需要搭建一个台架模拟汽车整车及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。所以,汽车道路试验设备与室内台架试验设备的功能、构成等方面均存在较大的差异。

4. 试验数据处理和分析

试验数据处理就是要从原始数据中找出能反映被测对象的一般规律或统计规律,以便

对被测对象进行分析研究。对汽车试验所得数据分析一般可以分为时域分析、幅值域分析、相关域分析及频率域分析。

时域分析用来分析被测参数随时间变化的规律,如操纵稳定性、弯道制动过程等。幅值域分析用来分析被测参数的幅值和出现次数的关系,如轿车车身和零部件的疲劳强度测试等。相关域分析用来分析试验过程中不同试验点的试验参数之间的相互关系,如车轮、悬架、车身、座椅之间的振动传递关系。频率域分析一般分析被测参数随频率变化的规律,如车辆振动时,在不同频率下,分析所关心零部件的响应,或对汽车面板进行扫频,找出共振点频率后,在共振频率下进行耐久试验。

0.3 学习本课程的目的及意义

1. 验证合理设计的需要

由于假设与近似的存在,复杂问题未被充分认识,往往需要依赖试验方法才能得到解决。例如,用动力转向系统取代一般转向系统时,需要分析转向系统中的一些假设是否合理;大卡车为满足日益发展的高速公路运行的需要,提高发动机转速和功率,原传动系统的设计是否合理;制作各类信号加载谱用于评价产品设计是否合理;进行耐久性试验评价车辆的疲劳强度;在汽车改进时(制动器小盘换大盘、加感载阀、加大车厢等)进行各类性能试验评价汽车各类性能。

2. 为评价与改进产品提供技术依据

目前国内许多汽车都是引进国外技术制造生产的,通过试验可以检测其各种性能指标是否达到要求;零部件国产化后是否满足要求的技术条件,如结构强度、结构刚度及振动噪声等;已生产的整车和零部件的性能是否满足使用条件等。

3. 实现汽车操纵自动化、电子监控、故障诊断等新技术的必要手段

汽车使用 ABS 需要对转速进行实时测量;电喷发动机需要对进气量转速等参数进行测量;汽车故障诊断系统(报警系统)需要对多个参数进行测量。

4. 发展新理论,创造新方法的重要基础

在现有的理论基础上,使用试验手段,理论联系试验,探索未被认识的自然规律。一切新的定律、发明和突破都是建立在试验基础上的,如:虎克定律、库仑定律、万有引力、气态方程等。工程技术人员掌握一定的试验技能是必不可少的。汽车设计的过程就是反复试验、反复修改的过程。

第一章 测量系统的基本特性

第一篇

试验的基本理论

