

清华大学汽车工程系列教材

# 汽车动力系统试验学

## Powertrain Testing Technology

主编 黄海燕  
Huang Haiyan

清华大学出版社

Powertrain  
Testing Technology

清华大学汽车工程系列教材

# 汽车动力系统试验学

## Powertrain Testing Technology

主编 黄海燕  
Huang Haiyan

参编 卢兰光 金振华 肖建华  
Lu Languang Jin Zhenhua Xiao Jianhua

徐梁飞 阎东林  
Xu Liangfei Yan Donglin

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是对现代汽车动力系统试验技术进行较全面系统论述的专业教科书。本书共有 11 章。书中首先论述了进行汽车内燃机试验所必备的台架系统、测试技术及法规、试验标准和试验内容及方法等基础知识；然后系统地介绍了国标规定的汽车内燃机主要性能参数测试、基本性能试验、可靠性试验方法、排放试验方法、电控内燃机匹配与标定试验、内燃机动态模拟试验技术；最后介绍了客车用燃料电池系统主要试验技术、车用动力电池试验技术、混合动力试验技术。本书附录 A、B、C 分别列出了汽车内燃机试验指导书、示功图绘制方法及试验报告范例。

本书可作为车辆工程专业和能源与动力工程专业本科生的教材或参考书，也可供从事汽车动力系统性能试验的工程技术人员参考。

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

汽车动力系统试验学/黄海燕主编. —北京：清华大学出版社，2019  
(清华大学汽车工程系列教材)  
ISBN 978-7-302-52775-6

I. ①汽… II. ①黄… III. ①汽车—动力系统—试验—高等学校—教材 IV. ①U463.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 076986 号

责任编辑：许 龙  
封面设计：常雪影  
责任校对：刘玉霞  
责任印制：沈 露

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈：010-62772015，[zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者：三河市少明印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×230mm 印 张：19.25

字 数：421 千字

版 次：2019 年 7 月第 1 版

印 次：2019 年 7 月第 1 次印刷

定 价：52.00 元

产品编号：079918-01

# 前言



随着汽车工业的发展,汽车保有量的增加,能源和环境压力日益加剧,为解决能源危机和环境污染两大问题,汽车能源动力由以前的单一内燃机逐步发展为多种能源动力有效利用的动力系统,如纯电动、油电混合动力、氢燃料电池动力系统等多种形式。为适应汽车新技术的发展,汽车动力试验技术由之前的以单一燃油发动机测试系统为主逐步发展为多种动力源试验系统,因而其相应的试验技术及方法也发生了很大变化。

现代汽车动力系统试验内容和知识是一个极其宽广的领域。为能比较系统地介绍汽车动力系统试验技术,作者与国内多家重点汽车企业工程技术人员进行了多次切磋交流,基于本单位相关科研成果,对当今汽车动力系统试验技术进行了系统总结,进而完成了本教材的编写。本书是在2016年出版的《汽车发动机试验学教程(第2版)》的基础上,删除了一些较陈旧的内容,增加了车用动力电池试验技术、混合动力试验技术,丰富了燃料电池试验技术。全书分为四大部分进行论述和介绍。

第一部分对汽车内燃机试验系统及装置、主要参数的测试方法与技术以及整机试验的标准和规范进行了介绍,这些是从事动力系统试验所必备的基础知识。

第二部分以内燃机为试验对象,介绍了国标规定的内燃机稳态性能(起动性能、怠速性能、功率特性、负荷特性、万有特性)试验和可靠性试验;接着介绍了现代汽车内燃机特有而不可缺少的排放污染物试验、电控匹配标定试验和动态模拟试验。

第三部分介绍了新能源汽车动力电池、燃料电池系统、混合动力系统开发过程中的主要试验技术和方法。

本书在介绍相关试验内容和方法的同时,还注重对典型实例的讲解和试验结果的分析,这样不仅使学生能了解汽车动力系统试验过程的全貌,也可提高其分析问题和解决问题的能力,增强工程意识。这些内容对从事汽车能源动力生产、科研、开发技术人员也有参考价值。

第四部分是书中的附录,附录A列出了作者在历年试验教学中编制的多份教学试验指示书,具体说明了各项试验目的、内容、方法以及试验后总结、分析的教学要求;附录B介绍

了内燃机示功图绘制的一种方法；附录 C 列举了试验报告编写范例。这些内容仅供读者参考。

本书第 1、2、4、5 章由黄海燕编写，第 2 章测试系统部分内容由金振华提供，同时，张磊、李振波提供了很多有价值的资料及建议；第 3、4 章的部分内容由杨学青提供；第 3、6 章由黄海燕、肖建华、张文彬合编，第 7 章由黄海燕、龚庆杰、张科勋、杨学青合编，第 8 章由阎东林编写，第 9 章由黄海燕、徐梁飞、卢兰光、江洪亮合编，第 10 章由沈萍、高尚、王昱、卢兰光合编，第 11 章由金振华、刘鹏合写；附录 A1~9 的试验指导书由肖建华整理提供，附录 10 的试验指导书由阎东林提供，附录 B 由学生陈柯夫、李博远编写，附录 C 选用某公司柴油机试验报告供读者参考。全书由黄海燕统编。在成书过程中，得到了作者所在单位刘峥、王绍铤、杨福源、帅石金、裴普成、王贺武、张俊智、孙进伟、张云龙、胡尊严、邵扬斌等多位老师和研究生及来自汽车企业的李维成、李儒龙、龚庆杰、张科勋、朱敬安、熊莹、张磊、李振波、王录波、蒋文虎、任尚峰、魏冲，王众，孟令军、邵静月、邓隆阳等工程技术员的大力支持和帮助，他们不仅提供了很多有价值的素材，而且提出了许多宝贵的编写意见，谨在此向他们致以深切的谢意。

就作者了解的情况，本书可能是国内首次对现代汽车动力系统试验进行较全面系统论述的专业书籍。由于作者学术水平和实践经验的局限，书中不可避免存在缺点和疏忽，期望广大读者，特别是从事汽车动力试验技术研究、教学的同行专家予以指正。

# 目录



<b>第 1 章 试验及试验方法概述</b> .....	<b>1</b>
1.1 概述 .....	1
1.2 试验发展概况及类别 .....	2
1.2.1 内燃机试验测试技术发展概述 .....	2
1.2.2 汽车能源动力试验测试技术 .....	3
1.2.3 汽车能源动力试验类别 .....	3
1.3 本书内容简介 .....	5
1.4 汽车能源动力试验的组织与实施 .....	6
1.4.1 试验前的准备 .....	6
1.4.2 试验过程 .....	11
1.4.3 试验总结与分析 .....	11
1.5 试验标准 .....	13
1.5.1 标准概述 .....	13
1.5.2 试验时对内燃机所带附件的要求 .....	16
参考文献 .....	16
<b>第 2 章 内燃机台架试验系统</b> .....	<b>17</b>
2.1 测试系统 .....	18
2.1.1 加载与测量装置——测功机 .....	18
2.1.2 数据采集及处理系统 .....	33
2.1.3 控制系统 .....	37
2.1.4 冷却系统 .....	38

2.2	实验室环境系统 .....	39
2.2.1	通风系统 .....	39
2.2.2	进排气系统 .....	40
2.2.3	消声与隔声系统 .....	40
2.2.4	燃料供给系统 .....	41
2.2.5	安全系统 .....	41
2.3	测试平台发展趋势 .....	41
	参考文献 .....	43
<b>第3章</b>	<b>内燃机主要性能参数的测量 .....</b>	<b>44</b>
3.1	内燃机转速、扭矩测量和功率计算 .....	44
3.1.1	转速测量 .....	45
3.1.2	扭矩测量 .....	47
3.2	活塞压缩上止点与点火提前角和喷油提前角的测定 .....	50
3.3	压力测量与示功图制取 .....	54
3.3.1	概述 .....	54
3.3.2	内燃机缸内动态压力测量与示功图制取 .....	55
3.4	其他热力状态参数的测定 .....	57
3.4.1	液温、进排气温及大气温度的测量 .....	57
3.4.2	大气湿度和燃油密度的测定 .....	60
3.5	进气流量及燃油消耗率的测定 .....	63
3.5.1	进气流量的测定 .....	63
3.5.2	燃料消耗率的测定 .....	65
3.6	空燃比的测量 .....	70
3.7	汽车排放污染物的检测方法 .....	72
3.7.1	CO、CO <sub>2</sub> 的测量 .....	72
3.7.2	THC 的测量 .....	73
3.7.3	NO <sub>x</sub> 的测量 .....	73
3.7.4	烟度和微粒测量 .....	74
3.8	性能参数的测量精度及标准 .....	77
	参考文献 .....	78
<b>第4章</b>	<b>内燃机性能试验 .....</b>	<b>79</b>
4.1	概述 .....	79
4.2	内燃机功率试验 .....	80

4.2.1	试验内容及测试项目 .....	80
4.2.2	大气校正 .....	81
4.2.3	功率特性试验的应用 .....	83
4.3	负荷性能试验 .....	84
4.4	万有特性试验 .....	85
4.4.1	万有特性及其作用 .....	85
4.4.2	万有特性曲线的制取方法 .....	88
4.5	机械损失功率试验 .....	93
4.6	起动性能试验 .....	96
4.7	怠速试验 .....	97
	参考文献 .....	99
<b>第 5 章</b>	<b>可靠性试验 .....</b>	<b>100</b>
5.1	可靠性定义 .....	100
5.2	可靠性试验的意义及内容 .....	101
5.3	可靠性试验方法 .....	105
5.3.1	试验方法 .....	105
5.3.2	试验过程中的检查 .....	105
5.3.3	试验评价 .....	106
5.4	试验结果及分析 .....	106
5.5	内燃机加速试验 .....	107
	参考文献 .....	109
<b>第 6 章</b>	<b>内燃机排放试验 .....</b>	<b>110</b>
6.1	概述 .....	110
6.2	各国排放法规 .....	111
6.2.1	排放污染物的评定指标 .....	111
6.2.2	美国法规 .....	112
6.2.3	日本法规 .....	114
6.2.4	欧洲法规 .....	114
6.2.5	中国法规 .....	116
6.3	中国排放测量方法 .....	121
6.3.1	轻型汽车排气污染物测试方法 .....	121
6.3.2	重型车用汽油机排气污染物检测方法 .....	124
6.3.3	燃油蒸发排放物 .....	125

6.3.4	曲轴箱污染物 .....	126
6.3.5	怠速排放 .....	126
6.3.6	重型车用柴油机排气污染物检测方法 .....	126
	参考文献 .....	134
<b>第 7 章</b>	<b>电控内燃机匹配与标定试验 .....</b>	<b>135</b>
7.1	概述 .....	135
7.2	匹配、标定的基本概念 .....	136
7.3	匹配、标定的基本内容和方法 .....	136
7.3.1	基本内容 .....	136
7.3.2	标定的基本步骤 .....	140
7.3.3	MAP 图工况节点的确定 .....	140
7.3.4	MAP 图中控制参数的优化方法 .....	141
7.4	电控汽油机标定试验 .....	143
7.5	电控柴油机标定试验 .....	152
7.6	自动标定系统 .....	158
7.7	小结 .....	160
	参考文献 .....	160
<b>第 8 章</b>	<b>内燃机动态模拟试验 .....</b>	<b>161</b>
8.1	概述 .....	161
8.2	动态模拟试验的主要内容 .....	163
8.3	动态试验台的结构和原理 .....	163
8.4	内燃机动态模拟试验 .....	164
8.4.1	行驶阻力模拟 .....	164
8.4.2	车辆模拟 .....	166
8.4.3	驾驶员模拟 .....	166
8.4.4	动态模拟试验方法及应用实例 .....	167
	参考文献 .....	170
<b>第 9 章</b>	<b>燃料电池系统的开发试验 .....</b>	<b>171</b>
9.1	燃料电池系统的工作原理 .....	171
9.1.1	燃料电池 .....	171
9.1.2	燃料电池系统 .....	172
9.2	主要性能参数及技术指标 .....	173

9.2.1	燃料电池系统的输出功率	174
9.2.2	燃料电池的效率	174
9.2.3	氢气利用率的计算	175
9.2.4	氢气消耗率的计算	176
9.3	燃料电池系统试验平台	176
9.3.1	燃料电池堆测试台架	176
9.3.2	试验平台组成	177
9.4	燃料电池系统主要试验内容	182
9.4.1	术语定义	182
9.4.2	燃料电池系统性能试验	183
9.4.3	燃料电池性能测试技术展望	192
	参考文献	195
<b>第 10 章</b>	<b>锂离子电池性能测试</b>	<b>196</b>
10.1	概述	196
10.1.1	锂离子电池的基本结构	196
10.1.2	锂离子电池的工作原理	197
10.2	主要性能参数	197
10.3	锂离子电池试验平台	200
10.3.1	充放电测试仪	200
10.3.2	可编程式高低温箱(仓)	200
10.3.3	绝热加速量热仪	201
10.4	锂离子电池主要测试内容	202
10.4.1	术语和定义	203
10.4.2	锂离子单体电池基本性能试验	203
10.4.3	锂离子电池模块或包的基本性能测试	208
10.4.4	锂离子电池耐久性测试	210
10.4.5	锂离子热特性试验	212
	参考文献	216
<b>第 11 章</b>	<b>混合动力系统台架试验</b>	<b>217</b>
11.1	概述	217
11.2	混合动力系统结构及工作原理	217
11.2.1	系统构型及特点	217
11.2.2	控制策略工作原理	219

11.3	混合动力台架试验系统 .....	221
11.3.1	台架功能及结构 .....	221
11.3.2	混合动力台架控制技术 .....	223
11.4	混合动力台架应用 .....	226
11.4.1	电机测试台架 .....	226
11.4.2	变速器测试台架 .....	228
11.4.3	混合动力系统测试台架 .....	229
	参考文献 .....	231
<b>附录 A</b>	<b>试验指导书 .....</b>	<b>233</b>
试验 1	汽油机速度特性试验 .....	233
试验 2	汽油机负荷特性试验 .....	239
试验 3	柴油机速度特性、负荷特性试验 .....	242
试验 4	汽油机灭缸法机械损失试验 .....	248
试验 5	电控汽油机点火提前角 MAP 图测定试验 .....	251
试验 6	汽油机排放污染物特性试验 .....	255
试验 7	柴油机排放试验 .....	259
试验 8	内燃机燃烧过程试验 .....	263
试验 9	汽油机三元催化器评价 .....	268
试验 10	内燃机动态模拟试验 .....	271
<b>附录 B</b>	<b>示功图画法简介 .....</b>	<b>274</b>
<b>附录 C</b>	<b>试验报告 .....</b>	<b>288</b>

# 第1章

## 试验及试验方法概述

### 1.1 概 述

随着社会经济的发展与人们生活水平的不断提高,人们对汽车节能减排的要求越来越高,为适应这不断变化的要求,设计者需不断设计开发能满足节能减排需求的先进汽车能源动力,且能源动力技术的发展已经呈现了多重混合化的特点,主要表现在内燃机混合化、动力传动系统混合化和燃料电池系统混合化。

由于汽车能源动力从最初设计到最终产品均离不开试验验证,因此汽车能源动力试验测试技术与能源动力技术发展紧密相连。同时汽车能源动力试验测试技术随着科学技术和汽车能源动力技术的发展,尤其是它与现代电子技术、计算机技术相结合,使其早已成为相对独立的一门重要的学科。因此,汽车能源动力试验测试技术的发展促进并支撑着汽车能源动力及动力系统技术的快速发展,也为研制高水平的汽车能源动力提供了重要的保证。

为满足日益严格的汽车排放法规、油耗法规的要求,汽车能源多元化为主要特征的节能与新能源汽车迅速发展,与其相对应的试验方法及试验手段就显得更为重要。正是由于汽车动力系统试验技术和方法的重要地位,不仅汽车工程领域技术人员必须掌握其基本知识,在培养工程人才的教学工作中它也被赋予了更为重要的意义。其教学目的与意义可简要归纳为以下三点。

(1) 试验技术和方法的学习是汽车专业人才培养中重要的实践性教学环节。

汽车内燃机原理和规律是百年来广大科技和工程技术人员大量实践和经验的总结,具有极强的实践性质,但还有很多问题和现象无法解释。仅凭书本上的知识是无法真正理解和解决相关技术问题的。在内燃机实验室里面所花的几个小时可以说是对汽车内燃机的“真实世界”的最好介绍,是对课堂教学或者“计算机模拟”世界的最佳鉴别和考核。

此外,针对当今汽车能源动力多重混合化的特点,如何将其各部件有效匹配,是研发汽车动力和动力系统过程中非常重要的环节,因此,与其对应的汽车动力和动力系统试验方法

及手段的掌握就显得更为重要。

(2) 试验技术和方法是从事汽车能源动力生产、技术开发工作的必备知识。

作为汽车的“心脏”——能源动力,其特点是零部件多,使用条件复杂,对性能、寿命、质量和成本等方面的要求高。而影响汽车能源动力质量和性能的因素又很多,所涉及的技术领域极为广泛,对其中一些问题的研究目前还不够充分。因此对汽车能源动力而言,无论是新设计、开发的产品还是生产中的产品,即使在设计和制造上考虑得非常充分,也必须经过试验来检验:检验设计思想是否正确;设计目标能否实现;设计及生产的产品性能是否符合使用要求等。

(3) 试验技术与设备是汽车能源动力研发、创新、理论发展的必备手段。

随着汽车工业的发展,从节约燃料消耗、扩大燃料品种、提高有效功率、降低排气污染到耐久性等方面都对汽车能源动力提出了更高的要求,这就需要人们不断地研究能源动力各关键部件的内部规律、匹配技术和新技术,需要制定更严格的排放法规和油耗法规等。这样就会对试验方法、试验标准、试验平台等提出更高的要求。同时为了提高能源动力各类参数的测量精度,也需要有先进的能源动力试验平台。因此,国内外各大汽车制造厂商纷纷投入巨资建立现代化的动力系统试验室,对汽车能源动力进行不同目标的研发试验研究。在后面相关章节中将分别对其能源动力试验平台进行介绍。

## 1.2 试验发展概况及类别

### 1.2.1 内燃机试验测试技术发展概述

随着科学技术和内燃机技术的发展,在 20 世纪中叶内燃机试验测试技术已成为相对独立的一门重要的学科。它促进并支撑着内燃机技术的快速发展,为研制高水平的内燃机提供了重要的保证。概括起来主要经历了以下几个重要阶段。

#### 1. 初级阶段

在内燃机测试发展的初级阶段,因被测内燃机关注的参数少及计算机科学还没有普及,因而早期的内燃机试验是采取人工绘制试验数据表格,将记录的试验数据填写在试验数据表格内并进行人工数据处理。此外,在测试手段方面,用于内燃机测试的测功机功能单一,参数测量方法功能也单一。因此,在这个阶段,内燃机测试手段只能满足单一试验项目的测试要求。

#### 2. 试验自动化阶段

随着内燃机技术的发展,应用范围的扩大,及节能减排等要求的日益加严,需关注更多的内燃机测试参数。为提高其试验效率,降低其试验成本,且实时有效地测量更多的试验参数,需借助计算机技术、信息技术和自动控制等技术的发展,使内燃机试验由以前的手工操作、手工记录试验数据逐步发展成为采用计算机完成内燃机台架试验数据的自动采集、自动

处理和自动控制试验工况等。即科学技术的进步,使人们实现了将信号处理、自动控制、数学运算、电子技术、人工智能等技术融合为一体,进而可同时获得大量的测量采集数据,并能根据设定进行实时显示及监控,同时可提供良好的数据处理能力。

内燃机试验自动化的进程也伴随着内燃机测功机技术、传感器等技术的快速发展,有关此类信息,可参阅第2章。

### 3. 仿真试验阶段

为减轻内燃机开发试验强度,降低试验成本,提高内燃机开发速度,借助电子技术、计算机仿真技术、信息技术等先进技术,内燃机仿真试验技术得到了蓬勃发展。即在新产品进入试制阶段前,对其性能、可靠性、振动噪声等先采取仿真试验,然后再进行实物试验,以达到缩短设计开发周期、降低试验成本的目的。

目前,有很多内燃机设计开发机构利用多年内燃机开发设计经验、试验经验及试验数据的积累,建立了不同用处、不同类型的内燃机试验模型。试验模型的建立可以代替部分试验,这些是内燃机设计者能够实现简化试验、提高内燃机预测设计能力的基础。

在内燃机研发过程中如何有效地预测内燃机装车后的运行状态,即如何有效分析内燃机稳态、动态性能及可靠性等,传统的方法是依靠整车试验。然而这种方法费时费力,不具有竞争能力。为解决此类问题,内燃机动态模拟仿真技术得到了快速发展与运用,“车辆模拟”内燃机动态模拟试验可有效提高内燃机开发效率,及早发现汽车内燃机开发过程中的未知问题,当然这种方法需要庞大的知识(数据)库做支撑。进一步信息读者可参阅第8章。

## 1.2.2 汽车能源动力试验测试技术

为解决能源危机和环境污染两大问题,汽车能源动力由以前的单一内燃机逐步发展为多种能源动力有效混合的动力系统,其试验平台及试验方法也是根据不同需求,基于先进内燃机的试验技术建立和发展起来的,如基于模型的集成开发平台,虚拟测试,等等。相关试验测试技术的进一步信息可参阅第2、9、10、11章。

## 1.2.3 汽车能源动力试验类别

汽车能源动力试验按其试验目的和试验对象进行分类,可分为定型生产的产品试验、研制开发的新产品性能评定和标定试验、科学研究专项试验以及人才培养的教学与培训试验。

### 1. 产品试验

产品试验的目的是检查量产能源动力产品的质量,主要包括产品出厂试验、定期抽查试验及大修后的性能测试。汽车能源动力制造厂成批生产的产品,根据用途不同,出厂时检测要求也不同,一般卡车用能源动力要求逐台进行检测,乘用车能源动力则根据企业具体情况逐台或按比例对能源动力产品进行检测。检测方法根据产品的类型,企业按相应的规范执

行。如内燃机则按企业制定的冷磨合或热磨合试验规范进行。其他项目的试验如可靠性、经济性等一般是采取抽检方式进行检测,以保证出厂产品的质量。试验项目是根据能源动力的用途和特点,在国家标准所规定的范围内选定。

由于生产试验主要以控制产品质量为目的,因此它的特点是试验的产品固定、试验项目固定、测试方法和参数变化也较少,但要求测试设备必须可靠,能适应长期运转的需要。

## 2. 新产品性能评定和标定试验

性能评定试验的目的是对新产品或经过重大改进的能源动力在其研发的过程中进行局部的或全面的性能测试,以考核其性能指标是否达到设计或改进的要求。

目前新产品开发性能测试通常是仿真试验与台架实物试验相结合,通过试验进一步研究、分析能源动力内部的变化规律。如对于内燃机就是要找出在满足排放法规的情况下,提高其动力性(功率大)、经济性(耗油少)、可靠性(故障少)、耐久性(寿命长)、运转性(起动容易、振动小、低噪声、排污少)等各种性能的途径,以满足整车对内燃机动力的要求。

内燃机性能试验主要包括起动性能、负荷特性、速度特性、怠速特性、机械效率、各缸工作均匀性试验以及匹配标定工况、怠速下的稳定性试验等。(具体台架实物试验内容将在第4章中介绍。)

可靠性及耐久试验也是一种性能试验,而且是人们最为关心的问题。这是因为,如果一台能源动力要经常修理和维护,而且寿命很短,即使能源动力的效率再高、性能再好也是没有意义的。进行耐久性试验所花时间较长,工作量大,其目的是考核新产品或经过重大改进的能源动力(包括零部件)的可靠性、耐久性以及其性能指标的稳定性等。此类试验一般在实验室内进行(将在第5章对其试验方法进行介绍)。当然,有些经验丰富的能源动力设计机构,会在设计开发过程中,利用其试验模型对新产品可靠性及寿命进行预测,同时根据大量能源动力试验数据的持续积累,优化可靠性及耐久性试验方法,进而达到降低可靠性及耐久性试验成本的目的。

新产品的标定试验是指开发各阶段时的能源动力样机各工况性能指标及可调整参数的标定,如电控内燃机经济性、排放性和动力性之间的匹配试验,即MAP的标定工作等(关于电控内燃机匹配标定工作将在第7章介绍);动力系统各关键部件匹配性能试验(将在第11章对混合动力试验进行介绍)等。

另外还有能源动力在特定环境的性能测试,如高温、高寒、高原地区、噪声等特定试验。

## 3. 科学研究专项试验

科学研究试验也称为专项试验,它是为了研究改进能源动力的性能或科研探索所组织的专题试验,如能源动力各部件、各系统的专题研究、原理与规律的探索、新理论的探讨、新结构形式的确定、新测试方法的论证及新材料新工艺的应用,新能源动力的研究开发以及汽车新型动力系统试验等。这类试验涉及的学科及内容极其广泛,可能包含工程热物理各技术基础的理论,内燃机原理、设计、制造工艺和使用情况等各个方面。如内燃机缸内

燃烧机理的试验研究,内燃机动态模拟试验研究,新型燃料电池发动机、动力电池的研发等项目就属于这一类型。

以上各类试验,除了单项专题研究试验可参照各种标准自行拟定试验规范和方法,其他试验应按国家颁布的汽车用发动机试验标准(GB/T 18297—2001)、客车用燃料电池发电系统测试方法(GB/T 28183—2011)、乘用车用燃料电池发电系统测试方法(GB/T 23645—2009)、电池单体和模组的性能测试标准(GB/T 31486—2015),或行业与企业制定的标准进行。

#### 4. 教学与培训试验

教学与培训试验的目的是让被培训者(学生及企业工作人员)掌握汽车能源动力性能测试的基本方法;了解测试所需要的最基本的硬件和软件条件及其原理;初步学会试验方案设计、试验数据处理、误差及试验结果分析等技能。针对不同的对象(高校学生或企业被培训者)又有各自的特定要求。高校学生除了上述基本要求外,还要求学习和参与某些力所能及的新产品开发 and 单项试验,以便扩展思路,能对试验中观察到的现象及发现的问题综合运用所学知识进行分析,提出解决方案,以达到具有初步的科研和开发试验的能力。

## 1.3 本书内容简介

汽车能源动力试验的内容极为广泛,涉及面广,除了整机试验之外,还有大量的零部件试验,这些试验中有各种性能测试与标定,也有大量的可靠性、耐久性试验和维修检测内容。要在—本教材中全面阐述各方面的内容,既无必要,也不可能。从培养汽车能源动力科研、开发技术人员的具体要求和学校现实的试验硬件条件出发,本书所述汽车动力系统试验主要指的是内燃机整机动力性能试验、匹配标定试验、内燃机排放、燃料电池系统试验、动力电池试验、混合动力试验。所述试验内容主要指在能源动力台架实验间内进行,也包括一些整车室内转鼓及室外运行时的内燃机测试与标定的内容。

汽车动力系统技术的发展伴随着能源动力、动力系统试验测试技术的发展。作者根据近年来的汽车能源动力及不同混合模式的动力系统技术的发展和研究成果,对汽车动力系统试验方法、试验平台等进行了系统编写,希望对从事汽车能源动力试验的工程技术人员有一定参考价值。

### 1. 主要内容

(1) 以汽车内燃机新产品的性能试验为主要讲述对象,并按照国家标准 GB/T 18297—2001 中规定的主要试验项目进行介绍,包括起动试验、怠速试验、功率试验、负荷特性试验、万有特性试验以及机械损失功率试验。这些都是最重要的和常规的试验项目,企业的产品试验也大都按此标准进行。

(2) 引入现代电控内燃机和满足排放法规所必须进行的排放法规鉴定试验和电控机型

的匹配标定试验内容。

(3) 以国家标准为主线,介绍可靠性和耐久性试验方法。

(4) 总结作者所在单位的科研成果,介绍燃料电池系统的试验方法、动力电池试验方法、混合动力试验方法。

(5) 以上所有介绍的试验均在台架实验间内进行,并应用了各种专用设备和试验测试手段。为此,本书有针对性地对这些内容作了简要介绍,着重阐述具体的对象和应用方法,而不是作泛泛的论述。进一步信息读者可在相关的专著中找到所需的各方面的详细内容。

(6) 本书附录介绍了作者所在单位多年来积累编制的多个教学试验大纲。大纲涉及的试验项目及内容与作者所在单位具体条件有关,仅供读者参考。

## 2. 本书各章内容简介

本书第1章介绍了有关汽车能源动力试验、试验的作用以及整机试验的一些基本知识,如试验分类和内燃机试验标准等,并对内燃机试验测试技术发展历程进行了简要介绍。第2章以车用内燃机为主要试验对象,对保证其试验所需的硬件系统,如测试系统、实验室环境系统等进行了简要描述,同时简要介绍了混合动力试验系统。第3章以车用内燃机为主要试验对象,介绍了其主要性能参数的测量方法及主要传感器的测量原理。第4章介绍了国家标准规定的常用内燃机基本性能试验方法,其中对内燃机功率试验、负荷特性试验和万有特性试验的意义及方法进行了比较详细的论述。第5章讨论了可靠性试验的意义,并对我国汽车内燃机可靠性试验标准进行了描述。第6章介绍内燃机排放法规鉴定试验。第7章和第8章讨论了现代车用内燃机开发试验中所涉及的一些专项试验方法。第7章就电控内燃机匹配标定试验的意义、基本概念和方法进行了简要介绍,通过实例介绍了匹配标定的过程。第8章讨论了在内燃机实验台架上如何进行内燃机动态试验的方法,如模型的建立等。第9章介绍了燃料电池系统开发过程中的试验方法。第10章介绍了动力电池基本试验方法。第11章介绍了混合动力试验方法。最后为附录,附录A对10个内燃机教学试验大纲和具体过程、方法等进行了较详细介绍,便于读者进一步理解内燃机试验教学的情况。附录B以MATLAB软件为例简要介绍了示功图绘制方法。附录C是某试验报告范例,仅供参考。

## 1.4 汽车能源动力试验的组织与实施

关于试验前的组织与实施,本节主要以内燃机为试验对象进行描述,对于其他能源动力试验的组织与实施,其思路是相通的。

### 1.4.1 试验前的准备

#### 1. 制定试验大纲

试验大纲是指导试验的重要技术文件,它关系到试验的好坏与成败。根据试验目的的不同,试验大纲的编制侧重点也会有所不同。