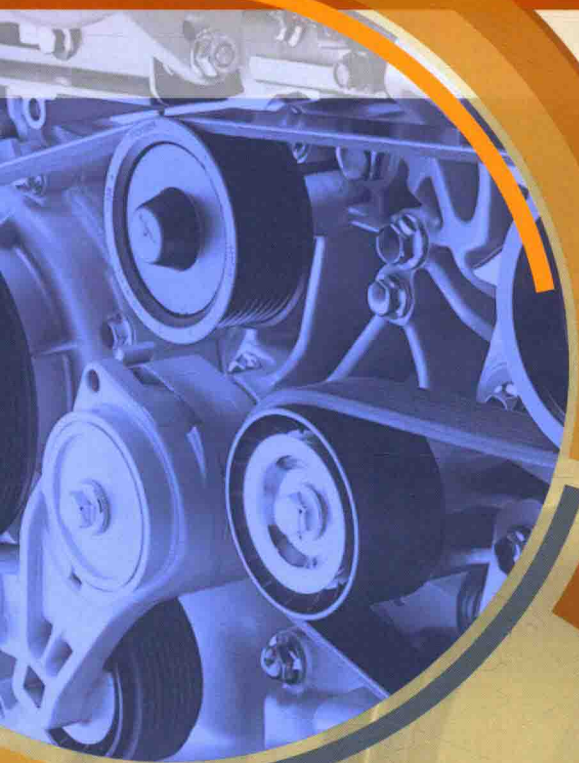




机械类 国家级实验教学示范中心系列规划教材

汽车发动机性能试验教程

刘建华 宁 智 主编



科学出版社

机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

汽车发动机性能试验教程

刘建华 宁 智 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是对现代汽车发动机性能台架试验的技术和方法进行全面系统论述的专业教材。全书分 8 章：主要论述了进行汽车发动机试验必备的试验台架系统、测试技术及法规、试验标准和试验内容及方法等基础知识；系统地介绍了国家标准规定的汽车发动机主要性能参数测试、发动机排放法规与检测方法、发动机性能台架试验、发动机台架可靠性试验、电控发动机的匹配与标定试验等技术；最后列出了作者所在单位的多份汽车发动机性能教学实验指导供读者参考。

本书可作为车辆工程专业、动力工程专业、热能工程专业、动力机械及工程专业本科必修课“内燃机学”“内燃机原理”“内燃机工作过程分析”“内燃机燃烧与排放控制”“内燃机测试技术”的教学实验教材或参考书，也可作为从事汽车发动机性能试验研究的工程技术人员与研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机性能试验教程/刘建华, 宁智主编. —北京: 科学出版社, 2016.1
机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

ISBN 978-7-03-047041-6

I. ①汽… II. ①刘… ②宁… III. ①汽车-发动机-性能试验-教材
IV. ①U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 010953 号

责任编辑: 毛 莹 张丽花 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 12 1/2

字数: 296000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

汽车产业是国民经济支柱产业，也是一个资金、技术高度集约的行业。随着汽车产业的快速发展及汽车新技术的广泛应用，社会对相关专业人才培养的质量和类型提出了新要求，迫切要求高等学校改革和创新人才培养模式，着重培养学生的工程素质和实践能力，以适应社会对高素质工程应用型人才的需求。

实践与理论并行是提高高校理工科专业学生工程素质的重要途径之一。实践教学是应用型高级人才培养的关键环节，按照培养具有工程意识、动手实践能力和创新能力应用型人才的目标与理论教学紧密结合。学生可通过汽车发动机性能试验和各类实习等加深对专业基础课和专业课的理解。

为了满足车辆工程和能源与动力工程专业实践教学的目标，编者根据教学培养计划编写了本书。本书的编写指导思想和追求目标是将内容的基础性、科学性和实用性进行有机结合，力求让学生全面系统地掌握汽车发动机试验的技术与方法，以及加强理工科学生动手实践能力的培养。本书内容精简，突出重点，通俗易懂。

为满足实践教学课程设置的需要，本书主要内容如下：

- (1) 汽车发动机台架试验系统及装置；
- (2) 汽车发动机主要性能参数的测试方法与技术以及整机试验的标准和规范；
- (3) 汽车发动机稳态性能试验、发动机排放污染物的试验、可靠性试验的方法与步骤；
- (4) 电控发动机匹配与标定试验的方法与步骤；
- (5) 汽车发动机性能教学实验指导书。

本书由北京交通大学刘建华、宁智担任主编。第2章、第3章、第5章、第7章、第8章由刘建华编写，总论、第1章、第4章、第6章由宁智编写。

由于水平有限和时间仓促，书中不当之处在所难免，恳请使用本书的师生和读者批评指正，并将意见及时反馈给我们，以便修订时改进。

编 者

2015年10月

目 录

前言	
总论	1
0.1 汽车发动机试验教学的目的与意义	1
0.2 本书内容简介	2
第1章 汽车发动机的基本知识	3
1.1 发动机的性能指标	3
1.2 发动机的特性	6
1.3 发动机的功率标定和大气修正	15
思考题	18
第2章 汽车发动机台架试验的基本知识	19
2.1 汽车发动机试验的分类	19
2.2 汽车发动机试验的组织与实施	20
2.3 汽车发动机试验的有关标准	25
2.4 发动机台架试验系统	25
2.5 实验室环境系统	36
思考题	37
第3章 发动机主要性能参数的测量	38
3.1 发动机转速、扭矩、功率的测量与计算	38
3.2 活塞压缩上止点位置的测定	41
3.3 发动机的压力测量与示功图测录	44
3.4 发动机热力状态参数的测定	49
3.5 发动机进气流量及燃油消耗率的测定	54
3.6 空燃比的测量	62
3.7 发动机性能参数的测量精度及标准	64
思考题	65
第4章 汽车发动机排放法规与检测方法	66
4.1 概述	66
4.2 汽车排放法规	68
4.3 气体排放物的检测分析	81
4.4 烟度和微粒的测量	85
思考题	92

第5章 发动机性能台架试验	93
5.1 概述	93
5.2 发动机功率试验	94
5.3 发动机负荷特性试验	97
5.4 万有特性实验	99
5.5 机械损失功率试验	105
5.6 发动机起动性能试验	107
5.7 发动机怠速性能试验	108
5.8 发动机各缸工作均匀性试验	109
5.9 机油消耗量试验	110
5.10 活塞漏气量试验	111
思考题	111
第6章 发动机台架可靠性试验	112
6.1 可靠性试验的内容	112
6.2 可靠性试验方法	115
6.3 可靠性试验评价与结果分析	116
思考题	117
第7章 电控发动机的匹配与标定试验	118
7.1 概述	118
7.2 匹配、标定的基本概念	118
7.3 匹配、标定的基本内容和方法	119
7.4 电控汽油机标定试验方法	124
7.5 电控柴油机标定方法	129
思考题	134
第8章 汽车发动机性能教学实验	135
8.1 发动机速度特性实验	135
8.2 发动机负荷特性实验	139
8.3 发动机万有特性实验	143
8.4 发动机机械损失功率测量实验	146
8.5 发动机排气污染物随特性变化的测量实验	148
8.6 汽油机 9 工况排气污染物测量实验	151
8.7 柴油机 13 工况气态排放测量实验	155
8.8 柴油机烟度测量实验	159
8.9 内燃机缸内燃烧过程测量实验	163
8.10 点火提前角对发动机性能影响测量实验	166
8.11 柴油发动机调速特性实验	169
8.12 内燃机示功图制取实验	174

附录 A 国家标准中发动机污染物排放量的数据处理方法	179
A1 ESC 试验循环发动机气态污染物排放量的计算处理	179
A2 9 工况测试循环中发动机气态污染物排放量数据处理方法	182
附录 B 发动机试验技术条件及规范	191
参考文献	194

总 论

0.1 汽车发动机试验教学的目的与意义

《汽车发动机性能试验教程》是能源与动力工程专业汽车发动机专业方向的“内燃机学”“汽车排放与控制”“发动机综合实践”以及“热能与动力测试技术”等必修课程的配套参考教材。

随着我国汽车工业的发展,排气污染防治、发动机电子控制等新技术的发展以及各种法规、标准、鉴定程序的完善,汽车发动机试验技术和方法不仅是汽车工程领域技术人员的必备知识,而且是了解和掌握汽车先进技术并实现技术创新的必要手段。汽车发动机试验技术、试验方法等方面的教学工作被赋予了重要的意义。

汽车发动机性能试验教学的目的与意义可以归纳为以下三点。

(1)汽车发动机试验教学是汽车及发动机等相关专业人才培养的重要实践教学环节。

汽车发动机原理是内燃机发明以来广大科技人员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。仅凭课堂和书本知识很难使学生获得对汽车发动机原理的真正理解。通过汽车发动机性能试验教学,可以进一步加深学生对课堂所学的汽车发动机原理、测试技术、计算机技术等知识的理解;通过汽车发动机试验教学环节的培养,可以提高学生综合分析和解决实践中遇到的各种问题的能力,增强学生工程意识、创新意识、专业素养以及实践能力,以适应当今社会对人才培养的需求。

(2)汽车发动机试验技术和方法是从事汽车发动机设计与生产、技术开发以及科学研究工作的必备知识。

发动机是汽车的动力源泉,是汽车的心脏。发动机由成百个零部件组成,其使用条件复杂,对性能、寿命、质量和成本等方面的要求高。影响汽车发动机质量和性能的因素很多,所涉及的技术领域广泛。由于问题的复杂性,对汽车发动机而言,无论是新设计的产品、开发的产品、生产中的产品,还是开发的新技术,都需要经过大量的试验来检验:设计和开发思想是否正确、设计和开发意图是否能够实现、产品性能是否符合使用要求等。在汽车发动机生产、技术开发以及科学研究中,试验环节是必不可少的;汽车发动机试验教学可以使学生掌握从事汽车发动机设计与生产、技术开发以及科学研究工作必备的试验技术和方法的专业知识。

(3)试验技术与设备是汽车发动机研发、创新、理论发展的必备手段。

汽车发动机技术的创新和新产品的涌现离不开先进的试验测试技术;新理论、新规律的灵感往往是在实践和试验当中萌发的;汽车节能和排放控制对试验标准、试验技术和设备等提出了新的要求。先进的发动机测试系统为发动机的各种测试提供了完备的工具,也为技术创新和理论研究提供了不可缺少的硬件条件。汽车发动机性能试验教学可以使学生熟练使用先进的发动机测试设备,掌握进行汽车发动机研发、创新过程中必备的试验研究手段。

0.2 本书内容简介

汽车发动机试验的内容极为广泛,除了整机试验之外,还有大量的零部件试验。本书所述的汽车发动机试验主要指的是发动机整机试验,不涉及零部件的性能测试。

1. 本书的主要内容

(1) 以汽车发动机性能试验为主要对象,对国家标准GB/T 18297—2001中规定的重要的和常规的试验项目进行介绍;

(2) 对现代电控发动机匹配标定试验和发动机排放法规鉴定试验相关的知识进行介绍;

(3) 对发动机可靠性和耐久性试验进行介绍;

(4) 对发动机台架试验的测试设备进行介绍;

(5) 对一些重要的发动机试验项目及内容进行介绍。

2. 各章内容简介

第1章主要介绍发动机的性能指标与特性;第2章简要介绍发动机台架试验的硬件系统和基本知识;第3章介绍发动机主要性能参数的测量方法及主要传感器;第4章介绍汽车发动机排放法规与鉴定试验方法;第5章介绍国家标准规定的常用发动机基本性能台架试验方法;第6章介绍发动机可靠性试验意义及汽车发动机可靠性试验标准;第7章介绍电控发动机匹配与标定试验方法;第8章对12个汽车发动机性能教学实验的具体过程、方法等进行介绍;在附录中介绍国家标准中发动机气态污染物排放量的数据处理方法,即ESC试验循环和9工况试验循环中发动机气态污染物排放量数据处理方法。

第 1 章 汽车发动机的基本知识

发动机是汽车的心脏，为汽车的行进提供动力，关系着汽车的动力性、经济性、环保性。简单来说，发动机就是将某一种形式的能量转换为机械能的机器，其功用是将液体或气体的化学能通过燃烧转化为热能，即将汽油(柴油)或天然气的热能，通过在密封气缸内燃烧气体膨胀，推动活塞做功，转变为机械能，这是发动机最基本的原理。发动机的所有结构都是为能量转换服务的，发动机伴随着汽车走过了 100 多年的历史，无论是在设计、制造、工艺还是在性能、控制方面都有很大的提高，但其基本原理仍然没有改变。这是一个富于创造的时代，那些发动机的设计者，不断地将最新科技与发动机融为一体，把发动机变成一个复杂的机电一体化产品，使发动机性能达到近乎完善的程度，各世界著名汽车厂商也将发动机的性能作为竞争亮点，更加注重能源消耗、尾气排放等与环境保护相关的方面，从而使人们在悠闲地享受汽车文化的同时，也能保护环境、节约资源。

发动机的工作性能常用性能指标来衡量。发动机的主要性能是动力性、经济性及排放性，其性能好坏主要与发动机工作过程的进行有关。本章主要阐述发动机的动力性、经济性及运转性能指标。

1.1 发动机的性能指标

发动机的性能指标用来表征发动机的性能特点，并作为评价各类发动机性能优劣的依据。发动机的性能指标主要有动力性能指标(功率、转矩、转速)、经济性能指标(燃料及润滑油消耗率)及运转性能指标(冷起动性能、噪声和排气品质)等。

衡量一台发动机的质量主要是对以上性能指标进行评定，涉及的面很广，而且各种性能指标又是相互制约的。由于用途、生产条件、使用条件等不同，对发动机性能要求的重点也不同。在评定时不仅要考虑性能指标，还要考虑可靠性、耐久性、结构工艺性、使用维修性、生产实际条件以及使用特点等多方面，并有所侧重，把各种性能要求合理地统一起来予以综合评定。

由于性能指标赖以建立的基础不同，又可分为指示指标和有效指标。指示指标是以工质在气缸内对活塞做功为基础而建立的指标，它只能用来评定工作循环质量的好坏。有效指标是以发动机功率输出轴(曲轴)上得到的净功率为基础而建立的指标，它可用来评定整机性能的好坏。

1.1.1 发动机的指示指标

指示指标用来评定发动机实际循环质量的好坏，它以工质在气缸内对活塞做功为基础，用平均指示压力 p_{mi} 及指示功率 P_i 评定循环的动力性，即做功能力。用循环热效率 η_i 及燃油消耗率 b_i 评定循环经济性。

表 1-1 简要说明了发动机指示指标的定义及计算方法。

表 1-1 发动机的指示指标定义及计算方法

指示指标	定 义	计算公式	备 注
指示功 W_i/kJ	在气缸内完成一个循环所得到的有用功	$W_i = F_i ab$	F_i —— p - V 图曲线闭合所占面积 a ——示功图纵坐标比例 b ——示功图横坐标比例
平均指示压力 p_{mi}/MPa	发动机单位气缸工作容积的指示功	$p_{mi} = \frac{W_i}{V_s}$	V_s ——气缸工作容积, L p_{mi} 越大, 表示发动机的工作循环进行的越好, 气缸工作容积利用程度越高。 p_{mi} 值的一般范围: 汽油机: 0.8~1.5 (MPa) 柴油机: 0.7~1.1 (MPa) 增压柴油机 1~2.5 (MPa)
指示功率 P_i/kW	发动机单位时间内所做的指示功	$P_i = \frac{p_{mi} V_s n i}{30 \tau}$	n ——发动机转速, r/min i ——发动机气缸数 τ ——发动机冲程数, 四冲程 $\tau=4$, 二冲程 $\tau=2$
指示热效率 η_i	发动机实际循环指示功与所消耗的燃料热量之比	$\eta_i = \frac{W_i}{Q_1} = \frac{3.6}{b_i h_u} \times 10^6$	W_i ——指示功 Q_1 ——循环加热量 h_u ——燃料低热值, kJ/kg η_i 值的一般范围: 柴油机: 0.43~0.50 汽油机: 0.25~0.40
指示燃油消耗率 $b_i / (\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h}))$	单位指示功的耗油量	$b_i = \frac{B}{P_i}$	B ——每小时耗油量, kg/h b_i 值的大致范围: 柴油机: 170~200, (g/(kW·h)) 汽油机: 230~340, (g/(kW·h)) b_i 、 η_i 是评价发动机实际循环经济性的重要指标

1.1.2 发动机的有效指标

发动机的有效指标以曲轴对外输出的功率为基础, 代表发动机的整机性能。表 1-2 列举了有效指标的定义及计算方法。

表 1-2 有效指标定义及计算方法

有效指标	定 义	计算方法	备 注
有效功率 P_e/kW	发动机通过曲轴对外输出的功率	$P_e = P_i - P_m$ $\left(P_e = \frac{T_{iq} n}{9550} = \frac{p_{me} V_s i n}{30 \tau} \right)$	P_i ——指示功率 P_m ——机械损失功率
机械效率 η_m	有效功率与指示功率之比	$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i}$	机械效率 η_m 的大致范围: 汽油机: 0.7~0.9 柴油机: 0.7~0.85
有效扭矩 $T_{iq}/(\text{N}\cdot\text{m})$	发动机通过曲轴输出的扭矩	$T_{iq} = \frac{9550 P_e}{n}$	n ——发动机转速, r/min
平均有效压力 p_{me}/MPa	单位气缸工作容积输出的有效功	$p_{me} = \frac{30 P_e \tau}{V_s i n}$	τ ——发动机冲程数 V_s ——发动机工作容积 i ——发动机气缸数 p_{me} 的一般范围: 汽油机: 0.7~1.3 (MPa) 柴油机: 0.6~1.0 (MPa) 增压柴油机: 0.9~2.2 (MPa)

续表

有效指标	定 义	计算方法	备 注
有效燃料消耗率 $b_e/(g/(kW \cdot h))$	单位有效功的燃油消耗量	$b_e = \frac{B}{P_e} \times 1000$	B ——每小时耗油量, kg/h b_e 值的大致范围: 汽油机: 270~340(g/(kW·h)) 柴油机: 190~285(g/(kW·h))
有效热效率 η_e	发动机的有效功与所消耗燃料热量之比	$\eta_e = \frac{W_e}{Q_1} = \frac{3.6}{b_e h_u} \times 10^6$	h_u ——燃料低热值 η_e 值的一般范围: 汽油机: 0.25~0.30 柴油机: 0.30~0.45 b_e 、 η_e 表征发动机的经济性

1.1.3 发动机的强化指标

发动机的强化指标用以评价发动机的强化程度。表 1-3 列举了发动机强化指标的定义及计算方法。

表 1-3 发动机的强化指标

强化指标	定 义	计算公式	备 注
升功率 $P_L/(kW/L)$	发动机每升工作容积所发出的有效功率	$P_L = \frac{P_e}{iV_s}$	用以衡量发动机排量利用的程度 P_L 值的大致范围: 汽油机: 22~51.5(kW/L) 柴油机: 11~26(kW/L)
比质量 $M_e/(kg/kW)$	发动机的质量与所给出的标定功率之比	$M_e = \frac{m}{P_e}$	表征质量利用程度和结构紧凑性 M_e 值的范围: 汽油机: 1.5~4(kg/kW) 柴油机: 4~9(kg/kW)
强化系数	平均有效压力与活塞平均速度的乘积	$p_{me} C_m$	表征发动机的强化程度, 是发动机技术进步的一个标志 $p_{me} C_m$ 的大致范围: 汽油机: 8~17(MPa·m/s) 小型高速汽油机: 6~11(MPa·m/s) 重型汽车柴油机: 9~15(MPa·m/s)

1.1.4 发动机的环境指标

环境指标主要指发动机排气品质和噪声水平。它关系到人类的健康及其赖以生存的环境, 因此各国政府都制定出严格的控制法规, 以期削减发动机排气和噪声对环境的污染。当前, 排放指标和噪声水平已成为发动机的重要性能指标。

排放指标主要是指从发动机油箱、曲轴箱排出的气体和从气缸排出的废气中所含的有害排放物的量。对汽油机来说主要是废气中的一氧化碳(CO)和碳氢化合物(HC)含量; 对柴油机来说主要是废气中的氮氧化物(NO_x)和颗粒(PM)含量。

排气颗粒指排气中除水以外的、单个颗粒大于 0.002μm 的任何液态和固态微粒。其中以碳为主要成分的固体颗粒形成炭烟, 是排气微粒最主要的成分, 目前我国只规定炭烟的排放限值。

由于各国条件不同, 限制法规并不一样, 如美国加州标准是世界上最严格的标准, 其中规定小客车排放必须满足如表 1-4 所示的限值要求。

表 1-4 美国加州小客车排放限值 (单位: g/mile (g/km))

CO	HC	NO _x	排气颗粒
7 (4.4)	0.41 (0.26)	0.7 (0.44)	0.6 (0.375)

噪声是指对人的健康造成不良影响及对学习、工作和休息等正常活动发生干扰的声音。汽车是城市中的主要噪声源之一，而发动机又是汽车的主要噪声源，因此控制发动机的噪声就显得十分重要。例如，中国的噪声标准 (GB/T 18697—2002) 中规定，轿车的噪声不得大于 79dB (A)。

1.1.5 发动机的机械损失

发动机的机械损失消耗了一部分指示功率，而使对外输出的有效功率减少。不同类型发动机各部分机械损失所占百分比差别很大，表 1-5 给出了发动机各部分的机械损失的大致情况。由表可见，机械损失所消耗的功率占指示功率的 10%~30%，是不可忽视的份量，所以降低机械损失，特别是摩擦损失，使实际循环得到的功尽可能转变成对外输出的有效功，是提高发动机性能的一个重要方面。

表 1-5 发动机机械损失分配情况

机械损失名称	占 P_m 的百分比/%	占 P_i 的百分比/%
摩擦损失	62~75	8~20
其中活塞及活塞环	45~60	
连杆、曲轴轴承	15~20	
配气机构	2~3	
驱动各种附件损失	10~20	1~5
其中水泵	2~3	
风扇	6~8	
机油泵	1~2	
电器设备	1~2	
带动机械增压器损失	6~10	2~4
泵气损失	10~20	
总功率损失	10~30	

1.2 发动机的特性

发动机特性是发动机综合性能的反映，发动机性能指标随着调整情况和使用工况的变化而变化的关系称为发动机特性。通常用曲线表示，称为特性曲线。

发动机性能指标主要有功率、转矩 (也称扭矩)、燃料消耗率、排气温度、排气烟度等；调整情况主要指柴油机的供油提前角、汽油机的点火提前角、发动机燃料等可调因素对发动机性能的影响；使用工况一般指发动机转速和负荷等。

发动机特性分调节特性和性能特性两大类。

(1) 调节特性指发动机的性能指标随调节情况而变化的关系。如汽油机的燃料调整特性、点火提前角调整特性、柴油机喷油提前角调整特性等。

(2) 性能特性指内燃机的性能指标随运行工况而变化的关系。如负荷特性、速度特性、调速特性、万有特性、螺旋桨特性等。速度特性又包括外特性和部分速度特性。对于车用发动

机, 低速转矩特性尤其重要。柴油机因装置形式不同的调速器而有不同的调速特性。

通过对发动机的速度特性、负荷特性和调整特性曲线进行分析, 评价发动机在不同工况下的动力性、经济性及其运转性能, 可以合理地选用发动机, 并能更有效地利用它。通过特性曲线可以分析在不同使用工况下, 发动机特性变化的规律及影响因素, 评价发动机性能, 从而提出改善发动机性能的途径, 使发动机的性能进一步提高。

1.2.1 发动机的工况

发动机的运行情况简称工况。工况以功率 P_e 和转速 n 来表示, 它们必须与被发动机所拖动的工作机械要求的功率和转速相适应。只有当发动机输出的转矩和工作机械所消耗的转矩相等时, 才能以一定转速按一定功率稳定运转。当工作机械的阻力矩、转速变化时, 发动机的工况就会发生变化。

发动机在运行中, 经常处于变负荷、变转速下工作, 其变化的规律取决于发动机的用途。发动机在正常工作时, 将在一定的转速范围, 即在最低稳定转速 $n_{\min}$ 与最高稳定转速 $n_{\max}$ 之间运转, 在某一转速下, 有效功率或转矩可以由零变到可能发出的最大值。因此, 发动机的工况范围是 4 条边界线包围的阴影部分, 如图 1-1 所示。根据发动机的用途, 其工况可分为以下 3 类。

(1) 恒速工况 $n=\text{常数}$, 发动机的曲轴转速基本保持不变, 发出的功率 P_e 随负荷能在较大的范围内而变化, 称为恒速工况。例如, 发动机带动发电机、空压机和水泵等机械工作时, 它们的负荷可以由零变化到最大许用值, 因此发动机发出的功率也随负荷由零变化到最大许用值; 采用调速器保持发动机转速恒定, 使其转速波动限制在允许范围内。这类工况如图 1-1 中铅垂线 1 所示, 也称线工况。其特例是点工况, 即转速和功率保持恒定。

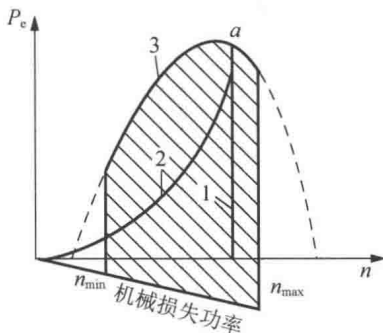


图 1-1 发动机各工况

(2) 螺旋桨工况发动机在运行中, 它所发出的功率和转速之间成一定的函数关系。例如, 作为船舶主机的柴油机按推进特性工作, 柴油机功率与转速的立方成正比 $P_e=kn^3$, k 为比例常数。发动机发出的功率和转速的关系应当和螺旋桨的一致, 故称为螺旋桨工况, 如图 1-1 中曲线 2 所示。从图中还可看出, 这条曲线受到发动机最大功率的限制。如点 a 所示, 还受到最低稳定转速 $n_{\min}$ 的限制。

(3) 面工况发动机的功率和转速都独立地在很大范围内变化, 它们之间没有特定的关系, 车用发动机即属此类工况。汽车在运输作业时, 发动机的功率 P_e 和转速 n 都在很大的范围内变化。转矩取决于行驶阻力, 即装载质量、车速和路面情况。转速取决于车速, 它可以从最低稳定转速到最高转速。上述运行工况如图 1-1 所示曲线 3 下面的阴影面积, 称为面工况。阴影面的上限曲线 3 是发动机在各种转速下所能发出的最大功率, 左边对应于最低稳定转速 $n_{\min}$, 右边对应于最高转速 $n_{\max}$ 。

1.2.2 发动机的负荷特性

在发动机转速不变时, 经济性指标随负荷变化而变化的关系称为负荷特性。汽车以等速在阻力变化的道路上行驶即为这种情况。此时的节气门位置必须经常改变来调整有效转矩, 以适应外界阻力矩的变化, 保持发动机的转速不变。

发动机特性的曲线, 一般以发动机的负荷为横坐标, 如功率 P_e 、平均有效压力 p_{me} 、有效

转矩 T_{iq} 等, 纵坐标表示性能参数, 如每小时耗油量 B 、燃油消耗率 b_e 、排气温度 t_r 、噪声、烟度 S_b 、机械效率 η_m 等。分析发动机的负荷特性, 可了解发动机在各种负荷情况下工作时的经济性以及最低燃油消耗率时的负荷状态。

1. 汽油机的负荷特性

1) 定义

汽油机的转速保持不变, 而逐渐改变节气门开度, 同时调节测功机负荷, 如改变水力测功机水量, 以保持转速不变, 每小时耗油量 B 和燃油消耗率 b_e 随功率 P_e (或有效转矩 T_{iq} 、平均有效压力 p_{me}) 变化而变化的关系称为汽油机负荷特性。汽油机的负荷调节是靠改变节气门开度, 从而改变进入气缸的混合气数量来实现的, 此种负荷调节方式称为量调节。

2) 测取方法

测取前, 应将汽油机的点火提前角、过量空气系数按理想值调整。冷却水温度、润滑油温度保持在最佳值。调节测功机负荷, 并改变节气门开度, 使汽油机的转速稳定在某一常数。测量各稳定工况下的燃油消耗率 b_e 、每小时耗油量 B 以及烟度、噪声、排气温度等参数值。

图 1-2 是以功率 P_e 为横坐标, 燃油消耗率 b_e 、每小时耗油量 B 及排气温度 t_r 为纵坐标的某型车用汽油机的负荷特性图。对应不同的转速, 有不同的负荷特性曲线, 但各种转速下的负荷特性曲线相似。

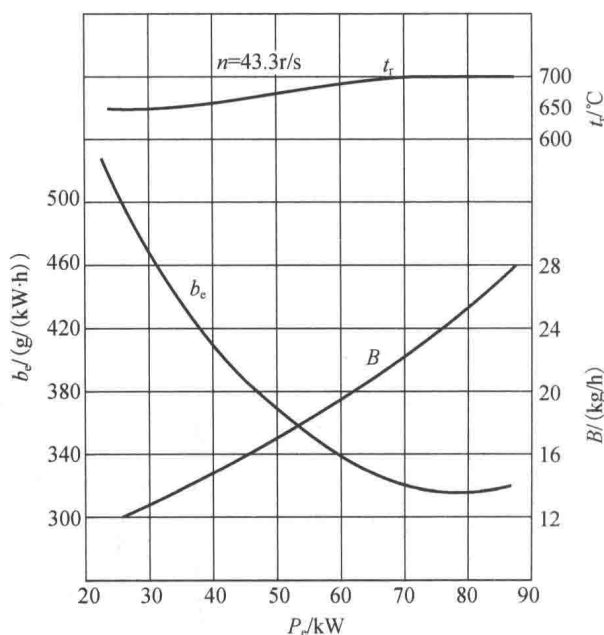


图 1-2 某型车用汽油机的负荷特性

2. 柴油机负荷特性

1) 定义

当柴油机保持某一转速不变, 而移动喷油泵齿条或拉杆位置, 改变循环供油量 Δb 时, 每小时油耗量 B 、燃油消耗率 b_e 随 P_e (或 p_{me} 、 T_{iq}) 变化而变化的关系称为柴油机负荷特性。

当柴油机转速一定时, 充入气缸的空气量基本不变, 调节负荷只是改变循环供油量, 也就是改变了混合气浓度, 此种负荷调节方式称为质调节。

图 1-3 所示为柴油机的负荷特性, 其变化趋势与汽油机类似。

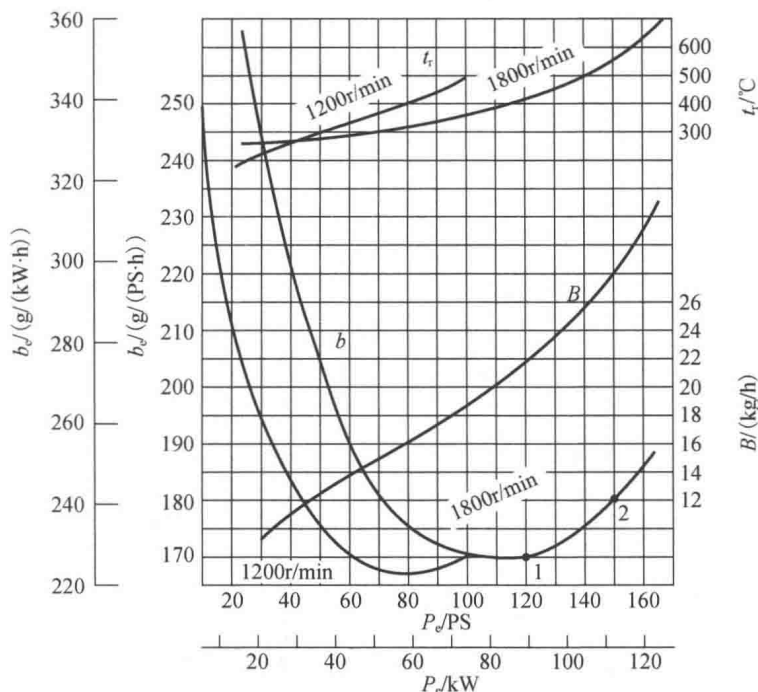


图 1-3 6135 柴油机负荷特性

2) 测取方法

与汽油机的测取方法基本相同，在喷油提前角、冷却水温度保持最佳值的情况下，柴油机保持某一转速不变，只是通过改变喷油泵齿条或拉杆位置，用改变循环供油量的方法来调节负荷。

与柴油机的负荷特性相比，汽油机的负荷特性有如下特点：

- (1) b_e 值普遍较高。
- (2) 排气温度高且受负荷的影响不大。
- (3) B 曲线弯曲度较大。而柴油机在中小负荷时 B 曲线直线性较好。

涡轮增压柴油机负荷特性的特点是在低于 40%~50% 标定负荷时， b_e 的变化规律与无增压者大致相同，当负荷超过 40%~50% 以后与无增压者相比，随负荷增加时，燃油消耗率和烟度在大负荷时变化缓慢。

3. 负荷特性的实用性

(1) 确定发动机的标定工况。负荷特性的燃油消耗率 b_e 曲线最低点称为最低耗油率点，此点经济性好，但动力性较差。负荷 p_{me} 增加到排气烟度急剧增加时，此点称为炭烟极限点，发动机不能在此工况下工作。所以内燃机的标定功率应定在最低耗油率点和炭烟极限点之间由坐标原点向 b_e 曲线作切线的切点时的功率。

- (2) 负荷特性易于测定，因此常用于发动机调试，改变设计时用来检验改进效果。
- (3) 作为内燃机—发电机组工作特性。
- (4) 根据不同转速的负荷特性可制取万有特性。

1.2.3 发动机的速度特性

发动机节气门或供油拉杆位置不变时,其性能指标随转速变化的关系,称为发动机速度特性。速度特性包括全负荷速度特性(即外特性)和部分负荷速度特性。为便于分析发动机的速度特性,通常由发动机台架试验测取一系列数据,并以发动机转速 n 作为横坐标,发动机的有效功率 P_e 、有效转矩 T_{iq} 、有效燃油消耗率 b_e 或每小时耗油量 B 等作为纵坐标,绘制成速度特性曲线。通过分析发动机的速度特性,可以找出发动机在不同的转速情况下工作时,其动力性和经济性的变化规律,以及对应于最大功率、最大转矩和最小燃油消耗率时的转速,从而确定发动机工作时最有利的转速范围。

1. 汽油机的速度特性

1) 定义

当汽油机的节气门开度一定时,其有效功率 P_e 、有效转矩 T_{iq} 、有效燃油消耗率(简称耗油率) b_e 等性能指标随转速 n 变化而变化的关系称为汽油机的速度特性。

2) 测取方法

将汽油机的燃油供给系统和点火系统调整为最佳,保持冷却水温度和机油温度在最佳状态。节气门开度保持不变,改变测功机的负荷,在不同转速下测出各稳定工况的有效功率 P_e 、有效转矩 T_{iq} 、耗油率 b_e 、每小时耗油量 B 的数值,并绘出 P_e 、 T_{iq} 、 b_e 、 B 等指标随转速的变化曲线。

3) 速度特性的分类

速度特性包括外特性和部分速度特性。外特性是指节气门全开时所测得的速度特性,部分速度特性是指节气门部分开启时所测得的速度特性。外特性代表了发动机所能达到的最高动力性和经济性,是发动机的重要特性。一般汽油机铭牌上标明 P_e 、 T_{iq} 及相应的 n 都是以外特性为依据。由于节气门开度的变化可以是无限的,所以部分速度特性曲线为一个位于外特性曲线之下的曲线簇,如图 1-4(a) 所示。

外特性代表了汽油机的最高动力性能。外特性因试验条件不同,可分为:

(1) 使用外特性,试验时发动机带全部附件,所输出的校正有效功率称为净功率。

(2) 发动机仅带维持运转所必需的附件(如不带风扇、气泵、空气滤清器等附件)所输出的校正有效功率称为总功率。我国发动机特性数据多属于这一种。

4) 汽油机工作转速范围

为了保证较高的动力性,汽油机的工作转速范围应在最大功率转速 n_p 与最大扭矩转速 n_{min} 之间。当工作转速 $n > n_p$ 时,汽油机的动力性、经济性和可靠性均大大下降,因而不能使用;当工作转速 $n < n_{min}$ 时,由于汽油机工作不稳定,也不可能使用。

为保证较高的经济性,汽油机工作的最有利转速范围应介于最大功率转速 n_p 和最低燃油消耗率转速 n_b 之间,此转速范围可以作为选择汽油机常用转速范围的参考依据。

2. 柴油机的速度特性

1) 定义

喷油泵的油量调节机构(油门拉杆)位置固定,柴油机的性能指标 P_e 、 T_{iq} 、 b_e 、 B 等随转速 n 变化而变化的关系,称为柴油机的速度特性,如图 1-4(b) 所示。

2) 测取方法

类似于汽油机的试验方法,试验前供油提前角、冷却水温度、润滑油温度等均调整为最佳状态。