

# 汽车发动机设计

(第二册)

陆际清 沈祖京 孔宪清  
孟嗣宗 程荫芊



清华大学出版社

# 汽车发动机设计

第二册

陆际清 沈祖京 孔宪清  
孟嗣宗 程荫芊

清华大学出版社

## 内 容 提 要

本书是清华大学汽车工程系汽车发动机设计课程系列教材的第二册。第一册已介绍了有关往复式内燃机动力学和零件强度分析的基础知识,本册介绍汽车发动机总体及其主要零部件的设计,包括汽车发动机的技术指标、结构选型及设计过程,零件常用材料及表面优化工艺的选用,发动机及其主要受热机件的热负荷分析与设计处理原则,曲柄连杆机构及机体的各主要零件的结构设计与分析,气门机构的运动学、动力学及其主要零件的结构设计等。本书取材较新,突出关键问题,便于自学。

本书可作为高等学校汽车、内燃机等专业学生的教材,也可作为各有关行业工程技术人员的参考用书。

(京)新登字 158 号

### 汽车发动机设计

#### 第二册

陆际清 沈祖京 孔宪清

孟嗣宗 程荫芊

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

华云电子数据中心照排

顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 22 字数: 519 千字

1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月第 1 次印刷

印数: 0001—3000

ISBN 7-302-01285-7/TH·48

定价: 10.00 元

## 前 言

本书是清华大学汽车工程系汽车发动机设计课程系列教材的第二册，介绍汽车发动机总体及其主要零部件（机体、曲柄连杆机构和配气机构各零部件）的设计。

本册特意安排了“发动机的热负荷”一章，并将基础知识与受热零部件的设计分析紧密结合起来。这对于没有单独设置内燃机传热与热负荷课程的专业是必要的。此外，有关材料的一些共同问题也单设一章集中介绍。

本册中每一章的内容力求精练，只介绍对于设计人员所必须了解的基本概念、设计原则和处理方法；同时注意科学地归纳和分析，突出关键的问题和分析思路，避免繁琐地罗列，并注意反映当前的科技水平。为此，在本书的体系和具体内容上都作了一些改革。

本册仍由陆际清主编。第七章和第十五章是陆际清写的，第九章和第十四章是沈祖京写的，第十章和十三章是孔宪清写的，第十一章和十二章是孟嗣宗写的，第八章是程荫芊写的。作者热忱地欢迎读者惠予指正。

由于种种原因，本册成书距离第一册已两年多了。作者深感抱歉，并将努力尽快地完成第三册——发动机附属系统及附件——的编写。

作者

1992年5月

# 目 录

## 第三篇 发动机总体及主要零部件的设计

<b>7 汽车发动机设计总论</b> .....	(3)
7.1 汽车发动机的设计要求和技术指标 .....	(3)
7.1.1 对汽车发动机的要求 .....	(3)
7.1.2 发动机的技术参数与评价指标 .....	(8)
7.2 汽车发动机的主要结构型式与主要结构参数 .....	(14)
7.2.1 发动机的结构型式 .....	(14)
7.2.2 发动机的主要结构参数 .....	(20)
7.3 设计和研制发动机的一般过程和方法 .....	(23)
7.3.1 研制发动机的一般过程 .....	(24)
7.3.2 设计的优化和优化方法 .....	(28)
7.3.3 计算机辅助设计 (CAD) .....	(32)
<b>8 发动机材料</b> .....	(34)
8.1 选材的基本原则 .....	(34)
8.1.1 材料的使用性能与选材 .....	(34)
8.1.2 材料的工艺性能与选材 .....	(36)
8.1.3 经济性与选材 .....	(39)
8.2 磨损失效与选材 .....	(39)
8.2.1 磨损失效的主要形式 .....	(40)
8.2.2 影响发动机零件磨损的因素 .....	(41)
8.2.3 抑制磨损的选材原则 .....	(43)
8.2.4 表面处理技术 .....	(43)
8.3 发动机常用材料 .....	(45)
8.3.1 钢 .....	(49)
8.3.2 铸铁 .....	(53)
8.3.3 铝合金 .....	(58)
8.3.4 其它材料 .....	(60)
<b>9 发动机的热负荷</b> .....	(67)
9.1 概述 .....	(67)
9.1.1 机件的受热与可靠性耐久性 .....	(67)
9.1.2 发动机的热负荷 .....	(68)
9.2 高温燃气与壁面间的换热过程 .....	(69)

9.2.1	燃气与壁面间的对流换热 .....	(69)
9.2.2	燃气与壁面间的辐射换热 .....	(72)
9.2.3	燃气与壁面间的瞬时综合换热系数 .....	(73)
9.2.4	燃气与壁面间的等效稳态换热过程与平均等效燃气温度 .....	(75)
9.2.5	影响燃气与壁面间换热的主要因素 .....	(77)
9.3	壁面与冷却介质间的换热过程 .....	(78)
9.3.1	壁面与冷却水间的对流换热 .....	(78)
9.3.2	肋化表面与空气间的对流换热 .....	(79)
9.4	机件的传热过程与热负荷 .....	(84)
9.4.1	典型气缸壁的稳态传热过程和稳态热负荷 .....	(84)
9.4.2	复杂结构机件的稳态传热过程 .....	(86)
9.4.3	过渡过程中机件的传热与低频热负荷 .....	(87)
9.4.4	机件受热表面的循环温度波动与高频热负荷 .....	(90)
9.5	发动机受热机件的温度状况 .....	(93)
9.5.1	发动机的整体传热过程与温度状况 .....	(93)
9.5.2	活塞组件的温度状况 .....	(94)
9.5.3	气门的温度状况 .....	(99)
9.5.4	气缸与缸盖的温度状况 .....	(101)
9.6	热负荷与传热热流量 .....	(106)
9.6.1	热负荷与热流量的关系 .....	(106)
9.6.2	受热机件表面的局部热流量 .....	(107)
9.6.3	发动机的整体散热量 .....	(109)
9.6.4	绝热、低散热概念与热负荷 .....	(110)
9.7	发动机设计中热负荷问题的处理 .....	(113)
9.7.1	发动机机件热负荷的分析方法 .....	(114)
9.7.2	主要受热件的结构设计和结构处理 .....	(117)
9.7.3	发动机及其主要机件热负荷承受能力的考验 .....	(120)
<b>10</b>	<b>活塞组件</b> .....	<b>(122)</b>
10.1	概述 .....	(122)
10.2	活塞的结构型式与材料 .....	(124)
10.2.1	结构型式及主要尺寸比例 .....	(124)
10.2.2	活塞铝合金材料 .....	(127)
10.3	活塞的传热结构与导向结构 .....	(132)
10.3.1	活塞的传热结构 .....	(132)
10.3.2	活塞的导向结构 .....	(135)
10.3.3	活塞热负荷和热应力的有限元分析 .....	(141)
10.4	活塞的传力结构与活塞销 .....	(144)
10.4.1	活塞销的刚度及尺寸 .....	(144)

10.4.2	活塞的传力结构 .....	(149)
10.4.3	活塞销的结构与材料 .....	(150)
10.5	活塞的密封结构与活塞环 .....	(152)
10.5.1	气环及活塞头部环槽、环岸的设计 .....	(152)
10.5.2	油环及活塞上的泄油通道 .....	(162)
10.5.3	活塞环和气缸的磨损及材料 .....	(164)
<b>11</b>	<b>连杆组件</b> .....	(172)
11.1	概述 .....	(172)
11.2	连杆的结构设计 .....	(174)
11.2.1	连杆的结构型式和基本尺寸 .....	(174)
11.2.2	连杆螺栓的设计与计算 .....	(176)
11.2.3	连杆体和连杆盖 .....	(179)
11.3	连杆的应力和变形的计算 .....	(182)
11.3.1	连杆的简化解析计算法 .....	(182)
11.3.2	连杆的有限元分析 .....	(189)
<b>12</b>	<b>曲轴</b> .....	(193)
12.1	概述 .....	(193)
12.2	曲轴的结构设计 .....	(194)
12.2.1	结构型式与材料 .....	(194)
12.2.2	主要尺寸比例 .....	(196)
12.2.3	若干结构设计细节 .....	(199)
12.3	曲轴的应力和变形的计算 .....	(203)
12.3.1	曲轴疲劳强度的近似计算 .....	(203)
12.3.2*	连续梁法计算名义应力 .....	(213)
12.3.3	曲轴的有限元分析 .....	(218)
<b>13</b>	<b>轴承</b> .....	(223)
13.1	概述 .....	(223)
13.2	轴承材料 .....	(224)
13.2.1	对发动机用轴承材料的主要要求 .....	(224)
13.2.2	轴承减摩合金材料 .....	(225)
13.3	轴承的结构设计 .....	(229)
13.3.1	若干结构细节 .....	(229)
13.3.2	轴瓦主要尺寸及过盈度的确定 .....	(232)
13.4	轴承润滑与摩擦的计算 .....	(238)
13.4.1	承载油膜的形成 .....	(238)
13.4.2	轴心轨迹计算方法简介 .....	(241)
13.4.3	摩擦及温升计算 .....	(243)
<b>14</b>	<b>发动机机体</b> .....	(246)

14.1	机体结构的强度与刚度问题	(246)
14.1.1	机体的受力情况与强度、刚度要求	(246)
14.1.2	机体的主要结构型式与尺寸	(247)
14.1.3	机体的结构强度与刚度设计	(251)
14.2	机体中的密封问题	(257)
14.2.1	缸垫的压紧与缸垫的密封结构	(257)
14.2.2	曲轴箱曲轴伸出端的密封	(259)
14.3	缸体和缸盖的冷却结构	(261)
14.3.1	水冷缸体、缸盖的冷却结构	(261)
14.3.2	风冷缸体、缸盖的冷却结构	(264)
14.4	机体的结构与噪声	(268)
14.4.1	发动机噪声的来源及其性质	(268)
14.4.2	机体结构对噪声的影响以及低噪声机体结构	(272)
15	气门机构	(277)
15.1	有关气门机构总布置的一些问题	(277)
15.1.1	气门机构的主要设计要求	(277)
15.1.2	气门的布置及气门机构的类型	(278)
15.1.3	凸轮轴的传动机构	(281)
15.1.4	气门通过能力与配气相位	(283)
15.2	气门机构的运动学与动力学	(286)
15.2.1	下置凸轮轴式气门机构的运动学	(286)
15.2.2	顶置凸轮轴式气门机构的运动学	(297)
15.2.3	作用于气门机构中的力	(303)
15.2.4	气门机构动力学	(305)
15.3	凸轮型线和气门弹簧的设计	(315)
15.3.1	概述	(315)
15.3.2	若干典型的凸轮型线	(317)
15.3.3	气门弹簧	(327)
15.3.4	凸轮-从动件接触应力及油膜厚度的计算	(330)
15.4	气门机构主要零部件的结构与材料	(332)
15.4.1	气门、气门座与导管	(332)
15.4.2	凸轮轴、挺柱、摇臂	(336)
	参考文献	(343)



# 第三篇 发动机总体及 主要零部件的设计

---

往复式活塞式内燃机已有一百多年的历史，就其基本构造来说变化并不很大，但其性能及设计水平则一直在不断地提高。这主要表现为发动机的燃料经济性、升功率、紧凑性(折合到每 kW 输出功率的发动机重量和体积)、制造成本、可靠性和使用寿命等主要技术指标不断得到改善。近年来为适应环境保护法规的要求，在减少其有害排放物、减少振动与噪声等方面也在不断地进步。

内燃机设计是一项很困难的要求很高的工作。一方面因为它是一个复杂的系统，各个子系统(曲柄连杆机构、机体、配气机构、供油系、进排气管系与增压器、润滑系、冷却系……)相互制约，而且许多零件的机械负荷和热负荷很严重。另一方面是因为新设计机型的技术水平必须高于旧机型才有研制价值。一般说来，新设计大多是在原有设计基础上的改进，而每一项改进都是与科学技术的进步相联系的。例如，制造工艺、材料、自动控制技术等方面的新进展可对改进发动机及其附件的设计提供可能；测试技术、计算机技术、结构分析技术等方面的新进展使设计人员有可能深入地掌握和预测发动机的工作过程，分析和预测零部件的振动及应力应变状况，从而使设计更为合理。显然，一个好的设计人员应该具备多方面的知识和技能，密切注意科学技术的发展，了解具体的生产和使用条件，不断积累处理实际设计问题的经验。

近年来在发动机总体及各零部件的设计工作中已经广泛地应用电子计算机进行发动机工作过程模拟计算和性能预测，静、动态结构分析和优化设计。这对于提高设计质量和缩短研制周期是非常必要的。但是，绝不能把设计过程等同于计算机上的计算分析过程。实际上只有在正确理解实际问题的本质及相关诸因素的基础上才可能建立正确的分析模型，才可能正确地理解和运用计算分析的结果。此外，许多设计问题涉及新技术、新工艺和新材料，还有不少在研制中暴露出来的实际问题是预计不到和没有现成答案的。因此从根本上来说，设计工作是一种需要设计人员运用其知识、经验和才智去研究和处理的创造性的工作，计算分析只是其中的一个环节。鉴于极少有学生会利用现有大型结构分析程序、自编专用程序和具体上机操作等方面发生困难，本篇一般不介绍具体计算程序，而是把重点放在说明问题的本质、相关因素及分析条件方面，目的是从基本概念上为正确建模和正确理解、运用计算分析结果去处理问题打基础。

按照本专业的教学计划，与发动机性能密切相关的一些设计问题(如燃烧室、进气道、增压系等的设计)放在发动机原理课程中讨论。发动机设计课程主要是讨论机件受力状况、热状况和应力应变状况的分析，整机和零部件的设计要求及相互联系，机件可能发

生的失效形式(包括功能性失效、强度性失效和磨损失效),以及改善机件功能、节省原材料和提高使用寿命的关键所在与可能措施。本篇将以一章介绍发动机总体设计问题,以六章分别介绍曲柄连杆机构、机体和配气机构各主要零部件的设计问题。此外,有关材料选择的一些共同问题单列为一章,有关发动机各受热零件热负荷分析的一些问题也集中在一章中予以介绍。

## 7 汽车发动机设计总论

### 7.1 汽车发动机的设计要求和技術指标

#### 7.1.1 对汽车发动机的要求

从汽车使用方面对发动机设计提出的要求不外乎以下几条：有足够的功率，能在较宽的转速与负荷范围内稳定运转，燃料和机油消耗少，体积小，重量轻，工作可靠，寿命长，对环境的污染少，振动及噪声小，能适应多种使用条件，制造成本低，维修方便。表 7-1 中列出了不同用途的汽车对发动机要求的主次考虑。下面分七个方面对这些要求作一些具体的说明。

表 7-1 不同用途车辆对发动机要求的重点

用途	最重要	较重要	次重要
城市公共汽车 长途客车、货车	省燃料 可靠性高 维修简便 有害排放少 振动、噪声小	重量轻 体积小 寿命长 有害排放少 振动、噪声小	制造成本
轿车	变工况范围宽 有害排放少 振动、噪声小 可靠性高 维修简便 制造成本低	省油 重量轻 体积小	寿命长
摩托车	重量轻 体积小 制造成本低	噪声及有害排放少 可靠性高 维修简便	省油 寿命长 振动小

##### 7.1.1.1 对发动机动力性的要求

汽车发动机应有足够的功率和良好的扭矩特性以保证汽车的动力性(车速和牵引力)、加速性和克服突然增大的行驶阻力的能力。

汽车的总重  $G$  越大(总重是汽车自重与载重之和),要求发动机的功率  $N_e$  也越大,但汽车的“比功率”(即折合到每单位汽车总重的功率,也叫做吨功率)  $\frac{N_e}{G}$  的变化范围并不大。由图 7-1 可见欧洲车辆与日本车辆的比功率范围基本一致,而且比功率随着汽车总

重的减小而增大。对于总重 20t 以上的重型货车和自卸汽车来说，比功率约为 4—7kW/t；总重 5—19t 的汽车的比功率约为 7—13kW/t；总重小于 4t 的轻型货车的比功率约为 10—22kW/t，甚至有高达 50kW/t 者，这一方面是因为轻型货车多为城市用车，要求加速性好，并尽量减少换档次数，另一方面是因轻型货车多为轿车的变型车。轿车需要车速至少能达到 100km/h 以上（最高可达 140—200km/h），还需要加速快，这就要有很大的比功率，按其每单位自重计算的比功率高达 50—90kW/t。

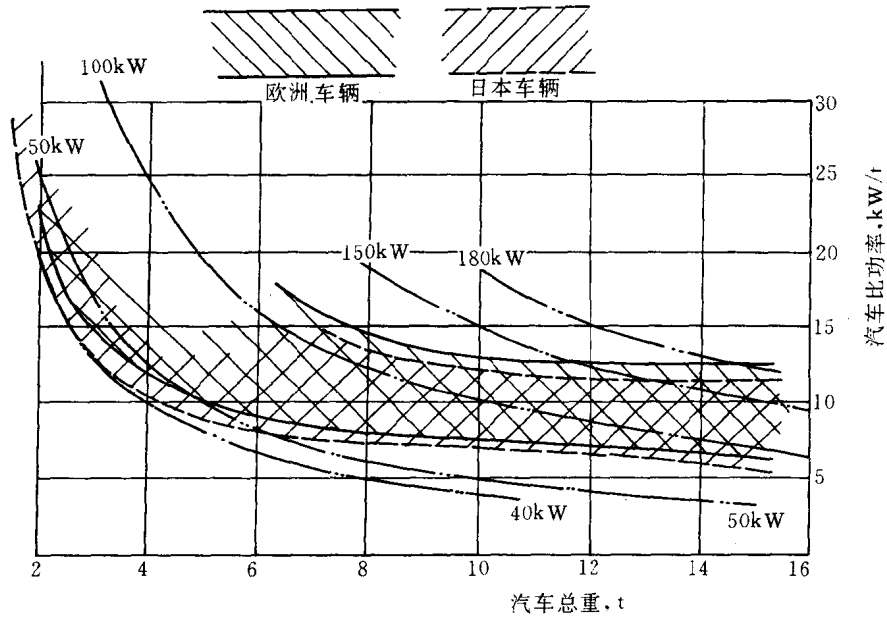


图 7-1 欧洲和日本总重 16t 以下的客车、载货汽车的比功率与汽车总重的关系

除了对发动机功率有要求外，载货汽车还要求发动机外特性的扭矩适应性系数  $\mu_M = \frac{M_{eN}}{M_{eN}}$  和转速适应性系数  $\mu_n = \frac{n_N}{n_M}$ （参阅图 7-2）都尽可能地大一些，此处  $n_N$  和  $M_{eN}$  各是发动机额定功率工况的转速和扭矩， $n_M$  和  $M_{eM}$  各是最大扭矩工况的转速和扭矩。 $\mu_M$  和  $\mu_n$  增大，载重汽车的加速性、爬坡能力和克服突然增大的行驶阻力的能力都提高，而行驶过程中的换档次数减少。现有载重汽车发动机的适应性系数范围大致为： $\mu_M = 1.07—1.25$ ， $\mu_n = 1.5—2.0$ ， $\mu = \mu_M \cdot \mu_n = 1.6—2.5$ 。对于轿车来说，由于其比功率很高，就没有必要注意发动机外特性的适应性系数了。

此外，发动机能平稳运转的转速范围要尽可能地宽一些，并应能迅速从怠速变换到全速全负荷。

#### 7.1.1.2 对燃料经济性的要求

汽车的燃料经济性有多种评价指标，如一定车速下的等速百公里油耗 (kg/100km)；按照一定的变工况规范行驶时测得的多工况百公里油耗；以及每千克燃料行驶里程数

(km/kg, 美国则用英里/加仑(mpg))等。

对汽车实际使用油耗有影响的因素很多,除发动机外,汽车的设计情况(轮胎、车身、传动系等)、保养情况、道路质量、常用车速与载荷、空车率、驾驶方法等等都对汽车使用油耗有很大影响。单就发动机方面来说,需要明确以下两点。

① 在发动机功率和前述种种汽车情况及使用情况相同的条件下,发动机万有特性上的最低耗油率( $\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$ )越低,同时低耗油率工况区域又越宽阔,则汽车的使用油耗越低。只看发动机外特性上最低耗油率的高低不足以说明问题。虽然很多发动机生产厂只提供外特性上最低耗油率数据,但设计人员必须明确在该数据和汽车使用油耗之间并没有确定的关系。

② 对于同一汽车传动系来说,用较大功率的发动机可以得到较高的最高车速。但汽车的实际车速往往受使用条件限制(例如市区车速很少能超过 $40\text{km}/\text{h}$ ),在一定的车速下较大功率发动机的负荷率就比较低,再加上功率大者一般也较重,这两个因素都会使汽车使用油耗高于采用较小功率发动机(耗油率水平相同)时的油耗。因此在选择汽车的比功率时应全面考虑动力性和经济性,结合具体使用条件作出适当的决定。

#### 7.1.1.3 对结构紧凑性的要求

汽车发动机的重量,一方面关系到原材料消耗量,即影响制造成本,另一方面关系到汽车的自重,而汽车的使用油耗大致与汽车自重成正比。因此在满足功率要求的前提下尽可能减轻发动机的重量是一个重要设计目标。为此一方面要合理给定汽车的比功率,同时应尽可能提高发动机的升功率,即采用较小排量的发动机达到要求的功率;另一方面还要优化发动机零部件的设计使材料的使用恰到好处。

对于前置发动机的汽车来说,发动机的高度影响发动机罩的高度,因而影响车身外形的流线形和驾驶员的视野;发动机的长度影响汽车的有效装载面积;发动机的宽度则要顾及在车架上的安装可能性。因此,汽车发动机的外形尺寸宜尽可能地小些。这既与发动机本体的设计有关,也与发动机各附件的尺寸和布置有关。

#### 7.1.1.4 对可靠性和耐久性的要求

发动机的工作可靠性是指在设计规定的使用条件下能够持续工作,不致因故障而影响正常运行的能力。可靠性是以在保证期内(民用柴油机一般为 $1500\text{h}$ ,汽油机 $500\text{h}$ )的不停车故障数、停车故障数、更换主要零件数和非主要零件数来考核的。对于车辆使用者来说,关心可靠性更甚于关心性能,性能略差些还不至于影响汽车行驶,而工作可靠性差就容易发生故障,汽车就可能中途停车。所以一般都要求在保证期内不发生主要零部件的故障,如缸体、缸盖、曲轴、连杆、轴瓦、活塞、活塞销、活塞环、凸轮轴、气门、气门弹簧等件的断或裂,以及影响喷油泵和增压器功能的主要事故。长途行驶的汽车对发动机可靠性的要求更高。

发动机的耐久性或使用寿命是指发动机从开始使用到第一次大修之前累计运行的里程数或小时数,也就是发动机的大修期。它通常决定于气缸筒和曲轴的磨损速率,一旦磨损量大到一定程度,使得气缸压缩压力、漏气率和机油消耗率达到不能接受的水平,发动机就必须大修。表7-2中列出了货车柴油机缸套和曲轴的磨损极限值。至于达到此极限值之前的累计运行时间和里程能有多长,则既和发动机转速与负荷的强化程度有关,又

决定于各摩擦副的加工精度、材质及润滑等情况，即决定于设计和工艺的质量。现代车用柴油机的使用寿命已高达  $40 \times 10^4 - 60 \times 10^4 \text{km}$  ( $>8000$  摩托小时)。

表 7-2 气缸孔和曲轴轴颈的磨损极限值

	气缸直径 $D$ (mm)		主轴颈直径 $D_1$ (mm)	曲柄销直径 $D_2$ (mm)
	50—100	100—200		
允许极限磨损值	$\left(\frac{1}{500} - \frac{1}{200}\right) D$	$\frac{1}{800} D$	$\frac{1}{800} D_1$	$\frac{1}{800} D_2$
允许最大椭圆度			$\frac{1}{1250} D_1$	$\frac{1}{1250} D_2$

#### 7.1.1.5 对有害排放量及噪声水平的要求

汽车发动机的有害排放物有  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{Pb}$ , 碳烟和微粒。 $\text{Pb}$  是汽油机使用含  $\text{Pb}$  汽油时排放的，碳烟和微粒是柴油机排放的。实际上，微粒指的是排气中的固态及液态滤出物，其中包含了碳烟。

自 1970 年以来各国先后以法令限制汽车发动机的有害排放量，这对汽车发动机的发展产生了很大的影响，因为必需采取多种措施降低有害排放量，同时又要补偿由此引起的功率和油耗损失。正是限制排放的严格规定促进了近年来电子控制汽油喷射与点火、三元催化转化、废气再循环等技术的发展。

我国有关部门在 1983 年也对汽车发动机的排放作过一些规定，只限制车用汽油机怠速排放  $\text{CO} \leq 5\%$ ,  $\text{HC} \leq 2500 \text{ppm}$ , 车用柴油机全负荷工况烟度  $\leq 4 \text{Bosch}$  单位。一个更详尽的国家标准正在研究制订中。

噪声对人身也有害。因此各发达国家对各类汽车的加速行驶噪声\* 均有法规限制，并逐年加严。例如欧共体 1970 年对各类汽车加速行驶噪声的限制为 82—91dB(分贝)，1985 年为 75—80dB。我国目前规定 1985 年以后生产的车辆加速噪声不超过 82—89dB(轿车取下限，8 吨以上货车取上限)。要降低汽车噪声，一靠适当的屏蔽，二靠降低动力传动系的噪声，其中主要是发动机噪声。

发动机中引起机件振动而产生噪声的来源很多，有缸内气体燃烧过程中的压力升高，进排气管系中气流的脉动，冷却风扇鼓风，以及在曲柄连杆机构、配气机构和传动机构运动中的机械撞击等等。这些都是不可避免的，而且有一些又是无法限制的。但是噪声总要通过机体壁(包括机体上下左右前后的各种罩壳)的振动向外发射，因此设计人员有可能在零件设计上采取措施，通过减小机体和附件的振动来降低发动机的噪声。

#### 7.1.1.6 对使用方便性的要求

汽车发动机应有良好的起动性能，通常要求汽油机在  $-10^\circ\text{C}$ 、柴油机在  $-5^\circ\text{C}$  的气温

\* 按 ISO/R362 标准，汽车以一定车速进入测量区并加速，在车两侧设置传声器，测点距汽车中心线 7.5m，距地面 1.2m，在 10m 测量区内车左右两侧所测得的声压级的最大值即汽车加速行驶噪声。

条件下，不采用特殊的低温起动措施就能迅速可靠地起动，在更低温度下利用辅助装置也能顺利起动。

汽车发动机应便于安装、操纵和维修。其前、后支承在车架上的安装及发动机后端与变速器的连接等均应方便、可靠。所有需要在车上进行保养的机件(如气门间隙调整件、喷油系部件、空气滤清器、燃油滤清器、机油滤清器、机油尺、加机油口、放水开关等)都应布置在易于接近的地方。此外，应无需在发动机运转过程中进行调整，应便于非专业人员很快学会操纵。

汽车发动机还应能适应不同的地理和气候条件，一般要求在前后倾斜 $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$ 、侧向倾斜 $20^{\circ}$ 的条件下，在气温冷到 $-40^{\circ}\text{C}$ 、热到 $+40^{\circ}\text{C}$ 的情况下仍能正常工作。对于指定在高原、沙漠等特定地区使用的汽车，宜提供专用的发动机变型。

#### 7.1.1.7 关于制造成本和产品系列化

从国家资源消耗的角度来看，任何产品在制造、运行和维修这三个过程中都要消耗资源(原材料、能源、固定资产折旧、劳动力与工时等等)，只是各过程的消费在总消费中所占的比例不同罢了。因此尽管对于使用率高的公共汽车和长途汽车来说，其制造成本远远低于其运行费用(燃料、润滑油、轮胎……)，也还是应该尽可能降低其制造成本(包括发动机的成本)。在这方面的限制条件是：如果降低成本的某些措施会引起排放增多、油耗上升或寿命降低，就需要通过具体分析来分清主次，决定取舍。除此而外，制造成本越低越好。

汽车发动机的制造成本一方面与其重量、零部件数目、所用材料、附件等等有关，另一方面又与其生产批量、制造工艺等有关。一般说来，只有在大批量生产的条件下成本才能显著降低，因此发动机产品的系列化和零部件的通用化就有了重要意义。

所谓系列化就是以某个主要用途的发动机为基础，通过改变部分结构参数或结构型式(例如增减气缸数，单列改双列，自然吸气改增压，改变燃烧室型式，变缸径或变行程等)来形成同一系列的多种发动机产品，以一个相当宽的功率范围，供不同型号的汽车或其它动力装置配套使用。这些同系列的发动机有许多主要零部件和易损件可以通用，许多工艺装备可以通用，因此就能扩大通用零部件的批量，采用高效率的工艺而降低制造成本。举例来说，用增减缸数来形成系列时，除整体式缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴、摇臂轴、飞轮、进、排气管、喷油泵等少数零部件外，其它零部件大多可以通用，就连不通用的气缸体也可以共用一条生产线(因缸间距相同，凸轮轴与曲轴的相对位置不变)。

正是由于产品系列化有很大好处，世界各国的著名汽车企业集团可以说全都生产系列化的汽车发动机产品。基于同样理由，汽车发动机的许多附件，例如机油泵、机油滤清器、燃油泵、燃油滤清器、空气滤清器、水泵、风扇、发电机、起动马达等等，也都形成系列化产品在专业化工厂进行大批量生产，供不同系列不同型号的发动机选用。

在此附带谈一个问题，就是在我国通常把产品系列化、零部件通用化和零件设计标准化统称为“三化”，要求在设计工作中贯彻执行。其中的零件设计标准化指的是设计时应遵循国家、部门或企业内部制定的种种标准。必须指出，其中的大多数标准是应该完全遵守的，如制图、公差配合、形位公差、标准件、内燃机名词术语、型号编制规则等等；但也有一些现行标准应该理解为是要求做到的下限，并不限制人们做得更好。例如

现在对发动机各主要零部件都有部颁的技术条件标准，对它们的主要尺寸公差、表面粗糙度、形位公差、材料金相组织等等都作了规定，这些都是前一时期国内生产实践的总结，对于提高中小厂的设计和制造质量是有意义的。但是，毕竟我国汽车发动机的设计和制造技术水平现在距世界水平有相当大的差距，如果只按这些标准去做，那就无法消化引进的先进技术，无法提高技术水平；对此设计人员应有充分认识。

以上从七个方面概述了汽车发动机的设计要求，主要是说明这些要求的意义和相互间可能存在的矛盾。至于在实际工作中对研制发动机提出具体要求时，当然需要仔细地分析与权衡。

### 7.1.2 发动机的技术参数与评价指标

所谓技术参数和评价指标并无严格的区分，大体上可以把那些与发动机的使用直接有关的参数(如功率、转速、重量、外形尺寸等)叫做技术参数，而把那些可用来比较不同发动机的强化程度和设计水平的参数(如平均有效压力、活塞平均速度、升功率、比重量、功率密度等)叫做评价指标。在发动机的设计阶段，不论技术参数还是评价指标，都只是预期达到的目标，所以往往全都笼统地被称为设计指标或技术指标。

表 7-3 中列出了与 7.1.1 中提到的七个方面有关的技术参数和评价指标。其中许多参数或指标的含义不言自明，本节只就动力性方面的参数(指标)作一些说明。

#### 7.1.2.1 额定功率和升功率

发动机发出的功率与环境空气状态(压力、温度、湿度)以及台架试验时所带附件的多少有关。根据台架试验实测的扭矩和曲轴转速数据计算出来的实际环境空气状态下的有效功率叫做实测有效功率；按主管部门颁行的标准方法对实测有效功率进行标准大气状态修正所得出的功率是校正有效功率；发动机带上全部附件(包括空气滤清器，汽车排气系，水冷却系的节温器、散热器、风扇和护风圈，发电机、调节器和蓄电池(柴油机可不带，曲轴箱通风装置，催化转化器等)时的校正有效功率叫做净功率；而在不带催化转化器，并以试验室排气系代替汽车排气系，以试验室冷却系代替水冷发动机自身冷却系，空气滤清器也可带可不带的条件下的校正有效功率叫做总功率。

许多国家(如美国、西德等)规定汽车发动机的额定功率  $N_{eN}$  是该机在额定转速  $n_N$  下发出的净功率。我国现行标准则规定汽车发动机的  $N_{eN}$  是在转速  $n_N$  下发出的总功率， $n_N$  和  $N_{eN}$  均由生产厂规定并保证能达到；与此相应，最大扭矩  $M_{emax}$  是在总功率试验条件下得出的发动机外特性上扭矩最大点的扭矩，对于该扭矩最大点的转速  $n_M$  通常是给一个范围。

汽油机在节气阀(油门)全开时，其  $N_e$  随着  $n$  的升高而升高，但转速高过某一界限后  $N_e$  就转而下降(见图 7-2)。这个最大功率转速能有多高，主要决定于汽油机进气系的设计(如进气门通路面积，进气系统动阻力等)。车用汽油机的额定转速一般就规定在批量产品最大功率转速分散范围的下限。柴油机的情况不一样，其额定转速由人选择并用调速器控制。 $n$  越高，则用于混合气形成和燃烧的时间越短，热效率越低，同时发动机的可靠性和耐久性一般也会降低。因此确定柴油机的  $n_N$  就需要权衡动力性与燃料经济性、可靠性的矛盾。



表 7-3 发动机的主要技术参数和评价指标

	技术 参 数	评 价 指 标
动力性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 额定功率工况的 功率 <math>N_{eN}</math> (kW) 转速 <math>n_N</math> (r/min)</li> <li>• 最大扭矩工况的 扭矩 <math>M_{emax}</math> (N·m) 转速 <math>n_M</math> (r/min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 平均有效压力 <math>p_{eN}, p_{emax}</math> (MPa)</li> <li>• 活塞平均速度 <math>c_m</math> (m/s)</li> <li>• 升功率 <math>N_l</math> (kW/L)</li> <li>• 单位活塞面积功率 <math>N_F</math> (kW/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• 强化系数 <math>P_{eN} \cdot c_m</math></li> <li>• 惯性载荷系数 <math>c_m^2 \left(\frac{S}{D}\right)^{-1}</math></li> </ul>
紧凑性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 外形尺寸 <math>L \times B \times H</math></li> <li>• 重量 <math>W</math> (kg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 功率密度 <math>N_{eN}/V</math> (kW/m<sup>3</sup>) (<math>V=L \times B \times H</math>)</li> <li>• 比重量 <math>W/N_{eN}</math> (kg/kW)</li> </ul>
油料经济性		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 外特性或万有特性上(要说明)的最低燃油消耗率 <math>g_{min}</math> (g/kW·h)</li> <li>• 机油消耗率 <math>g_{io}</math> (g/kW·h)</li> <li>• 同期机油燃油消耗百分比 <math>\frac{G_{io}}{G_f} \times 100\%</math> (<math>G_{io}</math>和 <math>G_f</math> 各为同期消耗掉的机油量和燃油量)</li> </ul>
可靠性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保证期 (h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保证期内每百台发动机的停车故障次数</li> <li>• 可靠性考核试验期间的停车故障次数</li> </ul>
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大修期 (小时或里程)</li> </ul>	
排放 噪声	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 各种有害物质的排放浓度, 烟度 (柴油机)</li> <li>• 噪声级 (在距发动机表面 1m 处测量)</li> </ul>	
其它	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可直接起动的最低环境温度</li> <li>• 适用环境温度</li> <li>• 适用道路坡度及侧倾角度</li> </ul>	

据内燃机工作原理, 发动机的功率

$$N_e = \frac{zV_h p_e n}{30\tau} \quad (\text{kW}) \quad (7-1)$$

扭矩  $M_c = 9549.3 \frac{N_e}{n} = 318.3 \frac{zV_h p_e}{\tau} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (7-2)$

式中  $\tau$  是冲程数, 对四冲程发动机  $\tau=4$ , 对二冲程发动机  $\tau=2$ ;  $z$  是气缸数;  $V_h$  是气缸工作容积(L, 即(dm)<sup>3</sup>);  $p_e$  是平均有效压力(MPa);  $n$  是曲轴转速 (r/min)。

对于冲程数  $\tau$  和总工作容积  $zV_h$  (以下简称总排量) 一定的发动机来说, 其  $N_e \propto p_e n$ ,  $M_c \propto p_e$ ; 它能有多大的额定功率  $N_{eN}$  就决定于能有多高的  $n_N$ , 以及在该  $n_N$  下能有多大的平均有效压力  $p_{eN}$ ; 同时, 其适应性系数  $\mu_M = \frac{M_{emax}}{M_{eN}}$  和  $\mu_n = \frac{n_N}{n_M}$  就决定于  $p_e$  随  $n$  变化的情况。后面 7.1.2.2 中将对  $p_e$  再作一些介绍。