项目一
汽车发动机性能与检测

【项目导读】

发动机是汽车动力的来源。发动机的动力性、燃油经济性、环保性、可靠性、耐久性等性能对汽车使用有直接的影响。通过本项目的学习，掌握发动机的性能指标、发动机的特性、发动机功率检测等基本知识与技能。

任务一　汽车发动机的性能指标

【任务描述】

汽车发动机的性能指标是评定汽车发动机性能好坏的各种物理量的总称，按指标体系建立的基础不同，发动机的性能指标可分为指示性能指标和有效性能指标两大类。另外，还有关系到人类生存的环保性指标，如排气品质（排出的有害气体、排气微粒）和噪声。这些性能指标分别从不同角度反映汽车发动机的性能。

【相关知识】

一、指示性能指标

指示性能指标是以工质在气缸内对活塞做功为基础建立起来的指标体系，用来评定发动机循环进行的好坏。指示性能指标主要包括指示功、平均指示压力、指示功率、指示燃油消耗率及指示热效率。

1. 指示功

实际发动机在运转时，必须由进气、压缩、燃烧、膨胀及排气过程连续不断地重复进行，使燃油在气缸内燃烧，将化学能转变为热能，再将热能转变为机械能。将这些过程用压力 p 与容积 V 的变化关系表示在坐标图上，就得到 p–V 坐标图。如图 1-1 所示，图中的横坐标代表活塞位移或气缸容积，纵坐标代表气缸内的气体压力，封闭曲线的面积代表气体循环中做功的多少，所以 p–V 图又称为示功图。示功图可以分析发动机实际循环，可以很方便地测量出实际循环功（即指示功 W_i）的大小及其他参数。

2. 平均指示压力

指示功难以评价各类发动机工作循环进行的好坏，因为它们的气缸工作容积不同，因此引入另一指示性能指标——平均指示压力。

平均指示压力 p_{mi}（kPa）是指发动机单位气缸工作容积在每一循环内所做的指示功，即

$$p_{mi} = \frac{W_i}{V_s} \tag{1-1}$$

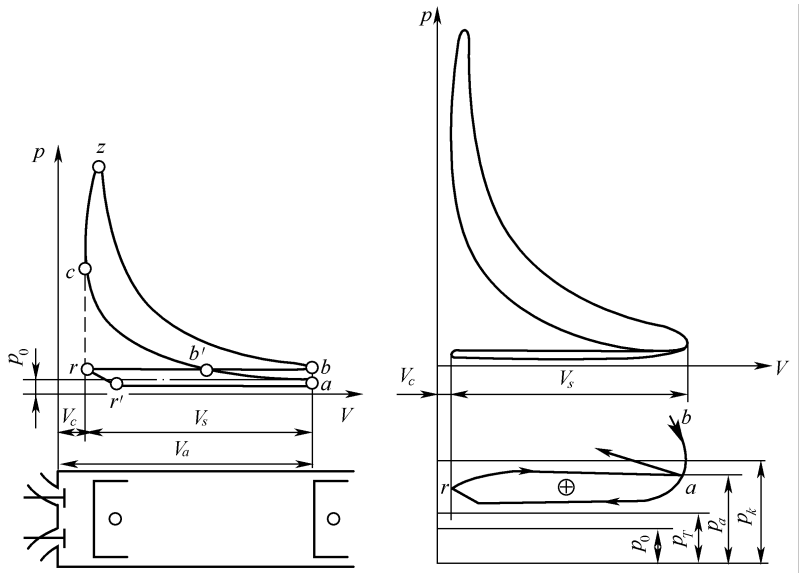
式中：V_s—气缸工作容积，L。

平均指示压力越大，表示气缸工作容积的利用程度越高，发动机的工作循环进行得越好。由上式计算指示功 W_i（kJ）得

$$W_i = p_{mi} V_s \tag{1-2}$$

因此，平均指示压力可假想为一个不变的压力，它推动活塞在一个膨胀行程所做的功等

于一个工作循环的指示功 W_i，如图 1-2 所示。



（a）非增压　　（b）增压

V_c—压缩终了气缸容积；V_s—气缸工作容积；V_a—气缸总工作容积；

p_k—增压压力；p_T—排气压力；p_0—大气压力

图 1-1　四冲程发动机的 p–V 图

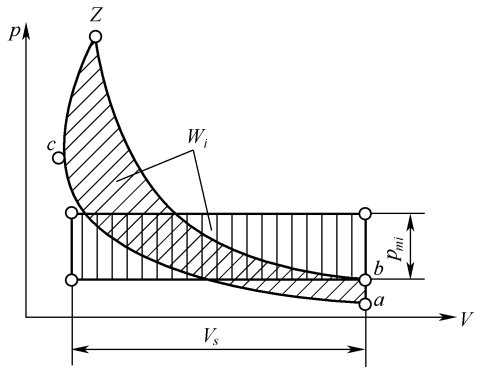


图 1-2　指示功与平均指示压力

3．指示功率

指示功率 P_i（kW）是指发动机单位时间内所做的全部指示功。

设某发动机气缸数为 i，转速为 n（r/min），冲程数为 τ（四冲程 τ=4，二冲程 τ=2），气缸工作容积为 V_s（L），平均指示压力为 p_{mi}（kPa），则发动机（i 个气缸）每循环所做的指示功为

$$W_i=ip_{mi}V_s \tag{1-3}$$

发动机每工作循环所用的时间 μ 为

$$\mu=\frac{\tau}{2}\frac{60}{n} \tag{1-4}$$

按指示功率的定义，可得出

$$P_i=\frac{W_i}{\mu}=\frac{p_{mi}V_sin}{30\tau}\times10^{-3} \tag{1-5}$$

对于汽车上常用的四冲程发动机，指示功率为

$$P_i=\frac{W_i}{\mu}=\frac{p_{mi}V_sin}{120}\times10^{-3} \tag{1-6}$$

4. 指示燃油消耗率

指示燃油消耗率 b_i[g/(kW·h)]是指单位指示功的耗油量。

设发动机的指示功率为 P_i（kW），每小时耗油量为 B（kg/h），则指示燃油消耗率 b_i 为

$$b_i=\frac{B}{P_i}\times10^3 \tag{1-7}$$

5. 指示热效率

指示热效率 η_i 是指发动机实际循环指示功 W_i 与所消耗热量 Q_1 之比，即

$$\eta_i=\frac{W_i}{Q_1} \tag{1-8}$$

所消耗的热量按所消耗的燃料量与燃料的热值来计算，燃料的热值是指单位质量的燃料燃烧后放出的热量，其数值取决于燃料本身的性质。

若已知发动机的指示功率为 P_i（kW），每小时耗油量为 B（kg/h），所用燃料的低热值为 h_u（kJ/kg），则

$$\eta_i=\frac{3.6\times10^3P_i}{Bh_u} \tag{1-9}$$

根据指示热效率和指示燃油消耗率公式可推导出两者之间的关系

$$\eta_i=\frac{3.6\times10^6}{b_ih_u} \tag{1-10}$$

二、有效性能指标

以发动机曲轴对外输出的功率为基础的性能指标称为发动机的有效性能指标，用以评定整机的性能。有效性能指标主要包括有效功率、有效转矩、平均有效压力、有效燃油消耗率和有效热效率。

1. 有效功率

有效功率是指从发动机曲轴上输出的功率。有效功率 P_e 等于指示功率 P_i 与机械损失功率

P_m 的差值，即

$$P_e=P_i-P_m \tag{1-11}$$

机械损失功率是指动力在发动机内部传递过程中损失的功率，主要包括摩擦损失、驱动附件的损失和泵气损失。发动机工作中，机械损失是不可避免的，机械损失功率和有效功率均可通过试验方法测定。

机械效率 η_m 是有效功率 P_e 与指示功率 P_i 之比，用于比较发动机机械损失所占比例的大小。η_m 越接近于 1，即 P_e 越接近于 P_i，说明机械损失所占的比例小，使实际循环得到的功尽可能多地转变为对外输出的有效功，发动机的性能好。

2. 有效转矩

有效转矩是指发动机曲轴上输出的转矩。

在实际中，一般通过台架试验直接测量发动机的有效转矩 T_{tq} 和转速 n，并按下式计算出发动机的有效功率 P_e

$$P_e = T_{tq}\frac{2\pi n}{60}\times 10^{-3} = \frac{T_{tq}n}{9550} \tag{1-12}$$

式中：T_{tq}—有效转矩，N·m；n—发动机转速，r/min。

3. 平均有效压力

平均有效压力 p_{me} 是指发动机单位气缸工作容积输出的有效功，即

$$p_{me} = \frac{W_e}{V_s} \tag{1-13}$$

式中：W_e—单个气缸的循环有效功，J；V_s—气缸工作容积，L。

与平均指示压力和指示功率的关系类似，平均有效压力和有效功率的关系为

$$P_e = \frac{p_{me}V_s in}{30\tau}\times 10^{-3} \tag{1-14}$$

对汽车上常用的四冲程发动机

$$P_e = \frac{p_{me}V_s in}{120}\times 10^{-3} \tag{1-15}$$

由上述公式不难看出，发动机的排量（即总气缸工作容积 $V_s i$）一定时，发动机的有效功率与平均有效压力成正比。平均有效压力越高，有效功率越大，发动机的动力性越好。

4. 升功率、比质量和强化系数

升功率、比质量和强化系数是评定发动机结构和强化程度的指标。

（1）升功率

升功率是指发动机在标定工况下，每升气缸工作容积所发出的有效功率，用符号 P_L 表示，单位为 kW/L，按定义则

$$P_L = \frac{P_{eB}}{V_s i} \tag{1-16}$$

式中：P_{eB}—发动机的标定功率，即在标定工况下的有效功率，kW；V_s—气缸工作容积，L；i—缸数。

将平均有效压力与有效功率的关系式代入上式，并整理可得

$$P_L = \frac{p_{me}n}{30\tau} \times 10^{-3} \tag{1-17}$$

由式可见，升功率与平均有效压力和转速的乘积成正比，升功率标志着发动机气缸工作容积的利用程度，可反映发动机结构的紧凑性。在发动机有效功率一定时，升功率越高，意味着发动机的体积越小。提高平均有效压力和转速是提高升功率的有效措施。

（2）比质量

比质量是指发动机的干质量与标定功率的比值，用符号 m_e 表示，单位是 kg/kW，即

$$m_e = \frac{m}{P_{eB}} \tag{1-18}$$

式中：m—发动机的干质量，kg；　P_{eB}—发动机的标定功率，kW。

比质量标志着发动机质量的利用程度，比质量越小，说明在发动机标定功率一定时，其质量越轻。

（3）强化系数

强化系数是指平均有效压力 p_{me} 与活塞平均速度 C_m 的乘积，也就是活塞顶部单位面积上的有效功率。

强化系数越大，意味着发动机的机械负荷和热负荷越大。随着发动机制造技术的不断进步，各机件承受机械负荷和热负荷的能力增强，强化系数越来越高，所以强化系数也是发动机技术进步的标志。

5. 有效燃油消耗率

有效燃油消耗率是指单位有效功的耗油量。

设发动机的有效功率为 P_e（kW），每小时耗油量为 B（kg/h），则有效燃油消耗率 b_e 为

$$b_e = \frac{B}{P_e} \times 10^3 \tag{1-19}$$

6. 有效热效率

有效热效率 η_e 是指发动机实际循环有效功与所消耗热量之比，即

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_1} \tag{1-20}$$

与指示热效率类似，若已知发动机的有效功率为 P_e（kW），每小时耗油量为 B（kg/h），所用燃料的低热值为 h_u（kJ/kg），则

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^3 P_e}{Bh_u} \tag{1-21}$$

由有效热效率和有效燃油消耗率公式可推导出两者之间的关系

$$\eta_e = \frac{3.6\times10^6}{b_e h_u} \tag{1-22}$$

【任务实施】

查阅网络和相关资料，找出不同车型（乘用车、载客汽车、载货汽车）配置的发动机，比较它们的性能指标有什么不同。

任务二 汽车发动机特性

【任务描述】

汽车发动机特性是指发动机性能指标随发动机调整情况及运转工况而变化的关系。其中，汽车发动机性能指标随发动机调整情况而变化的关系，称为发动机调整特性；汽车发动机性能指标随发动机运转工况而变化的关系，称为发动机性能特性。发动机特性常用曲线来表示，这类曲线称为特性曲线，它是评价汽车发动机性能的一种简单、方便、必不可少的形式。根据各种特性曲线，可以合理地选用发动机，使发动机性能得到充分发挥。发动机特性种类很多，其中主要有速度特性、负荷特性、万有特性。

【相关知识】

一、发动机的速度特性

发动机的性能指标随发动机转速而变化的关系，称为发动机的速度特性。汽车在行驶过程中，若变速器挡位一定、加速踏板位置固定不动，由于路面阻力不同，汽车的行驶速度也会变化，汽车上坡时速度会降低，汽车下坡时速度会增加，这时发动机即按照速度特性工作。

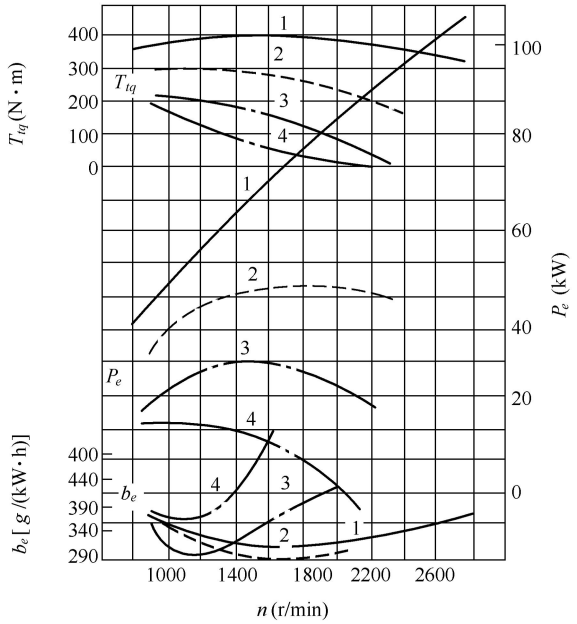
1. 汽油机的速度特性

汽油机节气门（油门）开度一定，其有效功率 P_e、有效转矩 T_{tq}、有效燃油消耗率 b_e、小时耗油量 B 等性能指标随转速 n 变化的关系，称为汽油机的速度特性。

节气门（油门）全开时的速度特性称为外特性，外特性表示该发动机在使用中所能达到的最高动力性能。节气门（油门）部分开启时的速度特性称为部分负荷速度特性，由于节气门（油门）的开启可以连续变化，所以部分负荷速度特性有无数个。

汽油机的速度特性曲线如图 1-3 所示，部分负荷速度特性曲线的变化趋势与外特性大致相同。

节气门开度减小，节流损失增大，进气终了压力下降，充气效率下降；且随转速的增加，充气效率下降程度加大，故节气门开度越小，发动机有效转矩、有效功率随转速增加而下降得越快，发动机最大有效转矩、最大有效功率点均向低速方向移动。



1－全负荷；2－75%负荷；3－50%负荷；4－25%负荷

图 1-3　25Y- 6100Q 型车用汽油机的速度特性

节气门开度 75%左右，有效燃油消耗率最小。大于该节气门开度，混合气较浓，不完全燃烧增加，指示热效率减小，有效燃油消耗率较高；小于该节气门开度，气缸内残余废气系数增加，燃烧速率下降，指示热效率减小，有效燃油消耗率亦较高。

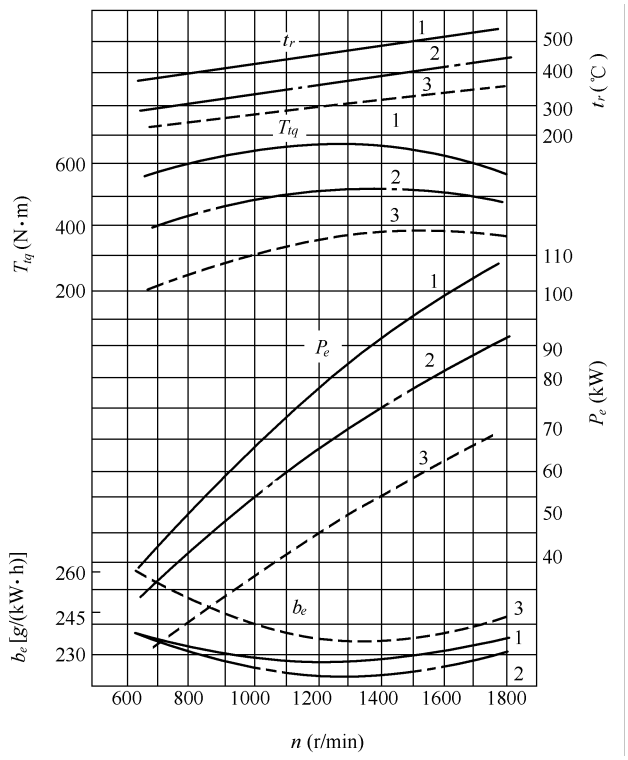
2. 柴油机的速度特性

柴油机喷油泵的油量调节机构（油门）位置一定，其有效功率 P_e、有效转矩 T_{tq}、有效燃油消耗率 b_e、小时耗油量 B 等性能指标随转速 n 变化的关系，称为柴油机的速度特性。

柴油机喷油泵的油量调节机构固定在标定（最大）循环供油量位置时的速度特性，称为柴油机的外特性。柴油机喷油泵的油量调节机构固定在小于标定（最大）循环供油量位置时的速度特性，称为柴油机的部分负荷速度特性。6135 型车用柴油机的部分负荷速度特性，如图 1-4 所示。

二、发动机的负荷特性

发动机转速不变，其经济性指标（有效燃油消耗率 b_e、小时耗油量 B）随负荷（有效功率 P_e 或有效转矩 T_{tq} 或平均有效压力 p_{me}）而变化的关系，称为发动机的负荷特性。汽车在行驶过程中，若变速器挡位一定，汽车以恒定的车速行驶时，由于路面阻力不同，必须通过改变发动机的油门来调整有效转矩，以适应外界阻力矩的变化，保持发动机的转速不变，这时发动机就按照负荷特性工作。



1－90%负荷；2－75%负荷；3－55%负荷

图 1-4　6135 型车用柴油机的部分负荷速度特性

1. 汽油机的负荷特性

汽油机的负荷调节是通过改变节气门开度来直接改变进入气缸的混合气量来进行的，过量空气系数变化不大，这种调节方式称为“量调节”。图 1-5 为 BN489 型汽油机的负荷特性曲线。

（1）小时耗油量 B 曲线

汽油机转速一定时，小时耗油量 B 主要取决于节气门开度与混合气浓度。汽油机的“量调节”方式使得节气门开度变化影响到混合气量变化，而混合气浓度除怠速与全负荷较浓外，大部分情况变化不大。节气门开度由小逐渐加大时，进入气缸的混合气量逐渐增多，小时耗油量 B 也随之增加，几乎随节气门开度成线性关系，直至混合气变浓后，B 增加更快一些。

（2）有效燃油消耗率 b_e 曲线

发动机怠速时，指示功率全部用于克服机械损失，有效功率为零，有效燃油消耗率 b_e 为无穷大。随负荷增大，节气门开度增大，燃烧过程得以改善，指示热效率、机械效率逐步提高，有效燃油消耗率 b_e 逐渐减小。但当负荷增至大负荷时，供给浓混合气，燃烧不完全程度增加，指示热效率下降，有效燃油消耗率 b_e 又有所增加。

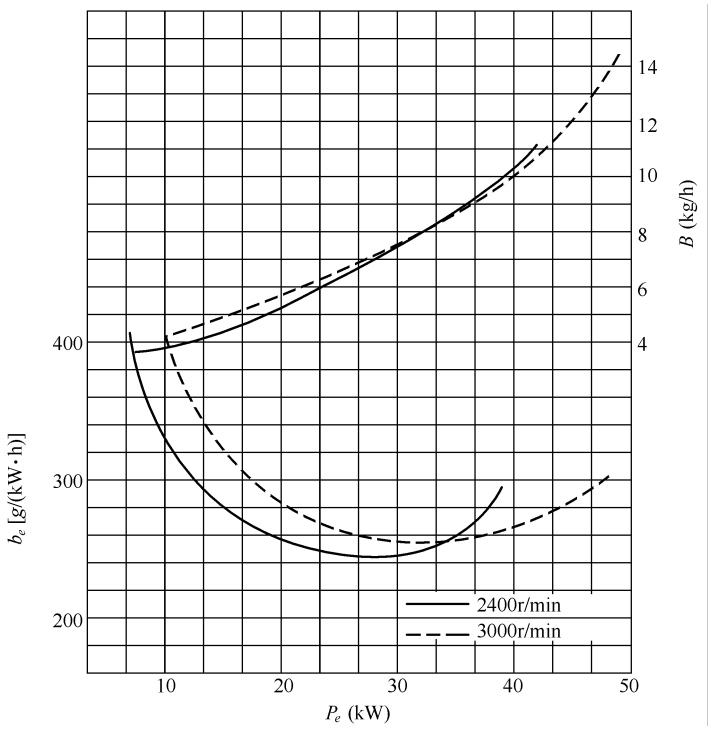


图 1-5　BN489 型汽油机的负荷特性曲线

2. 柴油机的负荷特性

柴油机的负荷调节是通过改变循环供油量来实现，而进入气缸的空气量不变，使混合气浓度发生变化，这种调节方式称为“质调节”。图 1-6 为 6135Q 型柴油机的负荷特性曲线。

（1）小时耗油量 B 曲线

柴油机转速一定时，小时耗油量 B 主要取决于循环供油量。随负荷增加，循环供油量增加，小时耗油量 B 也随之增加；当负荷接近烟度限值之后，由于燃烧的恶化，B 增加更快一些。

（2）有效燃油消耗率 b_e 曲线

柴油机怠速时，指示功率全部用于克服机械损失，有效功率为 0，有效燃油消耗率 b_e 为无穷大。随负荷增大，机械效率逐步提高，有效燃油消耗率 b_e 逐渐减小。但当有效燃油消耗率达到最低之后，再增加供油量，也会使燃烧恶化，燃烧不完全程度和补燃增加，指示热效率大大下降，有效燃油消耗率 b_e 又有所增加。

3. 负荷特性曲线的特点

每条负荷特性曲线最后一点都是外特性上的点；低负荷，有效燃油消耗率高，发动机燃油经济性差；同一转速下，最低有效燃油消耗率越小，曲线变化越平坦，发动机燃油经济性越好。柴油机的曲线变化较汽油机平坦而且最低有效燃油消耗率也低，因此柴油机燃油经济性比汽油机好。

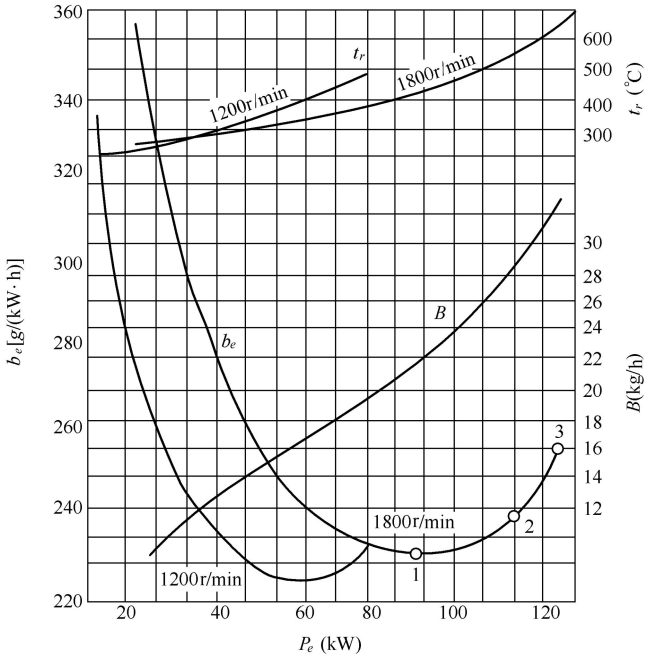


图 1-6　6135Q 型柴油机的负荷特性曲线

三、发动机的万有特性

发动机的速度特性和负荷特性分别只能表示某一节气门（油门）开度或某一转速时，发动机性能指标间的变化规律。而汽车发动机的工况（转速、负荷）变化范围很广，要分析各种工况下发动机的性能就需要若干幅速度特性图或负荷特性图，这样做既不方便，也不清楚。为了能够在一幅图上较全面地表示出汽车发动机的性能，经常应用多参数特性曲线，即万有特性曲线。应用最广的万有特性曲线是以转速为横坐标，以转矩或平均有效压力为纵坐标，在图上画出许多类似地图上等高线那样互不交叉的曲线，即等有效燃油消耗率曲线；同时，还把等功率曲线一同表示出来。CA6102 型汽油机万有特性、EQD6102-1 型柴油机万有特性分别如图 1-7、图 1-8 所示。

【任务实施】

1. 万有特性作图方法

（1）将不同转速的负荷特性转换为以有效燃油消耗率为横坐标，平均有效压力或转矩为纵坐标的负荷特性。在万有特性图的横坐标轴上以一定比例标出发动机转速数值，纵坐标轴上平均有效压力或转矩的比例应与负荷特性平均有效压力或转矩的比例相同。从负荷特性曲线的某一油耗处，如图 1-9 中 b_e=230g/(kW·h)处，引一垂直线与各种转速的曲线有两个或一个交点。再从交点处引水平线，与从万有特性横坐标相对应转速处引出的垂线相交，将交点连成光滑的曲线，即得到一定燃油消耗率时的等有效燃油消耗率曲线。其余有效燃油消耗率时的等有效燃

油消耗率曲线作法相同。

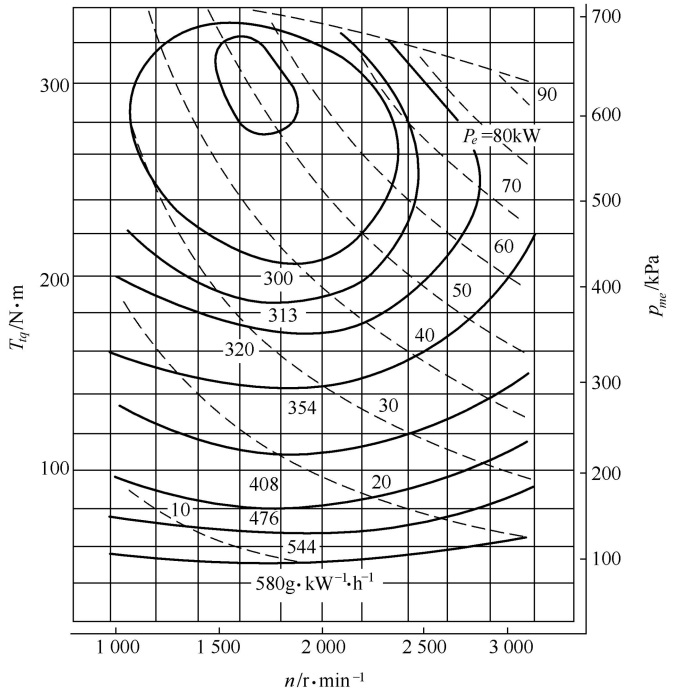


图 1-7　CA6102 型汽油机万有特性

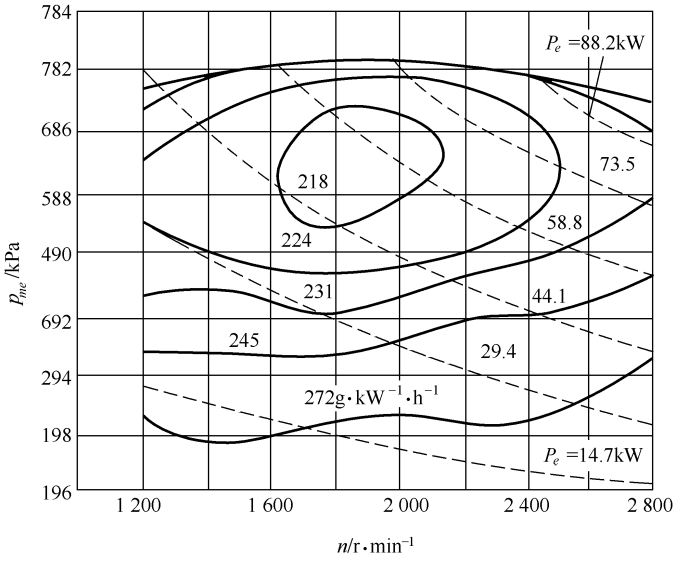


图 1-8　EQD6102-1 型柴油机万有特性

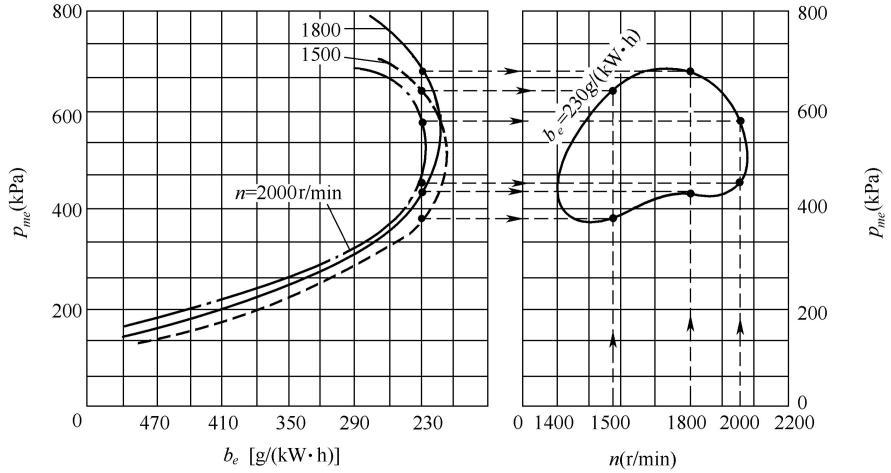


图 1-9　万有特性图等有效燃油消耗率的画法

（2）等功率曲线可根据公式 $P_e=T_{tq}n/9550=kp_{me}n$ 画出，是一组双曲线。

（3）将外特性中的 T_{tq}～n 或 p_{me}～n 曲线画在万有特性图上，构成上边界线。

2. 万有特性图分析

在万有特性图中，最内层的等有效燃油消耗率曲线是最经济的区域，耗油率最低。曲线越往外，燃油经济性越差，从中便很容易找出最经济的负荷和转速。若等有效燃油消耗率曲线横向较长，表示发动机在负荷变化不大而转速变化较大的情况下油耗较小；若等有效燃油消耗率曲线纵向较长，表示发动机在负荷变化较大而转速变化不大的情况下油耗较小。

任务三　汽车发动机功率检测

【任务描述】

汽车发动机点火系统、燃料供给系统、冷却系统、润滑系统等技术状况不良或机件磨损，都会导致汽车发动机功率下降，故汽车发动机功率是汽车发动机技术状况检测诊断的综合性评价指标。通过本任务的学习，了解汽车发动机功率的检测方法，掌握汽车发动机无负荷测功的原理，会正确使用仪器进行汽车发动机功率的检测。

【相关知识】

一、汽车发动机功率检测方法

发动机功率（有效功率）P_e（kW）、转矩（有效转矩）T_{tq}（N·m）和转速 n（r/min）关系如下

$$P_e = \frac{T_{tq} n}{9549} \tag{1-23}$$

发动机功率可以通过测量发动机转矩和转速，由式（1-23）计算得到。

发动机功率检测有台架稳态测功和就车动态测功两种基本方法。

1. 台架稳态测功

台架稳态测功是指发动机在节气门开度（供油位置）一定、转速一定的稳定运转状态下，测功机施加负荷（阻力矩）测定发动机功率的一种方法。台架稳态测定发动机的额定功率是发动机节气门全开（最大供油位置），利用测功机对发动机施加负荷（阻力矩），使发动机在额定转速稳定运转状态下测定的。该测功方法结果比较准确、可靠，发动机设计、制造部门和科研单位常常采用该方法进行发动机性能试验。

2. 就车动态测功

就车动态测功是指发动机在怠速或某一低转速下，突然全开节气门（或者处于最大供油位置），使发动机克服自身惯性和内部各种运转阻力而加速运转时，其加速性能的好坏直接反映发动机功率大小的一种方法。该测功方法不需要对发动机施加外部载荷，又称无外载测功或无负荷测功，在对测试精度要求较低的汽车使用、维修单位应用较广泛。

二、汽车发动机无负荷测功原理

按测功原理，汽车发动机无负荷测功分为用测定瞬时角加速度的方法检测瞬时功率和用测定加速时间的方法检测平均功率两类。

1. 瞬时功率检测原理

将发动机自身的以及所带动的所有运动部件等效地看作一个绕曲轴中心旋转的旋转体。

J 为发动机运转部件对曲轴中心线的当量转动惯量，单位为 $kg \cdot m^2$。

发动机所发出的功率，除一部分用于克服机械阻力矩和压缩气缸内混合气阻力矩被消耗之外，其剩余部分有效功率将全部用来使发动机运动部件加速。发动机无负荷加速过程中

$$T_{tq} = J \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = J \frac{\pi}{30} \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} \tag{1-24}$$

$$P_e = \frac{T_{tq} n}{9549} = J \frac{\pi}{30} \frac{1}{9549} n \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = C_1 n \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} \tag{1-25}$$

$$P_e = K C_1 n \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = C n \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} \tag{1-26}$$

式（1-26）中，系数 $K>1$，是一个修正系数，主要是考虑发动机在瞬态时，混合气形成、燃料燃烧过程、热状态等与稳态测试时不同，其功率值比稳态时小。

加速过程中，发动机在某一转速下的功率与该转速下的瞬时加速度成正比。发动机无负荷测瞬时功率问题，实际上成为测定发动机转速和该转速下的角加速度或曲轴转速变化率的问题。

2. 平均功率检测原理

发动机无负荷加速过程中，其动能增量等于发动机所做的功，即

$$A=\frac{1}{2}J(\omega_2^2-\omega_1^2)\text{，J} \tag{1-27}$$

发动机曲轴角速度从 ω_1 上升到 ω_2 的时间为 ΔT，则发动机在这段时间内的平均功率为

$$P_{em}=\frac{A}{\Delta T}=\frac{1}{2}J\frac{\omega_2^2-\omega_1^2}{\Delta T}\text{，W} \tag{1-28}$$

$$P_{em}=\frac{1}{2}J\left(\frac{\pi}{30}\right)^2\frac{1}{1000}(n_2^2-n_1^2)\frac{1}{\Delta T}=\frac{C}{\Delta T}\text{，kW} \tag{1-29}$$

发动机无负荷加速过程中，若已知发动机转动惯量 J，检测时的起始转速 n_1（稍高于怠速转速）、终止转速 n_2（额定转速），某一转速范围 n_1～n_2 内的平均功率与加速时间 ΔT 成反比。检测某转速范围的平均功率，实质上就成为检测该转速范围的加速时间。通过无负荷平均功率值与台架稳态检测发动机功率值的关系，即可得知发动机最大功率。

三、汽车发动机功率检测诊断标准

依据《机动车运行安全技术条件》（GB7258－2012）规定，发动机功率应大于等于标牌（或产品使用说明书）标明的发动机功率的 75%。

依据《商用汽车发动机大修竣工出厂技术条件 第 1 部分：汽油发动机》（GB/T3799.1－2005）与《商用汽车发动机大修竣工出厂技术条件 第 2 部分：柴油发动机》（GB/T3799.2－2005）规定，商用汽车发动机大修竣工出厂时，在标准状态下，发动机额定功率和最大转矩不得低于原设计标定值的 90%。

【任务实施】

使用无负荷测功仪，汽车发动机功率检测步骤如下。

（1）调整发动机配气机构、供油系统和点火系统，使之处于技术完好状态；预热发动机至正常工作温度（95℃～105℃）；调整发动机怠速，使之在规定范围内稳定运转。

（2）接通电源，预热仪器并调零，把传感器按要求连接在规定部位。

（3）对测加速时间－平均功率的仪器，应按要求把 n_1、n_2 调好。

（4）需置入转动惯量 J 的仪器，要把被测发动机的转动惯量 J 置入仪器内。若被测发动机的转动惯量未知，则应先测定其转动惯量。其方法为：先选一台已知最大功率 $P_{e\max}$ 的同类型发动机，并设定其转动惯量为 J_1，利用无负荷测功仪对该发动机进行多次功率测量，若测得的最大功率为 P_1，则被测发动机的转动惯量可按下式计算

$$J=\frac{J_1}{P_1}P_{e\max}$$

（5）按下其他必要的键位，如机型（汽油机、柴油机）选择键、缸数选择键和“测试”

键等。

（6）发动机在怠速下稳定运转，然后突然将节流阀（油量调节机构）开到最大位置，发动机转速猛然上升，当转速达到所确定的测试转速（测瞬时功率）或超过终止转速 n_2 时，仪表显示出所测功率值。此后应立即松开加速踏板，以避免发动机长时间高速运转。

（7）记下或打印出读数后，按“复零”键使指示装置复零。

（8）为保证检测结果可靠，一般重复测量 3 次取其平均值。

（9）为了提高无负荷测功的测试精度，首先加速踏板踏下的速度和力度要均匀，且要求重复性良好。为避免操作上的误差，必须取三次检测结果的平均值，若有野点必须剔除。被测车辆与加速性能有关的机构必须处于正常技术状况。为使检测数据尽量准确并不伤害发动机，检测前必须充分暖车使冷却系统预热到正常温度。

因无负荷测功法简单易行，在没有测功设备或无需严格要求最终检测结果的情况下，例如作为同一台发动机调整前后或维修前后的质量判断，是十分有效的。

【知识拓展】

检查各个气缸的动力是否一致，是发动机动力性检测的重要内容，有以下两种检测方法：

（1）用无负荷测功仪测定单缸功率

利用无负荷测功仪测出各缸都工作时的发动机功率，然后在所测气缸不工作（高压线路短路或高压油管断油）情况下测出发动机功率，两功率之差即为不工作气缸的单缸功率。

（2）用转速表测定发动机转速下降值判断单缸动力性

发动机以某一转速稳定运转时，若交替使各缸不工作，则发动机应出现功率下降，导致发动机转速下降。若各气缸工作状况良好，则每次转速下降的幅度应大致相等。若某缸不工作后，发动机依旧以原来的转速旋转或下降幅度不大，则可以断定该缸不工作或工作状况不良。

一般情况下发动机的气缸数越多，则单缸指示功率占总指示功率的比例越少，加之缸多且工作均匀性良好，所以单缸不工作后转速下降较小。也就是说气缸数越多，用断缸法判断各缸工作性能的难度就越大，仪器测试的误差也就越大。

【项目总结】

1. 汽车发动机的性能指标是评定汽车发动机性能好坏的各种物理量的总称。按指标体系建立的基础不同，发动机的性能指标可分为两大类：指示性能指标和有效性能指标。另外，还有关系到人类生存的环境友好性指标，如排气品质（排出的有害气体、排气微粒）和噪声。这些性能指标分别从不同角度反映汽车发动机的性能。指示性能指标是以工质在气缸内对活塞做功为基础建立起来的指标体系，用来评定发动机循环进行的好坏。指示性能指标主要包括指示功、平均指示压力、指示功率、指示燃油消耗率及指示热效率。以发动机曲轴对外输出的功率为基础的性能指标称为发动机的有效性能指标，用以评定整机的性能。有效性能指标主要包括有效功率、有效转矩、平均有效压力、有效燃油消耗率和有效热效率。

2. 汽车发动机特性是指发动机性能指标随发动机调整情况及运转工况而变化的关系。其中，汽车发动机性能指标随发动机调整情况而变化的关系，称为发动机调整特性；汽车发动机性能指标随发动机运转工况而变化的关系，称为发动机性能特性。发动机的性能指标随发动机转速而变化的关系，称为发动机的速度特性。发动机转速不变，其经济性指标（有效燃油消耗率 b_e、小时耗油量 B）随负荷（有效功率 P_e或有效转矩 T_{tq}或平均有效压力 p_{mi}）而变化的关系，称为发动机的负荷特性。应用多个参数描述的发动机特性称为发动机的万有特性。在万有特性图中，最内层的等有效燃油消耗率曲线是最经济的区域，耗油率最低。曲线越向外，燃油经济性越差，从中便很容易找出最经济的负荷和转速。若等有效燃油消耗率曲线横向较长，表示发动机在负荷变化不大而转速变化较大的情况下油耗较小；若等有效燃油消耗率曲线纵向较长，表示发动机在负荷变化较大而转速变化不大的情况下油耗较小。

3. 发动机功率检测有台架稳态测功和就车动态测功两种基本方法。按照测功原理，汽车发动机无负荷测功分为用测定瞬时角加速度的方法检测瞬时功率和用测定加速时间的方法检测平均功率两类。在汽车使用与维修单位，常用无负荷测功仪进行汽车发动机动力性检测与故障诊断。

【项目训练】

1. 选择题

（1）标志发动机质量利用程度的指标是（　　）

A．升功率　　B．比质量　　C．强化系数　　D．平均有效压力

（2）柴油机速度特性指有效功率、（　　）、有效燃油消耗率随转速变化的规律。

A．有效偶矩　　B．有效转矩　　C．有效弯矩　　D．有效力矩

（3）发动机每小时耗油量大，则（　　）。

A．动力性好　　B．经济差　　C．经济性不一定差　　D．耗油率一定大

（4）柴油机耗油率曲线较汽油机（　　）。

A．平坦　　B．弯曲　　C．无法比较　　D．不正确

（5）下列参数与汽车发动机无负荷测功无关的是（　　）。

A．转速　　B．转动惯量　　C．热状态　　D．怠速

2. 判断题

（1）发动机的指示性能指标只能用来评定发动机工作循环进行的好坏。（　　）

（2）发动机的平均有效压力与气缸的工作容积有关。（　　）

（3）升功率越高，意味着发动机的体积越小。（　　）

（4）汽油发动机的转速越高，功率就越大，转矩也越大。（　　）

（5）节气门全开时的速度特性称为汽油机的外特性。（　　）

（6）若某缸不工作后，发动机依旧以原来的转速旋转，则可以断定该缸不工作。（　　）

3. 填空题

（1）发动机的性能指标包括（　　）和（　　），此外还有运转性能、工作可靠性、结构工艺性等。

（2）对于不同尺寸的发动机，为了比较它们单位气缸工作容积做功能力的大小，常用的一个指示参数是（　　）。

（3）以发动机曲轴输出功率为基础的性能指标称为（　　）。

（4）动力在发动机内部传递过程中损失的功率称为（　　）。

（5）升功率标志着发动机气缸（　　），可反映发动机（　　）。

（6）汽车发动机特性是指发动机性能指标随发动机调整情况及运转工况而变化的关系。其中，汽车发动机性能指标随（　　）而变化的关系，称为发动机调整特性；汽车发动机性能指标随（　　）而变化的关系，称为发动机性能特性。

（7）发动机功率检测有（　　）和就车动态两种基本方法。

（8）按测功原理，汽车发动机无负荷测功分为（　　）和（　　）两类。

4. 简答题

（1）什么是发动机有效性能指标？它包括哪些具体评价指标？

（2）什么是发动机强化系数，其大小反映了发动机哪方面的性能？

（3）什么是发动机的速度特性，画出其特性曲线并加以解释。

（4）什么是发动机的负荷特性，画出其特性曲线并加以解释。

（5）如何绘制发动机的万有特性图，万有特性图的作用是什么？

（6）简述汽车发动机无负荷测功的原理。

5. 讨论题

（1）查询某汽车发动机信息，就该发动机参数进行交流。

（2）汽车发动机在稳态与动态工况下，其性能指标有区别吗？

（3）汽车发动机无负荷测功如何确保检测结果的准确性。