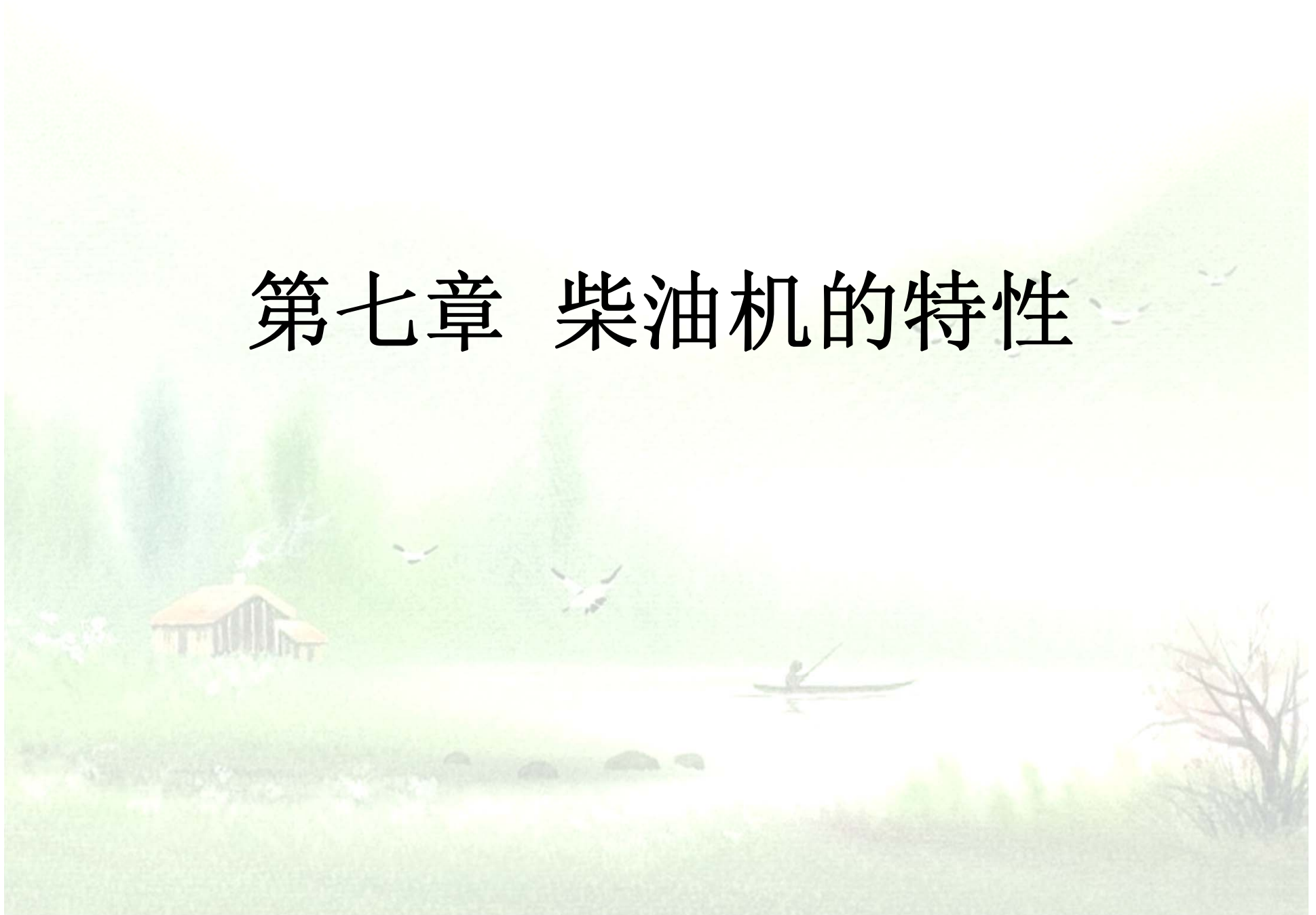


第七章 柴油机的特性



本章主要内容

7.1 概述

7.2 速度特性

7.3 推进特性

7.4 负荷特性

7.5 调速特性

7.1 概述

一、柴油机的工况

❖ 工况的定义

——通常将柴油机实际运行的工作状态（**转速**和**扭矩**）称为柴油机的工况。

❖ 工况的分类

● 稳定工况

—— n 和 M_e 这两个基本参数均有确定值。

● 非稳定工况

——至少有一个基本参数的量值呈变化状态。非稳定工况是前后两个稳定工况之间的过渡工况。

☞ 对某一特定的内燃机而言，它只能在有限的转速和扭矩范围内正常运行。

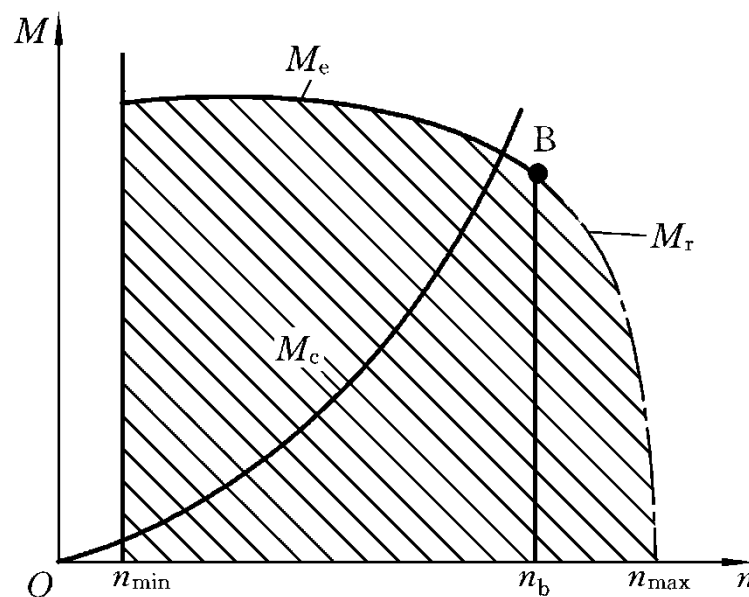
❖ 柴油机的实际运行状况

● 点工况

——当柴油机运行过程中转速和负荷均保持不变时，称为点工况柴油机。

● 线工况

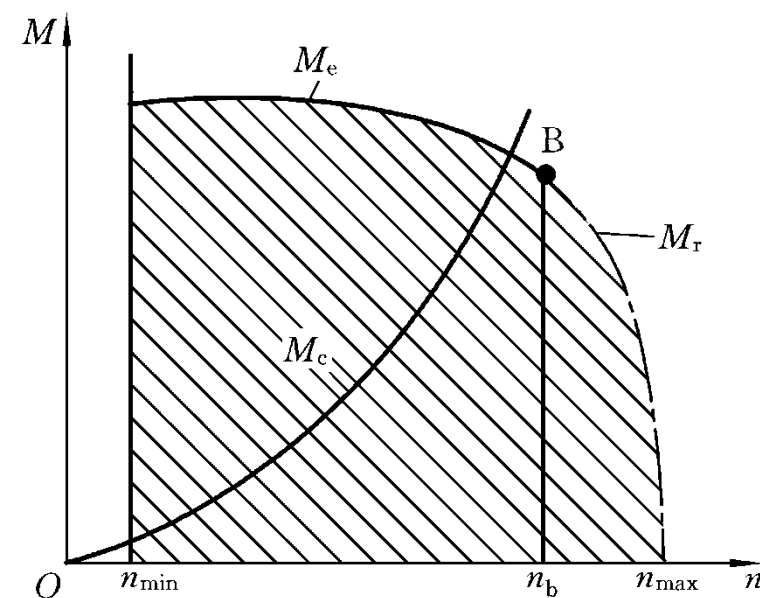
——当柴油机发出的功率和转速之间有一定的函数关系时，属于线工况柴油机。



柴油机的各种运行工况

● 面工况

——当柴油机发出的功率和转速之间没有一定的关系，二者各自独立地在很大范围内变化，柴油机的可能工作范围就是其实际工作范围时，称为面工况柴油机。



柴油机的各种运行工况

二、柴油机特性的分类

❖ 柴油机特性

——柴油机主要性能指标和工作参数随运转工况变化的规律称为柴油机特性。

❖ 柴油机特性曲线

——用来表示柴油机特性的各性能指标和工作参数随工况的变化曲线称为柴油机特性曲线。

❖ 柴油机特性的分类

● 速度特性

——平均有效压力 p_e 不变，柴油机主要性能指标和工作参数随转速 n 变化的关系。

● 负荷特性

——转速 n 固定不变，柴油机主要性能指标和工作参数随负荷（ p_e ）变化的关系。

● 推进特性

——柴油机带动螺旋桨，按照螺旋桨特性工作时（ p_e 、 n 不再相互独立，而是按照螺旋桨特性变化），其性能参数随转速 n （或负荷）变化的关系。

● 调速特性

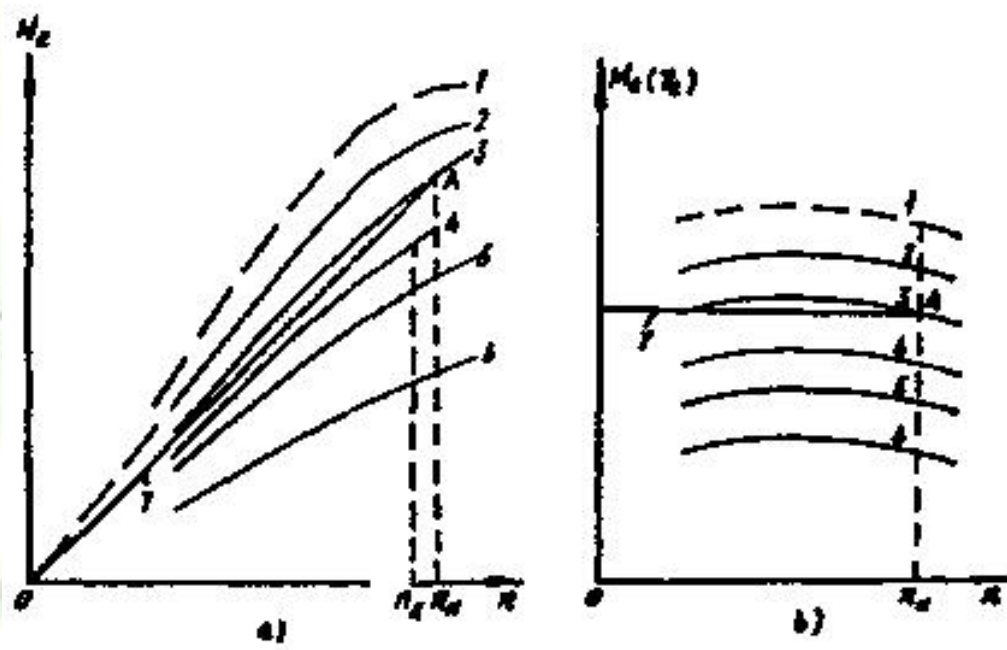
——柴油机调速特性是指柴油机的循环供油量在调速器的控制下发生急剧变化时，其主要性能参数随转速不同而变化的规律。

7.2 速度特性

一、柴油机的各种速度特性

❖ 速度特性的定义

——柴油机在循环供油量保持不变的情况下，其主要性能参数（ M_e 、 N_e 、 η_e 、 g_e 、 T_r 以及烟度、噪声级等）随转速 n 变化的规律被称为柴油机的速度特性。



柴油机速度特性曲线

❖ 速度特性的分类

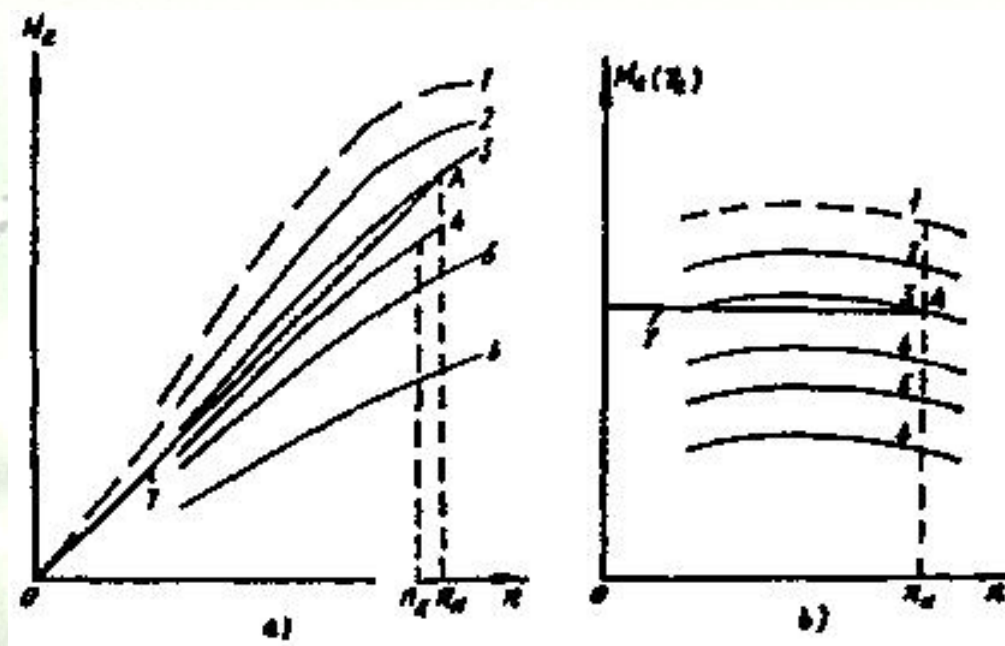
根据喷油泵油量调节机构固定位置的不同，亦即**每循环供油量**的不同，柴油机的速度特性可分为：

- 全负荷速度特性
- 部分负荷速度特性

❖ 全负荷速度特性的定义

——当柴油机的循环供油量被限制在对应于标定工况点的位置时，其主要性能参数随转速不同而变化的规律被称为全负荷速度特性，俗称为外特性。

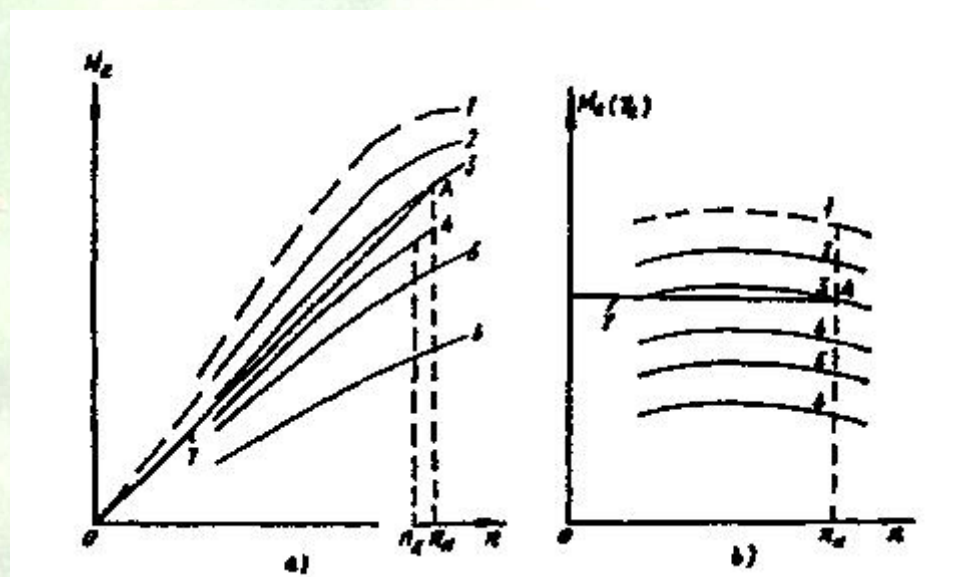
柴油机全负荷速度特性曲线表示在不超过标定功率供油量时，各转速下所能发出的最大功率。



❖ 全负荷速度特性曲线的绘制

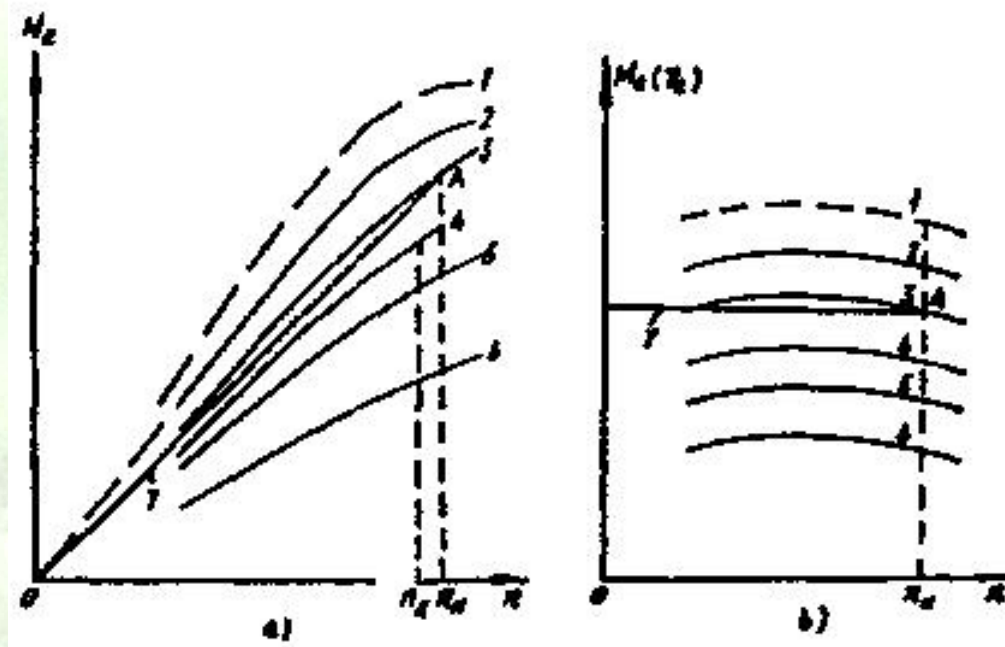
- a. 速度特性试验前，柴油机通过试车、磨合和调整，将配气、供油定时等调整至最佳值，使柴油机具有良好的技术状态。
- b. 试验中，保持稳定运转，冷却水、润滑油的压力、温度要调整在最佳状态。
- c. 测量时，柴油机先开空车， $n \uparrow \rightarrow n_b$ ，通过增加负荷和 m_{fcyc} 使柴油机发出 N_{eb} 。

- d. 将油量调节机构固定，逐渐增加负荷，降低转速，使柴油机在标定转速和最低稳定转速之间若干稳定点上稳定运转，测取对应各转速下的各个参数。
- e. 最后将各性能参数作为纵坐标，转速为横坐标，绘出柴油机的全负荷速度特性曲线。



❖ 部分负荷速度特性的定义

——当柴油机的循环供油量被限制在任一低于标定工况点的位置时，其主要性能参数随转速不同而变化的规律称为部分负荷速度特性。



Q: 柴油机的全负荷速度特性曲线及部分负荷速度特性曲线分别最多可以有多少条？

答：对于任一确定的柴油机来说，

全负荷速度特性曲线只有一条；

部分负荷速度特性曲线可以有无数条。

7.3 推进特性

一、螺旋桨特性

❖ 螺旋桨特性的定义

根据螺旋桨理论，螺旋桨推力 F_p 和扭矩 M_p 的公式为：

$$F_p = K_F \rho n_p^2 D^4$$

$$M_p = K_m \rho n_p^2 D^5$$

❖ 进程比 λ_p 的定义

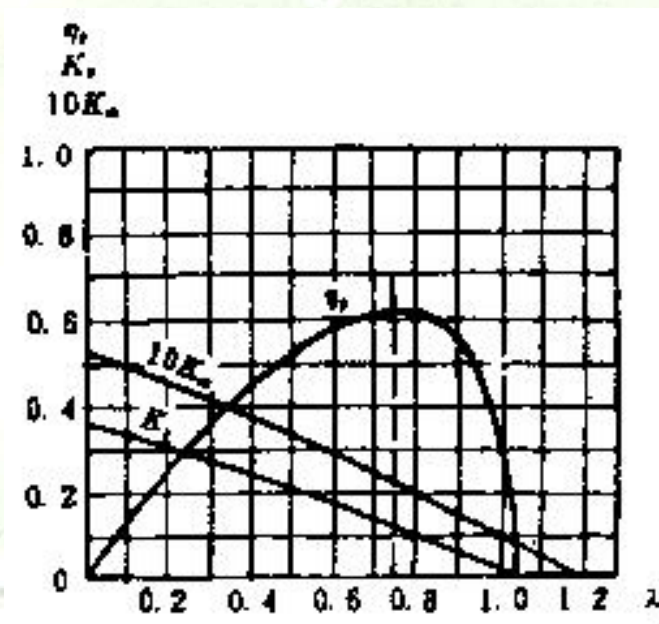
进程比 λ_p 表示螺旋桨每转一转实际产生的位移 v_p/n_p
(即进程 h_p)与直径 D 的比值:

$$\lambda_p = (v_p / n_p) / D = h_p / D$$

进程比 λ_p 的大小直接反映螺旋桨的负荷情况，是螺旋桨水动力性能的一个重要参数。

❖ 推力系数 K_F 和扭矩系数 K_m 的变化规律

- a. $\lambda_p \uparrow \rightarrow K_F \downarrow, K_m \downarrow$, 表示船舶阻力降低;
- b. $\lambda_p \downarrow \rightarrow K_F \uparrow, K_m \uparrow$, 表示船舶的推力和扭矩都增加;
- c. $\lambda_p = 0$ 时, K_F 和 K_m 达到最大, F_p 和 M_p 也就达到了最大值;
- d. $\lambda_p > 1.0$ 后, K_F 和 K_m 先后将为零, 这相当于零推力和零扭矩情况。



螺旋桨作用曲线

❖ 进程比 λ_p 的变化规律

(1) 进程比 λ_p 减小时，表示螺旋桨负荷增加。

a. 船速 v_p 不变，螺旋桨转速 n_p 增大

如紧急起航或紧急加速时，油门快速增大，增压器惯性小，主机转速迅速上升，但由于船的惯性非常大，船速升高的速度小于螺旋桨转速的提高，故导致 λ_p 变小。

b. 螺旋桨转速 n_p 不变，船速 v_p 变小

如船舶紧急转向时，船舶阻力突然增大，船速变慢， λ_p 变小。

(2) 进程比 λ_p 增加时，表示螺旋桨负荷变轻

a. 船速 v_p 不变，螺旋桨转速 n_p 减小

如船舶紧急倒车时，此时主机停车，在螺旋桨阻力矩作用下，主机转速迅速下降，由于船的惯性很大，船速的下降速度远远小于螺旋桨转速的变化慢得多，使 λ_p 增加。

b. 螺旋桨转速 n_p 不变，船速 v_p 增大

如船舶阻力突然变小，在螺旋桨推力作用下，船速加快，使 λ_p 增加。

❖ 螺旋桨推力、扭矩的简化

$$\begin{cases} F_p = K_F \rho n_p^2 D^4 \\ M_p = K_m \rho n_p^2 D^5 \end{cases} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} F_p = C_1 n_p^2 \\ M_p = C_2 n_p^2 \end{cases}$$

- a. 对于一定的螺旋桨，直径**D**是个常数，水的密度**ρ**变化很小，也可视为常数。
- b. 当船舶正常定速航行时，比值**v_p/n_p**基本不变，**λ_p**也是常数，所以，**K_F**，**K_m**均可视为常数。

螺旋桨所需功率的计算公式：

$$N_p = M_p n_p / 9550$$

螺旋桨功率与转速的公式：

$$N_p = C n_p^3$$

螺旋桨功率与转速的三次方成正比。

当螺旋桨与柴油机直接联接时：

$$N_e = N_p = C n_p^3 = C n^3$$

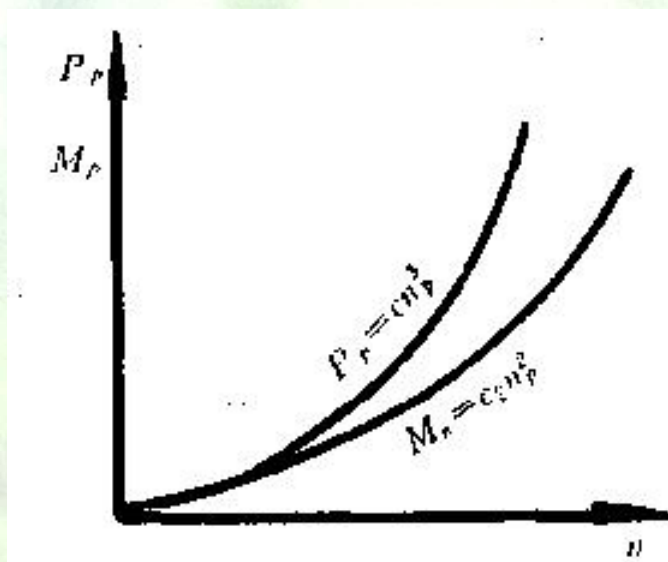
柴油机的功率与转速也是三次方的关系。

❖ 螺旋桨特性曲线

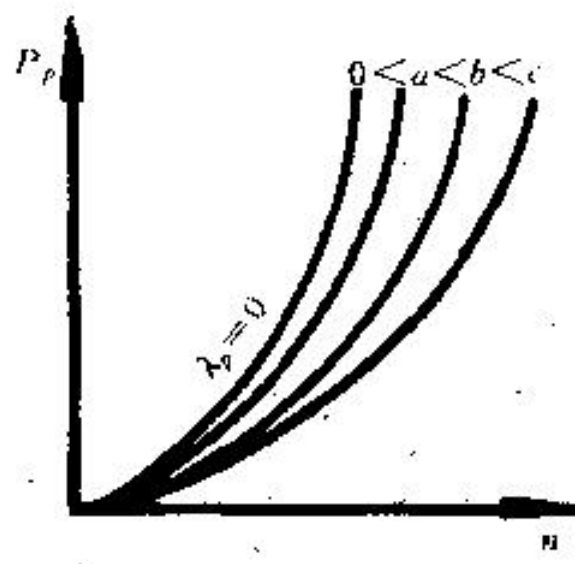
$$N_p = C n_p^3$$

$$M_p = C_2 n_p^2$$

对于变工况情况，当 λ_p 变化时，系数 K_F 和 K_m 也随之变化。不同的 λ_p ，就有不同的螺旋桨特性曲线。



螺旋桨特性曲线

不同 λ_p 时的螺旋桨特性曲线

二、柴油机推进特性

❖ 柴油机推进特性的定义

——当柴油机按螺旋桨特性工作时，各性能指标和工作参数随转速（或负荷）变化的规律，称为柴油机的推进特性。

❖ 柴油机推进特性曲线的绘制：

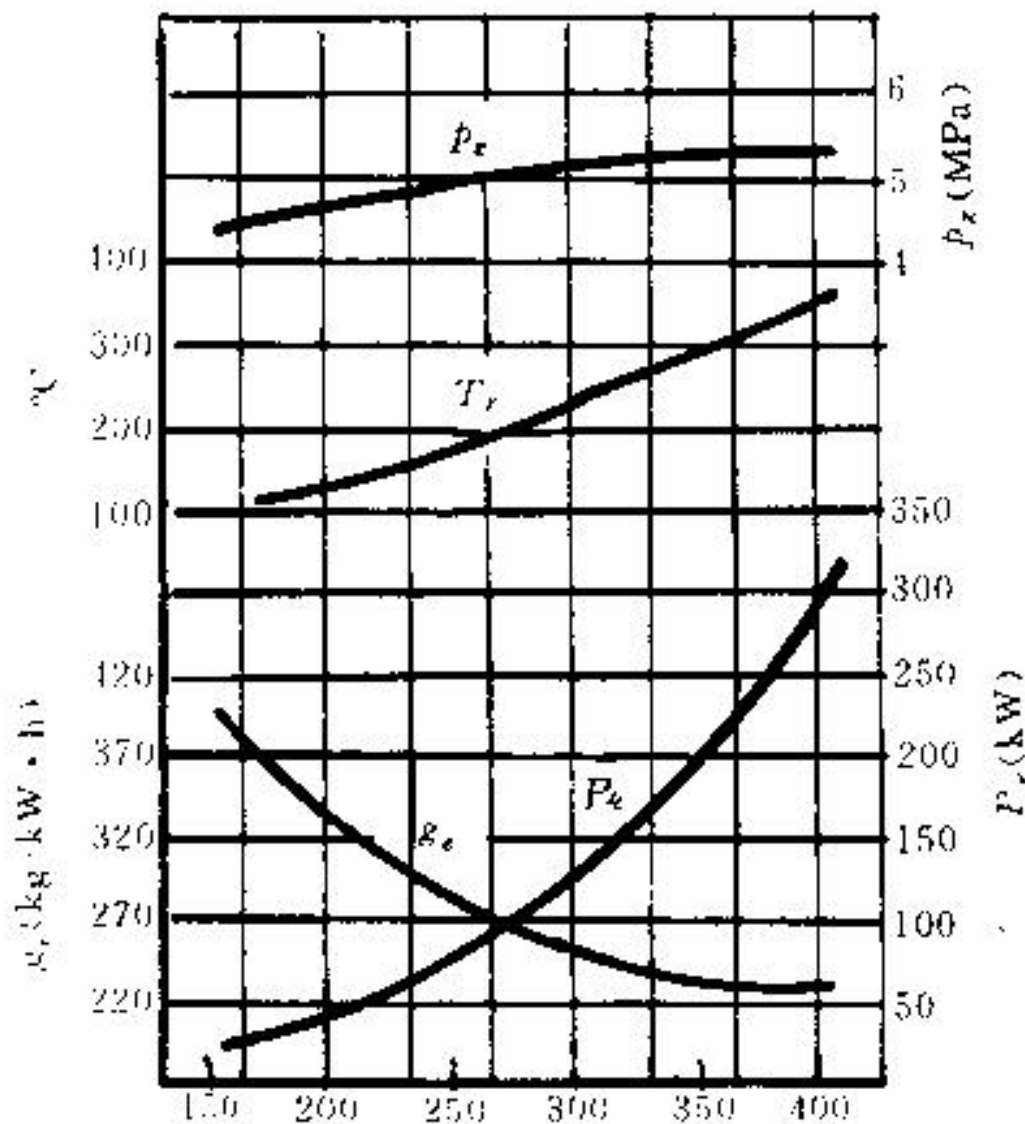
a. 先根据柴油机的标定功率与标定转速计算出各种转速下的功率值。

$$N_{eb} = Cn_b^3$$

$$N_e = N_{eb} \left(n / n_b \right)^3$$

b. 根据这些数据将柴油机调节在推进特性各相应的转速和功率点下运行，测量柴油机的性能参数。

c. 以转速 n 为横坐标，各性能参数为纵坐标绘制曲线，即为柴油机的推进特性曲线。



6300C型柴油机推进特性曲线

7.4 负荷特性

❖ 负荷特性的定义

——柴油机在保持转速不变的情况下，改变负荷时，其主要参数随负荷（ p_e 或 N_e ）变化而变化的规律，称为柴油机负荷特性。

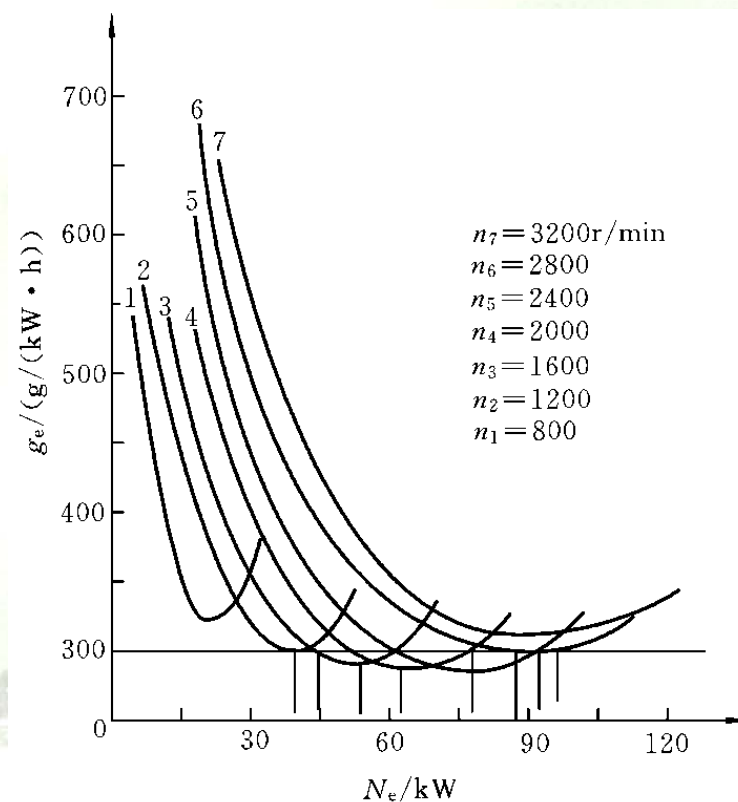
Q: 柴油机负荷特性曲线最多有多少条？

答：对于一台特定的柴油机来说，其负荷特性曲线可以有**无数条**。

❖ 柴油机负荷特性曲线的绘制

a. 试验时，保持柴油机转速不变，通过改变每循环供油量来改变负荷，在各负荷下分别测取柴油机主要性能参数，并绘制成曲线，即为负荷特性曲线。

b. 负荷特性曲线一般用横坐标表示柴油机的功率或平均有效压力，而纵坐标则为各性能参数。



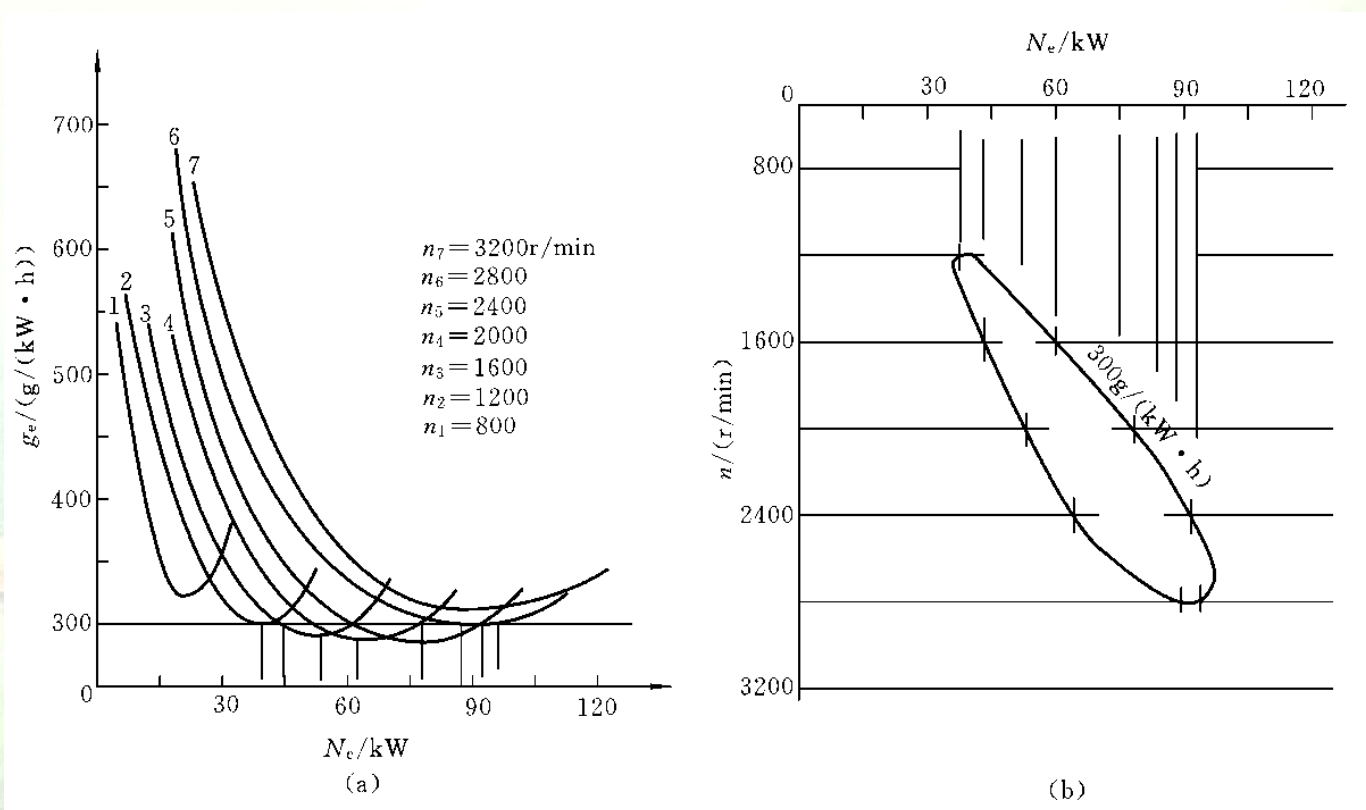
柴油机负荷特性曲线

❖ 柴油机万有特性的定义

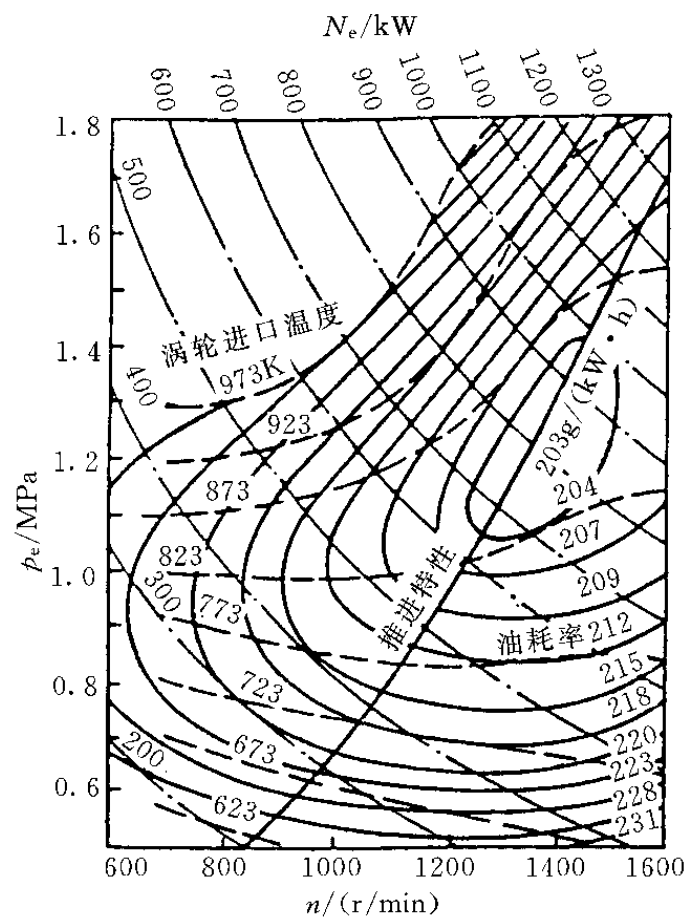
——不同转速下的负荷特性描绘出来的曲线称万有特性。一般横坐标为 n ，纵坐标为 p_e ，图中有等 g_e 、等 t_r 、等 N_e 曲线。

万有特性反映发动机在不同 n 和不同负荷下的特性。

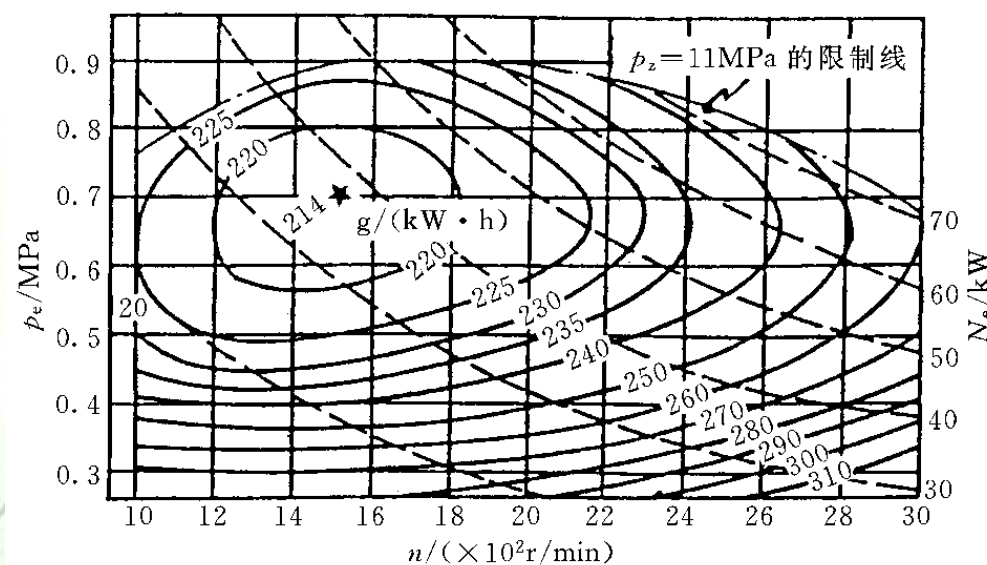
❖ 万有特性曲线的绘制



万有特性曲线的绘制



12V175RTC型船用柴油机万有特性曲线



MWM-DA226-4型柴油机万有特性曲线

7.5 调速特性

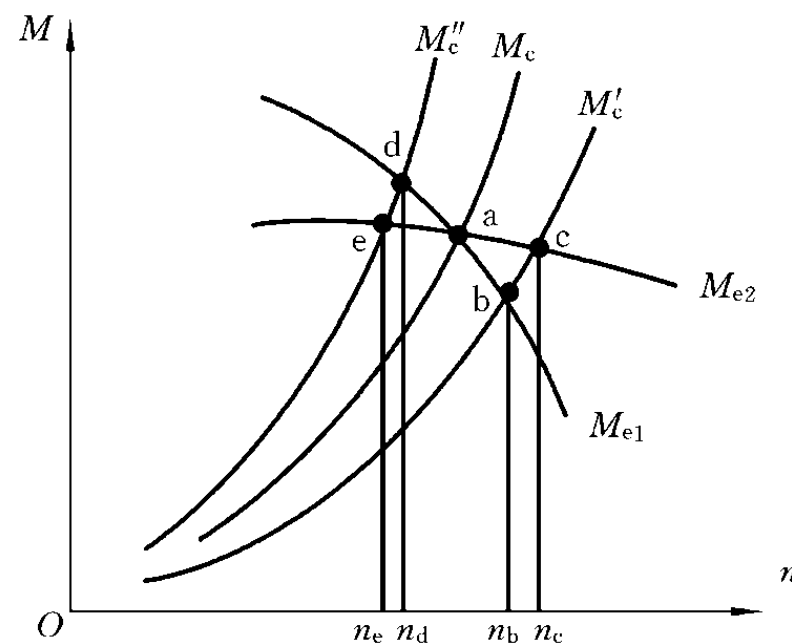
❖ 柴油机调速特性的定义

——柴油机调速特性是指柴油机的循环供油量在调速器的控制下发生急剧变化时，其主要性能参数随转速不同而变化的规律。

柴油机最常用的调速器是**两极式调速器**和**全程式调速器**

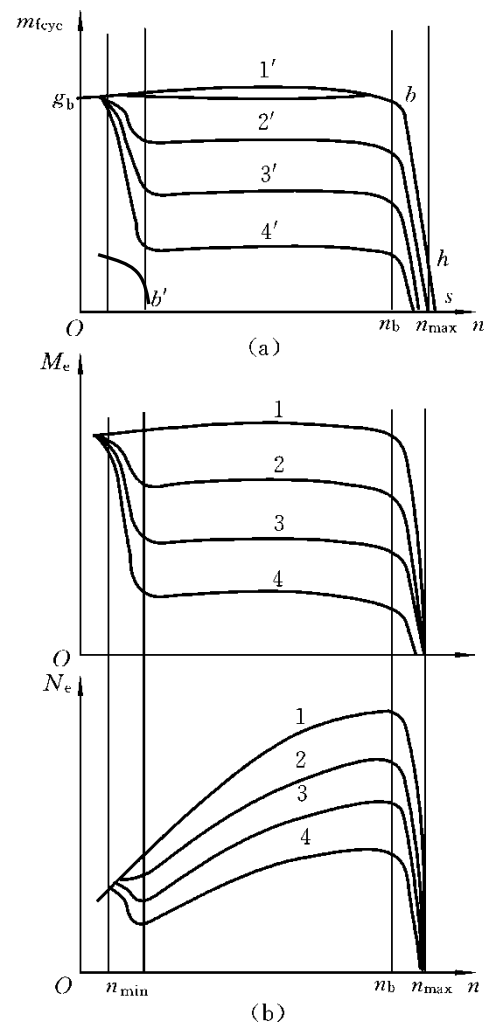
❖ 柴油机工况的稳定性及调节

- 在稳定工况下，内燃机的输出扭矩 M_e 与从动机具的阻力矩 M_c 相平衡。
- 内燃机工况的稳定性取决于内燃机的**扭矩特性**、从动机具的**阻力特性**以及两者之间的**匹配关系**。



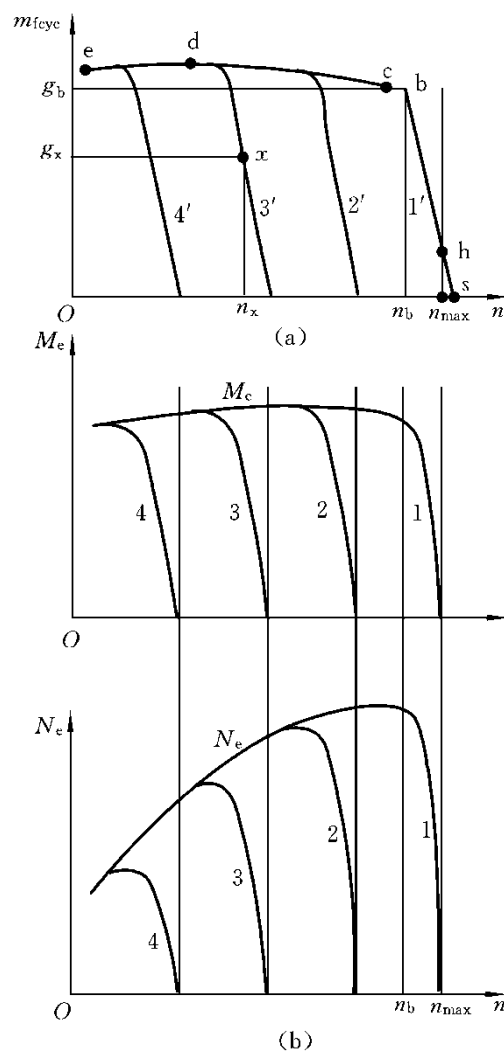
工况稳定性的比较

❖ 柴油机在装备两极式调速器时的调速特性



装备两极式调速器的柴油机速度特性及调速特性

❖ 柴油机在装备全程式调速器时的调速特性



装备全程式调速器的柴油机速度特性及调速特性