

第八章 车用发动机的废气涡轮增压概述

提高发动机单机功率的方法，根据

$$N_e = \frac{p_e V_h i n}{30 \tau} \times 10^{-3} \quad [\text{kw}]$$

- 1 改变发动机结构参数 — 缸数 i ，缸径 D ，冲程 S ，冲程数 τ
- 2 提高转速 n 及活塞平均运行速度 c_m
- 3 提高平均有效压力 p_e

增压 $\rightarrow \gamma_k \uparrow \rightarrow p_e \uparrow \rightarrow N_e \uparrow$

其中 γ_k — 充量密度。

一 增压系统的分类

根据驱动增压器的能源不同，分为三类。

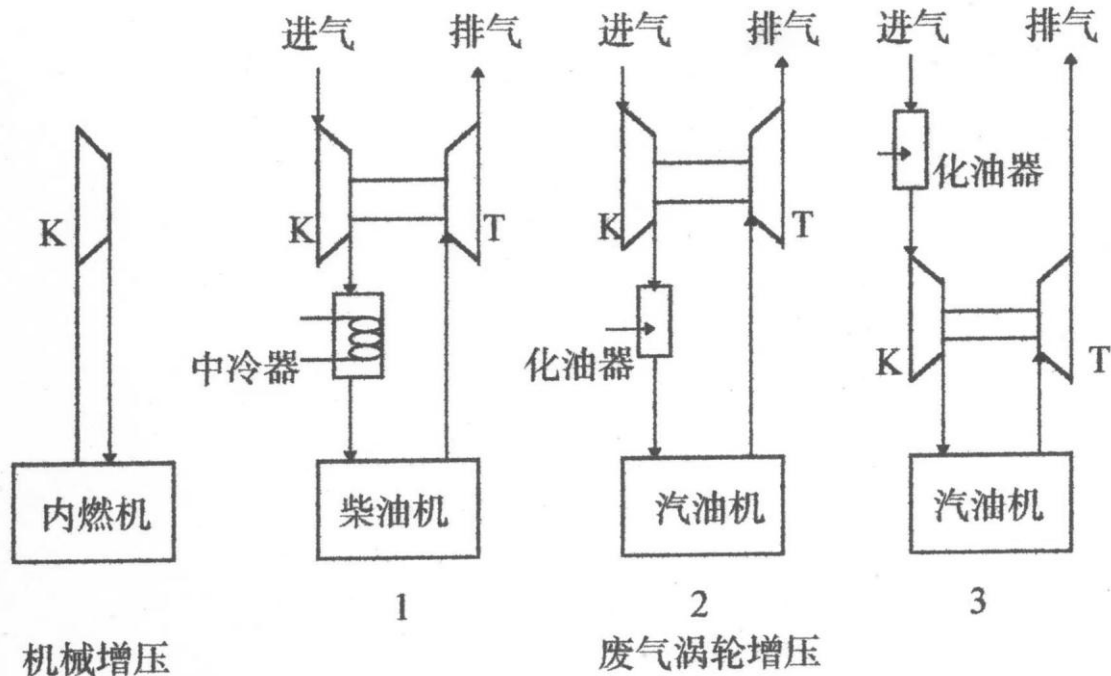
K — 压气机， T — 废气涡轮机。

(一) 机械增压系统

用于小功率发动机。由发动机曲轴直接驱动， $p_k \leq 0.16 \sim 0.17$ [Mpa]。

但 $p_k \uparrow \rightarrow$ 消耗有效功率 \uparrow

若消耗的有效功率 $> 10\% N_i \rightarrow N_e \downarrow \downarrow, g_e \uparrow \uparrow$ 。



(二) 废气涡轮增压系统

- 1 广泛应用于柴油机。最大 $p_{e-k} > 6 p_e, N_e = 35 \sim 3500$ [kw]。

2 缺点：

- (1) 由于增压器在前，则必须应用汽油喷射系统或压力式化油器。
- (2) 通常化油器不能感受由于增压压力变化而引起的空气密度的变化。因此，

不能保证提供具有合适混合比的混合气。

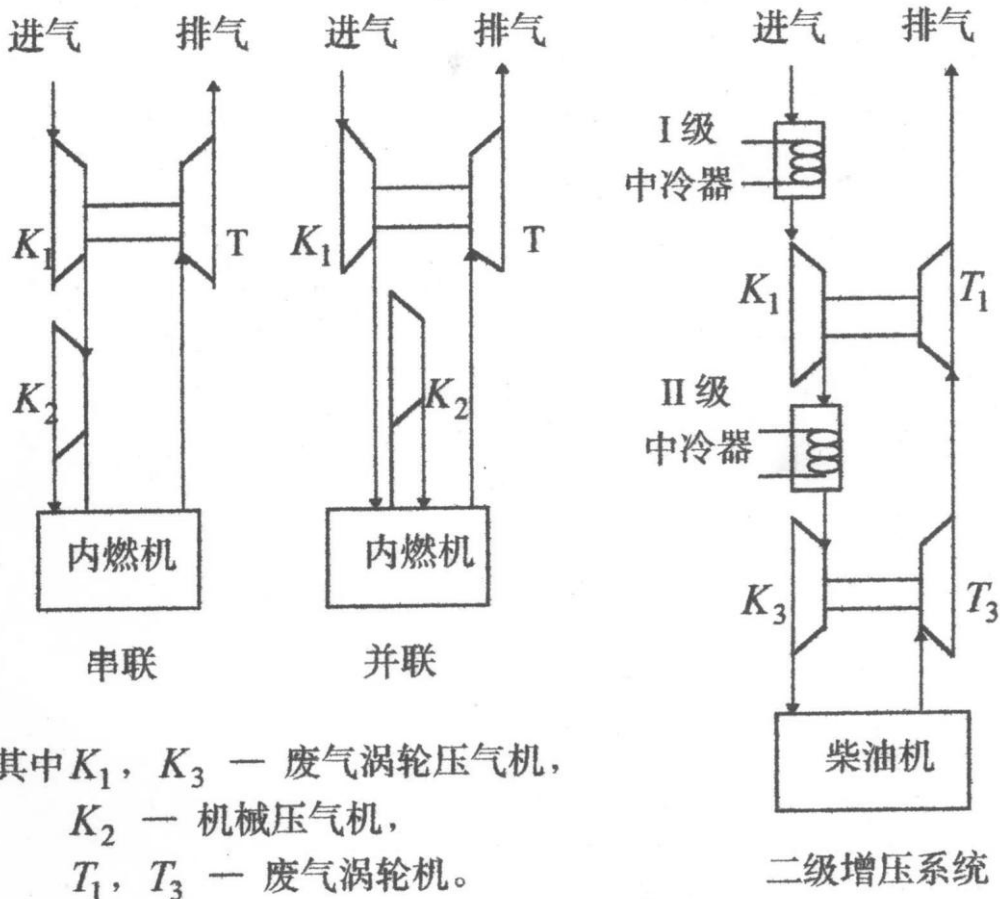
(3) 由于节气门关闭时限制了增压器排气, 容易导致增压器喘振。

3 缺点:

(1) 化油器与发动机之间隔了一个增压器。因此, 化油器对发动机工况变化反应不敏感。

(2) 混合气运行长, 燃料易在增压器中沉积。

(三) 复合增压系统



其中 K_1, K_3 — 废气涡轮压气机,
 K_2 — 机械压气机,
 T_1, T_3 — 废气涡轮机。

复合增压系统 $\rightarrow \gamma_k \uparrow \uparrow \rightarrow p_e \uparrow \uparrow \rightarrow N_e \uparrow \uparrow$ 。

二 特性参数

(一) 增压比 π_k

由公式

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau} \times 10^{-3} \quad [\text{kw}]$$

因为 $V_h = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot s$

$$C_m = \frac{sn}{30} \rightarrow n = \frac{30 C_m}{s}$$

代入上式

$$N_e = \frac{\pi}{4} i D^2 \left(\frac{p_e \cdot C_m}{\tau} \right)$$

而平均有效压力

$$p_e = \frac{h_u}{L_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_m \eta_v \rho_0$$

代入上式, 得未增压时发动机功率的分析式

$$N_e = \frac{\pi}{4} i D^2 \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \frac{h_u}{L_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_m \eta_v \cdot C_m \rho_0$$

增压后, 空气密度由未增压时的大气密度 ρ_0 变为增压后的密度

$$\rho_k = \frac{p_k}{R T_k}$$

代入上式, 得到增压后的发动机功率分析式

$$N_{e-k} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot \frac{i}{R} \right) \cdot \frac{1}{\tau} D^2 \frac{h_u}{L_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_m \eta_v \cdot \frac{p_k}{T_k} C_m$$

$$N_{e-k} \propto \frac{p_k}{T_k}$$

增压空气在增压器中压缩是按多变过程进行的。

增压前 — ρ_0, p_0, T_0, v_0

增压后 — ρ_k, p_k, T_k, v_k

$$\frac{p_k}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v_k} \right)^n$$

$$\frac{\rho_k}{\rho_0} = \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

假定多变指数 $n=2$, 则 $\frac{p_k}{p_0} = 4$ 时, 才 $p_k = 2\rho_0$ 。压力增长很多而密度增

大不多。这主要是因为增压后温度会升高的缘故, 若增压后温度不变, 则 ρ 与 p 成线性关系。

$$\frac{p_k}{T_k \rho_k} = R, \quad \frac{p_0}{T_0 \rho_0} = R。 \quad \text{则} \quad \frac{\rho_k}{\rho_0} = \frac{T_0}{T_k} \cdot \frac{p_k}{p_0}$$

若在整个增压过程中, T_k 下降或保持为某一常数, 则

$$\frac{T_0}{T_k} = \text{const}, \quad \frac{\rho_k}{\rho} = C \frac{p_k}{p_0}。 \quad \text{此时} \quad \frac{\rho_k}{\rho_0} \text{ 与 } \frac{p_k}{p_0} \text{ 成正比。}$$

$$\text{增压比} \quad \pi_k = \frac{p_k}{p_0}$$

$$\text{低增压} \quad \pi_k \leq 1.4$$

$$\text{中增压} \quad \pi_k = 1.4 \sim 2.0$$

$$\text{高增压} \quad \pi_k \geq 2.0$$

通常, 为了不使 T_k 过高, 在增压器与发动机之间设置一个中冷器, 对增压后的空气进行冷却, 称为中间冷却。

在 $\pi_k \geq 2$ 的高增压时, 必须有中冷装置, 否则, T_k 太高, 影响增压效果, 使 $N_e \downarrow$, 并导致零件热负荷过高。但在 $\pi_k \leq 2.0$ 的中、低增加时, 没有必要设置中冷装置。

(二) 增压度 φ

由图中可见, 有中冷比无中冷时的 ρ_k 增加很多。

为了说明发动机在采用增压后使功率提高的程度, 引用增压度的概念

$$\varphi = \frac{N_{e-k} - N_e}{N_e} = \frac{N_{e-k}}{N_e} - 1$$

发动机增压后增长的功率与增压前的功率之比。

现四冲程增压柴油机, 高的增压度已达 $\varphi = 3.0$ 以上。

车用: $\varphi = 10 \sim 60\%$, 普遍 $\varphi = 20 \sim 30\%$ 。

限制增压度提高的主要原因是机械负荷的问题。

$\varphi \uparrow \rightarrow p_{\max} \uparrow \rightarrow$ 零件机械负荷 $\uparrow \rightarrow$ 寿命 \downarrow 。

增压比 $\pi_k \uparrow \rightarrow$ 增压度 $\varphi \uparrow$ 。

