

高等学校教学用书

內燃机工作过程計算

A·C·奥尔林主編

吳大昌、吳兆汉、秦有方譯



中国工业出版社

本书系根据苏联国立机器制造书籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы) 出版的奥尔林 (А. С. Орлин) 主編“內燃机工作过程計算” (Расчет рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания) 1955年版譯出。

书中介紹了增压的和不增压的, 四冲程和二冲程压燃式发动机熱計算的方法。給出了附有原始参数估計的, 煤气发动机和煤气-液体燃料发动机工作循环的計算。进行了渦輪压气机計算。也給出了計算例題。

这本书是供工程技术工作人員用的, 但也可供高等学校內燃机专业学生用。

А. С. Орлин

Расчет рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания

Машгиз

1955

* * *

內燃机工作过程計算

吳大昌 吳兆汉 秦有方譯

吳兆汉 彭兆元校

(根據高等教育出版社紙型重印)

*

第一机械工业部教材審查委员会編輯 (北京复兴門外三里河第一机械工业部)

中国工业出版社出版 (北京德勝門外西10号)

●北京市书刊出版事业許可證出字第110号

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行, 各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印張 $4 \frac{5}{8}$ · 字數 112,000

1957年9月北京第一版

1961年6月北京新一版 · 1962年5月北京第三次印刷

印數 01,791—04,850 · 定价 (10-5) 0.75 元

*

統一书号: K15165 · 249 (一机-23)

所用的主要符号

- p_0 ——周围介质的压力，绝对大气压；
 p_a ——压缩开始时气缸内的压力，绝对大气压；
 p_e ——压缩终了时气缸内的压力，绝对大气压；
 p_z ——燃烧终了时气缸内的压力，绝对大气压；
 p_b ——膨胀终了时气缸内的压力，绝对大气压；
 p_r ——排气压力；在四冲程发动机为排气终了时气缸内的压力，在二冲程发动机为排气系统内的压力，绝对大气压；
 p_k ——增压压力，在增压器内压缩以后的（在发动机以前）换气空气压力；绝对大气压；
 p_H ——换气孔开启的瞬间气缸内的压力，绝对大气压；
 p_u ——换气时气缸内的平均压力，绝对大气压；
 p ——换气时气缸内气体压力的瞬时值，绝对大气压；
 p_i ——平均指示压力，公斤/公分²；
 p_e ——平均有效压力，公斤/公分²；
 T° ——绝对温度；
 t° ——摄氏表温度；
 T_0 ——周围空气的温度；
 T_a ——压缩开始时气缸内的温度；
 T_e ——压缩终了时气缸内的温度；
 T_z ——燃烧终了时气缸内的温度；
 T_b ——膨胀终了时气缸内的温度；
 T_r ——排气的温度；在四冲程发动机为排气终了时气缸内的温度，在二冲程发动机为排气系统内的温度；
 T_k ——在增压器内压缩以后（在发动机以前）的增压和换气空气的温度；
 T_u ——换气时气缸内的平均温度；
 V_h ——活塞所扫过的气缸工作容积，公升；
 V_0 ——压缩开始前气缸的总容积，公升³；
 V_e ——压缩终了时的气缸容积，公升³；
 V_b ——膨胀终了排气机构开启时气缸容积，公升³；
 V ——气缸容积瞬时值，公升³；
 v_0 ——在额定条件下空气的比容，公升³/公斤；
 L_0 ——燃烧1公斤燃料理论必需空气量，公斤分子；
 L'_0 ——燃烧1公斤燃料理论必需空气量，公斤；
 L''_0 ——燃烧1公斤燃料理论必需空气量，公升³（在温度16°C及压力760公厘水银柱时）；
 M_1 ——可燃混合物的量，公斤分子；
 M_2 ——燃烧产物的量，公斤分子；
 μ_0 ——理论分子变化系数；

μ ——实际的分子变化系数;
 Q_H ——液体燃料的低热值, 千卡/公斤;
 H_H ——气体燃料的低热值, 千卡/标准公尺³;
 α ——过量空气系数;
 ε ——实际压缩比;
 ε' ——名义(几何)压缩比;
 n_1 ——发动机内的压缩多变指数;
 n_2 ——发动机内的膨胀多变指数;
 n_H ——增压器内的压缩多变指数;
 η_v ——发动机气缸的充填系数;
 η_{vH} ——增压器供给系数;
 γ ——剩气系数(余气系数);
 λ ——压力升高比;
 ρ ——初膨胀比;
 δ ——后膨胀比;
 ξ ——燃烧线上的热量利用系数;
 ψ ——换气和排气孔开启所损失的活塞冲程部分比;
 φ ——过量换气空气系数;
 φ_0 ——换气系数;
 φ_n ——示功图丰满系数;
 η_m ——机械效率;
 η_i ——发动机指示效率;
 η_e ——发动机有效效率;

η_{ad} ——增压器绝热效率;
 N_i ——发动机指示功率, 马力;
 N_e ——发动机有效功率, 马力;
 N_H ——增压器所需功率, 马力;
 n ——发动机曲轴每分钟的转数;
 g_i ——指示耗油量, 公斤/指示马力-小时;
 g_e ——有效耗油量, 公斤/有效马力-小时;
 G_r ——发动机耗油量, 公斤/小时;
 D ——发动机气缸直径, 公厘;
 S ——活塞总冲程, 公厘;
 i ——发动机气缸数;
 σ_m ——活塞平均速度, 公尺/秒;
 G_a ——发动机的空气耗量, 公斤/秒;
 L_{ad} ——增压器内空气压缩的绝热功, 公斤-公尺;
 σ_p ——空气等压热容量(比热)千卡/公斤分子度;
 σ_0 ——空气的等容热容量, 千卡/分子度;
 σ_p' ——燃烧产物的等压热容量, 千卡/公斤分子度;
 σ_0' ——燃烧产物的等容热容量, 千卡/公斤分子度。

第一章 用液体燃料工作的 压燃式发动机的作过程

內燃机工作循环热計算的任务是: 决定循环的指标, 这些指标是代表工作过程有效性和經濟性的; 也决定气缸內的最大压力和随活塞冲程而变的压力, 这些压力是計算发动机零件强度, 刚性和耐磨性所必需的。根据热計算, 可以在实用上足够准确地繪出示功圖, 計算平均指示压力, 并根据給定的功率决定新設計发动机气缸的数目和尺寸。

工作过程热計算是在相应于发动机全部功率的工作情况下进行的, 此时燃料供应和燃烧条件都最有利。在发动机的其他工作情况下(部分負荷或过载), 过量空气系数, 初膨胀比, 压力升高比, 及一系列其他参数便将变更, 在进行这些情况下工作循环的計算时就必須考虑这些变更。

实验研究指出, 发动机工作时, 由于气体动力学条件, 燃料喷射时压力的波动、火焰傳播速度及許多其他因素均不相同, 結果各工作循环的进行并不一致; 前后循环之間有某些差别。相鄰工作循环平均指示压力和燃烧压力的变动范围可达 10%。

因此計算时采用发动机稳定工作时所得許多循环的平均数据。

本章叙述压燃式四冲程和二冲程內燃机不增压及用增压工作时热計算的进行程序。

同时也給出进行計算所必需的原始参数数值的估計法, 也給出額定工作情况下不同类型发动机的这些参数的变化范围。

最通用的計算方法, 是根据选择压力升高比 λ 和燃烧終結压

力 p_s 的数值来计算燃烧终结参数, 如第三、四章所述。在某些情形, 计算时选择初膨胀比 ρ , 如第一章所述即是。

§ 1. 原始参数的选择和计算

当选择计算的原始参数——压缩比 ϵ , 过量空气系数 α , 压缩开始压力和温度 p_s, T_s , 剩气压力 p_r 时, 必须考虑到气缸尺寸、转速、冲程数、混气形成方法和增压比(如用增压器时)。

实际压缩比 $\epsilon = \frac{V_s}{V_r}$ (见图 1) 是压缩开始容积对压缩终结容积

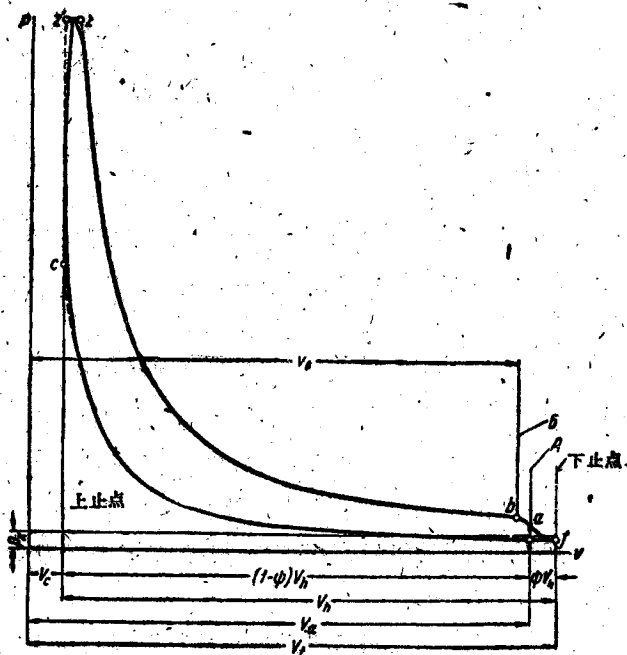


图 1. 直流换气的二冲程发动机示功图
(或没有排气冲程的四冲程发动机示功图):

A—压缩开始, 在二冲程发动机是换气 and 排气孔或阀关闭的瞬间(在四冲程发动机是进气阀关闭的瞬间); B—排气开始, 在二冲程发动机是排气孔或阀开启的起始(在四冲程发动机是排气阀开启的起始)。

之比。在四冲程发动机， V_a 是进气阀关闭后的气缸容积；在二冲程发动机， V_a 是换气孔和排气孔（或阀）关闭以后的气缸容积。

几何压缩比 $\varepsilon' = \frac{V_f}{V_c}$ ，式中 V_f 是活塞在下止点时气缸的全部容积。

压燃式发动机压缩比的最小值是这样选定的，即压缩終了时气缸内气体的温度 T_c 至少超过燃料的自然温度 200° 。

压缩比超过 18—20 不合适的，因为这将引起压缩終了时的压力以及相应地燃烧最大压力都显著升高，从而使得机械效率下降，并必要加强发动机的结构特别是连杆-曲柄机构各零件的构造。

对于不同类型的发动机：

低速发动机： $\varepsilon = 13—15$ ；

高速发动机（其中包括船用和汽车拖拉机用）： $\varepsilon = 15—20$ ；

带增压的发动机： $\varepsilon = 12—14$ 。

活塞平均速度 $C_m < 6.5$ 公尺/秒的发动机称为低速的， $C_m > 6.5$ 公尺/秒称为高速的（ГОСТ 4393-48）。

过量空气系数 α 压燃式发动机在额定负荷时， α 取在下列范围内：

低速发动机（固定的和船用的）： $\alpha = 1.6—2.0$ ；

高速发动机（船用的和汽车拖拉机的）： $\alpha = 1.2—1.7$ ；

带增压的发动机： $\alpha = 1.8—2.2$ 。

周围介质的压力和温度 当订购者未作特别规定时，取： $p_0 = 760$ 公厘水银柱； $T_0 = 288^\circ$ 绝对温度。

压缩开始时的压力 p_a 。一四冲程发动机在进气阀关闭以后，二冲程发动机在换气-增压机构关闭以后气缸内气体压力为：

四冲程低速发动机： $p_a = (0.90—0.95)p_0$ ；

四冲程高速发动机： $p_a = (0.80—0.90)p_0$ ；

四冲程增压发动机： $p_a = (0.85—1.1)p_0$ ；

二冲程發動机: $p_a = (0.90—1.05)p_k$

当用增压工作时, p_a 接近于 p_k 。

当增压压力高时 ($p_k > 2$ 绝对大气压), 可取 $p_a \approx p_k$ 。

倘使采用惯性增压, 或二冲程發動机在配气机构关闭前气缸容积有很大变化时, 在这些情况下可能 $p_a > p_k$ 。 p_a 的数值不仅与增压空气的压力 p_k 有关, 而且在某种程度上与配气相位、进气系统的尺寸和构造也有关系。

剩气压力 p_r 的值为:

低速四冲程發動机: $p_r = (1.03—1.10)p_0$;

高速四冲程發動机: $p_r = (1.05—1.15)p_0$;

二冲程發動机: $p_r = (0.8—0.9)p_k$;

四冲程和二冲程当用增压及废气涡轮时: $p_r = (0.75—0.90)p_k$ 。

换气-增压空气温度 T_k 指在增压器后發動机前的空气温度。倘使在增压器之后有空气中間冷却器, 则 T_k 指冷却器后空气温度。

增压器后空气温度为:

$$T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_n - 1}{n_n}} \quad (1)$$

增压器内空气压缩多变指数 n_n 的数值, 与增压器的型式及冷却程度有关:

活塞式增压器: $n_n = 1.4—1.6$;

容积式(转子式)增压器: $n_n = 1.55—1.75$;

外壳不冷却的离心式增压器: $n_n = 1.8—1.9$ 甚至更大一些, 到 2;

外壳冷却的离心式增压器: $n_n = 1.4—1.8$ 。

在高增压的發動机——复合式發動机——内, 涡轮-压气机的

外壳通常是加以冷却的,并且从涡轮-压气机通往发动机的输气管有冷却用的水套。此外,在复合式发动机采用专门的散热器来冷却增压器后的空气,否则增压高时发动机热状态过分强烈,因而很短工作时间之内发动机的活塞、活塞环和气阀就发生故障。

圖 2 示当初温 $t_0 = 5, 10, 15$ 和 25° 时,絕热压缩 ($k=1.4$) 的 t_k 变化曲线。

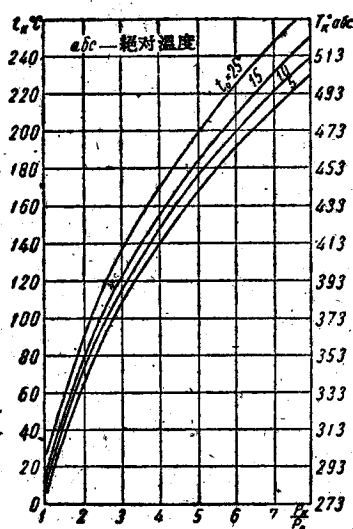


圖 2. 增压器后空气温度与 p_k/p_0 的关系。

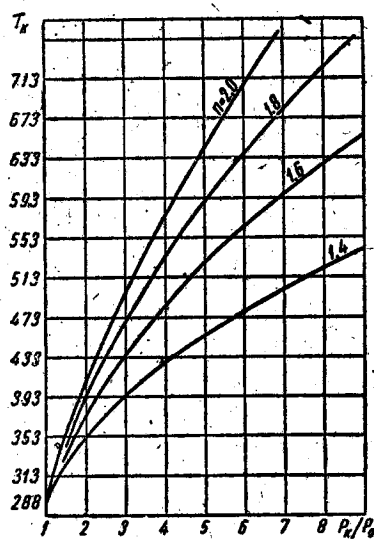


圖 3. 压缩时空气温度与 p_k/p_0 的关系。

圖 3 示当 $n_k = 1.4; 1.6; 1.8; 2.0$; 及初温 $t_0 = 15^\circ\text{C}$ 时 $T_k = f\left(\frac{p_k}{p_0}\right)$ 的数值。

在进入发动机之前一公斤空气的比容为:

$$v_k = \frac{RT_k}{p_k} \text{ 公尺}^3/\text{公斤}。$$

或者,已知空气的气体常数 $R = 29.27$, 则

$$v_k = \frac{29.27}{10^4} \times \frac{T_k}{p_k} \text{ 公尺}^3/\text{公斤}.$$

在进入发动机之前 1 公尺³的空气重量为:

$$\gamma_k = \frac{1}{v_k} \text{ 公斤/公尺}^3.$$

表 1 给出当 $p_0 = 1$ 绝对大气压, $t_0 = 15^\circ\text{C}$ 及 $n_n = 1.4$ 时, v_k 和 γ_k 数值与 $\frac{p_k}{p_0}$ 的关系。

表 1. 当 $P_0 = 1$ 绝对大气压, $t_0 = 15^\circ\text{C}$, 及 $n_n = 1.4$ 时

$\left(\frac{p_k}{p_0}\right)^{\frac{n_n-1}{n_n}}$, v_k 及 γ_k 数值与 $\left(\frac{p_k}{p_0}\right)$ 的关系

$\frac{p_k}{p_0}$	$\left(\frac{p_k}{p_0}\right)^{\frac{n_n-1}{n_n}}$	$\gamma_k \frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^3}$	$v_k \frac{\text{公尺}^3}{\text{公斤}}$	p_k	$\left(\frac{p_k}{p_0}\right)^{\frac{n_n-1}{n_n}}$	$\gamma_k \frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^3}$	$v_k \frac{\text{公尺}^3}{\text{公斤}}$
1	1	1.19	0.840	4.5	1.536	3.48	0.287
1.3	1.078	1.43	0.698	5.0	1.584	3.76	0.266
1.5	1.123	1.58	0.632	5.5	1.624	4.03	0.248
2.0	1.219	1.95	0.514	6.0	1.668	4.29	0.233
2.5	1.299	2.28	0.438	6.5	1.707	4.50	0.222
3.0	1.369	2.60	0.384	7.0	1.743	4.74	0.211
3.5	1.430	2.91	0.344	7.5	1.778	4.97	0.201
4.0	1.486	3.20	0.313	8.0	1.810	5.24	0.191

图 4 示在同样的周围介质条件下, 当 $n_n = 1.4; 1.6; 1.8$, 和 2.0 时, $\gamma_k = f\left(\frac{p_k}{p_0}\right)$ 的数值。

发动机换气和充气的空气耗量 用换气空气过量系数和换气系数来估计二冲程发动机中换气空气的耗量。

换气空气过量系数为:

$$\varphi = \frac{V_n}{V_h} \quad (2)$$

式中 V_n ——每循环经换气机构供入的空气容积 (换算成压力 p_k 和

温度 T_k 下的容积), 公尺³/循环。

换气系数为:

$$\varphi_o = \frac{V_n}{V_o} = \frac{G_n}{G_o}; \quad (3)$$

此处 G_n ——每循环经过换气机构而供入的空气重量, 公斤/循环;

$G_n = \gamma_k V_n$ 公斤/循环;

V_o ——在换气和排气机构关闭以后, 留在气缸内的空气容积 (换算成压力 p_k 和温度 T_k 下的容积), 公尺³/循环;

G_o ——在换气和排气机构关闭以后, 留在气缸内的空气重量, 公斤/循环;

$$G_o = \gamma_k V_o \text{ 公斤/循环,}$$

此处 γ_k ——增压器后发动机前贮气器中 1 公尺³空气的重量。

因为

$$\eta_v = \frac{V_o}{V_k},$$

故

$$\varphi_o = \frac{V_n}{V_k} \cdot \frac{V_k}{V_o} = \frac{\varphi}{\eta_v}. \quad (4)$$

总过量空气系数 α_{cym} 是换气机构供入的空气重量与燃料燃烧理论必需空气重量之比:

$$\alpha_{cym} = \frac{G_n}{G_o} = \alpha \varphi_o. \quad (5)$$

为发动机换气和增压所必需的增压器气量为:

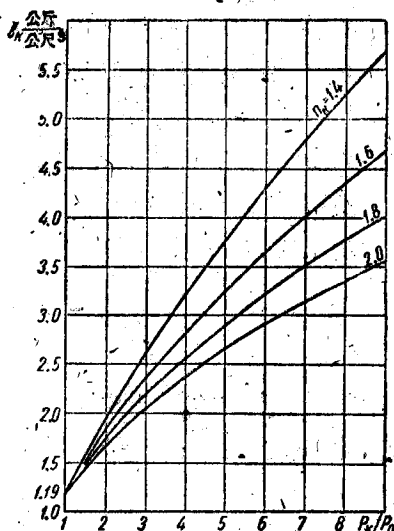


圖 4. 1 公尺³的空气重量与 p_k/p_o 的关系。

$$G_g = G_T \alpha \varphi_o L'_0 \text{ 公斤/小时。} \quad (6)$$

对于现有的发动机, φ 和 φ_o 的数值为:

具有单独换气泵的二冲程发动机: $\varphi = 1.20 - 1.5$; $\varphi_o = 1.25 - 1.9$;

以曲轴箱换气的二冲程发动机: $\varphi = 0.4 - 0.7$; $\varphi_o = 1.1 - 1.2$;

不增压的四冲程发动机: $\varphi_o = 1$;

增压的四冲程发动机: $\varphi_o = 1.05 - 1.2$ 。

§ 2. 发动机工作循环的计算

燃料, 空气和燃烧产物 对于石油燃料, 可以足够准确地假定其重量组成比如下: $C = 0.86$; $H = 0.13$; $O = 0.01$ 。燃料的热值(低热值)为:

$$Q_u = 8100C + 24600H - 2600(O - S) - 600W \text{ 千卡/公斤,} \quad (7)$$

式中 O , S 和 W ——燃料内氧, 硫和水分的重量比。

在计算中可以足够准确地取 $Q_u = 10000$ 千卡/公斤。

燃烧 1 公斤燃料理论必需空气量的公斤分子数为,

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \left[\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right] = 0.495 \text{ 公斤分子/公斤;} \quad (7a)$$

其重量则为:

$$L'_0 = 28.96 L_0 = 14.3 \text{ 公斤/公斤,}$$

式中 28.96——空气的分子量;

其容积为(当 15°C 和 760 公厘水银柱时):

$$L''_0 = 11.7 \text{ 公尺}^3/\text{公斤。}$$

在表 2 内给出 αL_0 及 $\alpha L'_0$ 数值与 α 的关系。

1 公斤燃料燃烧产物的公斤分子数为:

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12} \text{ 公斤分子/公斤;}$$

表 2. L, L', M, M', μ_0 及 μ 的数值与 α 的关系

α	$L = \alpha L_0$ (公斤分子/公斤)	$L' = \alpha L'_0$ (公斤/公斤)	燃 烧 产 物						μ_0	μ (当 $\gamma = 0.06$ 时)
			M_{CO_2} (公斤分子/公斤)	M_{H_2O} (公斤分子/公斤)	M_{O_2} (公斤分子/公斤)	M_{N_2} (公斤分子/公斤)	M (公斤分子/公斤)	M' (公斤/公斤)		
1	0.495	14.82	0.0717	0.0650	0.000	0.391	0.528	15.32	1.066	1.062
1.4	0.693	20.05			0.042	0.547	0.725	21.05	1.045	1.042
1.8	0.891	25.78			0.083	0.704	0.924	26.78	1.037	1.033
2.2	1.089	31.50			0.125	0.861	1.122	32.50	1.030	1.029
2.6	1.287	37.25			0.166	1.016	1.319	38.25	1.024	1.023
3.0	1.485	42.96			0.208	1.173	1.518	43.96	1.022	1.021
3.5	1.732	50.15			0.280	1.368	1.765	51.15	1.019	1.018
4.0	1.980	57.3			0.312	1.564	2.013	58.30	1.017	1.016
5.0	2.475	71.6	0.0717	0.0650	0.416	1.955	2.508	72.60	1.013	1.012
6.0	2.970	86.0			0.520	2.345	3.002	87.00	1.006	1.005

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} \text{ 公斤分子/公斤;}$$

$$M_{O_2} = 0.21(\alpha - 1)L_0 \text{ 公斤分子/公斤;}$$

$$M_{N_2} = 0.79 \alpha L_0 \text{ 公斤分子/公斤;}$$

$$M = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} =$$

$$= \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + (\alpha - 0.21)L_0 \text{ 公斤分子/公斤.} \quad (8)$$

燃烧时公斤分子数增量为:

$$\Delta M = M - \alpha L_0 = \frac{H}{4} + \frac{O}{32} \text{ 公斤分子/公斤.} \quad (9)$$

1 公斤燃料燃烧产物的重量为:

$$M'_2 = \alpha L'_0 + 1 \text{ 公斤/公斤.} \quad (10)$$

理論的分子变化系数为:

$$\mu_0 = \frac{M}{\alpha L_0} = 1 + \frac{\Delta M}{\alpha L_0} \quad (11)$$

四冲程发动机的剩气系数 γ 为:

$$\gamma = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \times \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r} \quad (12)$$

式中 ΔT ——新鲜充量自缸壁所得的预热。

对于增压的发动机:

$$\gamma = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \times \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r} \quad (13)$$

ΔT 和 T_r 的数值为:

不增压的四冲程发动机:

$$\Delta T = 10-20^\circ; T_r = 700-800^\circ \text{ 绝对温度};$$

增压的四冲程发动机:

$$\Delta T = 0-10^\circ; T_r = 800-1000^\circ \text{ 绝对温度};$$

二冲程发动机:

$$\Delta T = 5-15^\circ; T_r = 700-1000^\circ \text{ 绝对温度}.$$

全负荷时的剩气系数为:

四冲程发动机: $\gamma = 0.03-0.06$;

直流式换气由气阀排气的二冲程发动机: $\gamma = 0.08-0.15$;

直流式换气由气孔排气的二冲程发动机: $\gamma = 0.03-0.07$;

迴流式换气的二冲程发动机: $\gamma = 0.15-0.30$;

曲轴箱换气的二冲程发动机: $\gamma = 0.30-0.40$ 。

实际的分子变化系数为:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma}{1 + \gamma} \quad (14)$$

在表 2 中给出 M' , μ_0 及 μ 数值与过量空气系数 α 的关系。

压缩开始时充量温度 四冲程发动机在进气阀关闭以后和二冲程发动机在换气或排气机构关闭以后, 发动机气缸内充量的温

度,称为压缩开始充量温度 T_a :

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma T_0}{1 + \gamma} \text{ 绝对温度。} \quad (15)$$

当不增压时, $T_k = T_0$ 。

当用增压工作时,如实验所指出,通常在发动机的一切工作情况下,压缩开始充量温度 T_a 接近于发动机前换气-增压空气温度 T_k 。这一方面由于剩气系数 γ 的数值小;另一方面,因换气-增压空气温度较高,故充气过程中空气由气缸壁及活塞底接触受热也并不多。此外,空气由气缸壁及活塞底接触受热,部分地被增压空气经换气孔时膨胀而温度降低所抵消。

充填系数

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{p_a}{p_k} \times \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma)} \quad (16)$$

当发动机不增压时, $p_k = p_0$ 和 $T_k = T_0$ 。

无论是四冲程,或是二冲程发动机,公式(16)都对。在二冲程发动机,按照这个公式所得到的充填系数,指对冲程的有效部分而言,压缩比 ε 也指这冲程有效部分而言。

指活塞总冲程而言的充填系数为:

$$\eta'_v = \eta_v(1 - \psi), \quad (17)$$

式中

$$\psi = \frac{V_f - V_a}{V_h} \quad (18)$$

图1中已指出容积 V_f , V_a 和 V_h 。

压燃式发动机 η_v 的数值为:

低速四冲程发动机: $\eta_v = 0.80 - 0.90$;

高速四冲程发动机: $\eta_v = 0.75 - 0.85$;

二冲程发动机(指活塞总冲程而言的): $\eta'_v = 0.70 - 0.85$ 。

压缩过程 在不增压的四冲程发动机,空气以与周围介质相等的温度进入吸气管。二冲程发动机在进气缸前压缩到 $p_k = 1.2 -$

1.5 绝对大气压时，换气空气的温度在 $t_k = 30—80^{\circ}\text{C}$ 范围内变动。所以在压缩前期，新鲜充量温度低于周围工作机件（气缸、活塞底、气缸头、阀盘）表面温度。

随着压缩时压力的升高，充量温度也升高，而从某一时刻起变得高于气缸表面温度。

因此，压缩过程是在压缩多变指数 n_1 变化的情况下进行的。

压缩过程内新鲜充量与气缸壁间总换热量不大。所以可以在某种近似程度上认为，压缩过程是按某定值平均绝热指数 k_1 的绝热曲线进行的，并可取 $n_1 = k_1$ 。

图 5 示压燃式发动机当 $\varepsilon = 12, 14, 16$ 和 18 时， k_1 数值与 T_a 的关系曲线。

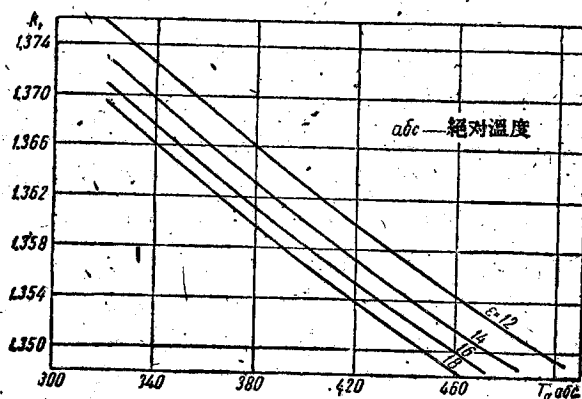


图 5. 在不同 ε 时压缩绝热指数与 T_a 的关系。

当绝热压缩时， T_c 与 T_a 之间的关系由下式表示：

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} \quad (19)$$

压缩终结气缸内压力为：

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} \quad (20)$$

图 6 和 7 示不同 ε 数值时， p_c 及 t_c 与增压压力 p_k 的关系曲线。

發动机前換氣-增压空气溫度与 p_k 的关系, 在計算时可采用

圖 2 $t_0 = 15^\circ\text{C}$ 的曲綫。

燃燒过程 以位能形式包含在燃料內的热能, 当燃料在發动机內燃燒时分配如下:

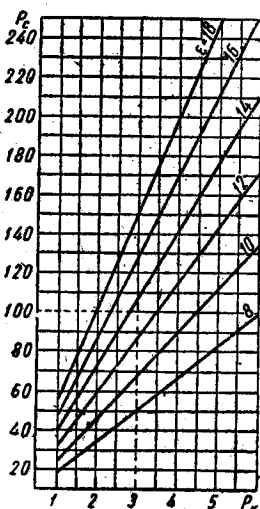


圖 6. 在不同 ϵ 时 p_0 与 p_k 的关系。

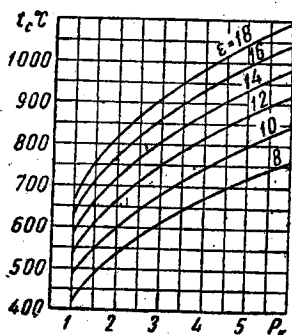


圖 7. 在不同 ϵ 时 t_0 与 p_k 的关系。

- 1) 一部分的热完成机械功;
- 2) 一部分的热提高气体內能;
- 3) 燃料中有一部分的热, 由于燃料燃燒不完全而根本沒放出来;
- 4) 一部分的热为气缸壁所吸收, 并經過气缸壁傳給冷却液或空气;
- 5) 一部分的热由于燃燒产物分解而損失了。

燃料最强烈的燃燒, 發生于示功圖上 $C-Z$ 段(見圖 1), 它称为可見燃燒段。

关于在發动机內燃燒的实驗研究指出, 在 $C-Z$ 段, 不完全燃燒在某种程度上总是存在的, 而在膨胀过程中总可以观察到燃料的后燃(余燃)。

混合循环的燃燒方程式为: