

航空发动机手册

(下册)



航空發動機手冊

(下冊)

著 者

工程師M. T. 波爾特尼可夫；工程師B. Д. 伏拉基米羅夫；
工程師Ю. В. 伏爾沃維奇；技術科學碩士M. И. 加爾彼林；
工程師B. B. 格拉切夫；技術科學碩士 H. Г. 都布拉夫斯基；
技術科學碩士K. H. 耶拉斯托夫；技術科學博士B. K. 伊托米
斯基；技術科學碩士A. E. 查伊金講師；工程師A. И. 基舍列
夫；技術科學碩士H. A. 可米沙爾奇克；工程師H. C. 克魯奇
夫；技術科學博士M. M. 馬斯列尼可夫教授；技術科學碩士
C. 拉皮波特講師；技術科學碩士 H. K. 斯莫利揚尼諾夫；
技術科學碩士B. И. 菲利浦琴；工程師 Я. P. 舍菲爾；技術科
學碩士Л. Г. 雪列米奇也夫講師；技術科學碩士M. H. 坎欽果夫。

M. A. 列 芬、Г. B. 謝尼奇金編

王修瑞、周正石、吳瑞玉 譯

孫懷民 校

國防工業出版社

內 容 介 紹

本書闡明了活塞式航空發動機的工作過程、構造特點以及基本零件與部件的強度計算方法。此外，本書還介紹了多種發動機的特性及其主要參數。對於各種類型的噴氣式航空發動機也作了一般的介紹。

本書適用於航空工廠及空軍工程技術人員、航空學院的學生與其他製造及使用內燃機的有关工業部門中的工作人員參考。

М. А. Левина
Г. В. Сеничкина
АВИАЦИОННЫЕ
ДВИГАТЕЛИ

Государственное научно-техническое
издательство машиностроительной
Литературы Москва 1951

本書係根據蘇聯國立機械製造書籍出版社
一九五一年俄文版譯出

航 空 發 動 機 手 冊 下 冊

[蘇]列芬、謝尼奇金 主編

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號
北京新華印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32 • 8 11/19 印張 • 插圖 3 • 230,000 字

一九五六年十二月第一版

一九五六年十二月北京第一次印刷

數：1—3,570 冊 定價：1.70 元

目 录

第五章 活塞式航空发动机的附件	1
增压器和涡轮压缩机	1
供油附件	46
汽油泵	63
点火附件	77
自动操纵	87
航空发动机的起动机机构 (起动机)	98
附件的配置及其传动	110
〔参考文献和来源〕	195
第六章 航空发动机的冷却和润滑	121
活塞式航空发动机的冷却	121
液 冷	121
气 冷	130
滑油的冷却	132
航空发动机的润滑	135
液体摩擦轴承的计算	135
滑油泵所需的供油量	144
润滑系统及滑油泵的构造特性	147
活塞式发动机润滑系统的特点	153
喷气式发动机润滑系统的特点	158
滑油的过滤	162
〔参考文献和来源〕	163
第七章 航空发动机的燃料滑油及冷却液	
活塞式航空发动机的燃料	167
对航空燃料的要求	167
喷气式发动机的燃料	182
活塞式及喷气式航空发动机的滑油	185
冷 却 液	191

〔参考文献和来源〕	195
第八章 活塞式航空发动机的试车	197
试车的用途和种类	197
试车台和试车装置	200
试车装置的仪器	209
航空发动机试车的准备和进行	213
试车技术文件及测得数据的整理	219
第九章 空气喷气式航空发动机和涡轮螺旋桨式	
航空发动机	222
冲压式无壓縮机空气喷气发动机	222
脉动式空气喷气发动机	228
涡轮喷气式发动机	229
一般参数和主要计算公式	230
气体参数	240
使用特点	250
起动、加速性和操纵	253
涡轮喷气式发动机的构造	256
涡轮螺旋桨式发动机和双路式发动机	267
1. 涡轮螺旋桨式发动机	267
2. 双路式涡轮喷气式发动机	271

第五章 活塞式航空发动机的附件

增压器和涡轮压缩机

飞行高度 H 增加则外界空气压力 P_H 、温度 T_H 及比重 γ_H 随之降低。其降低值可接通用国际大气表查出（見上册第36頁）。

因此，当爬高时，进入发动机的空气重量 G_{cek} 减少，因而发动机的功率就会降低。

为了在高空得到计算功率，现代发动机装有特种高空附件以便得到所需的空气压力 P_K 、比重 γ_K 及所需的空气量 G_{cek} 。由于对发动机公升功率的要求不断提高，此种附件同样起着增压附件的作用，它在计算高度 H_{pacu} 上能保证发动机的进气压力 P_K ，大大超过地面的正常空气压力。

应用得最广泛的离心式增压器（图1）是航空发动机增压附件和高空附件的基本类型，这是由于它具有下列特点：单级压头能力大，效率较高，空气流量的性能范围大，轴向尺寸小，重量小并且制造不复杂。航空发动机增压器可用曲轴传动（传动离心式增压器，图2、3、4），或者由利用发动机废气能量工作的燃气涡轮机来传动。由增压器与燃气涡轮机组成的附件称为涡轮压缩机（图5）在航空中，其它型别的增压器，例如：轴向式，容积式等未被采用作为活塞式发动机的高空附件。

在飞行高度减小时，外界空气压力增高，这时，对传动离心式增压器所要求的增压比也随之减小。因此，如果能根据所需的增压比按高度调整叶轮的转速，就可以获得最有利的发动机功率高度特性。同时，随着飞行高度的减低，消耗于传动增压器的功率 N_c 便随之减少，并且空气通过增压器的预热 Δt 亦相应减低。最理想的随飞行高度改变叶轮转速的方法是利用这样的传动机构，此种传动机构能使叶轮的转速 n_c 随着飞行高度的降低而

均衡（無級數地）下降。但是此種傳動機構尚未發明，所以在傳動離心式增壓器中只得採用分級調整葉輪轉速的傳動機構（二速、三速或多速；圖 2.3）。

發動機的高空附件可以只包括一個傳動離心式增壓器（圖 4）或包括兩個依次工作（串連工作）並組成一整體附件的傳動離心式增壓器（雙級壓縮，圖 6），或制成兩個依次工作的單個傳動離心式增壓器（見第一章圖 9），或裝成複合系統，其第一級壓縮由渦輪壓縮機進行，而第二級壓縮則由傳動離心式增壓器來完成（圖 7）。在發動機上不單獨地用一個渦輪壓縮機（無傳動離心式增壓器），這是為了保證起飛或著陸時所必須的發動機的加速性。

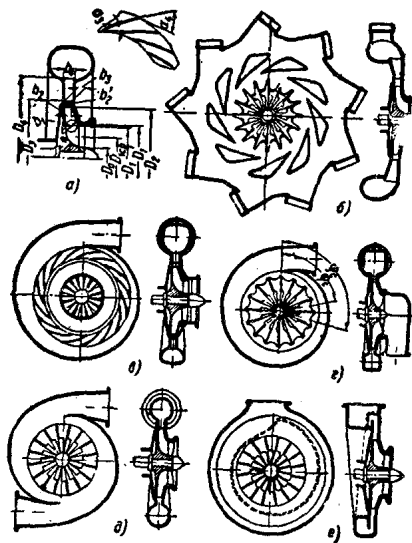


圖 1 離心式增壓器簡圖

a—主要尺寸的符號；б—葉片式擴散器和環形集氣出口；B—無葉片式和葉片式擴散器，出口為螺旋形套匣；r—無葉片式擴散器，出口為螺旋形套匣；A—無葉片式擴散器，出口為雙路螺旋形套匣；e—無葉片式擴散器，出口為螺旋形套匣，其外圈為圓形內圈為螺旋形。

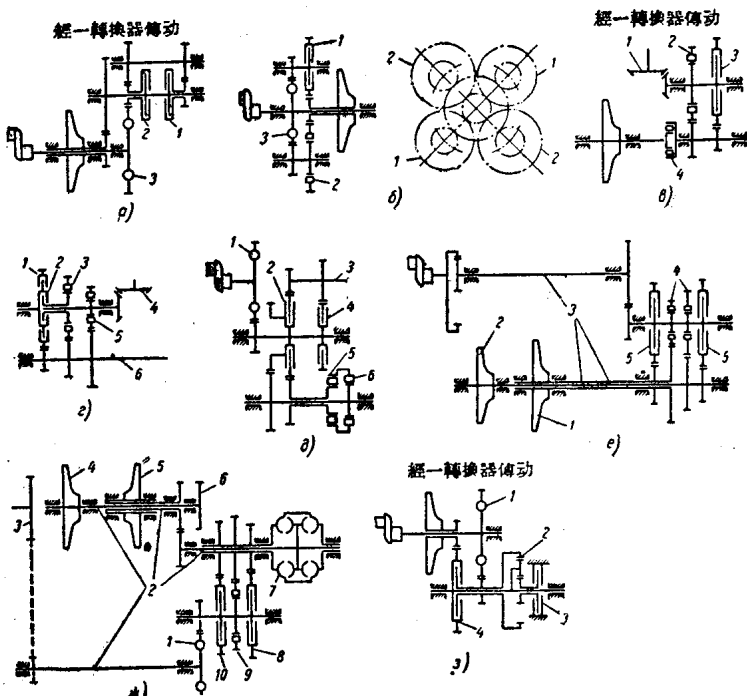


图 2 离心式增压器传动机构简图

а—14缸气冷式发动机增压器的双速传动机构：1—第一速摩擦离合器；2—第二速摩擦离合器；3—弹性齿轮；б—14缸气冷式发动机增压器的两个并列游动离合器；1—第二速的两个并列的摩擦离合器；2—第一速的两个并列游动离合器；3—弹性齿轮；в—12缸倒置式液冷发动机增压器的双速传动机构：1—曲轴齿轮；2—第一速游动离合器；3—第二速摩擦离合器；4—减震式摩擦离合器；г—12缸倒置式液冷发动机增压器的三速传动机构：1—第三速摩擦离合器；2—第二速摩擦离合器；3—第二速游动离合器；4—曲轴齿轮；5—第一速游动离合器；6—叶轮轴；д—12缸液冷式发动机增压器的三速传动机构：1—弹性齿轮；2—第三速摩擦离合器；3—叶轮轴；4—第二速摩擦离合器；5—减震式摩擦齿轮；6—游动离合器（第一速）；е—28缸气冷式发动机第一级和第二级叶轮的双速传动机构：1—第一级；2—第二级；3—弹性轴；4—第一速游动离合器；5—第二速摩擦离合器；ж—28缸气冷式发动机后段增压器的三速传动机构：1—弹性齿轮；2—弹性轴；3—一曲轴齿轮；4—前段叶轮；5—后段叶轮；6—前段传动齿轮（前后段叶轮的传动相类似）；7—涡轮离合器；8—第三速摩擦离合器；9—第一速游动离合器；10—第二速摩擦离合器；з—14缸气冷式发动机增压器的双速传动机构：1—弹性齿轮；2—第一速游星减速器（五个游星齿轮）；3—第一速摩擦离合器（制动器）；4—第二速摩擦离合器。

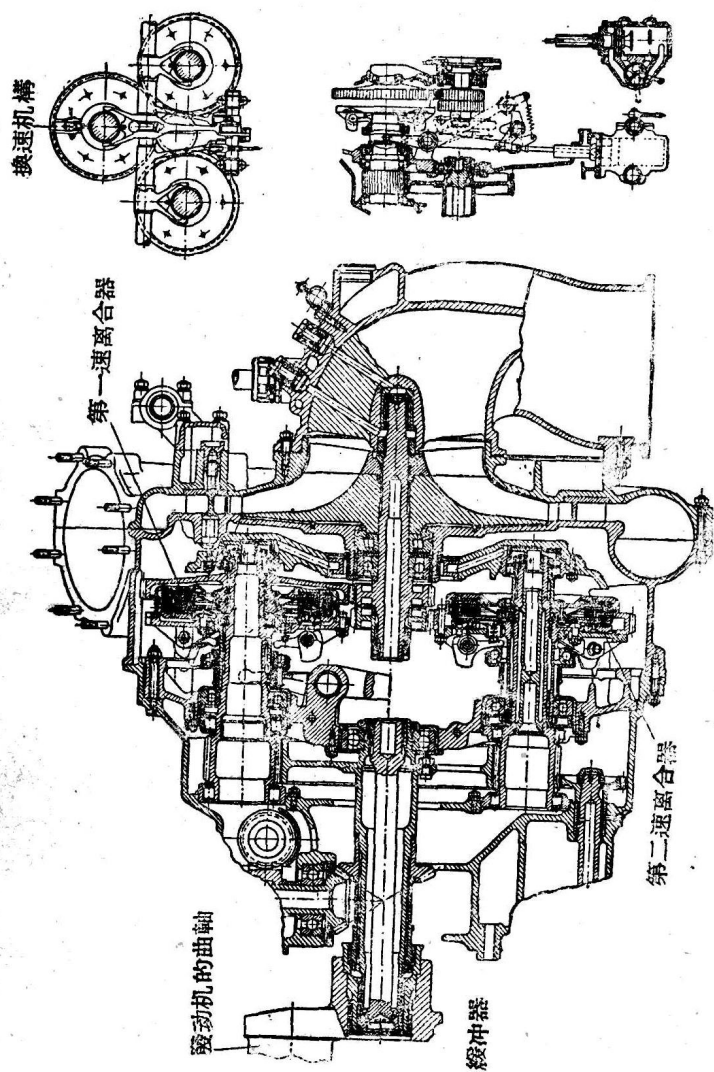


图 4 12-缸液冷式发动机增压器的纵断面图

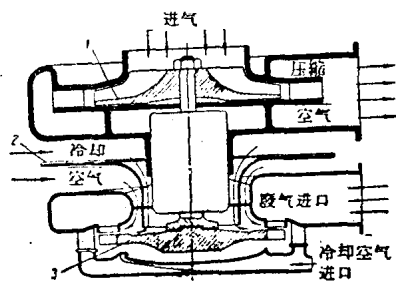


图 5 涡轮压缩机简图

1—离心式叶轮；

2—擋熱板；3—燃气涡轮机。

傳动离心式增压器

离心式增压器由下列主要部分構成：进口連管，工作叶輪，扩散器及出口集气管（見图 1）。增压器的主要工作部分是工作叶輪；傳动增压器所消耗的功率 N_c 被叶輪吸收並使空气获得位能（提高靜压力）和动能（提高絕對速度）。飞机进气管与叶輪进气部分之間由进口連管联通。扩散器的基本用途是將叶輪上所得到的空气动能轉变为位能。由扩散器出来的空气进入螺旋形出口套匣，將空气导入發动机进气管。

图 8 所示为空气經過增压器各部分时的参数变化及 PV 座标上的压缩过程。因为与外界的热交换相当小，且不超过增压器所吸收总功的 4~6%，所以增压器計算的根据是假定与外界不發生热交换；因为有损失存在，所以此过程不是按絕热进行（图 8：0—4' 綫），而是按多变曲綫：0—1；1—2；2—3；3—4；4—5 进行的。此种过程（有损失但与外界不發生热交换）有时称为假絕热过程。

求定增压器任何綫段内的空气参数所用的基本方程式如下：

状态方程式：

$$\frac{P}{R \cdot T} = \gamma, \quad (1)$$

式中 P ——绝对压力, 公斤/公尺²; γ ——比重, 公斤/公尺³; T ——空气绝对温度; R ——气体常数, 空气为 $R = 29.27$ 公斤公尺/公斤。

工作过程方程式:

$$\frac{P}{\gamma^n} = \text{常数}, \quad (2)$$

式中 n ——多变指数。

动量矩方程式:

$$M = \frac{G_{\text{сек}}}{g} (C_{\text{н кон}} \cdot r_{\text{кон}} - C_{\text{н нач}} \cdot r_{\text{нач}}), \quad (3)$$

式中 $G_{\text{сек}}$ ——空气每秒流量, 公斤/秒; g ——自由落体加速度;
 $C_{\text{н кон}}$, $C_{\text{н нач}}$ ——相当于叶輪半径終点 $r_{\text{кон}}$ 和起点 $r_{\text{нач}}$ 处空气绝对速度的圆周分速; M ——增压器叶輪的动量矩。

此公式在离心式增压器工作叶輪上采用时, 若乘以旋轉角速度則变为有名的尤拉(Эйлер)方程式

$$L_K = \frac{u_2 C_{u2} - u_1 C_{u1}}{g};$$

式中 u_2 和 u_1 ——叶輪外徑 D_2 和內徑 D_1 处的圆周速度; L_K ——当 $G_{\text{сек}} = 1$, 鼓風損失 L_{rd} 不計时傳动工作叶輪所消耗的功,

公斤公尺/公斤; ($L_{rd} = \frac{N_f \cdot 75}{G_{\text{сек}}} \cdot \text{公斤公尺/公斤}$; N_f ——鼓風損失的功率, 馬力)。

連續方程式:

$$G_{\text{сек}} = \gamma \cdot C_F \cdot F, \quad (4)$$

式中 C_F ——所論截面的气体速度; F ——所論截面的面积。

一公斤气体的能量(守恒)方程式:

$$AL - Q_q = C_p (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}) + A \frac{C_{\text{кон}}^2 - C_{\text{нач}}^2}{2g}, \quad (5)$$

式中 A ——功的热当量, $A = \frac{1}{427}$ 仟卡/公斤公尺; L ——傳动工作叶輪所消耗的流体功(鼓風損失計算在內); Q_q ——每 1 公斤空气中經過匣壁外散的热量; C_p ——定压比热, 空气的 C_p 为

$C_p = 0.241$ 仟卡/绝对温度； $T_{\text{кон}}$ 和 $T_{\text{нач}}$ —— 空气的終点温度和起点温度（增压器內所研究的空气通路的終点和起点）； $\alpha_{\text{кон}}$ 和 $\alpha_{\text{нач}}$ —— 增压器內所研究的空气通路的終点和起点的绝对末速和初速，公尺/秒。

研討增压器任何不动的机件时，式中 L 取为零。

一公斤气体的压缩功的方程式：

$$\int_{\text{нач}}^{\text{кон}} \frac{dp}{\gamma} = L_{\text{пол}} = \frac{n}{n-1} \left(\frac{P_{\text{кон}}}{\gamma_{\text{кон}}} - \frac{P_{\text{нач}}}{\gamma_{\text{нач}}} \right) =$$

$$= \frac{C_{\text{нач}}^2 - C_{\text{кон}}^2}{2g} + L - \Sigma L_r, \quad (6)$$

式中 $L_{\text{пол}}$ —— 多变压缩的全部功，公斤公尺/公斤； $P_{\text{кон}}$ 和 $P_{\text{нач}}$ —— 終点和起点的空气静压力，公斤/公尺²； $\gamma_{\text{кон}}$ 和 $\gamma_{\text{нач}}$ —— 終点和起点的空气比重（增压器內所研究的空气通路的終点和起点），公斤/公尺³； ΣL_r —— 在增压器內所研究的空气通路中的损失总和，公斤公尺/公斤；在一般情况下就是增压器的损失总和（見下面各个机件中的损失公式）。

由能量方程式和压缩功方程式可得：

$$\sum L_r - \frac{Q_q}{A} = \frac{k}{k-1} R (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}) -$$

$$- \frac{n}{n-1} R (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}),$$

由此式可求得另一公式：

$$\frac{n}{n-1} = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum L_r - \frac{Q_q}{A}}{\frac{k}{k-1} R (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}})} \right],$$

利用此公式可求出增压器內以及增压器流通部分每一机件內的压缩多变指数平均值，式中 k —— 絕热指数，空气的絕热指数为 $k = 1.40$ 。

离心式增压器的基本性質以抽象特性綫，即曲綫 $\overline{H} = f(q)$ 、

$\eta_c = f(q)$ 、 $\eta_{ad} = f(q)$ 等表示之，式中 q ——流量系数（見圖 9），或以标准特性綫表示之，此标准特性綫是在各种轉數下 $L_{ad} = f(n_{сек})$ 的关系曲綫及絕热效率 η_{ad} 为常数的網狀曲綫組成的（圖 10）

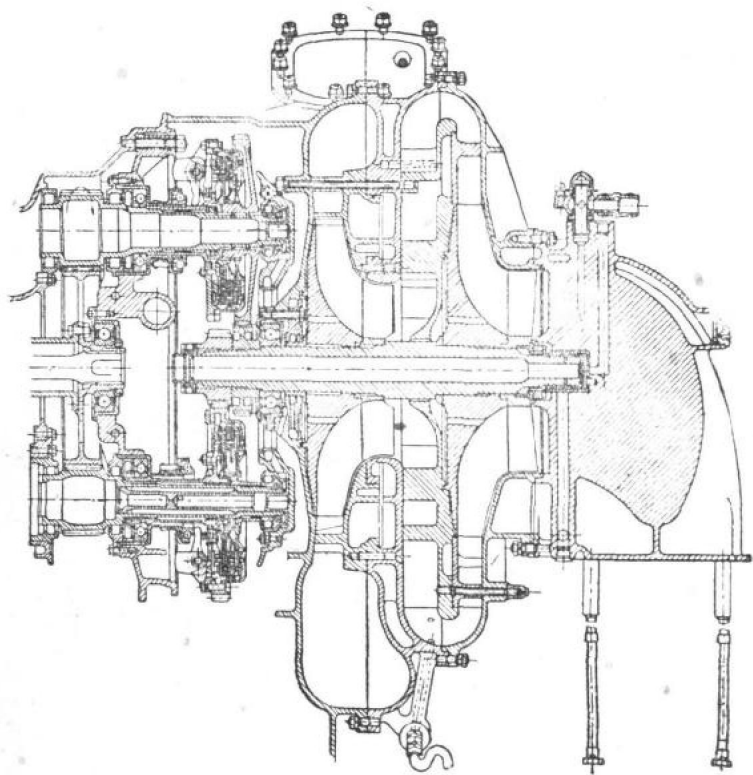


图 6 12缸液冷式发动机双級增压器

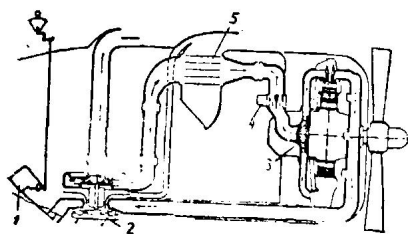


图 7 裝有渦輪压缩机的螺旋槳
发动机組簡圖

- 1—調節器；2—渦輪压缩机；
- 3—第二級增压器（傳动式）；
- 4—汽化器；5—中間散熱器。

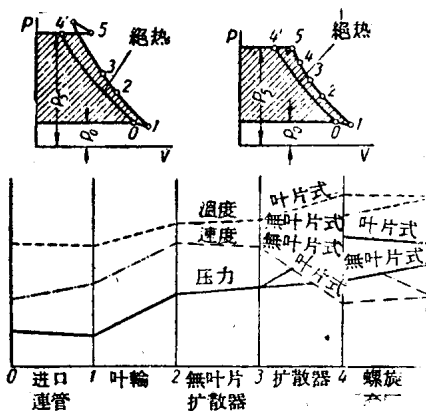


图 8 在叶片式和無叶片式扩散器的增压器内的空气参数之变化与相应的 $P-V$ 过程图(左图一叶片式扩散器, 右图一無叶片式扩散器)

图 9 增压器的抽象特性綫
曲綫 1、2、3、4、5 为存各种轉速下所繪

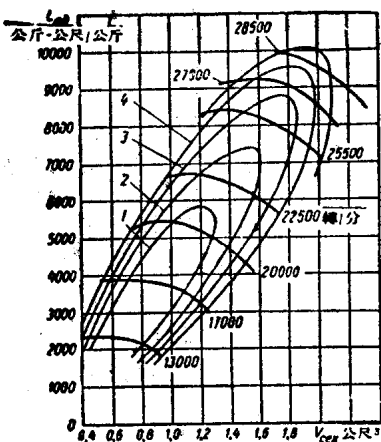
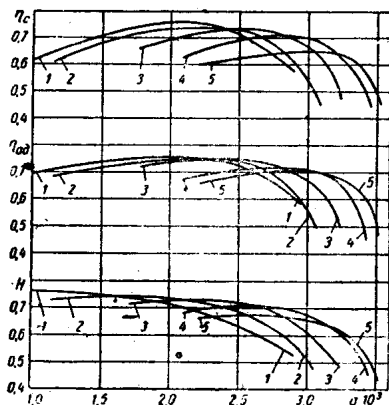


图 10 增压器的标准特性
(因次特性) 綫

1、2、3、4—恒定效率曲綫

壓縮系数 $\bar{H}$ 是表示压头能力的:

$$\bar{H} = \frac{L_{a\lambda}}{\frac{u_2^2}{g}} = \frac{\frac{k}{k-1} RT_{\text{H}} \left(\left(\frac{P_K}{P_H} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{\frac{u_2^2}{g}} \approx \left(\mu - \frac{\sum L_r'}{\frac{u_2^2}{g}} \right) \frac{1}{1+a} \quad (7)$$

(設 $\frac{C_K^2 - C_1^2}{2g} = 0$ 和 $u_1 C_u = 0$; $\sum L_r'$ —— 不計算鼓風損失),

式中 $L_{a\lambda}$ —— 一公斤气体的絕热压缩总功, 公斤公尺/公斤; u_2 —— 叶輪外徑的圓周速度, 公尺/秒; μ —— 考虑叶輪出口处气流偏离 (与叶輪旋轉方向相反) 因而会使叶輪所發出之功率降低的系数,

$\mu = \frac{C_{u_2}}{u_2}$; C_{u_2} —— 叶輪出口处絕對速度的圓周分速, 公尺/秒;

a —— 表示 $L_{a\lambda}$ 与 $L_{\text{пол}}$ 之比值的系数, $(1+a) = \frac{L_{\text{пол}}}{L_{a\lambda}}$; 系数 a

主要是决定于 $\frac{P_K}{P_H}$ 和 n (多变指数)。有效功率 η_c 是表示增压器

所消耗的功率的利用率:

$$\eta_c = \frac{G_{\text{сек}} \cdot L_{a\lambda}}{75 N_c} = \frac{G_{\text{сек}} \cdot u_2^2}{75 g} \cdot \frac{\bar{H}}{N_c} = \frac{\sum L_r' \cdot g}{\mu - \frac{u_2^2}{g}} \cdot \frac{\eta_M}{1+a}, \quad (8)$$

式中 N_c —— 傳动增压器所消耗的功率, 包括机械损失 (軸承、齒輪等的损失) 在內, 馬力; η_M —— 机械效率,

$$\eta_M \approx \eta_{\text{sys}} \left(1 - \frac{N_{\text{xx}}}{N_c} \right);$$

$\eta_{\text{зв}}$ ——齒輪嚙合效率；一對齒輪的 $\eta_{\text{зв}} = 0.99$ ； N_{xx} ——增壓器不用葉輪工作時（空轉）所需要的功率，馬力； α ——葉輪鼓風損失的相對值，

$$\alpha = \frac{L_{\text{rd}} \cdot g}{u_2^2}。$$

絕熱功率 $\eta_{\text{ад}}$ 表示空氣通過增壓器時的溫度升高率

$$\eta_{\text{ад}} = \frac{\eta_c}{\eta_Q \eta_M} = \frac{L_{\text{ад}}}{\frac{k}{k-1} R \Delta t} = \frac{\Delta t_{\text{ад}}}{\Delta t}，$$

式中 η_Q ——考慮到熱量散失的係數； Δt 和 $\Delta t_{\text{ад}}$ ——增壓器內空氣溫度的實際升高和絕熱升高； η_M ——機械效率（ η_Q 變化範圍為 0.98 到 0.90）。

流量係數 q 是表示空氣相對流量 $q = \frac{V_{\text{cek}}}{n_c D_2^3}$ ，式中 V_{cek} ——

空氣在增壓器前每秒的容積流量； n_c ——葉輪轉速。

從 $M = \frac{u_2}{a^*} = \frac{u_2}{\sqrt{k g R T_H}} > 0.75$ 開始起（式中 a^* ——音速），

還應該考慮到空氣壓縮性對於增壓器性能的影響，因為 $\frac{u_2}{a^*}$ 值超過 0.75 時空氣壓縮性影響變得很大，使增壓器性能下降。因此在此種情況下，增壓器的性能曲線應繪成 $\frac{L_{\text{ад}}}{T_H} = f \left(V_{\text{cek}} \sqrt{\frac{288}{T_H}} \right)$ 的形式。在繪制此種曲線時先取幾個 $u_2 \sqrt{\frac{288}{T_H}}$ 之值，再分別針對這幾個定值繪出 $\frac{L_{\text{ад}}}{T_H} = f \left(V_{\text{cek}} \sqrt{\frac{288}{T_H}} \right)$ 的曲線。然後再繪上絕熱效率或有效效率的等值曲線網。

在葉輪圓周速度為平均值（ $u_2 = 350 \sim 400$ 公尺/秒）時，增壓器效率依據通路的空氣動力性能完善與否而在下列範圍內變化：
 $\bar{\eta} = 0.52 \sim 0.7$ ； $\eta_c = 0.5 \sim 0.75$ ； $\eta_{\text{ад}} = 0.6 \sim 0.82$ 。

進口連管 增壓器進口連管的主要型別為：軸向式，彎頭式和