

压气机效率的正确变比热计算*

崔 济 亚

(北京航空航天大学动力系, 北京, 100083)

摘 要: 随着实际压气机压比不断增高, 按定比热等熵指数 $k=1.4$ 的算法, 误差越来越大。文中按照给定或实验测定压比、初温、终温的命题, 给出计算效率的正确变比热算法, 并按压比 5 至 30 分档作出算例。同时检验出, 如简单地按初温终温求 k 算效率误差很大, 几乎与定比热法同一量级。工程中常年用定比热已久, 如何给出简便校正方法, 尚待研究。

主题词: 气动力计算, 比热, 压气机效率

分类号: V235.11, V231.3

CORRECT CALCULATION OF VARYING SPECIFIC HEAT COMPRESSOR EFFICIENCY

Cui Jiya

(Dept. of Jet Propulsion, Beijing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

Abstract: Along with the continuous increase of pressure ratios of real compressors, the error of efficiency calculation with constant specific heat isentropic index $k=1.4$ becomes greater and greater. In case that the pressure ratio, initial and final temperatures are given or experimentally measured, a correct method of varying specific heat compressor efficiency calculation is given, and results of illustrations for pressure ratios from 5 to 30 by steps are tabulated. An existing paper determining the isentropic index simply through initial and real final temperatures is shown to give appreciable errors in efficiency, being even almost of same order of magnitude as with constant specific heat. In engineering, the constant specific heat practice has been followed habitually for a long time. A simple and convenient way of calibration remains to be studied.

Subject terms: Aerodynamic computation, Specific heat, Compressor efficiency

1 引 言

压气机效率习惯按定比热 $k=1.4$ 计算, 已是尽人皆知; 但随着压比不断增高, 其误差越来越大。

虽然变比热压缩过程的计算, 80 年代已经出现^[1], 但关于效率计算, 一直未见较全面的

* 本文 1994 年 5 月 19 日收到

论述。本文首先列出正确算法及算例, 然后评述一些不恰当算法的问题, 供设计参考。

2 正确算法

压气机过程在 $p-v$ 、 $T-s$ 图上的表示, 如图 1 所示, 其中 1^*2^* 为实际过程, $1^*2_s^*$ 为等熵过程, 而等熵效率 (俗名绝热效率) 为

$$\eta_k^* = \frac{i_{2_s^*}^* - i_1^*}{i_2^* - i_1^*} \quad (1)$$

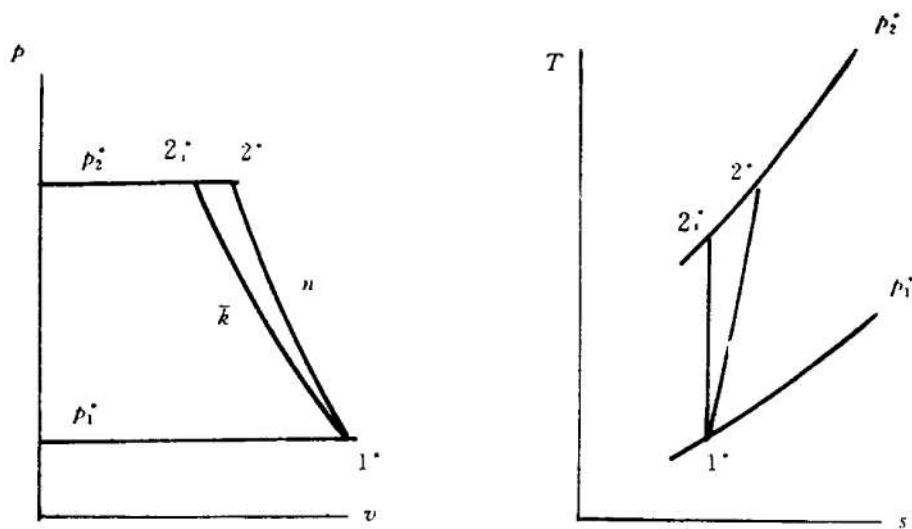


Fig. 1 Compressor process

变比热热焓近似表达式为^[2]:

$$i = \frac{1}{M}(B_0 + B_1T + B_2T^2 + B_3T^3 + B_4T^4 + B_5T^5) \quad (2)$$

式中 M 为分子量, 空气为 28.97。定压比热为

$$c_p = \frac{1}{M}(B_1 + 2B_2T + 3B_3T^2 + 4B_4T^3 + 5B_5T^4) \quad (3)$$

据热力学关系式

$$S - S_0 = \int_{T_0}^T \frac{c_p}{T} dT - R \ln \frac{p}{p_0}$$

等熵过程 $\Delta S = 0$, 则

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{1}{R} \int_{T_0}^T \frac{c_p}{T} dT$$

定义相对压力 $\pi^0 = \frac{p}{p_0}$, 并选基准温度 $T_0 = 273.16\text{K}$, 可得 π^0 以 10 为底的对数为

$$\begin{aligned} \lg \pi^0 &= \frac{M}{2.302585 \times 1.98726} \int_{T_0}^T \frac{c_p}{T} dT \\ &= \frac{1}{4.575835} \left(B_1 \ln T + 2B_2T + \frac{3}{2}B_3T^2 + \frac{4}{3}B_4T^3 + \frac{5}{4}B_5T^4 + B_6 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

在图 1 等熵压缩过程

$$\pi_k^* = \frac{p_2^*}{p_1^*} = \frac{\frac{p_2^*}{p_0}}{\frac{p_1^*}{p_0}} = \frac{\pi_{T_2}^0}{\pi_{T_1}^0} \quad (5)$$

其等熵关系式

$$\frac{p_2^*}{p_1^*} = \left(\frac{T_{2i}^*}{T_1^*} \right)^{\frac{\bar{k}}{\bar{k}-1}} \quad (6)$$

中的等熵指数为

$$\bar{k} = \frac{\ln(\pi_{T_2}^0/\pi_{T_1}^0)}{\ln(\pi_{T_2}^0/\pi_{T_1}^0) - \ln(T_{2i}^*/T_1^*)} \quad (7)$$

因此,效率的正确算法〔已知 T_1^* , T_2^* , π_k^* 〕是:先求 $\pi_{T_1}^0$ (由 (4) 式); 由式 (5) 求 $\pi_{T_2}^0$; 由式 (4) 迭代求 T_{2i}^* ; 由式 (2) 分别求 i_1^* 、 i_{2i}^* 、 i_2^* ; 由式 (1) 求 η_k^* 。

3 算 例

本文从 π_k^* 自 5.0 到 30.0 分六档分别由计算机算出变比热的 $\bar{k}$ 及 η_k^* , 列于表 1。

同时也计算了定比热 $k=1.4$ 的效率, 其误差也列表中, 以资比较。

除此以外, 还参照文献〔3〕的两种变比热求效率: 即按实际初终温比热求 k 平均为 k_{av} , 或按实际初终比热平均求 k 即 k_{cpav} , 求出等熵终温

$$T_{2i}^* = T_1^* \pi_k^{*\frac{k-1}{k}} \quad (8)$$

算出 i_{2i}^* , 协同 i_1^* 、 i_2^* 、求 η_k^* , 也并列表中。所有百分误差, 置于数据 i 下并加括弧。

Table 1 Computed Value of $\bar{k}$, η_k^*

Given	Varying sp. ht. method	Const. sp. ht. method	Rough varying sp. ht. method			
			Initial and final k average		k for initial and final sp. ht. average	
π_k^* , T_2^* (K)	$\bar{k}$ η_k^*	k η_k^*	k_{av} η_k^*	k_{cpav} η_k^*	k_{cpav} η_k^*	η_k^*
5.0 480.3	1.3975 0.8681	1.4 0.8744 (0.18%) (0.72%)	1.3946 0.8623 (-0.21%) (-0.67%)	1.3945 0.8621 (-0.22%) (-0.69%)	1.3945 0.8621	
10.0 598.7	1.3942 0.8472	1.4 0.8627 (0.41%) (1.83%)	1.3883 0.8344 (-0.43%) (-1.51%)	1.3879 0.8335 (-0.46%) (-1.61%)	1.3879 0.8335	
15.0 681.0	1.3918 0.8326	1.4 0.8558 (0.59%) (2.79%)	1.3836 0.8142 (-0.59%) (-2.21%)	1.3828 0.8125 (-0.64%) (-2.41%)	1.3828 0.8125	
20.0 746.2	1.3898 0.8211	1.4 0.8508 (0.74%) (3.61%)	1.3800 0.7983 (-0.71%) (-2.78%)	1.3788 0.7957 (-0.79%) (-3.09%)	1.3788 0.7957	
25.0 801.0	1.3881 0.8116	1.4 0.8469 (0.86%) (4.35%)	1.3771 0.7853 (-0.80%) (-3.23%)	1.3756 0.7819 (-0.90%) (-3.66%)	1.3756 0.7819	
30.0 848.8	1.3867 0.8034	1.4 0.8436 (0.96%) (5.01%)	1.3747 0.7744 (-0.86%) (-3.61%)	1.3729 0.7701 (-0.99%) (-4.14%)	1.3729 0.7701	

(下转第 10 页)

参 考 文 献

- [1] 汪凤泉. 试验振动分析. 南京: 江苏科技出版社, 1988
- [2] 杨景文. 试验模态分析. 北京: 北京理工大学出版社, 1990
- [3] 张令弥. 模态分析基础与模态分析方法. 南京: 南京航空学院出版社, 1988
- [4] 刘学文. $\times\times-2$ 发动机振动测试分析系统. 航天工业总公司 31 所, 1992
- [5] 张令弥. 微机振动模态分析软件 NAI-MODAL. 南京: 南京航空学院出版社, 1988

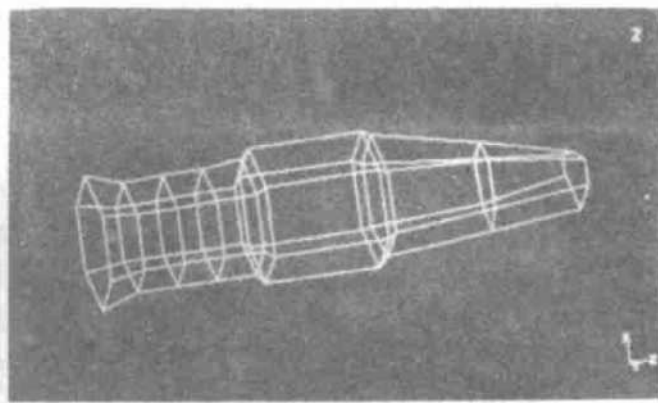


Fig. 8 Model 3

(上接第 3 页)

由表可见, 随着压比加高, 定比热效率误差明显加大; 而粗变比热法用实际终温与初温求出两种平均 k , 与真实 k 相差甚远, 以致效率误差很大, 几乎与定比热法误差同一量级, 但符号相反。

4 小 结

本文首次较系统地给出变比热压气机效率计算方法, 并指出定比热法在高压比时误差很大, 用实际终温与初温两种平均 k 值, 由于偏离等熵终温, 以致导致与定比热同量级的误差, 值得注意。

至于实际工程中用 $k=1.4$ 已多年习惯, 如何给出较简便校正方法, 尚待研究。

参 考 文 献

- [1] 张世铮. 变比热气体热力过程的计算. 工程热物理学报, 1982, 3 (3)
- [2] 张世铮. 燃气热力性质的数学公式表示法. 工程热物理学报, 1980, 1 (1)
- [3] 李良明. 压气机试验中变比热的应用. 风机技术, 1991 (5)