

压缩机特性线的系数拟合法

(大连理工大学动力系) 崔茂佩

[摘要] 利用压缩机特性线的系数拟合法快速查询压缩机的特性参数,进行燃气轮机的变工况计算。利用压缩机特性线的形状相近性及其形状和位置渐进变化的规律,先后两步一元拟合来构成压缩机特性参数代数多项式的函数关系,变工况计算得以简化,方法实用,精度较高。文中还用工程项目中实际计算的例子加以详细的说明,并给出了计算框图。

关键词 压缩机 特性线拟合 边界线 迭代计算

中图分类号 TK472.6

1 简述

在燃气轮机的运行中,启动、调节过程是变工况过程,在变负荷运行和外界大气条件变化时燃气轮机运行工况点也发生变化。在燃气轮机的变工况计算中,压缩机特性参数的查询占了相当大的工作量。压缩机有四个特性参数:压比、效率、流量和转速,它们之间的关系在特性图上以平面曲线的形式表示。为方便燃气轮机变工况的性能计算,利用压缩机特性曲线形状相近性以及各个曲线位置和形状随转速渐进变化的规律,用先后两步的一元拟合过程来构成特性参数(如压比和效率)以另外两种特性参数(如转速和流量)为自变量表示的代数多项式,从而确立特性参数之间的函数关系。

这种压缩机特性线的系数拟合法,简化了燃气轮机的变工况计算过程,提高了查询速度,方法实用,精度较高,适用于各类工程计算。

2 曲线拟合原理及其公式

压缩机特性是由两族平面曲线来表示的。对任一族曲线来说,其中各个曲线的形状基本上是相似的,而且随转速变化各个曲线的位置和形状是渐进

变化的,这可为特性参数的系数拟合提供基础。

首先用最高次幂相同的代数多项式分别对拟合区内各等转速线作一元的数值逼近,由于各曲线的形状相近性,可以推测存在着使拟合误差为最小的多项式幂次。由于各个曲线随转速而渐进变化,各多项式相同幂次的系数关于转速的变化也是有规律的,依此规律做各系数关于转速的第二步一元拟合,最后可以得到要拟合的特性参数关于其他两个特性参数的代数多项式。

见图

1, X —代表相似流量比, Y —代表压缩机压比, a 、 b 、 c 、 d 为拟合边界线,对拟合区内的任意一点 e 都可

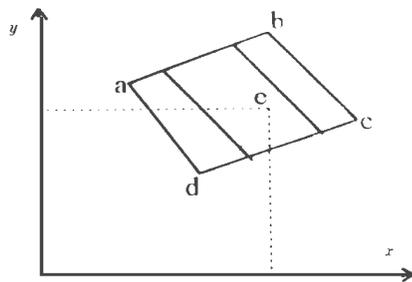


图1 压缩机系数拟合示意图

在给定其转速和流量之后根据拟合公式立即计算出 e 点压比值。

在实际的燃气轮机变工况计算程序中,均以压比为拟合变量,而转速及流量为两个自变量。等效率曲线的拟和也转换为等转速线拟和的形式,只是在处理上要复杂一些。

在第一步拟合后所得代数多项式为:

$$y = A_{0i} + A_{1i} \cdot x + A_{2i} \cdot x^2 + \dots + A_{mi} \cdot x^m \quad (1)$$

式中: y —拟合应变参数, x —为拟合自变参数。

然后做如下变换:

$$x' = (x - x_i^*) / \Delta x_i \quad y' = y \quad (2)$$

其中, Δx_i —各等速线有效流量段, x_i^* —为 Δx_i 内的一点

x_i^* 的取值应使得变换后的各等速线的有效流量段相同。这个变换的意义将在下一部分加以说明。

变换后的多项式为:

$$y = B_{0i} + B_{1i} \cdot x' + B_{2i} \cdot x'^2 + \dots + B_{mi} \cdot x'^m \quad (3)$$

分别做各流量系数关于转速的拟合, 得:

$$B_0 = f_0(n), \dots, B_m = f_m(n)$$

最后得到特性参数 y 关于转速 n 及特性参数 x 的关系式:

$$y = f(n, x)$$

3 变换说明

第一次拟合得到一组代数多项式(1), 如不进行(2)的变换而对(1)直接进行拟合是不行的, 以图 2. A 加以说明。

图中曲线 1 和 3 为特性图上给定的等转速线的第一次拟合曲线, 曲线 4 为喘振边界线, 曲线 5 为特性线的阻塞边界。没有经过变换(2)而进行系数拟合后, 给定拟合区内某一转速, 可得到一等转速曲线, 假设为等转速曲线 2, 曲线 2 转速在曲线 1, 3 转速之间。对曲线 2 上的 a 、 b 两点, 它们的求值过程接近于曲线 1、3 上与 a 、 b 相同 x 值的各点进行插值。对曲线 1 为 a_1 、 b_1 两点, 对曲线 3 为 a_2 、 b_2 两点。但 a_1 点在喘振区内, b_2 点在无效数据区内, 因此这样的拟合结果是错误的。

而(2)变换的作用是改变了插值方向, 使插值所用数据全在有效的数据区内。对 a 点, 使用 a_3 、 a_4 , 对 b 点, 使用 b_3 、 b_4 点, 其中 a_3 、 a_4 具有相同的转换流量值 x' , b_3 、 b_4 也具有相同的转换流

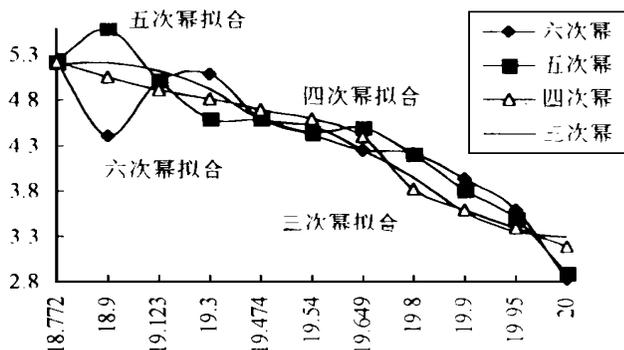


图 3 单条曲线的拟合幂次的比较

量值(见图 2. B)。变换后的各等转速线具有相同的转换流量域, 这样就保证了所有拟合用的数据点都在有效的拟合区域内。

4 压缩机特性线系数拟合法的实现过程

这里以实现 LM2500 燃气轮机压缩机特性线为例加以说明。

在用最小二乘法拟合等转速线和等效率曲线时, 每条线取 8 个点(8 个点是根据曲线的形状和位置确定的), 在距曲线左端点的 3/10 曲线段处为界, 左面做低次幂的拟合, 右面做高次幂的拟合。

因为在多次的数值考核计算中发现: 高次幂拟合的曲线和真实曲线的右段拟合得非常接近, 如图 3 所示, 而低次幂拟合的曲线在和真实曲线的左段拟合得相当平稳。因此, 把每条特性曲线分两段拟合, 可以更好保证单条曲线拟合的精度。经过分段拟合之后, 每条曲线的拟合精度均大于用单一幂次对曲线的拟合精度, 可以更好地保证对特性线系数做第二次拟合。

拟和区域

等转速线和等效率线的拟合范围都是在喘振线和阻塞线之间的区域。但是, 依照计算机对曲线拟合数值计算的特点, 等转速线和等效率线形状的不同, 它们有各自特殊的处理方法。

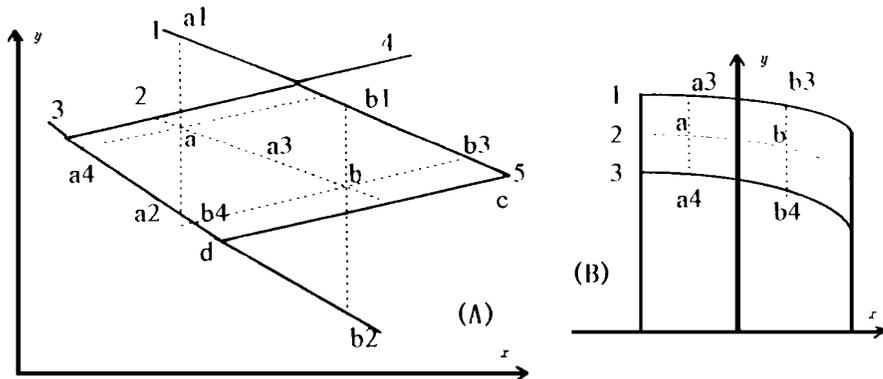


图 2 压缩机特性线系数拟合的变换说明

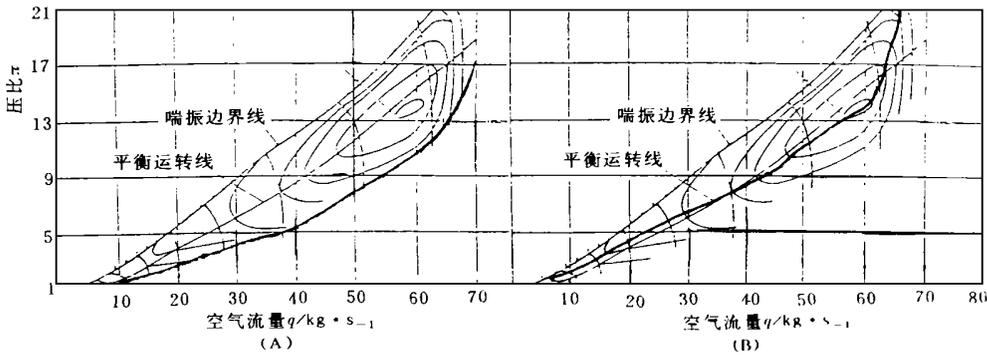


图 4 等转速线和等效率曲线依据线的划分

对等转速线来说,在特性线区域的右面,人为划定一条依据线作为阻塞边界线。在依据线的右段,认为曲线已经成为一条直线,压缩机在此部分的运行工况为阻塞工况,见图 4. A。每条曲线的拟合段以曲线与喘振线和交点为左端点,以曲线和依据线的交点为右端点,拟合区域为喘振线的依据线之间的部分,相似转速在 0.631 和 1.053 之间的区域。在 LM 2500 压缩机特性线资料上,这部分区域内共有八条等转速线。

分别进行拟合。

5 计算程序框图

在程序计算中为避免外界条件对压缩机特性线的影响,计算的是比转速、压比和折合流量之间的关系。在说明的时候,简称为转速、压比和流量。首先,确定拟合区域。然后拟合喘振边界线和依据线,随后确定流量的相对位置,最后进行等转速线之间的

系数拟合并迭代计算求得等效转速值。这里以等转速线为例,说明当已知压缩机特性图上的某一点的压比 π' 和流量 G' 时,如何确定这一点的等效转速 n' 。程序框图见图 5。

对等效率曲线拟合的特殊处理

等效率线是一系列的闭合曲线。等效率线由人为划分的依据线分为上、下两个拟合区域,拟和的左右边界分别为和依据线相交的左右点。效率线的拟合,需要多划分出几块区域,对低流量部分的区域、中流量部分的区域和高流量部分的区域都

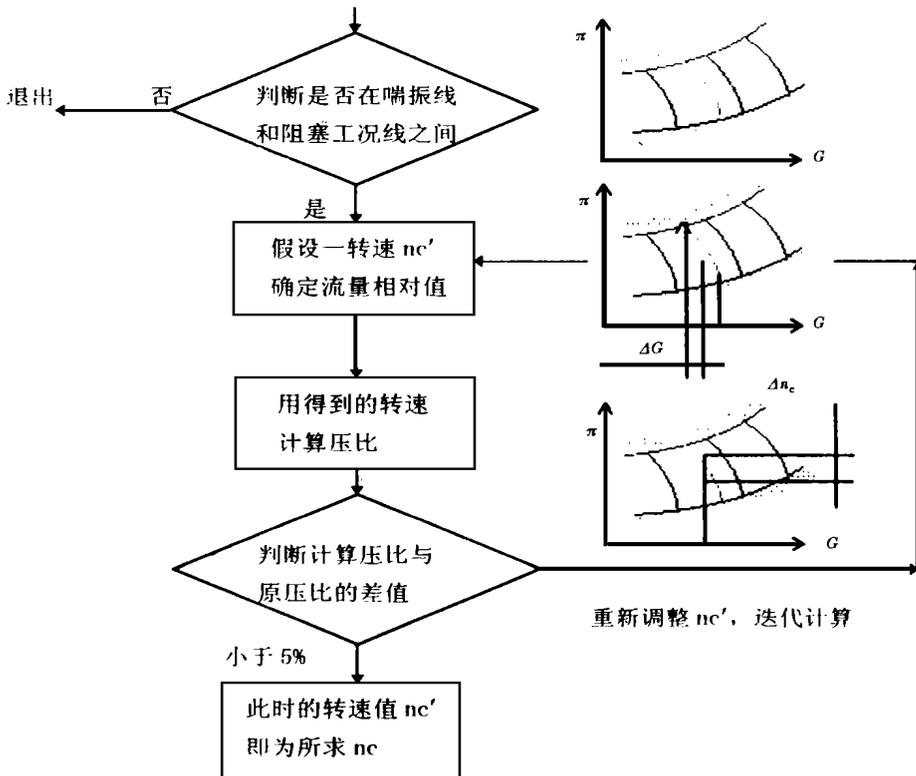


图 5 压缩机等转速线系数拟合的程序框图

要单独处理。拟合方法原理与等转速线的拟合方法相同。只是处理方法复杂,计算精度稍差一些。

计算机实现 LM2500 燃气轮机压缩机特性线系数拟合的结果。在低转速的范围内误差稍大,其他范围内的误差基本上都在千分之五以内,见表 1。

计算精度

表 1 压缩机等转速线上系数拟合精度

组号	坐标参照值		实际相对转速	计算得到的相对转速	相对误差
	流量	压比			
	$G(\text{kg/s})$	π			
1	66.78	21	1.0531	1.04954	-0.00337
2	64.411	20.733	1.0	0.00198	0.001984
3	61.071	18.4	0.948	0.9525	0.00475
4	48.889	13.636	0.896	0.896148	0.00165
5	50	13	0.896	0.896679	0.00075
6	35.536	10.269	0.85	0.847977	-0.00238
7	25.643	6.5186	0.79	0.790762	0.00096
8	19.9	3.915	0.737	0.74016	0.004288
9	14.211	3.0276	0.631	0.636336	0.006872

6 结论

影响拟合精度的主要因素为特性曲线形状及拟合区的大小,有的压缩机特性线因其形状的原因每条等速线用一段曲线拟合精度要降低,有时分两段采用两条代数多项式曲线进行拟合。

(1)压缩机特性线系数拟合法原理不复杂,使用方便,直接拟合成函数的形式,求解速度快。但要求特性线形状较为圆滑,并且有一定的数量。在主要拟合区域内精度较高,足以进行工程计算。

(2)在压缩机特性线的曲线较多,采集数据点较容易的情况下,可以将范围划分得更细一些,这样局部的计算精度能更提高一步。

参考文献

- 1 张冬阳. 压气机特性的系数拟合法. 燃气轮机技术, 大连: 大连理工大学 1993, (9)
- 2 崔茂佩. 大连理工大学硕士学位论文*第四章, 1996, 3
- 3 黄钟岳等. 船用燃气轮机总体设计 CAD 软件研制报告, 1996, 5
- 4 翁史烈. 燃气轮机性能分析, 上海交通大学, 1987.
- 5 黄钟岳. 化工透平式压缩机, 大连理工大学, 1989.

(渠源 编辑)

转子滑动轴承系统的次谐振和自激振动

据“Теплоэнергетика”1998年1月号报道,分析了装有两种型式滑动轴承具有不同刚度的双支承转子在初始干扰作用下的自由振动及在突然失衡后产生的振动。一种是上半部开有油槽的椭圆轴承,另一种是上半部无油槽的椭圆轴承,二种轴承的内径椭圆度均为0.5。

研究表明,在所研究的系统中可能产生具有很大振幅的自振,并可能出现具有对于旋转频率成分级频率的次谐振(其频率为1/4, 1/3, 1/2工作转速),其中最明显出现的是频率等于旋转频率一半的次谐振。

计算分析表明,为了减少由次谐振和自激振动引起的工作频率中的振动,应该把与轴承形式无关的转子自振频率调到离开半旋转频率10%—15%。不应该使用具有上半部开有油槽的轴承的转子。

(思娟 供稿)

(Harbin Institute of Technology), Wang Qing, et al(Northeast Electrical Power Institute //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 33 ~ 36

On China's first oil shale circulating fluidized bed boiler performed was an industrial test of the U-type material return device regulating characteristic. Studied were the start-up characteristics of the U-type material return device and the effect of fluidized air and slackening air flow rate on the work performance of the said device. In addition, the required fluidized air flow and the minimal slackening air flow rate for the stable operation of the material return system are also proposed. Discussed is the combination regulation mode of fluidized air and slackening air for attaining a fine regulating quality of the U-type material return device. The study results may be helpful in guiding the operation of the oil shale circulating fluidized bed boiler and also serve as useful reference data for the operation of large-sized circulating fluidized bed boilers. **Key words:** U-type material return device, nonmechanical valve, circulating fluidized bed boiler, regulation, oil shale

水平浓淡煤粉燃烧器的研究 = A study of Horizontal Dense-dilute Pulverized Coal Burners [刊, 中] / An Enke, Xu Tongmo (Shanghai University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 37 ~ 39

An experimental study and theoretical analysis has been conducted of horizontal dense-dilute pulverized coal burners installed in a tangentially fired boiler. A comparison with WR burners has shown that the horizontal dense-dilute burners enjoy an earlier than expected ignition and a more wide regulation range of ignition stability. Moreover, an in-depth analysis has been performed of the mechanism of stable ignition of the dense-dilute pulverized coal burners. Conducted also is a quantitative analysis of the optimum pulverized coal concentration. The calculation results deviate from those of the experimental data by 17.4%. **Key words:** horizontal dense-dilute burners, WR burner, optimum dense-dilute ratio, optimum pulverized coal concentration

密封间隙气流振荡流场的动态压力测试 = The Dynamic Pressure Measurement of a Gas Excitation Flow Field in a Seal Clearance. [刊, 中] / He Lidong, Zhu Zhenyou, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 40 ~ 42

An experimental study is conducted of the dynamic characteristics of gas flow pulsation in a turbine machinery seal clearance from the view point of fluid-solid interaction. Described in this paper are a test rig and a data acquisition and analysis system. An analysis of the seal gas flow excitation mechanism provides a theoretical basis for the selection of the cut-off frequency of a filter and the sampling frequency of the data acquisition system. The study focuses on the piping transmission characteristics in the course of the gas flow dynamic pressure measurement with the test results of four groups of different types of seal construction being discussed. **Key words:** seal, dynamic measurement, vibration, gas

压缩机特性线的系数拟合法 = A Coefficient Fitting Method for Compressor Characteristic Curves [刊, 中] / Cui Maopei (Dalian University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1998, 13(6). — 43 ~ 46

The coefficient fitting method for compressor characteristic curves can be used to make a quick inquiry of compressor characteristic parameters and perform the off-design calculation of gas turbines. By utilizing the shape similarity of compressor characteristic curves and the gradual variation of the compressor shape and location the algebraic polynomial function relationship of the compressor characteristic parameters can be constructed by a method featuring a two-step in succession and one dimensional fitting. This simplifies the off-design calculation and is regarded as a practical method with a relatively high precision. Specific calculation examples with a detailed description are also given in the paper along with some calculation block diagrams. **Key words:** compressor, characteristic curves fitting, boundary line, iteration