

# 4400 千瓦燃机装置陆试中的几个技术问题

肖立德

(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕本文介绍 4400 千瓦燃气轮机动力装置陆上试验中遇到的三个技术问题:机组低频振动、动力涡轮超速以及机旁噪声问题。阐述对上述问题分析处理的思路和结论。

关键词 燃气轮机 振动 超速 噪声

分类号 TK16

## 1 前言

2×4400 千瓦燃气轮机动力装置在陆上试验中曾遇到一些问题(机组振动、涡轮超速及机旁噪声)。在解决了这些技术问题后进行了 150 小时长试考核和试后高温部件检查,机组安全可靠、性能达到规定值,满足使用方全部要求,本文仅介绍试验中曾遇到的这三个问题。

## 2 机组振动

### 2.1 低频振幅的降低

机组原供货技术条件规定前后支点各向低频幅不大于 0.1 mm,并车试验过程中,后支点振幅达 0.198 mm(左机)。主要频率 27 Hz(0.5 工况)、35.6 Hz(1.0 工况),对应行星减速齿轮输出转速频率。

计算分析表明,低频振动系支承横向结构共振所致。增强后支架以后,上述数值降为

0.058 ~ 0.076 mm,满足供货技术要求。表 1 为后支架增强前后的机组壳体——支架系统 1 至 4 阶固有频率计算值与实测值。

表 1

	后支架横向计算刚度(N/M)	$f_1$ (Hz)	$f_2$ (Hz)	$f_3$ (Hz)	$f_4$ (Hz)
增强前计算值	$0.353 \times 10^8$	33.8	38.9	70	139
增强前实测值		26.6	38 ~ 39.5	52	138
增强后计算值	$3.65 \times 10^8$	46.9	65	95.5	144

注:前支架横向计算刚度为  $2.03 \times 10^8$  N/m,壳体计算刚度为  $0.353 \times 10^8$  N/m。

上表计算值偏大,特别是后支架加强后计算偏差增大,主要原因是计算没有考虑试车台基座刚度。实际上如图 1 所示,发动机支架柔度为  $w_1 = \frac{X_c^3}{3EI_1}$ ,试车台基座柔度为  $w_2 =$

$$\frac{(X_1^3 - X_c^3)}{3EI_2}, \text{ 支承系统刚度 } K = \frac{1}{(w_1 + w_2)}。$$

收稿日期 1992 10 25 修改定稿 1993 02 20

本文联系人 肖立德 男 56 高工 200030 上海市南江路 18 号

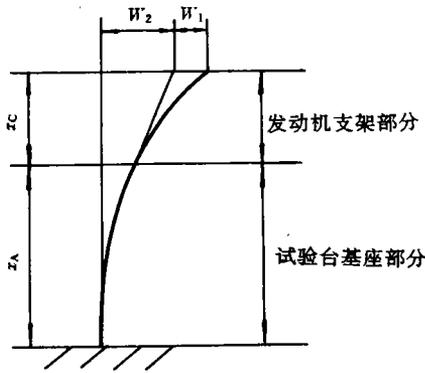


图 1

在并车试验台架上机组支架加强后的状态,继续增加支架刚度对系统固有频率的提高已无显著效果。截面转动惯量提高一倍,固有频率仅提高(3~5)%。此时若试车台基座截面转动惯量提高一倍,频率可提高(12~22)% (确保连接刚度)。

2.2 振动限制指标的制订

当转子发生变形、连接松动、对中破坏、叶片结垢或腐蚀等故障时,作用在轴承上的不平衡增大,引起轴承的提前损坏。因此,理想的监控值应该是转子的振动或转子与静子的相对振动。但由于技术上的限制,普遍采用的是监视靠近轴承部位壳体或支承的振动。这里有一个传递函数问题。由图 2 推得:

$$\frac{A_b}{A_0} = \sqrt{\frac{\frac{K_0}{K} + 1 - (\frac{M_0}{M_r})(\frac{\omega}{\omega_{cr}}) + (\frac{b_m \omega}{K})^2}{1 + (\frac{b_m \omega}{K})^2}}$$

其中: $b_m$ ——油膜衰减系数; $K_0$ ——支承刚度; $K$ ——转子当量刚度  $K = \frac{K_r K_m}{K_r + K_m}$ ; $K_r$ ——转子刚度; $K_m$ ——油膜刚度; $M_r$ ——转子质量; $M_0$ ——壳体质量; $\omega_{cr}$ ——刚性支承上转子临界转速。

由上式知,转子和壳体振幅值之间的关系取决于壳体和转子的质量比  $M_0/M_r$ 、干扰

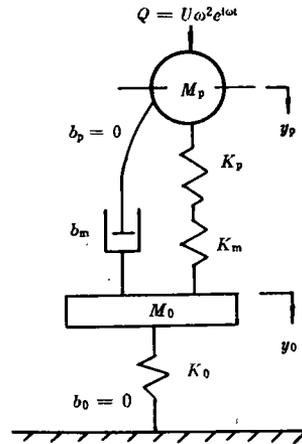


图 2

力频率与转子临界转速比  $\omega/\omega_{cr}$ 、壳体与转子当量刚度比  $K_0/K$ 、油膜衰减系数  $b_m$  等。

该燃机静子—转子重量比为 2.7,采用滚动轴承,接近航空派生机型,参考相近机组的振动控制值,装舰试用时的监控值定为  $V_{err} = 30 \text{ mm/s}$ ,测振仪通带频率为 70~150 Hz。

3 动力涡轮超速事件的分析处理

在做气动操纵系统试验、耦合器突然放油时,由于超速保护失灵,2<sup>#</sup> 机动力涡轮出现一次飞车。经推算,动力涡轮最大转速达 12000 r/min,相对额定值 8650 r/min 超速 38.8%。各转速下运行时间见表 2。

表 2

转速(r/min)	9678	9880	9960 ~ 11775	1775 ~ 12000
超速百分数 (%)	11.8	14.2	15.1 ~ 36	36 ~ 38.8
运行时间(S)	9	6	4	2

分析意见是：动力涡轮转子仍是完好的，可继续试验运行。其理由是：

3.1 12 000 r/min 下叶片轮盘应力计算(表 3) 表明，材料仅短时间在屈服极限附近工作，而叶片材料 GH33、轮盘材料 GH34 都是比较成熟的材料，性能比较稳定。

表 3

零件	最大当量应力(MPa)	安全系数	备注(MPa)
叶身	599.6	1.23	$[\sigma_{300^\circ\text{C}}] = 735.3$
轮盘	700	1	$[\sigma_r] = 704$
叶根和轮缘		拉伸 ~ 1.8, 弯曲 ~ 2.59 挤压 ~ 0.89, 剪切 ~ 2.75	叶根 $[\sigma_{710^\circ\text{C}}] = 574$ 轮缘 $[\sigma_{710^\circ\text{C}}] = 588$

3.2 当加载速度大于塑性变形传播速度时，材料塑变抗力得到提高，见图 3。对照表 2,  $\sigma_s$  有所提高。

做完必要试验后，检查了动力涡轮转子，无裂纹损坏，后又经 150 小时长试考验。说明自行设计 4400 kW 燃机具有较大的抗事故安全储备。

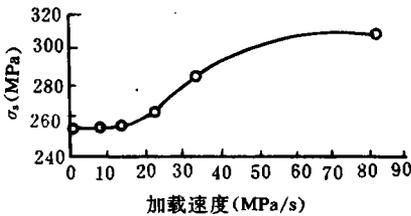


图 3

### 4 机旁噪声 — 从试车台到机舱

由于试车台和机舱的房间特性不同，机组运行时的机旁噪声各不相同。通过声功率的计算，可以利用车台内的实测值推算到机

舱运行的数值。

4.1 把距机组 1 米的假想轮廓作为“规定表面”，在此表面均布测点，测量各点声压级。测点数  $n$  要大于各测点测定值分贝数差值。

计算平均声压级  $SPL$ ——按能量关系将各点测量值叠加，然后减去  $10\lg n$ 。

4.2 计算规定表面的表面积  $S$

4.3 计算机组运行场地的房间常数  $R_{\text{场}}$ ：

$$R_{\text{场}} = A\bar{\alpha}/(1 - \bar{\alpha})$$

式中： $A$ —场地总面积，为具有吸声系数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$  的表面积  $A_1, A_2, A_3, \dots$  之和。

$\bar{\alpha}$ —平均吸声系数，

$$\bar{\alpha} = \frac{A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2 + A_3\alpha_3}{A}$$

4.4 计算机组声功率级  $PWL$ ：

$$PWL = SPL - 10\lg\left(\frac{1}{S} + \frac{4}{R_{\text{场}}}\right)$$

4.5 根据机组动功率级可以推算把它安装到某机舱后的舱内机旁噪声级。

$$SPL_{\text{舱}} = PWL + 10\lg\left(\frac{1}{S_{\text{舱}}} + \frac{4}{R_{\text{舱}}}\right)$$

$S_{\text{舱}}$  —— 机舱内指定表面的表面积；

$R_{\text{舱}}$  —— 机舱房间常数。

机舱很小，且无吸音措施时，近似按扩散声场考虑：

$$SPL_{\text{舱}} = PWL - 10\lg R_{\text{舱}} + 6$$

例：该机试验场地  $A_{\text{场}} = 1730 \text{ m}^2$ ，砖墙吸声系数  $\alpha$  取 0.05(0.05 ~ 0.1)，机组测量“规定表面”表面积  $30 \text{ m}^2$ ，平均声压级测得 95 dB。机组壳体噪声声功率级计算值为 106.6 dB。机组安装在  $10 \times 5 \times 3(\text{m}^3)$  的机舱内，钢板吸声系数  $\alpha$  取 0.05(0.03 ~ 0.05)，算得机旁声压级为 103 dB。如果该声压级不能接受，则需在舱壁增加吸音层，根据吸音板的吸音系数，用本文介绍的办法，可以推测到加吸音措施后的机舱噪声大小。

□

fully attesting to the fact that the recommended method is an effective and analytical one suited to engineering applications. **Key words:** *time-dependent, numerical calculation, turbomachine, three-dimensional flow field*

(234) **Some Technical Issues Related to the Land-based Testing of a 4400 kW Gas Turbine Power Plant** .....Xiao Lide (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

The author describes three technical issues encountered during the land-based testing of a 4400 kW gas turbine power plant; engine low-frequency vibrations, power turbine overspeed and engine-borne noise. Some observations on the analysis and solution of the above-cited issues are given and related conclusions presented. **Key words:** *gas turbine, vibration, overspeed, noise*

(237) **Automatic Control System for a 130 t/h Gangue-fired Fluidized Bed boiler** ..... Fan Bening (*Computer Application and Development Research Centre of Hei Long Jiang Province*)

The control functions of a microcomputer-based control system for a 130 t/h fluidized bed boiler is described. Presented are the configuration approach applicable to fluidized bed combustion control, provision of indications in case of interruption of coal feeding and measures to cope with unfavorable effect of coal quality fluctuations on control quality. The said control system has been put into commercial operation with satisfactory results. **Key words:** *fluidized bed boiler, automatic control system, system structure, gangue*

(241) **The Design of a Drum Boiler Single-element Feedwater Regulator with compensation of Non-minimum Phase Characteristics** ..... Yu Daren, Yang Yongbin (*Harbin Institute of Technology*)

When a steaming economizer is used there will emerge in the boiler drum water level control system a relatively serious phenomenon of indicating a false water level in the case of a sudden increase in feedwater flow rate. In terms of control model this exhibits itself as a non-minimum phase system of control system, resulting in a deterioration of control quality. To overcome this defect, the authors have come up with a design method with compensation of non-minimum phase characteristics to enhance the drum water level regulation quality. The said method features a simplified principle and easily lends itself to the realization of simulation results, thus attaining a good control effectiveness. **Key words:** *non-minimum phase Characteristics, regulation, Smith Pre-evaluator, boiler drum level, classification*

Edited and Published by Harbin Marine  
Boiler & Turbine Research  
Institute and Editorial Staff  
of this Journal

Printer: Printing House of Harbin Institute  
of Technology

Address: P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin, China

Post Code Number 150036

ISSN1001-2060  
Periodical Registration:  
CN23-1176/TK

Distributed by China International

Book Trading Corporation,

P. O. Box 399, Beijing, China