

# 工业汽轮机故障诊断

武新华 汪光明 夏松波

(哈尔滨工业大学)

[提要] 本文以一台6MW背压式汽轮机为例,对汽轮机的故障进行了识别诊断。识别诊断采用了模糊数学方法和频谱分析方法,诊断出的主要故障:转子不平衡;不对中;碰磨;轴瓦磨损与机组实际故障情况是相吻合的。

主题词 蒸汽轮机 故障诊断

## 一、前言

工业汽轮机数量大,应用范围广,保证其安全运行,提高其运转率在国民经济中具有十分重要的意义。为此应对其进行故障的预测和诊断。本文以一台6MW背压式汽轮机为例,对汽轮机的故障进行了识别诊断。

## 二、故障现象

哈尔滨某厂新安装的一台6MW背压式汽轮机于1986年11月7日试车,但因其振动过大,转速一直未能达到工作转速3000r/min,每次试车转速到1900r/min时,即因汽缸振动过大而被迫停车。

在1900r/min时,其振动值为:

汽缸(测点5)垂直振动: 0.27mm;

汽缸(测点5)水平振动: 0.15mm;

\*1瓦(测点2)垂直振动: 0.038mm;

\*1瓦(测点2)水平振动: 0.12mm;

\*2瓦(测点8)垂直振动: 0.05mm;

\*2瓦(测点8)水平振动: 0.19mm;

按标准0.05mm以内为合格,这些振动值绝大多数都远远超过标准值。

原以为是由于转子不平衡所致,故进行了现场动平衡。但效果不佳,甚至振动愈来愈大。测点分布参见图1。

本文收到时间: 1987年10月10日

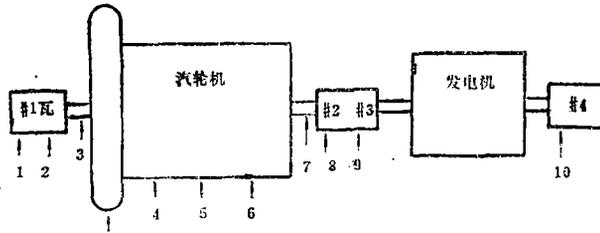


图1 机组俯视图

### 三、诊断方法

#### 1. 记录振动信号

由压电晶体式加速度传感器测得的振动信号，经电荷放大器，输入到磁带机记录下来。

#### 2. 频谱分析

记录的信号由磁带机输入到SD-375. 频谱分析仪进行分析。作各转速下各测点的功率谱图，图2为1900r/min时#1瓦垂直振动的功率谱图；图3为1900r/min时#1瓦水平振动的功率谱图；图4为1900r/min时#2瓦水平振动的功率谱图。



图 2

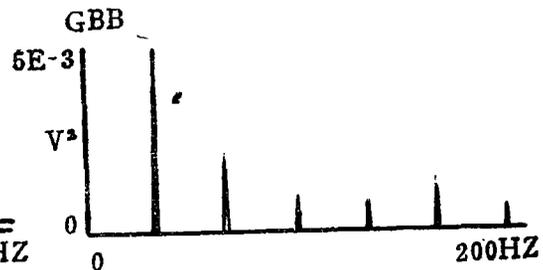


图 3

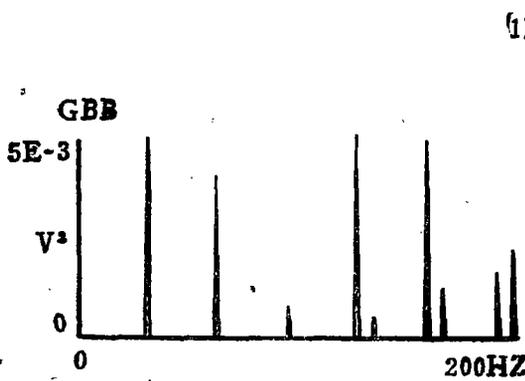


图 4

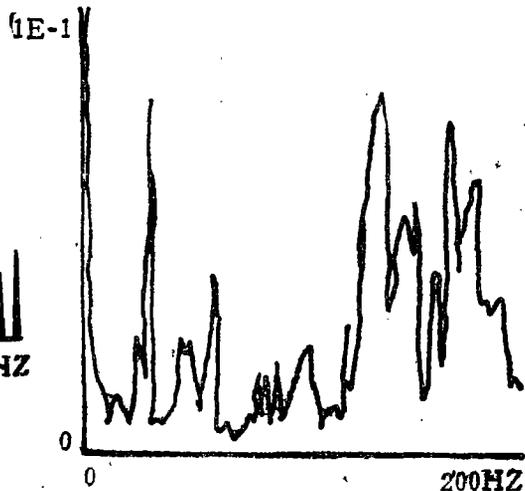


图 5

此外还作了 \*1、\*2 瓦在升速、降速过程中的峰值保持图。图 5 为汽轮机转速从 1000rpm 升至 1900r/min 的 \*2 瓦水平方向振动峰值保持图。

### 3. 信号处理

(1) 利用模糊数学概念

利用模糊关系矩阵 [R] 和模糊向量 {A}，建立对模糊向量 {B} 的多因子综合判断。

$$\{B\} = [R] \cdot \{A\} \tag{1}$$

其中：模糊矩阵 [R] 见表 2。

模糊向量 {A}，系用“升半哥西分布”型的隶属函数 [2]，即：

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq a \\ \frac{K(x-a)^2}{1+K(x-a)^2} & a < x < \infty \end{cases} \tag{2}$$

假定：

a) 轴瓦振动 0.05mm 为振动允许值，并取隶属度为 0.5，当振幅超过 0.05mm，隶属度将大于 0.5，则认为“振动大”，即振动超过允许值了。

b) 对振动信号频谱各谐波的幅值可采用不同的隶属函数。例如可对一次谐波  $f_1$  取  $\mu(x)$  作为隶属函数；对 0.5 次谐波取  $\mu^{0.25}(x)$  作为隶属函数；对 (0.01~0.49)  $f_1$ ，(0.51~0.99)  $f_1$  及其它各整次谐波，高频成份，均取  $\mu^{0.5}(x)$  作为隶属函数。本文因是对加速度响应功率谱进行模糊计算，故各次谐波皆取  $\mu(x)$  为隶属函数。

根据振动允许值，传感器灵敏度等，利用 (2) 式、并假定该式  $a = 0$ ，则可求得 K。

本机组因无正常振动信号，故取 1900r/min 时的 \*1 瓦垂直振动功率谱 (图 3) 作为基准，因这点的振动值 0.038mm 为允许值。图 3 中功率谱最大值为  $5.07 \times 10^{-3} V^2 = 5.07 \times 10^3 mV$ ，设其为 (2) 式中的  $x^2$ ，当取  $\mu(x) = 0.5$ 、由 (2) 式得  $K = 1/5000$ 。

为利用 (1) 式进行模糊诊断，将图 2~图 4 的谱峰值列于表 1，根据表 1 的值由 (2) 式求出对应的隶属度，也列于表 1。即可得三个模糊向量 {A<sub>11</sub>}、{A<sub>1-</sub>}、{A<sub>2-</sub>}。

{A<sub>11</sub>}——\*1 瓦垂直方向振动模糊向量；

{A<sub>1-</sub>}——\*1 瓦水平方向振动模糊向量；

{A<sub>2-</sub>}——\*2 瓦水平方向振动模糊向量；

因是同一症候群可用普通的矩阵运算。即：

$$\{B\} = [R] \cdot \{A\} \tag{1'}$$

计算结果由 (3) 式给出。

$$\{A_{11}\} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.35 \ 0.5 \ 0.27 \ 0.23 \ 0.22]^T$$

$$\{A_{1-}\} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.87 \ 0.20 \ 0.16 \ 0.41 \ 0.11]^T$$

$$\{A_{2-}\} = [0.68 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.68 \ 0.45 \ 0.58 \ 0.56 \ 0.27]^T$$

表 1

加速度功率谱		*1 ⊥		*1 -		*2 -	
阶次	频率 HZ	谱峰mV	隶属度	谱峰mV	隶属度	谱峰mV	隶属度
(0.01~0.49) f <sub>1</sub>		0	0	0	0	10600	0.68
f <sub>1</sub>	31.5	2670	0.35	33100	0.87	10600	0.68
2f <sub>1</sub>	63	5070	0.5	1910	0.28	4060	0.45
3f <sub>1</sub>	95	319	0.05	913	0.15	715	0.13
4f <sub>1</sub>	126.5	4290	0.46	711	0.12	16200	0.76
5f <sub>1</sub>	158	2190	0.31	1290	0.21	31800	0.86
>5f <sub>1</sub>		1400	0.22	639	0.11	1730	0.27

初始不平衡	0.34	0.8	0.66
转子部件脱落	0.34	0.8	0.66
转子暂时热弯曲	0.34	0.8	0.66
汽封碰磨	0.22	0.28	0.45
轴向碰磨	0.22	0.28	0.45
轴线不对中	0.42	0.5	0.55
转轴对轴颈偏心	0.38	0.85	0.63
轴裂纹	0.34	0.45	0.53
转子红套过盈不足	{B <sub>11</sub> } = 0.02	{B <sub>1-</sub> } = 0.04	{B <sub>2-</sub> } = 0.40
轴承座松动	0.03	0.02	0.48
箱体支座松动	0.12	0.21	0.40
联轴器不精确	0.25	0.27	0.39
间隙引起振动	0.34	0.52	0.59
亚谱共振	0	0	0
油膜涡动	0	0	0
油膜振荡	0	0	0
蒸汽涡动	0	0	0
汽流压力脉动	0.15	0.14	0.42
阀门振动	0.22	0.01	0.27

(3)

{B<sub>11</sub>}——\*1瓦垂直方向振动模糊诊断结果;

{B<sub>1-</sub>}——\*1瓦水平方向振动模糊诊断结果;

{B<sub>2-</sub>}——\*2瓦水平方向振动模糊诊断结果。

由(3)式可看到,隶属度大于0.5的故障有:转子不平衡;轴弯曲;转子不对中;

表 2

序 号	故 障 类 别	第一模糊关系矩阵[R]								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	初始不平衡					.9	.05	.05		
2	转子部件脱落					.9	.05	.05		
3	转子暂时热弯曲					.9	.05	.05		
4	汽封碰磨	.1	.1		.1	.2	.1	.2	.1	.1
5	轴向碰磨	.1	.1		.1	.2	.1	.2	.1	.1
6	轴线不对中					.4	.5	.1		
7	转轴对轴颈偏心					.8	.2			
8	轴裂纹					.4	.2	.2		.2
9	转子红套过盈不足	.4	.4		.1				.1	
10	轴承座松动	.5	.4					.1		
11	箱体支座松动	.3	.2						.5	
12	联轴器不精确	.1	.2		.1	.2	.3	.1		
13	间隙引起振动					.1	.2	.2		.2
14	亚谐共振			.1						
15	油膜涡动		.1							
16	油膜振荡		.1							
17	蒸汽涡动		.3	.1	.3					
18	汽流压力脉动	.2	.2					.2	.2	.2
19	阀门振动									.1

注：•表中第一行1~9代表转速倍数的频率，其分别为：1— $(.01\sim.39)f_1$ ；2— $(.40\sim.49)f_1$ ；3— $50f_1$ ；4— $(.51\sim.99)f_1$ ；5— $f_1$ ；6— $2f_1$ ；7— $(3\sim 5)f_1$ ；8—奇倍数 $f_1$ ；9—高频 $>5f_1$ 。

其中， $f_1$ 转速频率。

轴承对轴颈偏心；间隙引起的振动等。

(2) 利用频谱特点来识别故障

由图3可以看到：二次谐波分量较大，有可能转子不对中，图3中一次谐波大，可认为转子不平衡及轴弯，图4中高次谐波分量突出，即可断定转子有碰磨现象等等。从图6峰值保持图也可看到存在高频振动，故有可能存在碰磨、刮缸现象。由测得的振动数据（见本文二）可看到缸体振动明显地比轴承振动值大，这也说明有刮缸的可能。

四、诊断结论

根据以上方法诊断可以认为：

- a) 转子存在不平衡；
- b) 转子存在不对中现象；
- c) 转子部分可能有碰磨现象；
- d) 轴瓦有磨损。

## 五、机组实际故障情况

打开前后轴承箱,发现轴瓦乌金磨损严重,有0.2~0.3mm的沟痕。开缸发现全部五级叶片围带上均发生与气缸的严重磨损,最大约深1mm。

由此可见,实际故障情况与预测故障情况是相吻合的。所以用模糊数学方法及谱识别方法进行工业汽轮机故障诊断是行之有效的。

## 六、排除故障后的振动情况

有故障的转子被送到生产厂家——青岛汽轮机厂进行修复、平衡。修复好的转子安装后,试车成功。目前已投入正常运行。在工作转速3000r/min下其振动值为:

1°瓦水平振动: 0.012mm;

2°瓦水平振动: 0.036mm;

汽缸水平振动: 0.02mm。

在整个振动测试过程中,张德岩等同志一直协同参加工作。

## 参 考 文 献

1. 徐世昌 夏松波: 汽轮机转子模拟试验台“不对中”的实验研究与诊断 哈尔滨工业大学 Proceedings of CSMDT/86 p311~319
2. 黄文虎 邵成勋: 模糊数学方法在汽轮机振动故障诊断中的应用 哈尔滨工业大学 Proceedings of CSMDT/86 p96~100
3. I.S.Sohre: Trouble-Shooting to Stop Vibration of Centrifugals Petrolchem Engineer NOV. 1968 P22-33

# Industrial Steam Turbine Fault Diagnosis

Wu Xinhua, Wang Guangming, Xia Songbo

(Harbin Institute of Technology)

## Abstract

Taking a 6MW back-pressure turbine as an example, this paper gives a description of a fault recognition diagnosis for steam turbines. Fuzzy mathematic method and frequency spectrum analyzing method are used in the diagnosis. The main faults diagnosed such as rotor unbalance, misalignment, rubbing, and bearing shoes wear are coincident with those actually found in the unit.

**Key words:** steam turbine, fault diagnosis