

汽轮发电机组振动故障诊断

李录平

(长沙水利电力师范学院)

[摘要] 本文提出了用于回转机械振动故障诊断的物理模型和数学模型。该数学模型可用于大型汽轮发电机组振动故障的诊断。

关键词 汽轮发电机组 振动 故障诊断 数学模型

汽轮发电机组是大型回转机械,其运行的安全性和可靠性对整个火电厂的安全运行起着重要作用。而汽轮发电机组的振动是最为常见也是最为复杂的故障。正确、快速地诊断机组振动故障产生的原因,是消除振动故障的先决条件。

随着机组单机容量的不断增大,产生振动的原因更多,机组表现出来的振动特征也就更为复杂。在实际机组中,可能有多个振动原因同时作用在机组上,使机组产生复杂的振动现象。当然,这些同时作用在机组上的振动原因,在程度上是有轻重之分的。要想正确地找出机组振动的主要原因和次要因素,就必须给出描述振动原因与振动现象之间相关关系的数学模型。

1 振动故障诊断的物理模型

在许多情况下,造成汽轮发电机组振动过大的原因并不是单一的。即,机组可能在多种因素作用下产生过大的振动,并且表现出来的振动特性也是多种多样的。这种复杂的

因果关系(或相关关系)可用图1来表示。在图1中,假设机组产生振动的原因有几个,机组表现出来的振动特征有 m 个。每一个振动原因可能使机组产生几个振动特征。也就是说,每一个振动原因,都可以通过振动系统与一个甚至几个振动特征建立相关关系。反之,当机组在运行过程中呈现出某几个振动特征时,可能是由于一个甚至几个振动原因对振动系统施加了影响。

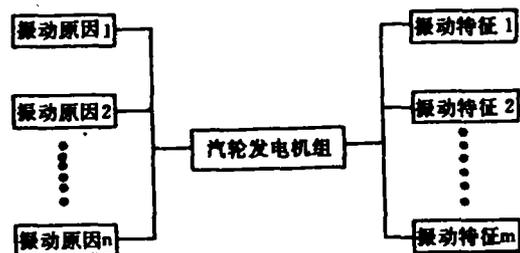


图1 振动系统因果关系方框图

因此,可以将图1转化成图2所示的网络的形式^[3]。

收稿日期 1992-05-11 修改定稿 1992-12-25

本文联系人 李录平 男 30 讲师 410077 长沙

表 1 振动故障诊断因果系表

振 动 特 征 振 动 原 因		工 况 因 素				时 间 因 素				频 率 特 征										
		转速	电磁力	并网	负荷	热状态	突变	快变	渐变	慢变	不规则 振动	$\leq f_n$	f_n	$2f_n$	$f_c/2$	f_c	$2f_c$	f_0	音频	
转体原始不平衡	转体原始不平衡	**										**								
转体零件飞脱与异物附着	转体零件飞脱与异物附着	**			*							**								
转体热不平衡	转体热不平衡				**				**			**								*
动静部件摩擦	动静部件摩擦	*					**					**								
轴永久弯曲	轴永久弯曲	**										**								
轴对中心不良	轴对中心不良	*			*							**								
转体刚度不对称	转体刚度不对称	**										**		*						
蒸汽激振(同膜激振)	蒸汽激振(同膜激振)				**							**				**				
励磁机工频旋转激振	励磁机工频旋转激振	*			*							**								
油膜激振	油膜激振	**							**											
轴承断油	轴承断油											**								
电磁不平衡	电磁力直接影响		**						**			**								
	励磁电流引起热影响		**						**			**								
支撑标高 相对变化	承载轻引起油膜激振				**							*								
	汽机排汽缸上轴承	*			**				**			**								
	落地轴承				**							**								
轴裂纹	环形裂纹	*										**								
	单侧裂纹	*										**								
固定型或半固定联轴器缺陷	固定型或半固定联轴器缺陷	*			*							**								
	齿式联轴器缺陷				**				**			*								**

乘法求出该方程组的一组最优近似解。

设方程组(2)的一组最优近似解为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 。将近似解代入原方程组后,方程两边之差为误差 R_j :

$$R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot a_i - b_j \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

按最小二乘法准则,将方程式的误差平方和:

$$S = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot a_i - b_j \right]^2 \quad (5)$$

作为衡量近似解近似程度的标志。如果 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的一组值使误差的平方和为最小,则该组值就是方程(2)的最优近似解。

S 可以看成是 n 个自变量 a_i 的二次函数,则求解方程(2)的问题可化成二次函数 S 的最小值问题。因二次函数 S 是 a_1, a_2, \dots, a_n 的连续函数,且 $S = \sum_{j=1}^m R_j^2 \geq 0$, 故一定存在一组数 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, 使 S 达到最小值。欲使 S 达到最小值,必须满足条件

$$\frac{\partial S}{\partial a_k} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

因为

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial a_k} &= \sum_{j=1}^m 2 \left[\sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot a_i - b_j \right] \cdot r_{kj} \\ &= 2 \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot r_{kj} \cdot a_i - r_{kj} \cdot b_j \right] \\ &= 2 \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot r_{kj} \right) a_i - \sum_{j=1}^m r_{kj} \cdot b_j \right] \end{aligned}$$

因此,极值条件就化为:

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot r_{kj} \right) a_i = \sum_{j=1}^m r_{kj} \cdot b_j \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

上式即为具有 n 个未知数和 n 个方程式的线性方程组,它被称为对于矛盾方程组(2)的正规方程组,而正规方程组(7)的解就是矛盾方程组(2)的最优近似解。

若令

$$[A] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & \cdots & r_{n1} \\ r_{12} & r_{22} & \cdots & r_{n2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{1m} & r_{2m} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

$$[a] = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n]^T$$

$$[b] = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_m]^T$$

则方程(2)写为:

$$[A][a] = b \tag{8}$$

对应正规方程(7)的矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} \Sigma r_{1j}^2 & \Sigma r_{1j} \cdot r_{2j} & \dots & \Sigma r_{1j} \cdot r_{nj} \\ \Sigma r_{2j} \cdot r_{1j} & \Sigma r_{2j}^2 & \dots & \Sigma r_{2j} r_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Sigma r_{nj} \cdot r_{1j} & \Sigma r_{nj} \cdot r_{2j} & \dots & \Sigma r_{nj}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma r_{1j} b_j \\ \Sigma r_{2j} \cdot b_j \\ \dots \\ \Sigma r_{nj} \cdot b_j \end{bmatrix} \tag{9}$$

式中 Σ 表示 $\sum_{j=1}^m$.

根据矩阵的乘法规则,将原矛盾方程组的系数矩阵 $[A]$ 左乘其转矩阵 $[A]^T$ 得:

$$\begin{aligned} [A]^T[A] &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & \dots & r_{n1} \\ r_{12} & r_{22} & \dots & r_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1m} & r_{2m} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \Sigma r_{1j}^2 & \Sigma r_{1j} \cdot r_{2j} & \dots & \Sigma r_{1j} \cdot r_{nj} \\ \Sigma r_{2j} \cdot r_{1j} & \Sigma r_{2j}^2 & \dots & \Sigma r_{2j} r_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Sigma r_{nj} \cdot r_{1j} & \Sigma r_{nj} \cdot r_{2j} & \dots & \Sigma r_{nj}^2 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{10}$$

$[A]^T[A]$ 正是正规方程组(9)的系数矩阵。

将 $[A]^T$ 左乘 $[b]$, 得:

$$[A]^T[b] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma r_{1j} \cdot b_j \\ \Sigma r_{2j} \cdot b_j \\ \dots \\ \Sigma r_{nj} \cdot b_j \end{bmatrix} \tag{11}$$

$[A]^T[b]$ 正好是正规方程组(9)的右边的常数列向量。故方程(9)可表示为:

$$[A]^T[A][a] = [A]^T[b] \tag{12}$$

记

$$[A]^T[A] = [X]_{n \times n}$$

$$[A]^T[b] = [Y]$$

则方程(12)变为:

$$[X][a] = [Y]$$

则有:

$$[a] = [X]^{-1}[Y] \quad (13)$$

利用方程(13)可计算出 a_1, a_2, \dots, a_n 。根据 a_1, a_2, \dots, a_n 的大小来进行振动故障诊断。而方程组(2)的系数矩阵 $[A]$ 是根据统计资料或现场试验求得。

若将此数学模型编制成电子计算机程序,就可以利用计算机对振动故障进行诊断。

参 考 文 献

- 1 张游祖. 汽轮发电机组振动故障诊断方法的评价. 电力技术, 1988(5), 64-68
- 2 戴德森. 汽轮发电机组振动原因浅述. 汽轮机技术, 1988(3), 33-39
- 3 安田千秋等. Diagnostic System Based on Vibration Measurement for Rotating Machines(日). 火力原子力发电, Vol. 40 (2), 167-180

维护技术

锅炉维护软件

据“Power Engineering”1992年10月号报道,为了改进锅炉维护技术,美国电力研究所(EPRI)矿物燃料电站部已制定了“锅炉维护工作站(Boiler Maintenance Workstation)”软件系统。该新型软件工具现在已可供应用并证明能有效地预防锅炉故障和强迫停机。

所设计的锅炉维护工作站(BMW)能完成无损探伤计划,检测故障管的材料,研究故障事件,查明故障机理和根本原因;应用材料寿命的评估来确定剩余使用寿命;根据具体管子的状况数据制定更换计划;以文件形式提供维护过程和其它有价值的信息。

BMW的输入是无损探伤数据、故障经历、修理活动和工作条件,其输出是维护计划、故障机理、修理要求、剩余使用寿命、无损探伤报告和和经验报告。锅炉管子的故障工作站由六个要素组成,即数据分析工具、报告工具、故障诊断工具、耗蚀监测工具、故障预测工具和质量改进工具。

实际应用表明,利用锅炉维护工作站,因锅炉管子故障而导致的锅炉利用率损失已从(3-4)%减少到(1.5-2)%。由于BMW诊断工具的制定并得到验证,电站工程师现在已能更好地预防强迫停机并实施正式的维护改进计划。(学奥 供稿)

- (183) **Preliminary Test Results of the World' s First Kalina Cycle Electric Power Station** Wang Zhenhua (*Nanjing Gas Turbine Research Institute*)
This paper gives a brief description of the configuration and preliminary test results of the first Kalina cycle demonstrational power plant sited in the state of California of USA. **Key words:** *Kalina cycle, power generation, testing*
- (186) **The Application of Gas Turbines in Offshore Oil Fields and Specific Requirements To Be Met by Such Turbines** Zhang Xuchen (*Ocean Engineering Institute of South China Sea Eastern Petroleum Corporation*)
Based on the developments of Chinese offshore oil fields in recent years and engineering experiences gained during his participation in the exploration of some oil fields in China , the author has made a preliminary study and analysis of the application considerations and technical requirements to be met by the offshore oil field-oriented gas turbines. Given in this paper are also some proposals aimed at the development of gas turbines intended for use in Chinese offshore oil fields. **Key words:** *application of gas turbines, technical requirements, proposals*
- (191) **The Development of Coal-fired Gas Turbines** Zhang Chunlin (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)
Key words: *gas turbine, coal firing, pressurized fluidized bed combustion*
- (194) **Vibration Failure Diagnosis of a Turbogenerator set** Li Luping (*Electrical Engineering Department of Changsha Teacher' s College of Hydroelectric Power*)
This paper deals with a physical and mathematical model for the vibration failure diagnosis of rotary machines. The mathematical model can be used for the diagnosis of vibration failures of large-sized turbogenerator sets. **Key words:** *turbogenerator set, vibration, failure diagnosis, mathematical model*
- (200) **High-efficiency Low-pressure Steam Turbines** Zhang Chunlin (*Technical Information Research Institute of Water Resources and Electric Power under the Ministry of Energy Sources*)
Key words: *low-pressure steam turbine, efficiency*
- (202) **An Experimental study of Contact Fatigue Strength of Soft-Hard Tooth Face Gears** Huang Qingrui, Huang Wei (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)
This paper describes in detail the contact fatigue tests of gears made of 42CrMo steel which had been subjected to a heat treatment of quenching and tempering and gears of carburized/quenched 20CrMnMo steel. Covered in the paper are such a variety of items as test aims, test conditions and method, main parameters of CL-100 gear testing machine and gear test pieces, test results and data processing, the evaluation of test results, etc. **Key words:** *gear*