

汽轮机调节系统故障诊断系统

(哈尔滨工业大学 能源学院, 黑龙江 哈尔滨 150001) 鲍文 于达仁

(锦州东港电力有限公司, 辽宁 锦州 121000) 李文祝 孙世友 马国林 许伟*

摘要: 汽轮机调节系统的故障诊断装置可以记录汽轮机调节系统关键参数的变化趋势, 实现了汽轮机静特性在线计算、滑阀卡涩状态检测以及调节系统振荡故障诊断的功能, 可以大大提高调节系统的运行安全性, 对系统预测维修起着积极的作用。

关键词: 汽轮机; 调节系统; 故障诊断

中图分类号: TK263.72 TP277 文献标识码: A

1 前言

透平机械是高速旋转机械, 其调节系统的运行状态直接关系到机组的安全, 已发生了多起因调节系统故障导致超速毁机的恶性事故^[1-2]; 1985年10月29日山西省某电厂200 MW汽轮机甩负荷, 由于调速系统失控导致机组超速、整机报废, 损失巨大; 1993年广东省某电厂300 MW汽轮机因调节阀杆卡涩在用负荷时发生超速, 最高转速达4 200 r/min, 所幸未造成严重损坏。在正常运行中, 由于调节系统故障造成负荷突变、转速波动无法并网、带不满负荷等各种非正常情况的事例多有报道; 据统计, 在汽轮机的非正常停机中有1/3是由调节系统故障引起的。很多研究和生产部门开展了调节系统故障机理分析及监测诊断方法的研究, 在故障诊断的方法和故障机理等方面取得了一定成果^[3-5]。

调节系统故障已经受到了电力生产部门高度重视, 但是由于汽轮机调节系统故障诊断涉及面广、内容多, 所以直到现在国内还很少有调节系统故障诊断系统在现场运行, 建立实用的调节系统故障诊断系统已迫在眉睫。另一方面, 大机组的定期维修已逐渐向预测维修过渡, 调节系统故障诊断是调节系统预测维修的基础, 因此开展调节系统故障诊断系统研制是十分必要的。

2 调节系统故障诊断系统结构

为了适应预测维修和网络化的需求, 调节系统

故障诊断系统采用了Intranet结构。就地设置了一台工控机, 进行测量、诊断工作, 显示和系统设置在网络上的进行。系统的网络连接如图1所示。

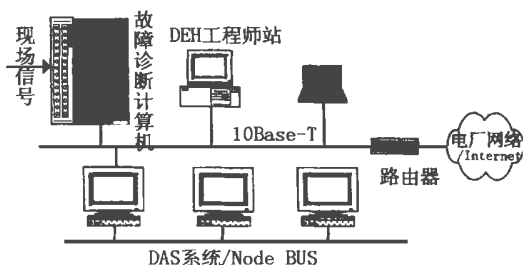


图1 故障诊断系统硬件结构

快速变化的现场信号通过A/D板进入就地计算机, 这些信号包括: 各滑阀的上下油压、电液转换器位置、功率、油动机位移、主汽压、主汽温以及各调门后压力等等; 有一部分慢变或者无法通过采集板得到的信号从网络上的DAS系统中取得, 比如: 电/液调状态、油开关状态、CCS投切等信号。

原始采集数据的采样周期为10 ms, 由于计算机存储限制, 无法保存过多快速的采样数据, 为此, 系统对采集数据二次采样生成了慢速的采样数据, 采样周期为1 s, 系统同时保存了快速采样数据和慢速采样数据各2 000点用于故障诊断。当故障诊断系统发现可能出现故障或者有操作发生, 将同时保存快速采样数据和慢速采样数据, 这样既可以记录故障发生时的当时快变过程, 也记录了近一段时间内的各个物理量的变化过程。为了避免存储溢出, 历史数据保存采取了数据环结构, 系统只保存一定次数的历史数据, 随着保存次数增多, 新数据将覆盖老数据。

故障诊断系统的显示采用了浏览器方式。就地计算机作为WWW服务器, 在网络上的任一台计算机上都可以用浏览器察看当前数据、历史纪录数据以及诊断结果。

3 调节系统故障监测

汽轮机调节系统故障诊断系统包括故障监测和故障分析两方面。故障监测包括系统运行特性诊断、调节系统各个部件运行状态的判断等功能;故障分析为出现故障后,分析故障源和给出故障对策等。调节系统运行特性主要为系统的静特性,从静特性中得到的特征为不等率和迟缓率。以下对部分监测诊断算法进行论述。

3.1 调节系统迟缓率计算

迟缓率对调节系统的正常运行有很大的影响,实际的迟缓率与调节系统各个部件迟缓率有关。滑阀迟缓率 Δ_c 可以用下式计算^[6]:

$$\Delta_c = \frac{\left(\frac{\partial Q_x}{\partial P_x} - \frac{\partial Q_h}{\partial P_x}\right) * \Delta P_x}{\frac{\partial Q_x}{\partial x} * \Delta x_{\max}}$$

其中, Q 为流量, P 为压力,下标 x 为流入端,下标 h 为流出端, Δx_{\max} 为滑阀的最大行程, ΔP_x 为脉动油压的变化幅值。由于

$$Q_x = \alpha_{b,x} x \sqrt{\frac{2}{\rho} P_x}$$

$$Q_h = \alpha_{b,h} h \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_0 - P_x)}$$

进一步得到

$$\frac{\partial Q_x}{\partial P_x} = \alpha_{b,x} x \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{P_x^{-1/2}}{2}}$$

$$\frac{\partial Q_h}{\partial P_x} = \alpha_{b,h} h \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_0 - P_x)^{-1/2}}{2}}$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} = \alpha_{b,x} \sqrt{\frac{2}{\rho} P_x}$$

将上面三式代入迟缓率计算公式,并利用 $P_0 = 2P_x$ 的关系,化简得到

$$\Delta_c = \frac{2x * \Delta P_x}{\Delta x_{\max} P_0}$$

利用上式可以计算迟缓率。式中调速油压和脉动油压变化可以直接测到,而滑阀油口最大开度为设计尺寸。滑阀的行程一般比较难测,而它对最终的计算结果有较大的影响,可以使用负荷反推滑阀开度。

200 MW 汽轮机有随动滑阀、中间滑阀以及两个油动机滑阀。调节系统的总迟缓率为各滑阀迟缓率的和与调节系统不等率的乘积。

3.2 滑阀卡涩故障监测

200 MW 汽轮机可能出现卡涩的位置有:随动滑阀、分配滑阀、中间滑阀、左右油动机滑阀、反馈滑阀、配汽机构以及电液转换器。每个滑阀的卡涩形成的现象不同,可以利用各自的特征分别不同的卡涩。

诊断滑阀卡涩的方法有几种,如力平衡方法、参数辨识、模式识别方法等。不同方法对故障的灵敏度和可信度不同,需要综合应用这些方法。其中力平衡方法物理概念清晰,可以直接得到卡涩产生的摩擦力。

以中间滑阀为例,作用在滑阀上的力平衡方程(忽略惯性力和阻尼力)为:

$$P_0 A_1 = P_x A_2 - \operatorname{sgn} \frac{dx}{dt} F_R + C_{RF}$$

其中 F_R 为干摩擦力,它作用方向与滑阀的运动方向相反。如果忽略静摩擦力与动摩擦力的差别,它的大小可以近似的看为常数。 C_{RF} 为油流反作用等其他附加作用力,这些力一般很小,可以忽略不计。

在理想情况下不存在摩擦力时,并略去 C_{RF} ,则一次脉动油压

$$P_{x0} = \frac{A_1}{A_2} P_0$$

所以油压 P_x 偏离其额定值 P_{x0} 的程度可以用来衡量干摩擦力的大小,当偏差超出一定阈值后,可以认为滑阀卡涩。

由于主轴泵出口油压波动等各种原因,在正常工作时脉动油压甚至也是波动的,其幅值有时可能还比较大。高速变化的油压波动可以使用低通滤波器消除,对慢变为的调速油压影响,可以使用 $P_x - \frac{A_1}{A_2} P_0$ 作为诊断值,消除由于 P_0 变化引起的判断失误。

力平衡方法可以诊断随动滑阀、中间滑阀、油动机滑阀的卡涩。随动滑阀和中间滑阀卡涩可以直接使用上面的方法即可,而油动机滑阀和反馈滑阀卡涩都将引起二次脉动油压变化,需要进一步分析。当油动机滑阀卡涩时,引起二次脉动油压变化方向和油动机位移变化方向相反,或者引起二次脉动油压变化而油动机不动,即由于油动机滑阀失灵;当出现反馈滑阀卡涩时,油动机动作是二次脉动油压变化引起的,但由于随动滑阀卡涩,造成二次脉动油压难以很快恢复,这使得二次脉动油压变化方向和油动机位移方向相同,同时反馈滑阀卡涩造成的油动机动作范围一般较大。

3.3 其它卡涩故障监测

汽轮机调节系统中除了滑阀容易卡涩外,配汽机构和电液转换器也容易卡涩。

由于配汽机构的阀杆卡住或者提升力过大,都可能导致配汽机构卡涩、阀杆不运动。配汽机构在卡涩时将导致油动机活塞下油压过高。通过这一判断,可以判定配汽机构卡涩。

由于电液转换器在运行中为了克服卡涩,一般在线圈上增加振颤信号,所以在电液转换器的位移中也存在着同样频率的信号。电液转换器的振颤幅值在一定程度上代表了电液转换器的卡涩程度:如果电液转换器运行良好,振颤幅值较大;反之,振颤幅值较小甚至电液转换器停振。振颤幅值的计算可以FFT分析得到,当电液转换器的振颤幅值小到一定阈值时,就可以认为电液转换器已经卡涩。

4 调节系统振荡故障诊断^[3]

引起调节系统振荡物的原因除了滑阀卡涩之外,还有:不等率过小、迟缓率过大、蒸汽参数过高、主油泵弹性联轴器磨损以及DEH系统参数设置不当等。

调节系统振荡用了专家系统方式诊断调节系统振荡故障源。为了有利于排除故障,在不同的故障源中,给出了相应的基本排除故障的措施;另外,为了提高诊断的可靠性和说服力,诊断结果中给出了诊断的过程。

5 调节系统故障诊断运行实例

本系统于1998年8月正式投入运行,已经多次准确诊断到调节系统的故障,对机组的安全运行起到了十分重要的作用。

机组在大修后正常运行了2个月,出现了随机快速滑负荷现象。负荷从140 MW~200 MW快速滑落到很小的功率(有的达到了0 MW),然后功率又快速回升为原负荷点,整个过程时间小于3秒。由于这种滑负荷现象出现的十分频繁,有时甚至在10分钟内有3次之多,严重危害了机组的正常运行。故障诊断系统诊断出该故障为微分器卡涩造成,建议处理微分器,电厂对微分器限位运行,消除了滑负荷故障。

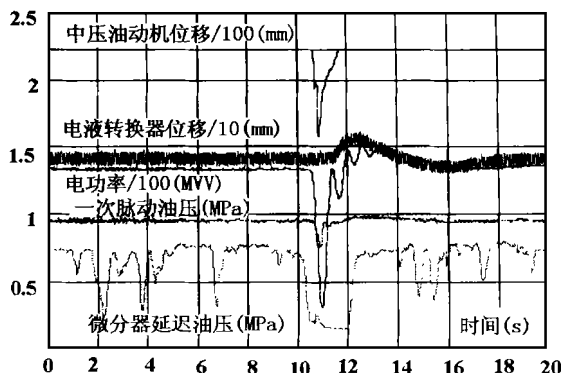


图2 快速滑负荷的时域过程

从图2所示的记录数据中,电液转换器动作在功率下落之后,并且方向相反,因此它为正常操作,不是故障源;一次脉动油压下跌,时间与电功率下落时间相同,因此故障出现在一次脉动回路;微分器延迟油压非正常的随机下跌,为故障状态,并且,它在电功率下落前下落,为故障源;中压油动机非正常关闭,也表明故障处在微分器。

6 总结

汽轮机调节系统的故障诊断装置可以记录汽轮机调节系统的快速变化趋势,它实现了汽轮机静特性计算、滑阀卡涩状态检测以及调节系统振荡故障诊断等功能,它的投运可以大大提高调节系统的运行安全性,对调节系统预测维修起着积极的作用。系统采用了先进的Intranet方式,可以进行远程诊断和显示,可以大大提高诊断的准确性。

参考文献

- [1] 能源部安全环保司. 1985年电力事故选编—发电事故. 北京: 水利电力出版社, 1989年.
- [2] 房德明. 汽轮发电机严重损坏事例及分析. 中国电力, 1994, (5): 29—33.
- [3] 于达仁, 曹建明, 徐基豫. 汽轮机液压调速调节系统几种常见故障诊断分析. 热能动力工程, 1992, 7(5): 259—262.
- [4] 徐基豫, 于达仁, 康敏. 汽轮机液调系统的故障诊断方法. 中国电机工程学报, 1990, 10(4): 1—7.
- [5] 田鹤年. N125型汽轮机调节系统常见缺陷的分析与改进. 汽轮机技术, 1992, 34(3): 28—31.
- [6] 于达仁. 汽轮机调节系统卡涩故障机理及监测方法研究: [博士论文]. 哈尔滨工业大学, 1996.

(渠 源 编辑)

汽轮机调节系统故障诊断系统 = **Failure Diagnosis System for a Steam Turbine Regulating System** [刊, 汉] / Bao Wen, Yu Daren, Li Wenzhu, *et al* (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 298 ~ 300

With the help of the failure diagnosis system of a steam turbine regulating system it is possible to record the variation trend of the key parameters of the said system. The realization of such functions as the on-line calculation of steam turbine static characteristics, the detection of pilot valve stuck status and the regulating system oscillation failure diagnosis can result in a significant enhancement of the operating safety of the regulating system. Moreover, the above also plays a positive role in the preventive maintenance and repair of the regulating system. **Key words:** steam turbine, regulating system, failure diagnosis

案例推理在汽轮发电机组故障诊断中的应用 = **The Application of Case-based Reasoning in the Failure Diagnosis of Turbogenerator Units** [刊, 汉] / Ruan Yue (Envada Co. of Northern China Electric Power Research Institute, Beijing, China, Post Code 100045) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 301 ~ 303

On the basis of the specific features of a failure diagnosis the author has standardized the method of organization and representation of cases. The symptoms of a case are divided into essential symptoms of certainty and other symptoms. Based on the certainty and fuzzy weight a retrieval strategy of cases is proposed. Moreover, a correction was performed regarding the calculation of similarity degree, thereby enhancing the reliability of case-based reasoning. **Key words:** case-based reasoning, failure diagnosis, turbogenerator unit

惯性浓淡旋流燃烧器的原理及其在 50 t/h 锅炉上的应用 = **The Theory of an Inertial Bias Swirl Burner and Its Application on a 50 t/h Boiler** [刊, 汉] / Li Zhengqi, Sun Rui, Wang Lei, *et al* (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 304 ~ 305, 308

On the basis of pulverized-coal swirl burners of a radial bias combustion mode this paper proposes a new type of burner, the so-called inertial bias combustion (IBC) swirl burner. In such a burner a pulverized-coal concentrator located near the burner nozzle has been incorporated in a primary air passage. After the primary air has been admitted through the pulverized-coal concentrator there will emerge from the burner center outward a distribution trend of pulverized-coal concentration ranging from a high to a low value. Thanks to the inertia of the pulverized-coal particles such a distribution trend can be maintained right up to the burner outlet. A layout of the burners pertaining to a pulverized bituminous coal-fired boiler of 59 t/h is presented with a brief account being given concerning the pre-modification operating conditions. **Key words:** boiler, swirl burner, pulverized-coal bias combustion

新型旋流燃烧技术应用于漳泽电厂 210 MW 机组锅炉低负荷改造 = **Novel Swirl Burners and Their Application at Zhuangze Power Station for the Low-load Stable Combustion of Boilers of a 210 MW Unit** [刊, 汉] / Tan Houzhang, An Enke, Hui Shien, *et al* (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, China, Post Code 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 306 ~ 308

Novel axial-blade swirl burners were put into use at Zhuangze Power Station in connection with the technical modification of boilers No. 3-6 (4 units) of a 210 MW unit. As a result, problems specific to original burners, such as combustion instability and loss of flame, etc have been solved. Moreover, attained are a flexible regulation of secondary air swirl intensity and the alleviation of wear in the primary air pipes. The switch to the new swirl burners has made it possible to realize a stable combustion of the 100 MW boilers at low loads (46% of full load) with no need for the use of fuel oil. **Key words:** swirl burner, boiler modification, low load

无旁通烟道燃气—蒸汽联合循环机组的运行维护和停运 = **The Operation, Maintenance and Shutdown of a Gas and Steam Turbine Combined Cycle Power Plant not Fitted with a Bypass Stack** [刊, 汉] / Yao Tingsheng,