

发电设备状态检修平台总体方案的研究与探讨

林华¹, 李军²

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016; 2. 山东菏泽发电厂, 山东 菏泽 274032)

摘要: 针对国内大多数火力发电厂设备检修的现状, 详述了状态检修的概念, 并针对电厂设备提出了一套完整的状态检修平台的设计方案, 采用模块化结构的设计思想, 平台界面友好、使用方便, 为电厂实现真正意义上的状态检修提供一种可行性方案。

关键词: 发电设备; 状态检修; 在线监测与诊断

中图分类号: TM311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0065-05

0 引言

目前, 电力销售已由卖方市场变为买方市场, 各电力经营者都将进入成本独立核算的管理模式, 而厂网分离, 竞价上网势在必行。所以, 降低成本是各电力生产单位在竞争中求得生存发展的根本保证。而其中重要的举措之一就是科学通过科学的检修方法, 既提高设备的健康水平又降低成本。目前, 电力系统检修的主要方式为计划检修和故障检修。计划检修也称定期检修, 在电厂通常分大修和小修, 不管设备的状态怎么样, 到期必修, 缺乏针对性和经济性, 往往造成人力、物力的极大浪费, 加大了发电成本; 而故障检修则是在出了故障之后才对设备进行检修, 不能及早发现设备的故障或缺陷, 这些都反映了现有检修方法的不合理性和局限性。近几年来, 国外状态检修的思想和做法传入国内, 并逐步得到重视。

1 状态检修的基本思想

状态检修的基本思想是: 设备应尽可能长时间地处于运行状态, 只有到设备结构和性能达到即将被破坏的临界状态才停运检修。

它与过去传统的检修有 3 个显著不同点:

1) 安排检修的依据不同。计划检修是依据设备的使用时间, 而不管设备运行状况和健康状况; 纠正性检修是设备出现故障不能运行时安排的检修; 而状态检修是以设备当前的实际运行工况和工作状态为依据;

2) 安排检修的项目不同。状态检修的检修项目是通过日常巡检与先进的状态监测及诊断手段相结合, 建立设备的健康状况数据库, 对故障的早期征兆进行识别和判断, 对故障部位、故障程度和发展趋势作出诊断, 根据诊断结果进行有目的的检修;

3) 经济效益不同。状态检修第 1 可以减少设备的损坏程度, 减少维修费用; 第 2 可以缩短大、小修时间; 第 3 可以实现安全生产的可控、在控。因此, 有利于降低检修成本, 提高企业经济效益, 是一种科学、合理的管理方法。

发电厂推行状态检修是检修管理思想、检修管理体制革命性的变革; 是从粗放管理向集约化管理的转变; 是传统检修模式向精密检修模式的转变; 是降低成本、提高检修质量的根本措施; 是安全与经济的最佳结合; 是实现国际一流电力企业的重要措施。正因如此, 近年来“状态检修”已引起电力部门及国内外研究者的普遍关注, 在国际上, 状态检修已成为“非破坏性检测”下属的一个活跃的新分支。

2 状态检修的实施步骤

国内推行发电设备状态检修的工作刚刚起步, 我们针对发电厂的现状, 提出了发电厂状态检修管理的系统设计和总体规划, 针对发电厂的现状, 提出了发电厂状态检修管理系统的设计方案。

发电厂主设备国内外目前均未达到真正意义上的状态检修, 仍然是定期的计划检修, 主要原因是目前状态检修相关的监测和故障技术仍然达不到对设备故障的定量、定位诊断的要求。因此, 现阶段首先把主要辅机设备纳入状态检修范围, 待时机成熟后, 推行实施主设备上的状态检修。

实施状态检修要分三步走:

1) 首先实施状态检修工作单管理系统, 实现检修工作单流程的自动化。同时电厂开始制定推行发电设备状态检修的实施意见和细则, 按照状态检修的要求和内涵, 结合电厂的实际, 编制相关的状态检修管理标准、工作标准和状态检修的检测技术标准, 为实施点检管理打好基础。

2) 实施点检管理系统。点检员是状态检修现场信息、数据的采集者,应将有关设备的各类数据汇总、分析、录入,建立足够的信息资料和数据库,要对参数的正确性和数据库的完整性负全责。技术监督、精密点检和运行巡检是设备运行状况劣化程度、运行参数及设备性能、效率试验数据的提供和分析者,应定期提供和反馈综合及专项的分析资料给点检员,要对提供资料的正确性和准确性负全责。因此,建立完善的点检制度,结合定检、巡检、技术监督机制是正确实施状态检修的前提。

3) 建立设备监测与诊断系统,也就是实现状态检修智能化。通过对大量的原始数据的分析,提出有用的判据,同时结合生产实际各种智能模型和算法,进行设备状态检修的预测分析,提高设备运行的效率和安全性。根据监测得到的实时信息和相应的数学诊断模型,找出故障源,确定设备状态,给故障定级,并预测设备状态发展趋势。根据故障等级的评价对设备系统形成正确的干预政策,做出维修或其他决定,即决策支持专家系统。

3 工作单管理系统

3.1 任务概述

1) 制定严格的状态检修工作流程,明确各岗位任务,各工作单内容和形式及与工作单相关的其他内容;

2) 建立工作单管理系统数据库及系统安全模型;

3) 开发检修工作单管理系统。

3.2 系统实现目标

1) 自动化管理设备检修计划信息。包括工作计划、进度安排、费用、人力、物料、设备、故障分析和相关的文档;

2) 通过“工作请求”屏幕输入简单或详细的日常维修作业请求并发送到相关领导;

3) 根据工作需要及相关权限,可以进行工作单的批阅、转发等相关工作;

4) 系统提供“工作单执行情况查询”功能,对工作单的发出、批示、执行过程、执行结果进行全过程跟踪监督;

5) 可以对历史工作单进行检索、查询、打印工作;

6) 专家分析系统,对历史工作进行自动统计、总结、分析,提供分析报告;

7) 提供 Web 检索功能,方便各级领导对工作

的监督。

工作单的工作流程和功能模块结构图如图 1 和图 2 所示:

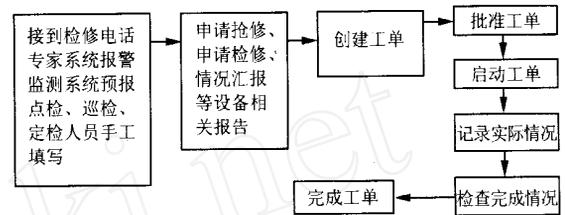


图 1 工作单工作流程模型

Fig. 1 Flow chart of working procedure

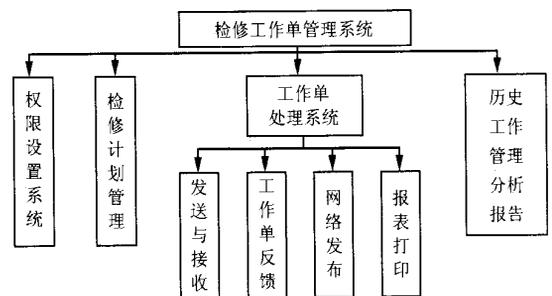


图 2 系统功能模块结构图

Fig. 2 Framework of system function module

4 点检管理系统

4.1 选定状态检修设备及分类

纳入状态检修的设备编码应以统一的规则输入数据库管理系统,以便于实时监控。按照可靠性、安全性、环保、费用和机组效率进行评估排序,然后将纳入状态检修范围内的设备进行分类:

A 级。必须停役主机后才能隔离或主机运行期间虽能隔离但隔离后主机再故障将造成严重后果的系统/设备。对此类设备实行计划检修为主要检修方式,结合采用状态检修。

B 级。系统/设备隔离后,虽不影响主机连续运行,但影响机组出力的系统/设备。对此类设备实行状态检修为主要检修方式,结合采用计划检修。

C 级。系统/设备隔离后,虽不影响主机连续运行,但降低相关系统/设备安全系数或影响机组经济运行的系统/设备。对此类设备主要采用状态检修。

4.2 设备点检管理制度

点检制度是开展状态检修的初级阶段,也可为实行状态检修提供必要的人员支撑。生产技术部要配备足够高素质的点检员,建立规范的点检制度。制定严格的工作流程(定点、定量、定标、定人、定路

线、定周期、定方法、定检查记录等),同时制定相应的设备定检管理制度和巡检管理制度。

5 设备监测与诊断系统

5.1 建立状态检修数据库

建立设备检测数据库、试验数据库、历史数据库、点检管理数据库,数据库中应包含下列数据:

- 1) MIS 系统的实时数据;
- 2) 机组及设备的运行日志;
- 3) 运行巡检人员的巡检记录;
- 4) 运行分析记录;
- 5) 点检员点检数据;
- 6) 设备远程监测诊断信息(电科院反馈);
- 7) 国家、行业标准及有关规程标准,电厂设备状态检修判据等等。

所有信息实现计算机管理,输入状态检修技术支持系统数据库。根据不同方式,设备有不同的数据输入方式,如果原 MIS 系统已经包括,可以从 MIS 系统中直接读取。

5.2 建立监测与诊断分析系统

5.2.1 监测与诊断分析系统的结构与功能

监测与诊断的技术手段是现代化的测试仪器、计算机系统和软件,具体内容是监测设备状态、检测异常情况、分析和预测状态变化趋势、诊断和识别故障及其原因。具体思路是根据监测到的征兆对各种故障的肯定否定程度,建立正确的故障诊断模型。针对某一种设备来说,它的运行参数,特征量及故障特性各有不同,通过特定的算法、规则、推理手段得到设备的现有运行工况并进行健康状况分析,若设备出现故障征兆,则通过专家知识库进行推理判断故障类型和程度等,然后根据诊断结果安排最合理的优化检修。状态监测系统 and 故障诊断系统,是利用现代传感技术、信息技术、计算机技术以及各类领域技术综合构成的辅助运行系统。系统结构如图 3 所示。从系统设计原则上看,需考虑如下问题:

1) 监测及诊断对象的故障机理。对不同的设备和不同的故障类型,采用的状态监测的方法可能完全不一样。一些机械装置和控制系统常用的故障诊断方法并不适合于电力系统设备的特定情况,因此需明确每种被监测设备的故障种类及机理;

2) 对象标准状态的量化;

3) 在线监测对象的手段。传感技术、微电子、数字信号处理和计算机网络技术在状态监测中的应用逐步得到实现;

4) 监测信息的传递、处理及存储;

5) 状态征兆的形成与提取;

6) 诊断方法。人工神经网络、专家系统、模糊集理论等综合智能技术在状态识别和故障诊断中的应用;

7) 在线系统集成及软件实现。

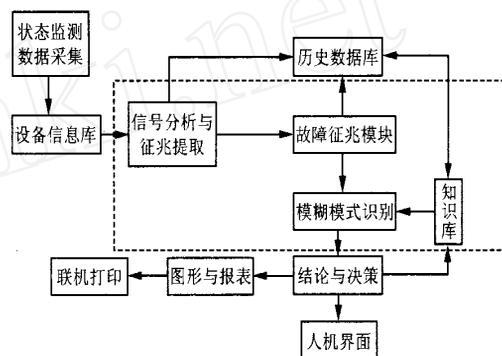


图 3 设备监测与诊断系统模型

Fig. 3 Model of monitoring and diagnosis system

状态监测与故障诊断系统软件应具备以下功能:

- a. 系统组态功能。能进行软件系统的测点参数,组态用于显示系统图和机组的结构;
- b. 状态监测功能。监测参数列表显示、系统总图显示、各辅助系统图显示;
- c. 数据分析功能。可选择 DCS 数据进行 24 h 内的数据趋势分析。本系统将提供:数据录入功能(单个录入、批量录入)、数据修改功能、数据查询功能(单位查询、批量查询、历史数据查询、当前数据查询)、数据显示功能和数据打印输出功能;
- d. 故障诊断功能。利用专家系统诊断,给出初步诊断结果;
- e. 故障处理诊断对策建议。根据故障诊断结果,能给出处理对策意见,并形成相应的工作单。

5.2.2 故障诊断模糊技术

1) 基于模糊变换的故障诊断技术

由定义 2-1 知,模糊映射

$$f: U \rightarrow F(V)$$

$$f: U \rightarrow V$$

把 U 中的一个元素 u 映射为 V 的一个模糊子集。

定理 2-1:任给 $A \in F(U \times V)$,都唯一确定了一个从 U 到 V 的模糊映射,记作: $f = f_R: U \rightarrow V$,反之,任给从 U 到 V 的模糊映射 $f: U \rightarrow V$,都唯一确定了一个模糊关系 $R \in F(U \times V)$,记作: $R =$

R_f 将模糊论域中 U 上的一个元素扩展为一个模糊子集就成为模糊变换。给定 $R \quad u_n \times m$, 对任意 $a \quad u_1 \times n$, 都可以得到:

$$b = aOR \quad u_1 \times m$$

因此, 由 R 决定了一个映射, 记作 T_R

$$T_R : u_1 \times n \rightarrow u_1 \times m$$

$$a \rightarrow b = aOR$$

T_R 将一个模糊变量变为另一个模糊变量, 相当于一种变换。

在设备故障诊断过程中, 测量到的是许多信号, 通过信号分析得到许多故障征兆。征兆和故障之间存在一定关系。设一种征兆论域为 S , 故障论域为 F , 测量分析到的信号是论域 S 上的一个模糊子集 A , 以向量 a 表示, 对应着故障论域上的一个模糊子集, 以向量 b 表示, S 论域与 F 论域之间存在模糊关系 R , 则应用模糊变换定理得

$$T : T_R : F(S) \rightarrow F(F)$$

$$T_R \cdot A = AOR \quad F(F)$$

即: $b = aOR \quad F(F)$

b 对应的 B 即为故障论域上的一个模糊子集, 即一个诊断结果。

2) 基于模糊综合决策的故障诊断技术

在故障诊断中, 单征兆诊断的结果是相互交叉重叠的, 最终的诊断结果应是多征兆诊断结果的综合。此综合的理论即是模糊综合决策。对应的 3 要素为:

- a. 因素集。即为征兆种类集 $S = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \} = \{ \text{第 1 种征兆, 第 2 种征兆, } \dots, \text{第 } n \text{ 种征兆} \}$;
- b. 决断集。即为诊断结果集 $F = \{ f_1, f_2, \dots, f_m \} = \{ \text{第 1 种故障, 第 2 种故障, } \dots, \text{第 } m \text{ 种故障} \}$ 。
- c. 单因素决断。即将所有单征兆诊断结果构成矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} b_{s1} \\ b_{s2} \\ \dots \\ \dots \\ b_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{第 1 种征兆诊断结果} \\ \text{第 2 种征兆诊断结果} \\ \dots \\ \dots \\ \text{第 } n \text{ 种征兆诊断结果} \end{bmatrix}$$

则决策模型为

$$b = cOR$$

式中 c 为权重向量, $c = \{ c_1, c_2, \dots, c_n \} = \{ \text{第 1 种征兆诊断结果权重, 第 2 种征兆诊断结果权重, } \dots, \text{第}$

n 种征兆诊断结果权重 $\}$; b 为诊断结果, $b = \{ b_1, b_2, \dots, b_n \} = \{ f_1 \text{ 故障可信度, } f_2 \text{ 故障可信度, } \dots, f_m \text{ 故障可信度} \}$; b_{si} 为单征兆诊断结果, $b_{si} = aOR_i$, a 为一种征兆论域 S_i 上的一个模糊子集; R_i 为 S_i 论域与 F 论域间的模糊关系, b_{si} 即为一种征兆的诊断结果。

在基于模糊的诊断系统中, 现场专家的经验及知识蕴含在模糊关系矩阵 R 和权重矩阵 c 中。各模糊关系矩阵和权重矩阵的表示方法就是诊断知识的表示方法。模糊关系矩阵的构造需要大量现场实际运行数据为基础, 其精确程度取决于所依据的数据的准确性和丰富程度。

3) 基于模糊识别的故障诊断技术

故障的模糊识别就是把由测量的特征参数组成的一个模糊特征向量 $B = [u_{A1}(x_1), u_{A2}(x_2), \dots, u_{An}(x_n)]$ (或称待识别模式), 归入到故障模式类 P_1, P_2, \dots, P_{m-1} 中一个与它相似的模式中。模糊识别方法主要采用 3 种方式: 最大隶属原则; 最小距离原则; 择近原则。下面给出最小距离原则的原理。

具体的距离有许多不同的定义, 其中常用度量 2 个模糊子集 A 和 B 之间的距离有: 海明 (Hamming) 距离; 欧几里得 (Euclidean) 距离; 敏可夫斯基 (Minkowsky) 距离等。

Minkowsky 距离为:

$$m(A, B) = \left\{ \sum_{i=1}^n [u_A(x_i) - u_B(x_i)]^q \right\}^{1/q}$$

式中: q 为正数, 当 $q = 1$ 和 $q = 2$ 时分别为 Hamming 距离和 Euclidean 距离。

最小的距离分类原则是: 设在论域 U 上有 n 个模糊子集 $\{ P_1, P_2, \dots, P_n \}$ 。若 $i \in \{ 1, 2, \dots, n \}$, 使 $m(B, P_i) = \min_{j \in \{ 1, 2, \dots, n \}} m(B, P_j)$, 则 B 与 P_i 的距离最小, B 应归入模式 P_i , 其中 $m(B, P_i)$ 代表上面定义的某一种距离。

设备状态监测技术的推广和应用将会对现有的发电厂和变电所的管理体制产生影响。状态监测和电力系统测控自动化技术的应用将会取代现有运行人员的值班体制, 逐步实现运行的无人值班。

6 系统开发运行环境

操作系统: 服务器端为 WindowsNT, 客户端为 Windows/ 98/ 2000/ WindowsNT; 数据库系统: Mi-

Microsoft SQL Server 或 Sybase。本系统的开发不但要涉及到数据库的开发,同时也涉及到底层的硬件操作,需要开发很多接口程序,结合本系统的一些特点,推荐选择 C++ Builder 5.0 作为本系统的开发工具,以满足应用软件不同的需要。

7 结束语

通过以上的论述可见发电设备实现状态检修需要对原有的检修体制进行较大的改革,改变原有的检修思路,建立完善的工作单管理系统、点检管理系统和在线监测与诊断系统,不断向标准型和集约型发展,实现状态检修平台的完整开发。

参考文献:

[1] 陈维荣,宋永华,孙锦鑫(CHEN Weirong, SONG

Yong-hua, SUN Jin-xin). 电力系统设备状态监测的概念及现状(Concept and Present Situation of Condition Monitoring of Power System Equipment)[J]. 电网技术(Power System Technology),2000,24(11):12-17.

[2] 苑舜(YUAN Shun). 高压开关设备状态监测与诊断技术(State monitoring and Diagnosis Technology of High-voltage Switch Device). 北京:机械工业出版社(Beijing:China Machine Press),2000.

收稿日期: 2003-10-14; 修回日期: 2003-11-25

作者简介:

林华(1977-),女,研究方向为电厂设备状态检修及在线监测技术,数字化集成系统设计。

Research and discussion on the framework of condition maintenance of electric equipment

LIN Hua¹, LI Jun²

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Astronautics and Aeronautics, Nanjing 210016, China;

2. Shandong Heze Power Plant, Heze 274032, China)

Abstract: Aiming at the maintenance of equipment in most power plants at home, this paper details the concept of condition maintenance, proposes an overall design scheme for the framework of condition maintenance suitable for electric equipment. The presented scheme takes modular principle as its design thoughts, and the interface of the above framework possesses the features of simpleness and convenience. It is a feasible condition maintenance scheme for power plants.

Key words: electric equipment; condition maintenance; on-line monitoring and diagnosis

(上接第 54 页 continued from page 54)

[4] 鲍斌(BAO Bin). 关于 500 kV 变压器低阻抗保护配置的看法(Some Opinions on the Configuration of Low-impedance Protection for 500 kV Transformer)[J]. 继电器(Relay),2001,29(9):66-67.

收稿日期: 2003-06-26; 修回日期: 2003-08-12

作者简介:

孙正伟(1972-),男,本科,工程师,从事电力系统继电器保护运行及整定计算工作;

邱东洲(1970-),男,本科,工程师,现从事发电厂运行工作。

Discussion on the protection configuration of interconnecting transformer in 500 kV system

SUN Zheng-wei¹, QIU Dong-zhou²

(1. Northeast China Power Dispatch & Communication Center, Shenyang 110006, China;

2. Tieling Electric Power Plant, Tieling 112000, China)

Abstract: The paper analyzes the protection configuration of interconnecting transformer in 500 kV system with its protection range, cooperation of backup protection and operating flexibility. According to the principles of strengthening the main protection and simplifying the backup protection, a new protection configuration scheme of interconnecting transformer in 500 kV system is put forward.

Key words: transformer protection; configuration scheme; 500 kV system