

发电机组状态检修的研究

黄书荣, 林晓波, 余磊, 阚金辉

(广东省佛山市佛山供电局, 广东 佛山 528000)

摘要: 传统发电机组检修有许多不足的地方, 提出了基于马尔可夫链状态估计模型的状态检修策略。机组状态估计模型用一步转移概率描述相邻状态概率向量之间的关系, 并用步伐因子考虑机组所带负荷对转移概率的影响。在预估机组临界故障状态的基础上, 以检修费用和电量收益损失总和最小为目标函数确定最佳检修时间。

关键词: 马氏链; 状态模型; 检修策略

Research of generators state maintenance

HUANG Shu-rong, LIN Xiao-bo, YU Lei, KAN Jin-hui

(Foshan Electric Power Supply Bureau, Foshan 528000, China)

Abstract: There are many bad points in maintaining generator set, so the state maintenance strategy based on Markov chain state estimative model is presented. In the estimative model of generator set state, the relationship between two abutting state probability vectors is described by one-step transfer probability and the load of generator set effecting on the transfer probability is considered with the help of step gene. Based on estimating the critical fault state of generator set, the best maintenance time is confirmed according as that the summation of maintenance charge and the loss of electricity income are minimal.

Key words: Markov chain; state model; maintenance strategy

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)04-0047-04

0 引言

对发电机组进行定期检修是使设备处于良好状态的重要手段之一, 但这种检修方式对经济性和安全性的考虑是笼统的, 存在着“检修过剩”或“检修不足”问题。随着电力设备在线监测技术^[4]的发展, 对发电机组实施状态检修已成为可能。为使状态检修能够以最小的代价保持或恢复设备固有的可靠性水平, 必须正确地了解设备的健康情况。近几年来, 科研工作者提出了许多行之有效的发电机组状态估计法, 文献[2]提出了将定期检修、状态检修和故障检修融为一体的发电设备检修策略。状态检修的时间选择不仅要谨慎地估计机组的临界故障状态, 还要紧紧抓住电力生产的波谷时机, 从多种角度去分析其经济性和安全性。本文利用马尔可夫链的状态转移方程对机组的未来状态进行估计, 并以检修费用和电价收益损失总和最小为目标函数^[1]确定机组的最佳检修时间。

1 发电机组未来状态的估计

机组故障分为两类: 瞬变性故障和缓变性故障^[6]。瞬变性故障的发展速度很快, 通常由保护装置处理这类故障, 以避免损失扩大。缓变性故障的特点是: 从故障征兆的出现到故障灾害的发生有一段缓慢的发展过程, 其速度视故障的类型而定, 有的需要几天、有的需要几个月, 甚至数年。机组的故障类型是多种多样的, 包括绝缘、冷却、机械等, 一般针对具体的故障类型讨论机组的状态。本文把机组的状态划为五类: 正常状态(s_1)、轻微故障征兆状态(s_2)、中等故障征兆状态(s_3)、较重故障征兆状态(s_4)和故障状态(s_5), 用 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 分别表示它们的概率(它们的总和为1)。由这些概率构成的向量 $D=[d_1, d_2, d_3, d_4, d_5]$ 称为状态概率向量。

随着时间的推移, 状态概率向量会发生变化。本文以一个星期作为状态概率向量的时间尺度, 用一步转移概率 w 描述相邻的两个状态概率向量 D_m 和 D_{m+1} 之间的关系, 即:

$$D_{m+1} = D_m W \quad (1)$$

式(1)就是马尔可夫链一步转移方程。

在没有检修的情况下,可以认为一步转移概率具有单向性。一步转移概率通过对相似的机组进行长期监测,用概率统计方法获取。为保证一步转移概率具有单向性,取状态概率向量中具有最大概率的一种状态作为主状态,并规定后续主状态所表示的故障征兆程度比当前主状态有所恶化或者保持不变作为统计范围。若有 x 个当前主状态处于 i 状态, y 个后续主状态处于 j 状态,则 i 状态 j 到状态的一步转移概率 $w_{ij} = y/x$ 。这样得到的一步转移概率 W 具有如下性质:

$$w_{ij} = 0, i > j, i \in I, j \in I \quad (2)$$

$$w_{ij} \geq 0, i \in I, j \in I; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in I} w_{ij} = 1, i \in I \quad (4)$$

其中: I 是状态概率向量的状态空间。

故障类型不同,其一步转移概率 P 也不同。对于具体的故障类型,一步转移概率 P 具有可递推性,即有:

$$D_{m+n} = D_m W^n \quad (5)$$

实际上,机组所带负荷越大,故障征兆恶化的速度就越快。为能够利用机组在额定负荷情况下得到的一步状态转移矩阵 P ,把式(5)改写为:

$$D_{m+n} = D_m W \sum_{k=1}^n k_i \quad (6)$$

k_i 称为步伐因子,它是一个非负实数,即转移步数不是一个正整数。当实际负荷高于额定负荷时,步伐因子大于1,反之步伐因子小于1。也就是说,把机组所带负荷看作为恒定,通过延长或缩短时段的方法来反映机组在某种负荷水平下状态转移的快慢。

这样,如果机组的当前状态和额定负荷情况下的一步状态转移矩阵已知,根据机组负荷的预测数据能够估计出未来时段的机组状态概率向量。式(6)称为马尔可夫链机组状态估计模型。

2 机组检修损失的估计

机组检修一方面需要检修费用 F_a (设备费用和附加费之和),另一方面影响电力生产而遭受到电量收益损失 F_b ,其总的机组检修损失费 F 可表达为:

$$F(q, t_0) = F_a(q) + F_b(q, t_0) \quad (7)$$

其中: q 表示检修方式, t_0 表示检修开始时间。当故障类型和严重程度一定时,检修费用 F_a 与检修方式

有关,大修费用最高,中修费用次之,小修费用最小。电量收益损失 F_b 与机组的停运时间、电能的生产成本和销售价格等因素有关,甚至还会涉及到由于未完成生产任务而遭受到的经济惩罚,在这里表示为:

$$F_b(q, t_0) = (B(t_0) - C(t_0))G(q, t_0) \quad (8)$$

其中: $B(t_0)$ 为检修期间的预测平均电能销售价格, $C(t_0)$ 为检修期间的预测平均电能生产成本, $G(j, t_0)$ 是检修期间少发的电量。若发电厂的预测出力为 $P(t)$,其它机组预测可提供最大总出力为 $P'(t)$,则有:

$$G(q, t_0) = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} (P(t) - P'(t)) dt \quad (9)$$

其中: Δt 是检修所需要的时间,它与机组状态 q 有关,大修时间最长,中修时间次之,小修时间最短。

在估计其它机组最大总出力时,每台机组要满足其最大最小出力的约束条件,即:

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (10)$$

3 状态检修最佳检修时间的确定

一般来说,轻微故障征兆状态时小修、中等故障征兆状态时中修、较重故障征兆状态时大修。在这里,把检修方式和状态概率向量相联系,用公式(11)来预测检修损失费的大小。

$$V(t) = \sum_{i \in I} d_i F(i, t) \quad (11)$$

本文对临界故障状态的定义为:当状态概率向量中的故障状态分量达到50%时,机组处于临界故障状态。此时若不及时检修,有可能发生灾难性的故障后果——巨大的经济损失。本文采用的检修策略是:在出现临界故障状态之前的半年内安排检修。

最佳检修时间的确定方法如下:

- 1) 根据预测的机组出力,计算一年时间内各时段的步伐因子;
- 2) 按式(6)逐步计算后继各时段的状态概率向量,直到机组处于临界故障状态或已满一年为止;
- 3) 如果有临界故障状态存在,转入下一步,否则结束;
- 4) 按照检修策略,确定检修时间的大致范围(半年或不足半年);
- 5) 在大致的检修时间范围内,按式(11)计算各时段的预测检修损失费;
- 6) 比较各时段的预测检修损失费,损失费最小的时段就是最佳检修时间。

4 算例

某发电厂有4台200MW的机组,其中一台定子绕组存在局部放电现象,在线监测装置给出的状态概率向量为[0.000, 0.000, 0.600, 0.400, 0.000]。

定子绕组局部放电一步状态转移矩阵列于表1,不同状态下所需要的检修费用和检修时间列于表2。

图1和图2分别是发电厂未来一年的总出力、生产成本和销售价格的变化曲线。

表1 局部放电一步状态转移矩阵

Tab.1 The one-step transfer matrix of local discharge

状态	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	s ₅
s ₁	0.9816	0.0087	0.0080	0.0009	0.0007
s ₂	0	0.9583	0.0318	0.009	0.0008
s ₃	0	0	0.9265	0.0650	0.0085
s ₄	0	0	0	0.8745	0.1255
s ₅	0	0	0	0	1.0000

表2 检修费用和检修时间

Tab.2 Maintenance charge and time

状态	检修费/万元	检修时间/天
S ₁	0	0
S ₂	2	3
S ₃	3	5
S ₄	4	10
S ₅	9	30

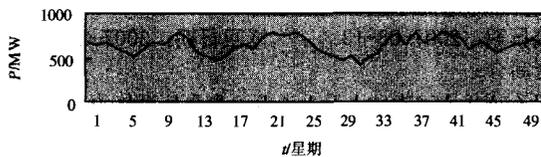


图1 一年预测总出力

Fig.1 The whole electricity forecast for one year

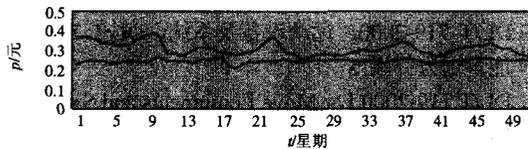


图2 销售价格(上)和生产成本(下)

Fig.2 Sale price(up) and productive cost(down)

假定4台机组出力均等,按照等效发热法估计步伐因子,计算结果如图3所示。

用马尔可夫链的机组状态估计模型估计机组状态,结果是:临界故障状态将在第11周出现。由于离临界故障状态不足半年,这11周就是大致的检修时间范围。根据这期间发电厂的预测总出力、生产成本和销售价格计算预测检修损失费,由计算结果可知:最佳检修时间是第4周,其预测检修损失费

为4.7445万元。

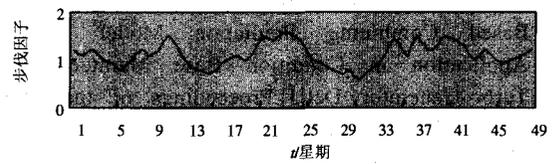


图3 步伐因子曲线图

Fig.3 Step gene curve

5 结论

机组检修损失费与机组状态和电力负荷情况紧密相关。利用马尔可夫链的状态转移方程对机组的未来状态进行估计,按照临界故障状态发生之前半年内安排检修的策略,并以检修费用和用电量收益损失总和最小为目标函数确定机组的最佳检修时间,这就是本文采用的机组状态检修策略。然而,故障的类型是多种多样的,一步转移概率并不相同,需要在实践中不断地积累、改进和提高。同时,在电量收益损失方面,还应考虑未完成生产任务而遭受到的经济惩罚。

参考文献

- [1] 全宏兴.电力市场下火电厂机组检修计划的研究[J].电力系统自动化,2002,26(14):35-38.
QUAN Hong-xing.Research for Maintenances Scheduling of a Turbine Power Plant in the Electricity Power Market[J].Automation of Electric Power Systems,2002,26(14):35-38.
- [2] 黄建华,全零三.变电站高压电气设备状态检修的现状及其发展[J].电力系统自动化,2001,25(16):5-61.
HUANG Jian-hua,QUAN Ling-san.Current Status and Development of Condition-based Maintenance of High-voltage Electric Power Equipment in Substation[J].Automation of Electric Power Systems,2001,25(16):56-61.
- [3] 谭伦农,张保会.市场环境下电力系统的安全可靠性问题[J].电力系统自动化,2002,26(6):11-13,22.
TAN Lun-nong,ZHANG Bao-hui.Power System Security and Reliability Issues in Power Market Environment[J].Automation of Electric Power Systems,2002,26(6):11-13,22.
- [4] 陈维荣,宋永华,孙锦鑫.电力系统设备状态监测的概念及现状[J].电网技术,2000,24(11):12-17.
CHEN Wei-rong,SONG Yong-hua,SUN Jin-xin.Concept and Present Situation of Condition Monitoring of Power System Equipment[J].Power System Technology,2000,24(11):12-17.
- [5] 张志明,程惠涛.神经网络组合预报模型及其在汽轮发电机组状态检修中的应用[J].中国电机工程学

- 报,2003, 23(9): 204-206, 211.
ZHANG Zhi-ming, CHENG Hui-tao.Niural Network Based Combining Prediction Model and Its Application in Condition Base Maintenance of Turbo-Generator Det[J].Proceedings of the CSEE, 23(9): 204-206, 211.
- [6] 苏鹏声, 王欢.电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J].电力系统自动化, 2003, 27(1): 61-65, 85.
SU Peng-sheng, WANG Huan.Status Surveillance and Fault Diganasis of Power System Equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 61-65, 85.
- [7] 李凡生, 陈庆吉, 决策树分类算法在发电设备状态检修中的应用研究[J].电网技术, 2003, 27(12): 67-70.
- LI Fan-sheng, CHEN Qing-ji.Application of Decision Tree Classification Algorithm in Condition Based Maintenance of Power Generation Equipments[J].Power System Technology, 2003, 27(12): 67-70.

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-09-03

作者简介:

黄书荣(1979-),男,硕士研究生,助理工程师,主要从事电力系统可靠性的研究; E-mail:woaigannan@126.com

林晓波(1982-),男,助理工程师,主要从事电力系统可靠性方面的研究;

余磊(1982-),男,助理工程师,主要从事电力系统可靠性方面的研究。

(上接第44页 continued from page 44)

- CHENG Zheng-xing. Algorithms of Wavelet Analysis and Application[M].Xi'an:Xi'an Jiaotong University Press, 1998.204-217.
- [4] 董长虹, 高志, 余啸海.Matlab小波分析工具箱原理与应用[M].北京:国防工业出版社, 2004.108-116.
DONG Chang-hong,GAO Zhi,YU Xiao-hai. Principle of Matlab Wavelet Analysis Toolbox and Its Application[M]. Beijing:National Defense Industry Press,2004. 108-116.
- [5] 傅晨钊,汲胜昌,李彦明,等.软门限小波去噪在变压器冲击试验中的应用研究[J]中国电机工程学报,2001,21(7): 103-106.
FU Chen-zhao ,JI Sheng-chang,LI Yan-ming,et al.Application of Soft-thresholding Wavelet Denoising Method in the Diagnosis of Transformer During Impulse Test[J]. Proceedings of the CSEE ,2001, 21(7):103-106.
- [6] 白峰,肖登明,邱毓昌.小波变换在冲击电压测试技术中的应用[J].高电压技术,2001,27(1):13-15.
BAI Feng ,XIAO Deng-ming,QIU Yu-chang.Application of Wavelet Transform to Impulse Voltage Measuring Technique[J]. High Voltage Engineering,2001, 27(1):13-15.

收稿日期: 2007-08-13; 修回日期: 2007-09-24

作者简介:

吴耀华(1970-),男,讲师,主要从事电力系统自动化的教学与研究。E-mail: wyh966@snu.edu.cn

(上接第46页 continued from page 46)

6 结论

考虑到调度自动化和数据系统的总体经济效益,通信系统的投资不应过大,力争充分利用现有的数据资源,进行DCS系统与调度自动化系统整体规划,避免重复建设投资。规划设计中在保证信息安全的基础上,尽量减少结构流程和检修维护量,为电厂的减人增效打下良好的基础。

参考文献

- [1] 徐丙垠. 自动化远方终端技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 19(5).
XU Bing-yin.The Terminal Technique of the Automation Far-away Place[J].Automation of Electric Power Systems , 1999, 19(5).
- [2] 肖康. 建立和完善企业 IP 网络安全体系[J].计算机世界, 2000.
- XIAO Kang.Establishment with Perfect Business Enterprise IP Network Safe System[J]. Calculator World, 2000.
- [3] DL/T 719-2000 远动设备及系统, DL/T 743-2001 电能远方终端[S].
DL/T 719-2000 Far Move Equipments and System, DL/T 743-2001 Electric Power Quantity Far-away Place Terminals[S].

收稿日期: 2007-07-30; 修回日期: 2007-08-20

作者简介:

丁世勇(1974-),男,大本,工程师,研究方向为调度自动化; E-mail:E-mail:sgdingshy@126.com

崔丽娟(1978-),女,大专,助理工程师,研究方向为调度自动化;

刘继安(1973-),男,工程师,从事继电保护通信自动化工作。