

电力线路的状态检修和缺陷预测

郑建平¹, 梁锦照², 焦连伟²

(1. 中山电力工业局, 中山 528400; 2. 清华大学电机系, 北京 100084)

摘要: 科学地处理缺陷数据和合理地安排检修工作, 对保证电力线路的健康运行, 提高电力系统的可靠性、安全性有着重要作用。文中介绍了 2 套支持线路检修的辅助决策系统: 线路状态检修系统和线路缺陷预测系统。介绍了这 2 套辅助决策系统的模型、方法和软件结构, 其中线路状态检修系统已投入运行, 取得了初步的成效。

关键词: 电力线路状态检修; 缺陷预测; 辅助决策系统

中图分类号: TM 726; TM 855

0 引言

随着电网规模的逐渐扩大, 电力网络及线路的结构也越来越复杂。由于长期以来“重发轻供”思想的影响, 对电力网络和线路的发展不够重视, 造成网络相对薄弱。线路的安全、可靠运行对电力系统有着重要意义。

电力线路运行的安全性与可靠性取决于两方面的因素: 其一是线路的设计、施工均要满足各种安全性、可靠性的指标; 其二是电力线路的运行、检修、诊断等措施的有效实施。后者要求线路运行管理部门对其所管辖的线路的缺陷状况有全面的了解和掌握, 对线路的缺陷有重点、有次序地安排检修, 并为即将进行的检修工作做好人力、物力的准备^[1,2]。因而, 如何科学地处理缺陷数据并安排检修已成为线路管理部门一个重要的课题。

计算机技术的蓬勃发展, 为实现从线路缺陷数据的积累、综合、处理, 到辅助决策提供了高效率的工具。供电局线路管理部门的管理信息系统(MIS) 已为线路的管理和缺陷数据的积累与综合提供了成熟的软件手段, 但关于如何从海量数据中提取有效的信息以指导检修工作的手段, 即电力线路运行检修的辅助决策系统(decision support system, 缩写为 DSS) 在国内尚未很好地开发和应用^[3]。

本文介绍了作者研究开发的 2 套用以支持线路检修决策的 DSS: 线路状态检修系统和线路缺陷预测系统。线路状态检修系统的目的是通过对目前线路运行中存在的缺陷的分析, 科学地安排线路检修次序, 提高电力线路运行的健康水平。线路缺陷预测系统的目的, 则在于通过对线路运行的当前和历史缺陷数据的分析, 对可能发生的缺陷情况做出预测,

以做好缺陷处理的人力、物力准备, 提高缺陷处理的反应能力。下面以系统模型、系统模型参数的获得、系统结构框图为线索, 对这 2 套 DSS 做扼要的阐述。

1 线路状态检修系统

1.1 系统模型^[4,5]

线路状态检修系统的目的是合理安排线路的检修次序。线路检修次序取决于当前线路存在的缺陷个数、缺陷的严重程度和缺陷所在线路的重要程度。这 3 个因素相互独立, 检修次序由这 3 个因素表达的函数来决定。

检修状态方程为:

$$J(i) = N(i) \sum_{j=1}^r Q(i, j) M(j) \quad (1)$$

矩阵形式则为:

$$J = \tilde{N} Q M \quad (2)$$

式中 i 为线路序号, 即线路运行编号, 若有 s 条线路, 则 $i = 1, \dots, s$; j 为缺陷序号, 即考虑缺陷的严重程度和季节影响后扩展缺陷类型对应的序号, 若扩展缺陷类型有 r 种, 则 $j = 1, \dots, r$; Q 为缺陷个数矩阵, Q 是二维矩阵($s \times r$), $Q(i, j)$ 表示线路 i 中缺陷序号为 j 的缺陷个数; J 为检修参数矢量, J 是一维矩阵($s \times 1$), $J(i)$ 表示线路 i 的检修参数; M 为缺陷等级参数矩阵, M 是一维矩阵($r \times 1$), $M(j)$ 表示缺陷序号为 j 的缺陷的缺陷等级参数; N 为线路重要性参数矢量, N 是一维矩阵($s \times 1$), $N(i)$ 表示线路 i 的重要性参数; $\tilde{N}$ 为 N 矢量的扩展对角矩阵($s \times s$), 即 $i = j$ 时, $\tilde{N}(i, i) = N(i)$, $i \neq j$ 时, $\tilde{N}(i, j) = 0$ 。

1.2 参数的获得

1.2.1 缺陷等级参数 $M(j)$

缺陷等级参数的整定是一项重要且难度较大的工作。经过我们的实践,认为 $M(j)$ 应由历史数据统计得出,并结合有经验的运行人员的意见进行修订,分析以往本运行部门和兄弟单位曾发生的事故,进行事故分析,即研究事故的触发因素——线路缺陷,大量的数据分析,将显示某一种缺陷如不及时处理将导致某类事故(某几类事故)发生的概率增大,按概率的大小定出等级参数 $M(j)$ 。我们在系统开发的过程中,建立了求解 $M(j)$ 的方法:假设历史数据中存在 p 类事故,经过专家分析,认为第 k 类事故与第 j 类缺陷的相关系数为 $x(j,k)$,则有:

$$M(j) = \sum_{k=1}^p x(j,k)y(k) \quad (3)$$

其中 $y(k)$ 为故障加权系数,表征故障 k 发生时对系统的影响程度, $k = 1, \dots, p$ 。

写成矩阵形式:

$$M = XY \quad (4)$$

其中 X 为相关系数矩阵,二维矩阵($r \times p$); Y 为故障加权系数矢量,一维矩阵($p \times 1$)。

1.2.2 线路重要程度参数 $N(i)$

在系统中,由于用户负荷的重要程度不一样,而且线路本身在系统中的地位也不一样,对于重要的线路,应优先安排检修。也就是说,安排检修顺序不仅应考虑缺陷的严重程度,还应考虑线路的重要程度。在本系统中, $N(i)$ 以失负荷率 $R_{LOLP}(i)$ 来表示,如式(5)所示:

$$N(i) = R_{LOLP}(i) \quad (5)$$

这里的失负荷率,是单指该线路 i 发生故障时,系统损失的负荷与总负荷的比值,通过系统可靠性分析程序获得。

1.2.3 缺陷个数矩阵参数 $Q(i,j)$

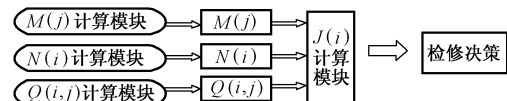
$Q(i,j)$ 可以对供电局 MIS 的日常巡视报表中的运行数据进行过滤、分类、综合而得到。

1.3 $J(i)$ 的运用

应用式(1), $J(i)$ 是第 i 条线路根据其存在的缺陷个数矩阵 Q 、缺陷等级矩阵 M 和该线路在系统中的重要程度矩阵 N 而确定的状态检修参数。在求得 $J(i)$ 后,对 $J(i)$ 从大到小进行排序,得到对应的 i 序列作为安排检修的次序,例如:存在 3 条线路 1,2,3,其检修参数为 $J(1), J(2), J(3)$,若 $J(2) > J(3) > J(1)$,则在安排检修时,就先检修线路 2,再检修线路 3,最后检修线路 1。

1.4 线路状态检修系统结构框图

式(1)、式(3)、式(5)及 $Q(i,j)$ 构成了线路状态检修的模型,其软件结构如图 1 所示。



$Q(i,j)$ 计算模块从 MIS 数据库中提取数据,无需专用的输入窗口

图 1 线路状态检修系统结构框图

Fig. 1 Structure of DSS of state maintenance of electric power line

1.5 系统主界面

1.5.1 输入窗口

有 2 个主输入窗口: $M(j)$ 输入窗口和 $N(i)$ 输入窗口,用于输入 $M(j)$ 参数与 $N(i)$ 参数。窗口接受手动和自动 2 种输入模式,手动输入模式是由操作者填写参数,而自动模式则是根据式(3)和式(5)调用相关的计算模块计算 $M(j)$ 和 $N(i)$ 参数。

1.5.2 输出窗口

输出窗口是 $J(i)$ 的文本、柱形统计图和检修决策的多功能输出窗口,除具备显示、报表打印等功能外,还具有图形的映射功能,对 $J(i)$ 最大的 5 条线路在地图上以不同的颜色亮闪,以提示检修决策人员优先安排检修。

1.6 运行效果

通过近一年的正式投运,我们对 $M(j)$ 和 $N(i)$ 进行了不断的修改,所得到的 $J(i)$ 序列与现场的状况比较吻合。与前几年相比,消缺率显著提高,从而提高了线路的整体健康水平,并使重要的输电线路的缺陷得到了有效的控制。前几年,由于雷击引起的线路跳闸频频发生,而本年度,由于加强了对线路检修工作的科学安排,在雷害季节前加强了接地装置薄弱线路的检修,在雷害严重的情况下,目前仅有 1 条 110 kV 线路发生雷击跳闸。

2 线路缺陷预测系统

目前,预测技术已广泛应用于气象、机械等领域,在电力系统的负荷预测中也得到了应用。其强大的生命力在于它能通过对已有的历史信息处理,得到未来信息的预测值。我们把预测技术应用于电力线路的运行检修工作中,通过对已有的线路缺陷的历史数据(含现状的数据,以下同)的分析,对未来可能发生的缺陷做出判断,以做好人力、物力的准备,提高线路管理部门的快速反应能力,减小故障发生时由于检修准备不充分而造成的停电损失。

2.1 缺陷预测的可行性

预测的准确性是衡量预测工作成败的关键。而预测的准确性取决于两方面的因素:历史数据的准确性与充足性;合适的预测方法的运用。缺陷预测的可行性在于:

a. 线路管理部门的巡线制度在 20 年前已颁布

并开始实施,且一般每月或每季度要完成一个巡视周期,供电局线路管理部门的 MIS 为数据的积累和利用也已创造了条件,因而,缺陷历史数据是丰富的,并随着时间的推移、积累的增加而越来越丰富。

b. 巡线人员一般由通过专业培训且责任感较强的人员担当,且运行管理部门一般有一套完整的监控制度,因而数据的准确性有一定的保障。

c. 常规预测技术已比较成熟,新的预测技术发展得也很快,给线路缺陷预测工作带来了很广阔的选择空间。

2.2 缺陷预测的对象

由于缺陷预测的目标是对即将发生的缺陷做出预测以支持线路管理部门的人力、物力的准备。在一个面积不大的线路管辖区,人力、物力的准备与缺陷所发生的线路没有很大的关系,但与线路电压等级有很大的关系。因而,本系统中,预测的对象为 $QQ220(j)$, $QQ110(j)$, $QQ35(j)$ 和 $QQ10(j)$, 分别表示全部 220 kV, 110 kV, 35 kV 和 10 kV 线路的第 j 类缺陷总数。

2.3 缺陷预测方法的选择

预测方法有很多,典型的有:回归分析法、时间序列分析法、模式识别法、专家系统法、人工神经网络法等,且各有其优缺点,由于影响缺陷预测的因素错综复杂,而且其规律往往是未知的,在系统初步开发阶段我们采用了时间序列分析法,用时间综合代替这些因素。时间序列分析法是依据过去的统计数据,找到其随时间变化的规律,建立时序模型,以推断未来缺陷数值的方法,其基本假定是:数据过去的变化规律会持续到未来,即未来是过去的延续^[6]。

时间序列分析法可分为确定性时间序列法和随机时间序列法 2 种。随机时间序列法基于如下思想:线路缺陷是一个符合某种统计规律的随机变量,而由这个变量描述的过程就是一个随机过程。该随机过程可用 Box-Jenkins 法、状态空间法及 Markov 法等进行分析,所得结果较为精确,但运用起来较为复杂;确定性时间序列分析法基于如下思想:缺陷数据序列中存在着一个隐含的变化模式,实际缺陷数据可看成该变化模式和随机干扰的叠加,该变化模式通过平均(加权平均或指数平均)可以同随机干扰区别开来,平均的作用在于消除随机干扰,这样模式可以外推到将来作为未来预测值^[3]。由于线路缺陷与季节因素密切相关,在本系统的初步开发阶段,我们选用了确定性时间序列法中的一些模型,以季度为时间间隔,对上述对象进行预测^[6]。

2.4 线路缺陷预测系统结构框图

结构框图如图 2 所示。

目前,线路缺陷预测系统尚属初步开发、试用和

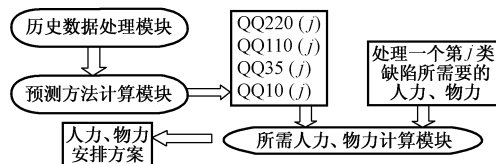


图 2 线路缺陷预测系统结构框图

Fig. 2 Default forecast system of electric power line

验证阶段,我们拟用不同的预测方法以期在实践中验证各种方法的适用范围。

3 结语

为了提高电力线路管理部门的管理水平,我们在 MIS 的基础上开发了线路状态检修系统和线路缺陷预测系统。我们的思路是综合运用并不断完善这 2 套系统,以达到既能科学地安排线路检修次序,提高线路总体健康水平,又能做好事事故备品和人员等各方面的准备,提高线路检修的反应能力。目前,线路状态检修系统已投入运行,并取得了初步的效果;线路缺陷预测系统尚在试用和验证阶段。

参考文献

- 1 于尔铿(Yu Erkeng). 电力系统状态估计(Power System State Estimation). 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic & Electric Power Press),1985
- 2 黄文虎,夏松波,刘瑞岩(Huang Wenhui, Xia Songbo, Liu Ruiyan). 设备故障诊断原理,技术及应用(Equipment Default Diagnosis Principle, Technology & Application). 北京:科学出版社(Beijing: Science Press),1997
- 3 胡金柱(Hu Jinzhu). 模糊决策与决策支持系统(Fuzzy Decision and Decision Support System). 武汉:华中师范大学出版社(Wuhan: Central China Normal University Press),1989
- 4 任若思(Ren Ruosi). 多元统计数据分析(Multi-Element Statistic Data Analysis). 北京:国防工业出版社(Beijing: Defence Industry Press),1997
- 5 寿纪麟,宋保军,周义仓,等(Shou Jilin, Song Baojun, Zhou Yicang, et al). 数学建模(Mathematics Modeling). 西安:西安交通大学出版社(Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press),1993
- 6 刘晨晖(Liu Chenhui). 电力系统负荷预报理论与方法(Theory and Method of Power System Load Forecasting). 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社(Harbin: Harbin Institute of Technology Press),1987

郑建平,男,高级工程师,广东中山电力工业局线路工区主任,长期从事电力线路的运行管理工作。

梁锦照,男,硕士研究生,主要研究领域为电力系统分析与控制、电力系统规划及计算机应用软件开发。

焦连伟,男,博士,主要研究领域为配电自动化,电力系统分析、电力系统规划与电力系统仿真。

STATE MAINTENANCE AND DEFAULT FORECAST OF ELECTRIC POWER LINE

Zheng Jianping¹, Liang Jinzhao², Jiao Lianwei²

(1. Zhongshan Power Supply Bureau, Zhongshan 528400, China)

(2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Processing default data scientifically and arranging maintenance sequences reasonably play the key roles in ensuring healthy operation of electric power lines, which significantly improves the security and reliability of power systems. In this paper, two decision support systems (DSS) of power line maintenance, i. e. the state maintenance system and default forecast system are presented, including their models, approaches and software structures. The state maintenance system has been put into operation and achieved preliminary benefits.

Keywords: state maintenance of electric power line; default forecast; decision support systems