

# 为小电流选线建立故障诊断系统的探讨

刘雪莉<sup>1</sup>, 郭铁峰<sup>2</sup>, 裴善鹏<sup>3</sup>, 杨以涵<sup>3</sup>

(1. 天津工业大学, 天津 300134; 2 天津电力公司, 天津 300300; 3 华北电力大学, 北京 102206)

**摘要:** 小电流接地选线技术发展多年,取得了一定的效果。虽然选线技术对电力系统有着重要的作用,但由于技术原因和管理原因的责任不明确,造成了实际运行效果并不理想。为了解决这个问题,进行管理创新,提出了为选线建立故障诊断系统的思想,利用先进的通讯手段,对安装于现场的选线装置进行管理监控,并从离线诊断和在线诊断两方面描述了该系统的作用,同时用现场实际数据加以验证,解决了长期在选线失败原因上的迷惑,取得了很好的效果,证明故障诊断系统的建立对完善管理机制、进一步发展选线技术具有重要的意义。

**关键词:** 小电流接地选线; 故障诊断; 离线; 在线

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2006)17-0004-04

## 0 引言

小电流接地电网发生单相接地故障时,虽然允许带故障维持运行一段时间,但为了防止故障进一步扩大,应及时找出故障线路以便采取措施。自20世纪80年代起,国内开始进行小电流接地系统单相接地故障选线的研究。几十年来,选线原理日趋成熟,相继出现了零序电流比幅算法、无功功率方法、有功分量法、首半波算法、群体比幅比相算法、小波算法、能量函数法和信号注入法等<sup>[1]</sup>,每一种选线原理都可以在理论上解决小电流接地系统的单相接地故障选线问题,但是实际应用中,这些方法也不是万能的。

随着电力改革的深化,电力用户对电能质量的要求在不断提高,供电质量已经成为各供电企业的重要指标之一。在配电网综合自动化中加入小电流接地自动选线功能已经成为趋势,它可以避免由于拉路给用户带来的巨大损失,避免由于单相接地故障时间过长带来的绝缘破坏及引发的其它故障,对电力系统安全稳定运行、对整个社会的利益具有十分重要的意义。

通过这两方面的矛盾,我们发现选线问题光靠技术进步,没有管理创新是不行的。管理跟不上,选线就免不了有漏洞,选线失败就不能完全避免。为此,笔者课题组提出了为小电流选线建立管理支持系统的新思想。所谓管理支持系统,就是利用先进的通讯手段,对安装于现场的选线装置进行网络化管理,为开发人员提供有力的技术支持,为管理者提供有效的管理手段<sup>[2]</sup>。通过安装管理支持系统,可

以查明以往选线失败的原因,又为进一步深入研究提供了重要数据基础。而对小电流选线系统的故障诊断是管理支持系统中最为重要的部分。通过离线和在线的各种故障诊断手段,我们能够及时地掌握小电流选线装置和周围环境的情况,对装置进行不断的练兵演习,使其一直处于良好的工作状态,一旦发生故障,就可以及时准确地启动选线。

## 1 建立故障诊断系统的必要性

### 1.1 用来发现选线过程中的管理故障

装置在现场从安装的那一刻起,就受到较多的干扰因素,造成选线失败的原因也就复杂多样。归结一下,主要可以分为两方面的原因:技术的问题和管理的问题。技术上的问题主要体现在以往的选线原理都是建立在理想条件下,对现场复杂的运行条件和各种干扰因素没有进行处理,对单相接地的具体故障形式和特征缺少足够的认识。而管理的问题集中于两方面,一是领导不够重视,管理责任不明确,没有定期的检查和维修,致使选线装置出现问题后没有人处理;二是研发方没有提供有效的管理手段,使管理有时感觉无从下手。在管理方面出现问题的例子也很多,例如出现过某变电所由于零序电压互感器极性接反导致装置的动作出错;某变电所由于某条线路的B相电流互感器极性接反,而导致所测电流与负荷电流相当,出现数据饱和情况等。但是由于缺少证据,没有人可以确定某个选线失败的具体原因,使得装置故障继续存在,选线失败的局面无法改观。因此,我们利用特有的故障录波数据,定期做离线分析,以求发现管理故障。

## 1.2 诊断选线装置的运行问题

装置的正常运行,是保证装置动作准确的基本前提。由于小电流装置在现场中属于一种辅助设备,受重视程度不高,因此缺少定期的检查和维修。于是当选线装置运行出现异常,运行人员又没有及时发现,很容易出现装置的拒动、误动等问题。对于装置硬件来说,可能存在老化、使用寿命等潜伏故障,或在系统运行中,由于其他检修任务而造成外部重新接线错误,这些都直接关系到选线的结果。对于装置的软件来说,也容易出现各类破损问题,导致选线失败。例如装置的参数设定被意外改变,本来应是中性点不接地系统,结果被误操作为经消弧线圈接地,直接影响就是改变了装置选线的方法,产生误选的情况;装置处于非监测状态,导致装置拒动;装置的软件受到破坏,不能正常选线等。如果能及时诊断出这些问题,就可以保证装置时刻处于良好的运行状态。

## 1.3 对装置进行练兵,及时发现选线方法缺陷

选线研究一直面临的最大问题就是试验难、建模难,现场故障的复杂多变是无法预料的。实验室建立了 10 kV 物理模型,虽然所做试验基本接近实际,取得了很好的效果<sup>[3]</sup>,但毕竟和现场还有很大的区别,那些复杂的故障根本无法模拟。而现场的录波数据,容纳了所有故障发生时的信息,能够反映故障的本质特征,利用这些数据对装置定期进行在线训练,以期发现选线方法的缺陷。

## 2 故障诊断系统的组成

作为管理支持系统重要组成部分,故障诊断的基本思想就是用“事实说话”,利用已发生的接地故障,诊断出小电流选线整个系统的各种故障。一切从数据出发,随时监控装置和周围的环境,及时发现选线失败的原因,用规范的管理使选线责任明确,避免再发生以往互相推脱的情况。同时根据故障记录,做成管理档案,给运行方提出一些建议性规程,并逐步完善,从而加强管理的力度,增强管理的透明度。对技术人员来说,也可利用这些记录,改进选线方法,随时远程协助运行人员解决现场问题。

故障诊断系统主要分为离线和在线两部分诊断模块,目标是要从技术人员专家分析向运行人员利用管理软件自动得到分析结果过渡。任何系统都不是一蹴而就的,如果一次诊断发现一个问题,解决了,装置就对这种故障免疫;下次再来,接着分析完善,最终装置的“免疫力”就会达到很高的水平,管

理规程也会越来越完备。

## 2.1 离线的诊断

装置的录波功能记录了故障发生时的各种信息,主要包括故障发生和结束时间、中性点电压变化情况、变电站各条线路的零序电流、当时装置的设置情况以及选线的各种结论和可信度。对于电压和电流的记录,从检测到故障开始记录,一直到故障到达稳态,这样就包含了故障发生时的各种特征,成为离线诊断的基础数据。离线的诊断包括远程技术离线诊断和本地离线诊断两个模块。

远程技术离线诊断主要是针对开发人员的。录波数据通过网络等传输技术传到研发所在地,技术人员就可以通过这些数据发现每次选线成功或失败的具体情况,例如在某个变电站哪种方法成功率较高,选线失败的原因到底是什么等等,为建立更有说服力的选线方法有效域提供重要依据,使综合判断更符合现场实际,而不是某个专家的思想。

同时应用数据挖掘思想,对收录的数据进行数据预处理,逐步形成故障的标准样本库。对样本库中的故障进行聚类分析,对那些无法归类的故障,定义为特殊点。对于以后的特殊故障,就利用样本库,寻找和此次故障特征最为相似、或距离最近的样本<sup>[4]</sup>,进行指纹法选线。

本地离线诊断主要是针对运行使用人员的,这是向有效管理迈进的第一步。在技术人员分析经验的基础上,做成类似专家系统的管理软件。规定运行人员过一定周期,做一次分析,主要诊断引起选线失败的管理失误,例如数据饱和、电压、电流互感器极性接反等显性问题。对出现类似的故障,给出各种可能原因,供运行人员参考检修。

## 2.2 在线的诊断

离线的分析显然不能满足电力系统实时化的趋势,在线的诊断就不可缺少了。可通过网络,在远方监视选线装置的运行情况,对发生的异常情况作出诊断及维护。在线的诊断也包含两方面内容:定时诊断和随机诊断。

定时诊断是由开发人员利用选线结果经过了验证的永久故障数据对装置进行“练兵”。把这些确定的录波数据作为数字信号通过网络定时发送给现场的装置,让装置进行选线。选出的结果传送回来,如果选对,就说明装置现在处于很好的工作状态;如果选错,就发出警报或通知运行人员。如果在定时诊断时发生故障,马上停止“练兵”,开始选线。装置经过这样的训练,使用过程中的损坏就很容易被

发现了。

由于这些定时诊断的信号是假设装置处在各种周围环境都正常的条件下,所以这样的诊断只能发现装置本身的故障,却不能查出小电流装置整个系统的其他问题,如互感器接反,采样装置饱和等。所以随机诊断就是要利用瞬时故障这个“免费的午餐”,对它的选线结果进行诊断,从而发现系统的各种情况,如同在现场做实验,而且完全跟实际一致,凭事实说话。判断瞬时故障的选线正确性是实现该诊断功能的难点所在。我们尝试利用数据挖掘技术中的聚类分析和故障波形再现的方法来进行该点的突破,取得了一定的效果。

通过上述诊断,校验了装置的硬件设备和软件,不仅使装置稳定、高质量运行得到了保证,而且为完善管理体制打下了基础,使选线不再难分责任、成为难题。

### 3 诊断现场结果分析

我们安装第一台选线装置以来,就定期对现场的装置进行检测和收录数据。通过故障诊断,多次发现了系统故障。某变电站一条线路的零序电流互感器极性接反就是最为明显的一例。

2002年12月25日,该站发生一次单相接地故障,选线结果显示为工业线故障。可经过离线分析发现,如图1所示,工业线电流幅值在四条线路中排名第三,并不很大。虽然应用群体比幅比算法,选择电流前三大线路,认为是工业线故障,但是从理论上分析,故障线路的电流是非故障线路电流之和,不应该会有这么小;若把工业线电流反向,所有线路零序电流方向一致,实际发生的就是母线故障。故怀疑该次误选,在管理记录上记下该故障。

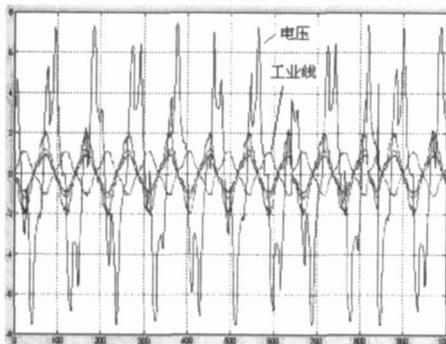


图1 2002年12月25日故障  
Fig 1 The fault on 12th, 25, 2002

随后的12月28日,该站又发生一次单相接地

故障,选线结果为移民线。记录波形如图2所示。分析发现,工业线电流和故障线路移民线电流竟为同一方向,比移民线电流小很多,且和上次故障的电流大小相差不远。若仍将工业线电流反向,实际发生的就是典型的移民线故障,即选线结果正确,但波形有疑问。因此我们认为工业线零序电流互感器接反,这两次故障工业线所反映的均为自身零序电流。但该结论还不能确定。

在接下来2003年1月6日的故障中,选出为母线。但是分析图3波形,虽然所有线路电流方向相同,但工业线零序电流却最大,远大于上两次故障的数据,且和其他线路零序电流之和相当。若将其电流反向,就是典型的工业线故障,而非母线故障,即选线结果错误,应为工业线故障。

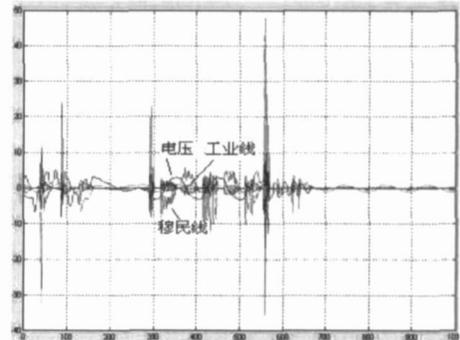


图2 2002年12月28日故障  
Fig 2 The fault on 12th 28, 2002

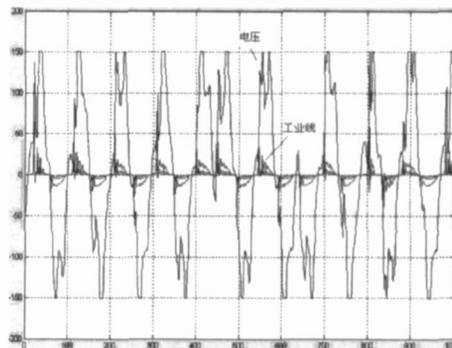


图3 2003年1月6日故障  
Fig 3 The fault on 6th, 1, 2003

由这三次故障可确定工业线零序电流有问题,电流互感器极性接反的可信度很高,达90%以上。经现场运行人员的确认,的确是该种管理失误。

如果没有故障诊断这一功能,录波数据就只能静静地躺在数据库内,起不到任何效果,现场的选线错误仍将持续。在其他的分析中,我们还发现了诸如数据饱和、电压互感器极性接反等管理错误,所

以,故障诊断对于小电流系统来说具有很重要的意义。

#### 4 结论

小电流选线系统的故障诊断功能,解决了长期以来在选线失败原因上的迷惑,为完善小电流选线装置的管理机制打下了基础,为进一步提高选线效果提供了很好的方法,为我们的研究开创了一个新的领域。因此,建立这样的故障诊断系统,对研发方和使用方都具有巨大的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 李润先. 中压电网系统接地实用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.  
LI Run-xian Practical Technology of Neutral Grounding in Medium Voltage Network [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [2] 张利, 朱兰, 等. 为小电流选线建立管理支持系统的思想 [J]. 现代电力, 2003, 20 (1): 27-31.  
ZHANG Li, ZHU Lan, et al New Idea of Setting up System of Management for Detecting Grounded Line in Neutral Point Indirectly Grounded Systems [J]. Modern Elec-

- tric Power, 2003, 20 (1): 27-31.
- [3] 陈为化, 杨奇逊, 等. 小电流接地系统单相接地故障实验方法的研究 [J]. 现代电力, 2002, 19 (6): 44-47.  
CHEN Wei-hua, YANG Qi-xun, et al Research of Experiment Methods of Single Line-to-Ground of Non-direct Ground Systems [J]. Modern Electric Power, 2002, 19 (6): 44-47.
- [4] 李黎. 基于聚类分析的负荷数据分类方法的研究 (硕士学位论文) [D]. 北京: 华北电力大学, 2004.  
LI Li The Studies on Classified Methods of Load Data Based on Clustering Techniques, Thesis [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2004.

收稿日期: 2006-04-04; 修回日期: 2006-05-11

#### 作者简介:

刘雪莉 (1979 - ), 女, 硕士, 教师, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: liuxueli1979@163.com  
郭铁锋 (1980 - ), 男, 本科, 助理工程师, 从事电力系统继电保护工作;  
裴善鹏 (1980 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制;  
杨以涵 (1927 - ), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制、数字电力系统等。

### Study of setting up system of fault detecting in neutral point non-effectively grounded system

LIU Xue-li<sup>1</sup>, GUO Tie-feng<sup>2</sup>, PEI Shan-peng<sup>3</sup>, YANG Yi-han<sup>3</sup>

(1. Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300134, China; 2. Tianjin Electric Power Corporation, Tianjin 300300, China; 3. North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The fault line detection in neutral point non-effectively grounded-system has obtained certain effects with the development of many years. The fault line detection is not very effective because of the ambiguous reasons of the techniques and managements though it is very important for power system. For solving this problem and management innovation, this paper proposes an idea of setting up system of fault detection for line selection, monitoring and controlling the devices on-site with correspondence and network. And the functions of the system is described on off-line and on-line condition. The effect is satisfactory on the verification of the recorded data on-site and the reason of fault detecting is found. The result shows that establishing the system of fault detection is very important for perfecting management and advancing the technique of line selection.

**Key words:** ground fault line detection; fault detecting; off-line; on-line

## 西南水电须建多条特高压线

“十一五”期间,西南水电将迎来建设高潮。为配合西南水电工程,国家电网公司、中国南方电网公司正规划建设特高压直流输电线路。

国家电网公司的资料显示,除金沙江送出工程和云南水湾送出的7条特高压直流线路外,金沙江流域雅砻江上的锦屏水电站还将配套特高压直流工程,计划2011至2014年全部建成投产。而溪洛渡、向家坝两条特高压输电线路已获国家发改委同意,将成为最早建设的西南水电输出工程之一。

此前,为输送三峡水电至华东,我国专门建设了一条正负500的直流超高压线路。

国家电网公司获准建设溪洛渡、向家坝水电送出工程。按规划,这里将建一条正负800kV、640万千瓦直流特高压线路。这是迄今为止我国等级最高的直流输电线路。它的优点是长途运输线损低,效率高。