美加大停电后关于继电保护的一些思考

赵自刚, 张 洪, 赵春雷

(河北电力调度通信中心, 河北 石家庄 050021)

摘要: 8.14 美加大停电事故因其给社会带来的巨大影响, 引起了世界各国, 包括政界高层在内的广泛关注。该文从保护整定原则、保护装置性能等方面分析了当前国内继电保护在类似事故中可能做出的反应, 并对故障记录设备能力和机网协调等进行了分析, 文末提出了相应对策, 以期吸取事故教训, 避免类似灾难性事故的重演。

关键词: 8.14 美加大停电; 继电保护; 电力系统; 事故

中图分类号: TM77 **文献标识码**: B **文章编号**: 1003-4897(2004)21-0076-04

0 引言

从历史的经验来看, 一起大的电网事故往往伴随继电保护及安全自动装置的问题。刚听到 8.14 美加大停电事故的报道时, 也曾断定肯定是继电保护或安全自动装置出了问题。2003 年 11 月 19 日, 美国和加拿大联合公布的美加大停电初步调查报告称, "8.14"大停电是由于俄亥俄州 3 条输电线路出现故障、电力公司和电网监测中心未及时采取措施而引起的。分析我们的状况, 对于类似 8.14 美加大停电的事故, 在事故发展初期的过负荷阶段, 我们现在所配置的继电保护是无能为力的。只有在事态进一步恶化, 由异常运行发展为故障, 例如线路由于长时间过负荷, 造成弧垂过大, 导致对地放电时, 继电保护才会发挥作用。在此之前, 事态的有效控制主要依赖于人为干预和电网的安全自动装置。直到发生故障后, 才轮到继电保护履行职责, 即"及时、有效地切除故障, 且既不误动, 也不拒动"。

由于目前继电保护与电网的安全自动装置的配置与整定计算基本都是"各自为战", 没有刻意考虑二者的有效衔接, 因此发生伴随各种异常运行状态的故障时, 继电保护与安全自动装置各管各的, 不能联合"作战", 往往会造成各种遗憾。

1 现有继电保护对过负荷状态反应能力分析

继电保护的任务, 特别是在超高压电网中, 主要是用于对付以电流和电压突变为基本特征的故障情况的, 而对于电网的异常运行状态, 例如过负荷、低频、低压等没有大的突变, 相对于故障而言变化缓慢的问题, 则主要是由电网的安全自动装置来解决。

1.1 继电保护距离 III段的整定原则

在继电保护的整定原则上, 从 1979 年原电力工业部生产司颁发的《110～220 kV 电网继电保护与安全自动装置运行条例(配置与整定部分)试行》[1]到 1995 年由原电力部颁布实施的《220～500 kV 电网继电保护装置运行整定规程》[2], 对线路的距离保护最后一段, 即三段的整定原则几乎完全一致。

在原电力工业部生产司于 1979 年颁发的《110～220kV 电网继电保护与安全自动装置运行条例(配置与整定部分)试行》中要求:

1) "对线路距离保护, 应考虑故障点经一定欧姆值的电弧电阻或接地电阻短路时, 保护仍能动作"。

2) 在对灵敏度的要求中规定"对 50 km 以下的线路不小于 1.5, 同时当线路末端故障, 故障点每相经 10 Ω 弧光电阻时保护仍能动作"。

3) "距离保护的最后一段定值应能可靠躲过本线路事故过负荷最小阻抗"。

在目前执行的原电力工业部 1994-12-19 批准, 1995-05-01 实施的《220～500 kV 电网继电保护装置运行整定规程》中规定:

1) "2.4.2, 对于 220 kV 及以上电力系统的线路继电保护, 一般采用近后备保护方式, 即当故障元件的一套继电保护装置拒动时, 由相互独立的另一套继电保护装置动作切除故障; 而当断路器拒动时, 起动断路器失灵保护, 断开与故障元件所接入母线相连的所有其他连接电源的断路器。有条件时可采用远后备保护方式, 即故障元件所对应的继电保护装置或断路器拒绝动作时, 由电源侧最邻近故障元件的上一级继电保护装置动作切除故障"。

2) 在对灵敏度的要求中已不规定要满足的故障点弧光电阻值。

3)“4.2.3.9,相间距离Ⅲ段定值按可靠躲过本线路的最大事故过负荷电流对应的最小阻抗整定,并与相邻线路相间距离Ⅱ段配合。当相邻线路相间距离Ⅰ、Ⅱ段采用短时开放原理时,本线路相间距离Ⅲ段可能失去选择性。若配合有困难,可与相邻线路相间距离Ⅲ段配合”。

1.2　继电保护设备

从电网目前装备的继电保护设备来看,线路保护对“过负荷”状态的反应,作用是很有限的。

目前,在河北南网220 kV及以上系统中运行的线路保护主要有两大系列。一是北京四方继保有限公司(华北电力大学)研制的11、101型的纵联距离保护,二是南瑞继电保护公司(南京电力自动化研究院)研制的901型纵联方向保护或931型分相电流纵差保护。

现有的微机型保护在保护长时间启动时,是否会闭锁保护?对保护的动作时间有多大影响?下面简要分析,当线路出现长时间过负荷时,两个系列保护尤其是其中距离保护的反应情况。

1) 过电流元件

上述两个系列的保护均设有一个过电流元件“4/4”“静稳破坏过电流元件”或“振荡闭锁过电流元件”。该元件不直接作用于跳闸,而是做为距离保护的一个辅助元件,用以判定电力系统是否出现静稳破坏或振荡问题。

该过电流元件由运行部门整定,制造厂要求该定值应躲过线路最大负荷电流。实际运行整定中,该定值一般按躲过线路热稳定允许电流整定。

对于11/101系列保护[3],当线路电流大于该过电流定值时,在30 s内距离保护将保留Ⅲ段,Ⅰ、Ⅱ段退出;30 s之后,发“过负荷”异常信号并闭锁距离保护。

对于901/931系列保护[4],若线路电流大于该过电流定值,除保留距离Ⅲ段保护外,仍保留可由振荡闭锁元件开放的距离Ⅰ、Ⅱ段。

2) 距离Ⅲ段

现行《220～500 kV电网继电保护装置运行整定规程》要求距离Ⅲ段定值应按可靠躲过线路的最大事故过负荷电流对应的最小阻抗整定。

当线路出现过负荷(至少当过负荷电流超过线路热稳定允许电流不多)时,距离Ⅲ段保护一般不会动作。为什么以往的模拟式距离保护对过负荷状态的反应似乎较现在的距离保护好一些?原因是:

a. 原来的模拟式保护难以做出复杂的动作特性,而简单的圆特性在兼顾经弧光电阻短路的保护作用时,其躲负荷能力又较弱,因此有时会限制线路的潮流。并非有意为之,实乃不得已而为之。事实上,正是由于距离保护与安全自动装置定位的不同,在模拟式保护时代,人们一直在为如何能在兼顾一定过渡电阻能力的前提下提高距离保护的“躲负荷”能力寻求理想的解决方案,直到微机型保护应用于电力系统,才使“躲负荷”不再成为困扰系统运行的一件难事。

b. 在提高保护配置标准,实行“加强主保护,简化后备保护”的原则后,配置了双套纵联保护。在此情况下,阶段式后备保护,从原来的较多考虑远后备作用,调整为按近后备整定,故整定原则也发生了变化。

c. 距离保护躲负荷的数据,也是使用电网的运行方式部门提供的数据进行整定。一般已考虑了检修+故障,即完全$N-1$。

继电保护对电网的安全稳定运行至关重要,但其作用也是有限的。为保证电网的安全稳定运行,针对威胁电网安全的故障及异常运行状态,继电保护与电网的安全自动装置或电网的安全稳定控制装置,应相互协调,作为一个整体来考虑,特别是在“过负荷”这一故障与异常运行状态的“分界面”上,更应可靠衔接,不留“死角”。

首先,对“过负荷”一类的异常运行状态,应该及时处理,包括人工干预和自动切除;其次,可以将这个功能放在微机型继电保护装置中实现。另行购置、在全网安装一套专用于切除过负荷线路的自动装置,技术上虽可行,但经济上花费太大;第三,解决问题的关键在于对输电线路的过载能力应有一个明确的描述,例如在什么样的负荷水平和环境温度下,什么样的导线的过负荷允许时间是多少,它应该是一个反时限曲线。有了这条曲线,才能确定反应“过负荷”情况的继电保护的整定原则。此外,还需与继电保护制造商共同研制、改进现有的继电保护装置。

从另一个角度来看,继电保护一般反应的是“局部”问题,而电网安全自动装置往往针对的是区域稳定控制。过负荷既可能是局部、简单原因引起的,也可能是伴随故障、负荷转移等复杂原因引起的。应从电网的整体角度出发,综合考虑潮流分布情况,采取在某些局部切负荷及在某些电源点适当减出力的联合控制策略,从而达到既消除线路过负荷问题,又不至于因仅切除某条过负荷线路而引起不希望的新的负荷转移,引发大的电网事故。因此,完全由当前

只能反应“点”或“线”电气量变化的继电保护来解决站在“面”上才能做出最佳决策的任务,似乎有点儿勉为其难。但继电保护作为不能突破的“底线”还是责无旁贷的。或许研究中的“面”保护与区域电网安全自动装置的有机结合能为这一问题提供一个令人满意的解决方案。

2 现有电网运行及故障数据的记录能力分析

电网的故障记录设备,主要是用于记录电力系统大扰动例如短路故障、系统振荡、频率崩溃、电压崩溃等事故发生后的线路电流、母线电压、主变/发电机潮流等有关电气量的变化过程及继电保护与安全自动装置的动作行为分析。承担电网故障记录任务的主要设备是故障录波器。另外,随着微机型保护装置辅助功能的不断丰富,微机型继电保护装置本身也具有了一定的故障记录功能,只是受内存容量的限制,一般仅能录制被保护设备在保护启动、跳闸前后几个周波的故障数据和装置本身的动作过程[5]。目前,经过“九五”期间的大规模技术改造,各个电网公司一般都实现了故障录波的微机化,对单一的简单故障有较好的记录能力,能够满足一般事故的分析需要。

严格地讲,作为一个中立、评价的系统,故障录波器应满足故障记录的真实性、完整性和安全性的要求。以这样的要求来衡量电网在电力体制改革已经实施,“厂网分开”的大环境下所配置的故障记录设备的性能,还存在下列不足:

1) 对大面积的连续故障,现有的故障录波器由于数据保存能力的原因,不能保证全部、完整地将故障数据记录下来。例如,2001 年 2 月河北南网发生大面积污闪事故期间,部分 WGL - 12 型装置由于产品设计原因最多只能循环保存 100 次故障数据,大量的低压故障、远处故障均可启动故障录波,使本站出线故障时记录的数据丢失,导致录波失败。

2) 对于由系统较小扰动引起并伴有连锁反应的动态长过程故障,如系统低频振荡、频率异常、电压异常以及机电暂态过程等,由于故障录波器是靠故障量启动的,在没有较大扰动时不能及时可靠启动,因而不能保证将故障全过程完整地记录下来。例如,2001 年 6 月 20 日,河北南网 220 kV 来马站的 110 kV 线路发生永久性接地故障时,马头 # 8 机组定子过流保护跳闸停机事故,就由于相关故障录波器未能及时启动,没有成功记录事故过程的全貌,使事故原因分析受到影响,至今未能得出明确的结论。究其原因是我们现在装备的是故障录波器,顾名思义只能在故障时启动录波,没有考虑故障录波器不经故障启动、长期不间断连续记录的功能。因为只要设置了启动量,就必然会有启动门坎,因而也就不能保证在故障发展的任何阶段都能可靠启动录波。不能启动录波,则对故障数据的分析也就无从谈起。

确切地说,以我们目前的故障录波装备水平,一旦发生类似美加 8.14 大停电的复杂、伴有连锁反应、持续时间较长的重大灾害性电网事故,难以完整地记录事件的发生、发展、直至平息的全过程,没有能力提供翔实、充分、能反映事故全貌的完整数据用于事故分析。所能提供的只是非连续记录的、分散启动的、故障时段的数据,有可能会对事故的分析带来不利影响。

3 电厂与电网间继电保护及安自装置机网协调的现状

对机组装设的失磁保护、失步保护、频率异常保护(低周、高周)、过负荷保护、低电压保护等,所谓的机网协调,主要是关心它会不会切得太“早”。到底早不早?还有没有裕度“可吃”?是否与电网的继电保护和安全自动装置达到了最佳配合?由于电力体制改革实施之前,电厂与电网基本隶属于同一行政体制,对这些问题人们并没有给予充分的关注,因而实际情况究竟怎样我们并不是很清楚。

当前,由于国内尚无比较成熟的“频率动态过程分析程序”,无法进行频率的动态仿真分析,对机组频率保护的动作时机是否符合电网运行要求难以做出准确的判断。对反应过负荷一类异常运行状况的机组保护与系统保护的配合,也缺乏有效分析,对究竟是否失配,还拿不出具有说服力的数据。

欲做好机网协调工作,最大限度地保护厂网双方的利益,需要对继电保护及电网安全自动装置的机网协调进行充分研究。首先应了解清楚现状,对并入电网运行的大机组(200 MW 以上),应逐台进行核实和分析。其次是在“电网安全是厂网双方共同的利益,共同的责任”这一认识的基础上,相互谅解,制定出一个对电网安全和设备安全有利,双方都能接受的合理的整定方案。

4 对策

为保证电网的安全稳定运行,应将继电保护、电网的安全稳定控制装置、机组保护等作为一个系统

工程来考虑,统筹考虑其配置、整定配合与运行。

解决"过负荷"、"低电压"等电力系统的异常运行状态,应打破专业分工界限,避免"各自为战",做到继电保护与各种电网安全自动装置的有效衔接。

应从现在起着手研究开发并尽早选用非故障启动、连续记录的电力系统运行及故障数据记录设备,解决置于站端的底层数据采集和记录设备采样速率低、存储能力差等技术问题,在继电保护运行与故障信息的远传分析系统的基础上,利用 GPS 同步技术和高速光纤数据通信技术,建立广域、动态、实时电网数据记录与分析系统,以满足对各类事故分析的需要,实现基于测量的电力系统精确分析,提高电网的稳定运行水平,提高电网对事故的反应和处理能力。

参考文献:

[1] 110～220 kV 电网继电保护与安全自动装置运行条例(配置与整定部分)试行(Operational Regulation for Grid Protection and Safety Automatic Device Disposition and Setting, Trial Edition)[Z]. 电力工业部生产司(Producing Department of the Ministry of Electrical Industry). 1979.

[2] DL/T 559-94,220～500 kV 电网继电保护装置运行整定规程(Operational and Setting Code for Relay Protection of 220～500 kV Electrical Power Networks)[S].

[3] 11 型微机高压线路保护装置软件设计说明(Software Design Manual for 11Type Micro-based Protection of High Voltage Transmission line)[Z]. 华北电力学院北京研究生部(Postgraduate Department of North China Electric Power University).

[4] LFP-901A 型超高压线路成套快速保护装置技术说明书(Technical Manual for LFP-901A High-speed Protection Equipment of Extra-high Voltage Transmission Line)[Z]. 南瑞继电保护公司(Nari-Relays Electric Co.,Ltd). 1997.

[5] 赵自刚,赵春雷(ZHAO Zi-gang, ZHAO Chun-lei). 国产故障录波器现状分析及新型录波器展望(Present Situation Analysis of Domestic Fault Oscillographers and Prospects for New Type of Fault Oscillographers)[J]. 电网技术(Power System Technology),1999,23(3):44-46.

收稿日期: 2004-04-20; **修回日期**: 2004-06-14

作者简介:

赵自刚(1962-),男,教授级高工,从事电网及继电保护的运行管理工作; E-mail: zzg@hbpc.com.cn

张　洪(1964-),女,高级工程师,从事继电保护的整定计算与运行管理工作;

赵春雷(1968-),男,高级工程师,从事继电保护的整定计算与运行管理工作。

Reflection on protective relay after the great 8.14 power failure of America and Canada

ZHAO Zi-gang, ZHANG Hong, ZHAO Chun-lei

(Hebei Electric Power Dispatching and Communication Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The great blackout happened on August 14th, 2003 shocks the whole world including political highs because of its wide influence on the society. To learn the lessons of the accident, the reactivity of domain protective relay facing such accident is analyzed from aspects such as setting rule, protective device performance, etc. Problems such as the recording ability of fault recorder and cooperation between units and power grids problems are also brought up and analyzed. At the end, corresponding countermeasures are proposed to avoid the similar power disaster.

Key words: the great 8.14 power failure accident of America and Canada; protective relay; power systems; power accidents

中国高等学校电力系统及其自动化专业第 20 届学术年会圆满结束

中国高等学校电力系统及其自动化专业第 20 届学术年会于 2004 年 10 月 23 日～25 日在郑州大学举行,与会代表近 400 人,发表论文 559 篇,均创下历届年会之最。本届年会适逢 20 华诞,大会组委会举办了电自年会 20 年回顾展,珍贵的历史图片和丰富的文史资料展现了电力系统及其自动化专业学术年会 20 年的辉煌历程。与会代表一致认为,电自学术年会创办 20 年来,已经成为高校电自专业师生进行学术交流必不可少的平台,也必将进一步推动我国电力科技事业的发展。

大会闭幕式上举行了隆重的会旗交接仪式,下届年会将由广西大学承办。