

# 一起 500 kV 接地故障暂态特征和继电保护动作行为分析

胡卫东, 王凤岭, 柏峰, 夏毅, 宋巍, 赵淑珍

(华北电网有限公司北京超高压公司, 北京 102413)

**摘要:** 介绍了在复杂电网中, 一起 500 kV 超高压长输电线路永久性单相接地故障后暂态过程, 结合继电保护动作报告及故障录波图, 分析并推断了故障的发展过程, 从谐波含量、各序分量和三相电压不平衡度等角度分析了故障发生后至故障点未切除前系统的电能质量, 对继电保护装置在故障情况下的动作正确性进行了详尽的分析, 对其防范措施进行了探讨。

**关键词:** 电力系统; 超高压; 单相接地故障; 继电保护

## Analysis on ground fault transient characteristics and the behavior of protection of 500kV transmission line

HU Wei-dong, WANG Feng-ling, BAI Feng, XIA Yi, SONG Wei, ZHAO Shu-zhen

(Beijing Extra High Voltage Company, North China Grid Co., Ltd, Beijing 102413, China)

**Abstract:** This paper describes the complex power grid, along with extra high voltage 500 kV transmission line permanent single-phase ground fault after the transient process. Combined with relay action report and chart recorder, it makes a failure inference analysis of the development process. Based on harmonic content, each sequence components and the three-phase voltage unbalance, the power quality after the fault and before fault is removed is analyzed. The correctness of action of relay protection devices in the case of failure is carried out in detail. Finally, the proposal is put forward.

**Key words:** power systems; EHV; single-phase ground fault; protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)02-0083-03

## 0 引言

随着特高压试验示范工程顺利投产及投产后华北电网的安全平稳运行, 必将以特高压电网建设为契机, 推进各级电网协调发展, 促进大型煤电、风电基地建设, 实现更大范围的资源优化配置, 从而为我们提供了新的机遇和挑战。值得一提的是特高压试验示范工程投运后华北和华中电网实现了同步电网互联, 东北、华北异步直流联网, 不久的将来华北将和西北电网异步互联, 其中一个电网发生故障, 相连电网都会受到影响, 所以为减少电网波动, 对继电保护装置动作的选择、快速、灵敏、可靠性提出了新的考验。

华北电网所辖的房山 500 kV 变电站于 1980 年开始基建, 1984 年 6 月 24 日建成发电, 是北京电网的 500 kV 枢纽站, 控制方式为当地有人监控值班。其中, 1986 年 06 月 21 日大(山西大同第二发电厂)房(北京房山 500 kV 变电站)一线升压 500 kV 运行, 输电线路全长约 290 km<sup>[1]</sup>。

## 1 事故经过及保护动作情况

### 1.1 事故经过

2008 年 11 月 16 日 10 时 56 分 38 秒, 500 kV 大房一线距房山侧约 287 km 处发生一起永久性 A 相接地故障。故障前其电气主接线图及运行方式见图 1。

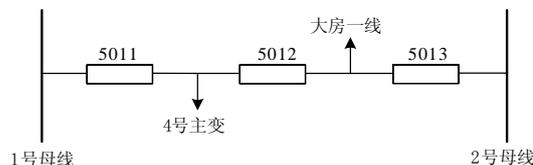


图 1 电气主接线和运行方式

Fig.1 Main electrical scheme and the mode of operation

### 1.2 保护配置及动作情况介绍

大房一线配置的两套线路保护分别为 GE 公司生产的 L90 纵联电流差动保护和日本三菱公司生产的 MCD-H2 纵联电流差动保护及 GE 公司生产的 ALPS 后备保护<sup>[2]</sup>, 5012、5013 断路器均配置一套南京南瑞继保有限公司生产的 LFP-921B 断路器保

护,重合闸投单重方式,5012断路器先重。故障发生后,L90纵联电流差动保护动作,MCD-H2纵联电流差动保护动作,5012、5013断路器保护LFP-921B跟跳A相,5012重合闸动作,重合于故障,5012、5013断路器三相分开<sup>[3]</sup>。保护具体动作情况见表1~表4。

表1 L90保护装置动作情况

Tab.1 L90 protection action case

L90 纵联电流差动保护	
AG	(A相接地故障)
TRIP	(保护跳闸)
CURRENT	(电流差动保护动作)
PHASE A	(故障选A相)
A相电流差动动作	
A相跳闸出口动作	
B相跳闸出口动作	
C相跳闸出口动作	
三相跳闸出口动作	

表2 MCD-H2保护装置动作情况

Tab.2 MCD-H2 protection action case

MCD-H2 纵联电流差动保护	
87TA	(电流差动保护A相跳闸)
87TRIP	(不带延时的电流差动保护跳闸)
TRIP	(亮灯) (保护跳闸)
A相跳闸(亮灯) (A相故障)	
EF	(亮灯) (接地故障)

表3 5012 LFP-921断路器保护装置动作情况

Tab.3 5012 LFP-921circuit breaker protection action case

5012 断路器保护:		
A TL	(A相跟跳)	26 ms
CH	(重合闸动作)	685 ms
NPR	(勾通三跳)	775 ms

表4 5013断路器保护装置动作情况

Tab.4 5013 LFP-921circuit breaker protection action case

5013 断路器保护:		
A TL	(A相跟跳)	28 ms

## 2 接地故障暂态特征及保护动作行为分析

### 2.1 接地故障暂态特征

限于篇幅,本文仅提供故障发生后1s时间内故障元件的暂态过程分析,暂态波形如图2~图6。本文提供数据均为二次值,CVT变比为500 kV/100 V,

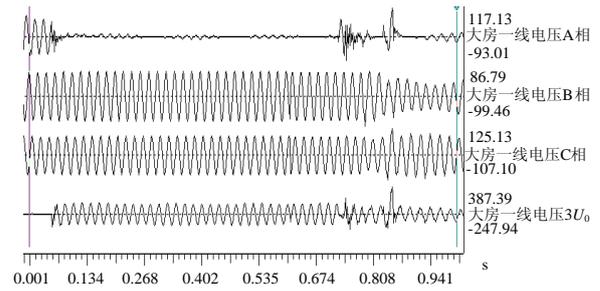


图2 大房一线线路电压波形

Fig. 2 Dafang 1 line voltage

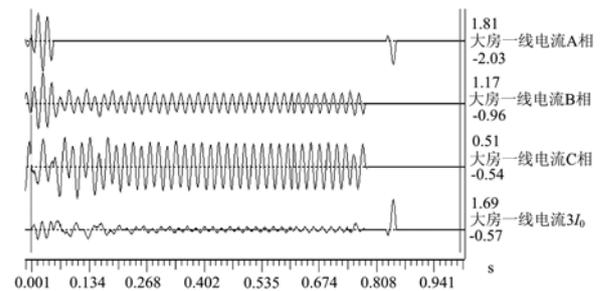


图3 大房一线电流波形

Fig. 3 Dafang 1 line current

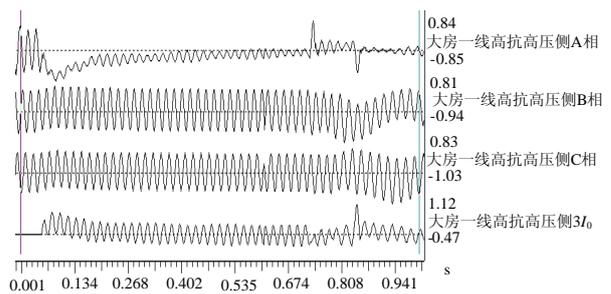


图4 大房一线高抗电压

Fig. 4 Dafang 1 line reactor voltage

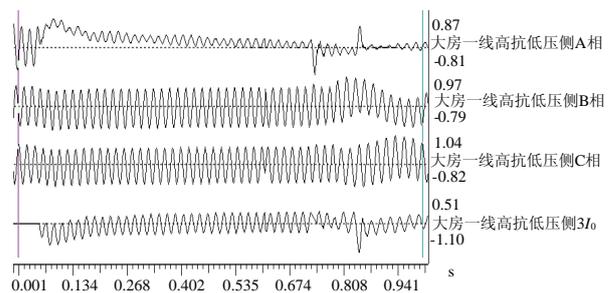


图5 大房一线高抗电流

Fig. 5 Dafang 1 line reactor current

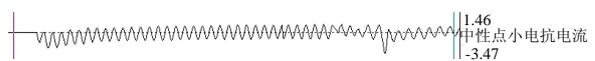


图6 大房一线中性点小电抗电流

Fig. 6 Dafang 1 line neutral small reactor current

CT变比为2 500/1A。分析图2可知大房一线线路侧A相故障电压降到45.62 V, 此时系统不平衡电压为82.49 V, 其中二次、五次谐波相对含量最高, 三相电压不平衡度小于0.5%。分析图3可知大房一线A、B、C、 $3I_0$ 二次、五次谐波含量比较高。在故障状态下, 三相电流不平衡度不超过1.7%, 在允许范围。受二次谐波影响C相电流波形发生畸变比较严重。分析图4、图5、图6可以看出大房一线线路电抗电压、电流, 中性点小电抗电流均含较高的非周期分量, 导致相应电压、电流波形偏向时间轴一侧。

## 2.2 保护动作行为分析和防范措施建议

2008年11月16日10时56分38秒, 大房一线发生A相接地故障。限于篇幅, 本文只提供了部分继电保护动作故障录波图, 如图7、图8所示。

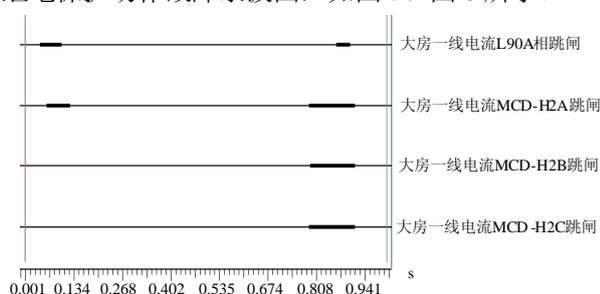


图7 大房一线线路保护动作录波图

Fig. 7 Dafang 1 line protection recorded wave

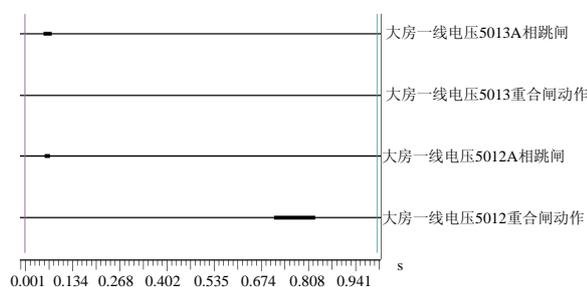


图8 大房一线断路器保护动作录波图

Fig. 8 Dafang 1 line protection recorded wave

L90 差动保护动作, MCD-H2 差动保护动作, 5012、5013 断路器保护 LFP-921B 瞬跳 A 相, 5012 断路器保护重合闸动作, 重合于故障, MCD-H2 差动动作, L90 差动动作, 5012 断路器保护 LFP-921B 未充电匀通三跳。二次最大故障电流 1.32 A, 二次最低故障电压 49.49 V, 故障持续时间 58 ms, 重合于故障后, 故障持续时间 36 ms, 二次故障最大电流为 0.85 A。差动保护计算最大差流 11.36 A。故障波形正确, 故障测距为距离房山侧 287.5 km, 故障录波器正确动作。

大房一线房山侧比大同二电厂侧晚, 分析表明

时间差来自断路器本身操作时间(对侧为双母接线方式)和故障点远离房山侧导致开关灭弧时间较长等因素造成。大同二电厂侧重合闸于故障加速三相跳闸, 对侧三跳后, 通过 MCD-H2 差动保护导致本侧开关三相跳闸(LFP921B 跳闸脉冲发出持续时间约为 8 ms)<sup>[4]</sup>, 但此时 5012 重合闸命令已发出, 且 A 相开关在分位, 防跳回路不能起动, 最终 A 相开关再次重合于故障, 跳闸。5013 断路器保护因单重时间已到, 但后合重合延时未到, 此时 5013 断路器保护再次收到线路保护的跳闸信号, 立即三相跳闸<sup>[5]</sup>。本文认为在 5012 断路器保护装置重合闸脉冲发出以后, 依赖增加一次、二次回路设计, 使其不再重合必将增加装置复杂度, 降低可靠性。本文认为可采取在系统暂态稳定性较强的一侧先重合, 有可能使系统暂态稳定性较弱的一侧少经受一次暂态冲击。

综上所述, 继电保护装置动作行为符合逻辑, 属于正确动作, 继电保护装置共动作 8 次, 其中重合闸动作 1 次。

## 3 结语

本文着重分析了一起 500 kV 超高压长输电线路永久性单相接地故障后暂态过程, 结合继电保护动作报告及故障录波图, 推断了故障的发展过程, 并就谐波含量、各序分量、三相电压不平衡度等角度分析了故障发生后故障点未切除前系统电能的质量, 对继电保护装置在故障情况下的动作正确性进行了比较详尽的分析, 本文具有以下特点:

(1)超高压电网已经成为华北地区乃至全国电力系统的主网架, 特高压试验示范工程的投运, 为超高压电网运维工作提供了新的机遇和挑战。

(2)因大房一线对端为大同第二发电厂, 且单相接地故障占输电线路故障的 90% 以上, 本文提供的故障暂态波形为电力工作者研究电磁暂态过程和机电暂态过程提供相关真实资料, 本文涉及暂态过程具有一定普遍性和特殊性。

(3)本文提出的防范建议, 虽然可能使暂态稳定性较弱的系统免受一次冲击, 提高系统其暂态稳定性, 但对于超高压、特高压长输电线路而言, 暂态稳定性较强系统近端发生瞬时性故障时, 将增加系统非全相运行时间。

(4)本文提出观点仅在抛砖引玉, 由于作者水平有限, 更好的解决方案还请有关专家学者共同探讨、研究, 切实增强特-超高压电网的运行维护水平, 共同提高我国互联电网的暂态稳定性。

(下转第 105 页 continued on page 105)

析表, 不过可以采用同一个 LR 分析器去实现解析。即不同类的标准规约生成不同的文法, 采用同一个 LR 分析器去解析。

基于编译器的规约自动解析设计方法方便了使用同一标准规约的不同设备接入变电站综合自动化系统, 使现场的调试与维护更加容易, 特别是基于编译器的程序代码易于修改和扩充。

以上介绍的两种规约实现方法, 虽已有初步成果, 但仍需继续深入研究和不断完善: 基于编译器的思想更适用于标准 103 规约, 而且 IEC61850 的应用和推广的大趋势不可逆转, 要加快基于编译器的 103 标准规约的实现并向 IEC61850 靠拢, 使将来 103 设备与 61850 的参数配置转换上更加方便。

### 参考文献

- [1] 杨剑锋, 贺春. 规约应用中存在的问题及解决方法的探讨 [J]. 继电器, 2004, 32(19): 71-73.  
YANG Jian-feng, HE Chun. Problems and Solutions in Protocol Implementation [J]. Relay, 2004, 32(19): 71-73.
- [2] 张艳林, 李绍滋. 基于模板的电力保护系统的通信规约研究 [J]. 继电器, 2007, 35(22): 23-26.  
ZHANG Yan-lin, LI Shao-zi. Research on Communication Protocols Based on Template in Power Protection System [J]. Relay, 2007, 35(22): 23-26.
- [3] 高级编译器设计与实现 [M]. 赵克佳, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005.

- Advanced Compiler Design Implementation [M]. ZHAO Ke-jia, Trans. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [4] DL451-91, 循环式远动规约 [S].  
DL451-91, Circulating Telecontrol Protocols [S].
  - [5] 傅钦翠, 陈剑云. 基于有限状态机的远动规约的设计和实现 [J]. 电网技术, 2006, 30 (19): 214-217.  
FU Qin-cui, CHEN Jian-yun. Design and Implementation of Communication Protocol Based on FSM [J]. Power System Technology, 2006, 30 (19): 214-217.
  - [6] 吉林大学软件教研室. 编译原理 [EB/OL].  
<http://softlab.jlu.edu.cn/2005/exc.html>  
SoftLab. of JLU. Compiler construction Principle and Implementation Techniques [EB/OL].  
<http://softlab.jlu.edu.cn/2005/exc.html>.

收稿日期: 2009-02-07; 修回日期: 2009-03-18

作者简介:

张艳林 (1980-), 男, 硕士, 主要研究方向为规约标准及变电站自动化系统; E-mail: linfeng0929@163.com

李慧勇 (1977-), 男, 硕士, 主要研究方向为软件体系结构、变电站自动化系统、嵌入式系统、网络通讯体系结构等;

李绍滋 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为人工智能与多媒体信息检索、网络多媒体及 CSCW 技术、软件体系结构与中间件技术、变电站自动化系统等。

(上接第 85 页 continued from page 85)

### 参考文献

- [1] 北京超高压公司, 房山 500kV 变电站现场运行规程 [Z]. 北京: 2006.
- [2] GE Power Management. ALPS Advanced Line Protection System Instruction Manual [Z]. Canada: 2001.
- [3] 南瑞继保, LFP-921A 断路器失灵保护及自动重合闸装置 [Z]. 南京南瑞继保电气有限公司技术说明书. 2000.
- [4] Mitsubishi Electric Corporation. Instruction Manual of MCD-H PCM Current Differential Relay Scheme for 500kV Transmission Line of NORTH CHINA INTERNATIONAL POWER ECONOMIC & TRADE

CORP. (NCIP) [Z]. Japan: 1985.

- [5] GE Power Management. L90 Line Differential Relay UR Series Instruction Manual [Z]. Canada: 1985.

收稿日期: 2009-02-13; 修回日期: 2009-04-16

作者简介:

胡卫东 (1977-), 男, 硕士研究生, 从事继电保护维护、检修和技术管理等工作; E-mail: hwd77@sina.com

王凤岭 (1973-), 男, 本科, 工程师, 长期从事继电保护维护、检修和技术管理工作;

柏峰 (1982-), 男, 在职研究生, 长期从事继电保护维护、检修和技术管理工作。