

DOI: 10.7667/PSPC201664

## 无防护安装就地化保护应用与实践

裘愉涛<sup>1</sup>, 王德林<sup>2</sup>, 胡晨<sup>3</sup>, 董新涛<sup>4</sup>

(1. 浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007; 2. 国家电力调度控制中心, 北京 100031; 3. 国网杭州供电公司, 浙江 杭州 310007; 4. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 阐述了国内微机保护的发展历程以及目前继电保护所暴露的一些问题, 提出了继电保护的小型化和就地化。具体研究了全站二次系统架构、智能管理单元及就地化操作箱。提出了无防护安装就地化保护的预期目标: 通过就地安装减少中间环节提升保护快速性, 可靠性和减少干扰; 通过即插即用的检修模式缩短保护装置的更换时间, 提高检修效率; 推动智能站二次系统整体设计方案优化及运维技术和管理的创新, 实现变电站安全可靠、运维便捷、节能环保、经济高效。无防护安装就地化保护的基础技术条件已具备, 已有就地化线路保护与就地化分布式母线保护经过了实践检验, 无防护安装的就地化保护将开启变电站建设、运维的全新模式。

**关键词:** 无防护安装; 就地化保护; 智能管理单元; 即插即用

### Application and practice of unprotected outdoor installation protection

QIU Yutao<sup>1</sup>, WANG Delin<sup>2</sup>, HU Chen<sup>3</sup>, DONG Xintao<sup>4</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China; 2. National Electric Power Dispatching and Control Center, Beijing 100031, China; 3. State Grid Hangzhou Supply Company, Hangzhou 310007, China; 4. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper expounds the development of the microcomputer-based protection in China and some problems that are appeared at present. The miniaturization and outdoor installation of relay protection are proposed. The secondary system architecture of substation, smart management unit and outdoor installation operation box are studied in detail. The expected target of unprotected outdoor installation is listed: by outdoor installed locally to reduce intermediate links to increase rapidity, reliability and avoid the interference; through the plug and play, shorten the maintenance time, improve maintenance efficiency; promote the optimization of smart substation secondary system design scheme and the innovation of the operation and maintenance technology and management to make substation safe, reliable, convenient operation and maintenance, energy saving, environmental protection, and economic. Technical conditions for unprotected outdoor installation are mature, and outdoor installation line protection and outdoor installation distributed bus protection have experienced the test of practice, and outdoor installation relay protection will open a new model of substation construction, operation and maintenance.

**Key words:** unprotected installation; outdoor installation protection; smart management unit; plug and play

## 0 引言

国内微机保护的研究开始于 70 年代末期, 起步较晚, 但发展很快。自 1984 年我国第一套微机距离保护样机在试运行后通过鉴定并批量生产以来, 国产微机保护经过多年的实际运行, 依靠先进的原理和技术及良好的工艺已全面超越进口保护。从 80 年代 220 kV 及以上电压等级的电力系统全部采用进口保护, 到现在 220 kV 系统继电保护基本国产化, 反映了继电保护技术在我国的长足发展和国产继

电保护设备的明显优势。无论是理论基础、规范规程、还是保护设备, 中国继电保护的发展均处于国际领先水平, 但在很多方面也暴露出一些新的问题<sup>[1-2]</sup>。

### (1) 接口形式老旧

但长期以来, 保护装置对外的接口始终采用端子排形式, 并未随着继电保护装置技术的发展而进步。老旧的接口形式, 使得继电保护装置运维始终保持着较为传统的方式, 阻碍了继电保护运维效率的进一步提高。

### (2) 回路复杂, 接口不统一

现阶段二次设备种类繁多、二次回路复杂，现场接线、配置、调试及检修等工作量大，设备试验需要多间隔设备甚至全站陪停，安装调试及检修时间长。随着电网规模不断扩大，现有安装调试及运维检修力量承载力不足，难以支撑电网建设和运行的需要。

### (3) 人员承载力不足

电网规模不断扩大，国网现有 110 kV 及以上存量变电站 1.5 万座，每年新建近 1 000 座变电站，而运维检人员定岗定编，基本没有增长。以国网某省电力公司为例：300 多名一线运维人员，500 多座 110 kV 以上变电站，二次运维人员严重不足。

### (4) 大量使用热交换系统，能耗高，系统可靠性差

智能站过程层设备大量采用就地户外柜安装方式，户外柜运行环境差，现有装置防护等级低、光口数量多、发热量大、抗电磁干扰能力差、故障率高。为改善二次设备运行环境加装了户外柜空调等辅助设备，而温控设备本身可靠性差，运维工作量大，效果欠佳。

此外，由于工作环境的恶劣，造成二次设备缺陷率的增加。仅 2012 年，智能终端缺陷率为 4.487 次/百台·年，合并单元缺陷率为 11.089 次/百台·年，分别是常规保护装置的 2.2 倍和 5.4 倍。

### (5) 占用土地资源

随着城市的不断发展，土地资源越来越宝贵和稀缺。同时，用电负荷中心往往在人口高度密集，土地资源匮乏的市中心，进一步加剧了用地矛盾。传统微机保护需要单独组屏，屏柜的使用率低，并且屏后的端子排也成为限制继电保护屏柜体积减小的重要限制因素。

在一系列“六统一”的标准和规范实施后，如 Q/GDW 1175~2013《变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范》、Q/GDW 1161~2014《线路保护及辅助装置标准化设计规范》，保护装置的输入输出量、压板、端子、报告和定值的统一，规范了保护装置的对外接口、内部逻辑和输出信息。在此基础上，具备进一步简化装置接口，同时将接口的物理实现形式由端子排转变为专用连接器。

专用连接器能够实现快速、可靠插接，缩短现场作业时间，操作简单方便，装置运维更加便利。专用连接器本身具备色带和键位等防误设计，能够防误插拔，降低“三误”事件概率和作业安全风险。同时专用连接器接口密封采用特殊工艺处理，能够满足防水、防尘等具体要求，提高了装置的防护等级。

芯片技术的不断发展和进步，使得芯片的计算处理能力越来越强的同时发热量也越来越小，使得

保护装置具备了小型化和就地化的基础条件<sup>[3-7]</sup>。

## 1 研究内容

### 1.1 全站二次系统架构

全站二次系统采用分散加集中的设计理念：对于单间隔保护，本间隔相关的电流、电压采集以及断路器位置和控制采用电缆直接接入，自成体系，即使与外部联系中断，保护功能也不受影响；对于跨间隔的变压器和母差保护，采用分布式设计<sup>[8]</sup>，将跨间隔保护间隔化；对于网络记录分析装置等站端二次设备采用网络方式传输 SV 和 GOOSE 信息，集中布置于主控制室。

线路保护具有完整的主后备保护功能，两套双重化保护相互独立；采用模拟量电缆采样，采集本间隔电流互感器的保护电流及本间隔三相电压；采用电缆跳闸方式，通过 GOOSE 网络发布本装置的跳闸信号及其他状态信号，通过 GOOSE 网订阅其他保护或控制设备的相关信号，例如启动失灵、闭锁重合闸；通过模拟量输入方式接入必要的断路器信息，例如断路器位置；线路保护采用标准化接口，单端预制方式；线路保护和母线保护的跳合闸出口硬压板设置在断路器就地控制柜内；按间隔配置两套或一套操作插件(箱)，完成对本间隔断路器的跳合闸控制功能，安装于本间隔就地控制柜中。

跨间隔保护(母差、主变)采用分布式设计，按间隔配置子机，子机无防护就地化安装，各保护子机互相独立。子机电缆直接采样，电缆直接跳闸，子机和子机间采用环网通信，各子机宜采用同一厂家设备，子机间的通信应采用标准规约。可选用有主式或无主式方案，采用主机或从各子机中选取一台作为对外通信的接口，连接过程层网络收发联锁信号，连接站控层网络进行信息上送及配置下载。

图 1 为 220 kV 双母线接线 220 kV 侧单套配置保护的二次系统架构图，其他电压等级变电站可采用相同的设计理念得到相应的二次系统架构。

### 1.2 智能管理单元

由于无防护就地化安装的保护装置取消了键盘和液晶显示，因此在站控层设置就地化保护智能管理单元，提供人机交互的手段，同时就地化保护智能管理单元还能实现所有保护装置的集中配置功能。

所有保护设备都应具备两个 MMS 网口，分别接入站控层的 MMS 网络，智能管理单元通过 MMS 网络获取与就地化保护集中界面和配置管理相关的数据，就地化保护智能管理单元网络结构如图 2 所示。其中智能管理单元采用双机配置，与站控层双网连接，获取保护数据。



上送远端主站的功能，同时支持主站远程召唤模拟量数据、定值数据、历史数据及其他文件。

(7) 其他高级功能：智能管理单元还能够实现SCD模型文件管理，继电保护系统诊断等其他高级功能。

### 1.3 就地化操作箱

一次设备智能化水平低，开关无法做到标准化和智能化，因此需要使用操作箱作为一次设备和二次设备间的接口。

就地化操作箱仅保留基本的断路器跳合闸及必要的监视功能。断路器本体机构已实现的功能，操作箱不再重复设置，例如：防跳、压力闭锁、三相不一致等功能。通过传输和转化环节的竞合和回路的优化设计，提升保护动作的快速性，提高系统的稳定性。

随着本体机构的逐步智能化，将就地化操作箱实现的功能逐步转移至断路器本体机构，最终实现一次设备智能化。

## 2 预期目标

### 2.1 提升保护性能：快速性，可靠性，减少干扰

相较于智能变电站，无防护安装的就地化保护可减少保护中间环节，保护动作快、单间隔保护装置整组动作时间相较于目前智能变电站可减少8~10 ms<sup>[9]</sup>，提升保护的快速性。

无防护安装的就地化保护通过单间隔功能纵向集成，能够减少装置类型及数量，整体降低设备缺陷率，单装置失效影响范围减小，系统可靠性得到明显提升。

此外，基于无防护、开关场安装的就地化二次设备网络架构简单，就地电缆跳闸电缆采样，解决长电缆传输信号带来的问题，如CT饱和、多点接地、回路串扰、分布电容放电等问题。

### 2.2 即插即用的检修模式

由于采用无防护就地化安装，保护装置的物理形式发生了根本性变化，过去在检修过程中更换插件/消除保护装置缺陷的方法不再适用，当装置出现故障时，需要对装置整体进行更换。由于采用了专用连接器，连接器的所有线芯都经过标准化，在更换保护装置时，装置的所有外部回路均保持不变，只需将故障的保护装置与专用连接器分离，并更换新的保护装置，经过简单的回路传动试验后，保护装置即可投入运行，实现了保护装置的即插即用。由于没有外部回路的工作，保护装置的更换时间大大缩短，现场作业简单高效，检修效率大大提高。

要做到保护装置的即插即用，除了采用统一的专用连接器外，在更换保护装置前，还应对保护装置的功能进行校验，为缩短保护装置更换时间，保护装置的校验应在保护装置更换前完成，校验的内

容包括保护装置的逻辑功能、对外部的开入、开出传动等内容。

### 2.3 全过程降本增效

通过就地化保护应用推动智能站二次系统整体设计方案优化、一次设备接口标准化及运维技术和管理创新<sup>[10]</sup>，促进智能站设计建设、安装调试和运行维护等环节全面提升，实现变电站安全可靠、运维便捷、节能环保、经济高效。以220 kV典型规模工程为例：电压等级为220/110/10 kV，本期6回220 kV线路，8回110 kV线路，2台主变，12回10 kV馈线。应用就地化二次设备方案，较非就地化智能站建设模式相比：

设计建设阶段：由于所有保护均采用就地无防护直接安装，取消间隔保护屏和智能控制柜、仅配置就地端子箱，屏柜数量减少59面，降幅达60%以上；因采用小型化、就地化设备建设模式，取消保护小室、缩减建筑缩减430 m<sup>2</sup>，降幅近50%；因保护集成合并单元和智能终端，并通过航空插头直接采样、跳闸，光缆数量减少11.6 km，降幅近60%。

安装调试阶段：保护装置就地布置，长线缆大幅减少，敷设容易；装置采用无防护就地安装且大部分接线采用航空插头预制，安装简单，整站二次设备安装时间缩短至一周左右，降幅约65%；专业化检修中心利用自动测试技术等提高测试效率；全站保护配置、调试完毕后发往现场，现场经整组传动后即可投运，调试时间缩短至一周左右，降幅约75%。

运行维护阶段：利用就地化保护便于安装和更换的优势，现场检修工作以快速更换为主，减少设备停电时间和电网正常方式破坏时间，提高电网运行效率和可靠性；无间隔保护虚回路设计，简化全站SCD配置及管控难度；配置一键式下装，实现少维护、易维护，现场工作量大幅降低；结合二次设备状态监测、虚回路可视化及配置文件管控，提高设备全生命周期管理质量、确保系统稳定安全运行。以上述220 kV工程为例，按设备寿命15年及规定的检修周期(第1、7、13年全检，4、10年部检，非就地化保护全检36 h、部检12 h，就地保护更换式检修30 min)，停电时间由132 h缩短至2.5 h。装置消缺时间由26.88 h(2012-2015年统计数据)缩短至1 h左右。

## 3 探索实践

### 3.1 线路保护

浙江公司以设备就地化、小型化为突破口，开展科技项目研究，攻克防护等级、电磁兼容、热设计等关键技术难关，保障就地化保护装置的可靠运行，推动了继电保护技术的变革。就地化线路保护2013年在湖州220 kV金钉变、太傅变正式投运，实现了全国首套220 kV线就地化线路保护挂网运

行。装置在浙江湖州挂网运行三年来,开展日常巡视 150 多次,专项巡视 10 多次,完成停电全部校验 1 次,经历了 3 个夏天、2 个冬天、10 多次台风和 200 多天雷雨天气,装置正常启动 60 多次,区外故障,保护行为正确,验证了恶劣自然条件下装置的稳定性和可靠性。

### 3.2 母差保护

主变保护、母线保护等跨间隔保护要实现就地化安装,需要对保护装置采取分布式布置的方法,将跨间隔保护间隔化。浙江公司 2014 年 3 月在 220 kV 浙江嘉兴安江变投运环网分布式母线保护。安江变为双母线接线,共投运五个间隔,分别为母联、两台主变、两条线路。五台间隔子机加一台 PT 子机共同组成环网分布式母线保护。投运至今,共发生区外扰动 12 次,未发生拒动、误动,未发生装置异常,运行情况良好。通过分布式母线保护,将跨间隔保护间隔化,首先做到保护装置小型化,继而实现跨间隔保护的就地化无防护安装。

分布式母线保护的挂网试运行,不仅验证了分布式保护的可靠性和技术指标,更为分布式保护的运维检修积累了宝贵经验。

## 4 结论

无防护安装的就地化保护,具备芯片技术、连接技术等关键技术的支撑,能够提升保护动作的快速性和可靠性,实现设计建设、安装调试和运行维护的全过程降本增效,具有极高的实际应用价值,并且已有部分就地化保护装置经过了实践检验,能够满足现场恶劣的工作环境,具备了推广使用的基础。

无防护安装的就地化保护、更换式检修和远程可视化运维,即将开启变电站建设、运维的全新模式。

### 参考文献

- [1] 刘宏君, 裘愉涛, 徐成斌, 等. 一种新的智能变电站继电保护架构[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 49-51, 61. LIU Hongjun, QIU Yutao, XU Chengbin, et al. A new architecture of relay protection in smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 49-51, 61.
- [2] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113. YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [3] 刘颖. 智能变电站全寿命周期“即插即用”技术体系的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 23-28. LIU Ying. Research and application on the technology system of plug & play in the smart substation's life cycle[J]. Power System Protection and Control, 2015,

- 43(22): 23-28.
- [4] 杨志宏, 周斌, 张海滨, 等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 1-7. YANG Zhihong, ZHOU Bin, ZHANG Haibin, et al. Discussion on novel scheme of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 1-7.
- [5] 李岩军, 艾淑云, 王兴国, 等. 继电保护就地化及测试研究[J]. 智能电网, 2014, 2(3): 16-21. LI Yanjun, AI Shuyun, WANG Xingguo, et al. Locally installed mode and test research of relay protection[J]. Smart Grid, 2014, 2(3): 16-21.
- [6] 牛强, 钟加勇, 陶永健, 等. 智能变电站二次设备就地化防护技术[J]. 电力建设, 2014, 35(9): 76-81. NIU Qiang, ZHONG Jiayong, TAO Yongjian, et al. In-site secondary equipment protection of smart substation[J]. Electric Power Construction, 2014, 35(9): 76-81.
- [7] 郭乐. 智能电子设备就地化的电磁兼容(EMC)探讨[J]. 华东电力, 2013, 41(11): 2252-2255. GUO Le. Electromagnetic compatibility of intelligent electronic device localization[J]. East China Electric Power, 2013, 41(11): 2252-2255.
- [8] 周小波, 汪思满, 吴正学, 等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 104-108. ZHOU Xiaobo, WANG Siman, WU Zhengxue, et al. Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 104-108.
- [9] 刘井密, 李彦, 杨贵. 智能变电站过程层交换机延时测量方案设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 111-115. LIU Jingmi, LI Yan, YANG Gui. Design of delay measurement switch in intelligent substation process level[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 111-115.
- [10] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40. QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.

收稿日期: 2016-07-06

作者简介:

裘愉涛(1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事继电保护专业管理、智能变电站研究工作; E-mail: zdqyt@vip.sina.com

王德林(1972-), 男, 高级工程师, 研究方向为继电保护及高压直流输电技术; E-mail: wang-delin@sgcc.com.cn

胡晨(1987-), 男, 博士, 工程师, 主要从事继电保护及运维研究工作。E-mail: qzhuchen@sina.com

(编辑 葛艳娜)