

[继电保护]

电力系统中智能变电站继电保护技术分析

文/黑龙江科技大学 张连福

目前智能变电站技术发展方兴未艾，代表了变电站自动化技术的发展方向，是智能电网建设的重要组成部分。重点探讨了智能变电站继电保护架构体系，从而研究了智能变电站技术对继电保护的数据信息及保护原理、继电保护实现机制与架构体系、继电保护的设计和调试与运维的影响。

智能变电站继电保护架构体系

与传统变电站相比，智能变电站继电保护采用过程层网络为中心的架构，以IEC 61850为其通信标准，主要包括以下5个方面。

(1) 智能变电站继电保护“三层两网”架构

智能变电站按照功能在逻辑上划分为3层，分别为站控层、间隔层和过程层，两两之间分别构成站控层网络与过程层网络，如图1所示。对继电保护而言，站控层网络传输整定值召唤、修改和录波文件传送等，而过程层网络传输采样值、开关状态量、跳闸和闭锁等信号，实时性与可靠性备受考验，是智能变电站继电保护关注的重要性能。

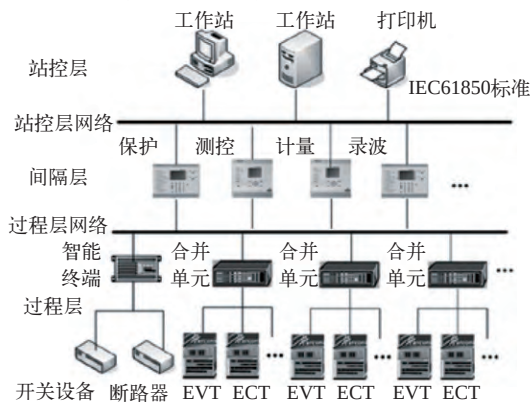


图1 智能变电站“三层两网”架构

(2) IEC 61850标准体系

IEC 61850标准是智能变电站继电保护网络与通信遵循的规则。在模型上，以传统继电保护装置功能为单位划分逻辑设备，一个实体设备可包含多个逻辑设备，以基本功能单元划分逻辑节点，如跳闸回路、保护算法和采样值处理等节点；在通信协议上，IEC 61850按照通信服务的类型及性能要求映射特定通信协议，如SV/GOOSE通信为保证实时性传输层与网络层协议映射为空；在数据上，IEC 61850详细划分继电保护基本数据类，覆盖现有的继电保护使用数据，并提供了扩展数据类的方法。

(3) 基于数据帧传输的运行机制

传统变电站继电保护装置有专门采样和命令信号通道，传输延时由装置处理速率与通道固定时延构成，相对固定。而智能变电站继电保护的采样值传输、开关状态量获取、跳闸指令下达等通过以太网数据帧形式，以交换机及光纤为介质，由过程层网络执行通信，如图2所示。因此，智能变电站继电保护运行高度依赖过程层网络，网络性能构成对继电保护“四性”的约束，过程层网络规划设计及调度策略尤其重要。

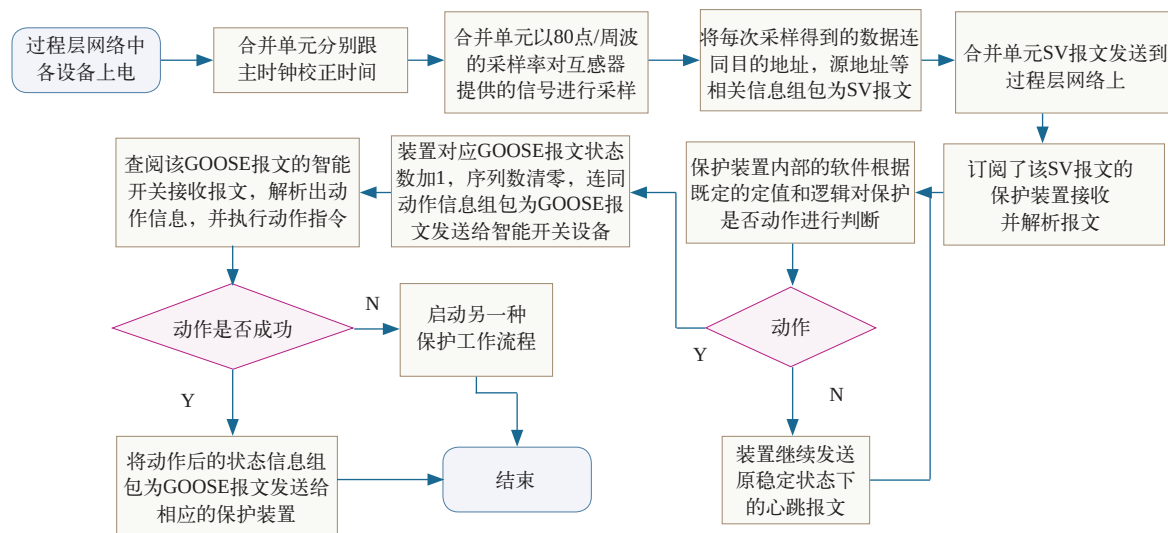


图2 基于数据帧传输的继电保护控制流程

(4) 模块化的保护功能组织形态

区别于传统变电站以装置为中心的继电保护组织形态，由于过程层网络实现跨间隔跨专业信息共享，智能变电站继电保护以保护功能模块化为理念的灵活组态形式，“集中”或者“分散”的保护实现形式不依赖于装置而是取决于保护需求与网络性能。继电保护模块化灵活组态意味着保护功能可以存在于具备条件的保护装置中，互为热备用。

(5) 高精度全网统一的网络同步对时系统

传统变电站继电保护采用IRIG-B码或者光纤方式对时同步。而智能变电站网络化运行模式下，IRIG-B码或者光纤直连方式不能满足继电保护应用需求，因为两种传统对时方式需要专门的传输通道，与智能变电站网络共享信息与资源的发展趋势相悖；IRIG-B码对时同步是单向放射性对时系统，可靠性不足，易受链路状态影响。智能变电站继电保护需要高精度全网统一网络对时方式，一方面能充分发挥网络对时方式灵活的特点，另一方面又能利用冗余通信网络高可靠性与实时监测的优势。

智能变电站技术对继电保护的数据信息及保护原理的影响

站在继电保护数据信息链条的视角，与传统的变电站自动化技术相比，智能变电站技术给继电保护带来的影响主要体现在以下3个方面。

(1) 电子式互感器取代电磁式互感器，继电

保护的源数据性质发生变化

一方面，传统的针对电磁互感器传变特性设计的一些算法及其整定原则需要重新评估和优化；而电子式互感器采样就地数字化可能造成的数据同步、延迟等新问题对继电保护的影响也需要深入评估；另一方面，电子式互感器在线性度、频带宽度、响应速度等方面的优势，可能产生继电保护的新原理和新算法。

(2) 二次信息的网络传输取代二次电缆硬连接，继电保护数据的传输方式发生变化

一方面，二次信息的网络传输为不同间隔设备的信息共享奠定了基础，使得跨间隔保护的实现变得简便、灵活，更使得保护功能的跨间隔甚至跨站集中实现成为可能，从而产生新的保护原理和新的实现方式；另一方面，由网络化传输带来的保护数据的实时性与可靠性备受关注，如何处理即使是极小概率的数据丢包、误码、延迟等问题给继电保护的实现机制、原理与算法提出了新的课题。

(3) 基于IEC 61850的二次信息统一建模，继电保护数据的处理和利用方式发生变化

一方面，IEC 61850的推广应用，实现了不同设备之间的互联、互通、互操作甚至是互换，为二次信息与IED设备及应用的分离，实现数据源唯一性奠定了基础；另一方面，海量数据的存储与信息挖掘、保护功能的动态迁移和组态、（后备）保护配置和双重化等都将带来一系列新保护原理与保护组织形态。

智能变电站技术对继电保护实现机制与架构体系的影响

站在继电保护实现机制、架构体系的视角，与传统的变电站自动化技术相比，智能变电站技术给继电保护带来的影响主要体现在以下4个方面。

(1) 网络化数据交换突破了传统继电保护采样—计算—出口一体化的模式

保护对象、数据信息与保护装置不再绑定，使得基于数据库的数据动态实时存储与调用、面向不同保护功能应用乃至不同二次系统的统一数据管理成为可能，将大大降低保护装置等IED设备与过程层网络交互的要求和规约复杂性，也为保护功能的迁移、组态及跨站的广域保护实现提供了统一数据信息交换平台。

(2) 网络化数据交换以及交换机的智能化突破了二次回路不可测控的瓶颈

过程层网络是IEC 61850 标准新引入的概念，是智能变电站特有的网络，突破了传统二次电缆回路不可测、不可控，对继电保护可靠性影响大的瓶颈。通过对交换机的智能化、IED化，使过程层网络数据交换可测、可预警、可控，使得继电保护能够实时掌握二次网络及数据可靠性状态，并采取相应的应对策略，将大大提升智能变电站继电保护的可靠性水平。

(3) 对等信息交互模式突破了继电保护运行管理以保护装置为中心的模式

传统继电保护装置在实现基本保护功能的同时，还承担了诸如定值管理等运行管理功能，目前继电保护管理信息系统要获得保护对象的信息需要通过相应的保护装置，不可避免地形成了一系列的信息孤岛。而智能变电站技术提供了P2P的信息对等信息交互模式，保护对象的信息不再必须与保护装置绑定，通过建立变电站统一数据中心等新架构可以实现更大程度、更高层次的信息共享。

(4) 过程层统一采样突破了不同二次系统专业壁垒

传统变电站自动化各二次系统之间存在数据采集环节冗余，各子系统的功能重复配置，装置间缺乏整体协调优化，系统扩展复杂等问题，形成了各二次系统之间的专业壁垒。而智能变电站技术的统一数据采集保证了数据源的统一，为二次系统不同应用的数据集成打破二次专业壁垒提

供了可能，进而建立以继电保护为核心的二次专业新机制与架构体系恰逢时机。

智能变电站技术对继电保护的设计、调试与运维的影响

站在智能变电站的设计、调试、运维的全生命周期链条的视角，与传统的变电站自动化技术相比，智能变电站技术给继电保护带来的影响主要体现在以下4个方面。

1) 智能变电站的继电保护构成形态和运行模式发生了很大变化，继电保护的测试方法、周期等继电保护运维技术标准与规范的研究与编制严重滞后。

2) 二次信息的网络化传输使得继电保护二次回路可以监测，使得继电保护设备状态检修成为可能。

3) 基于IEC 61850的统一建模，使得变电站所有设备的建模一体化（集中体现为变电站的SCD文件和IED设备的CID文件），当面临变电站扩建、设备变更等需求时，如何动态修改配置SCD文件及CID文件是目前所有已投运的智能变电站遇到的难题。

4) 目前IEC 61850及智能变电站技术仍然处于发展变化阶段，由于对IEC 61850的理解差异性以及扩展定义的不规范性，给智能变电站设计、调试与运维带来挑战，而继电保护专业正是其中的重点和难点。目前大多数的智能变电站试点都需要业主、设计院、集成商、设备厂家、调试单位反复协调，不断修改方案。而变电站投入运行后，运行单位往往难以摆脱对调试单位和生产厂家的依赖，给电力系统的安全运行带来隐患。这种“试点工程”的建设和运行模式，也成为制约智能变电站大面积推广的瓶颈。

结束语

智能变电站是智能电网建设的核心环节，基于以上背景和思考，有必要开展对智能变电站新技术条件下继电保护的新原理、组织模式、架构体系的研究，解决智能变电站技术发展、实施及推广过程中关键性技术，满足电网安全稳定运行对于继电保护的要求，确保继电保护技术发展方向的正确性、科学性以及前瞻性。EA

(收稿日期：2016.12.10)

(编辑：刘群立)