

智能电网在变电站的应用

(苏州万龙电气集团股份有限公司 仲建国、陈林龙、陈俊东)

【摘要】: 进入到 2014 年,十二五期间对于智能电网的一次升级工作已经进入到最终的收官阶段,智能化二次系统的建设也已经全面铺开。本文以某地 35kV 智能化变电站的设计过程为主线,探讨了智能电网在变电站建设过程中的实际应用。通过系统化设计以及梯度化推进,智能变电站的建设工作从对现有变电站的改造升级工作中逐步实现。

【关键词】: 智能电网; 智能变电站; 改造升级;

0. 引言

智能电网的建设,是目前我国公共基础设施建设中最关键的建设项目之一,通过智能电网、智能供水、智能排水、智能交通、智能家居等智能化公共基础设施项目联合的智能城市整体,将会给我国新四化建设提供强大的基础设施支持。智能城市是建立在目前强大的通讯科技和计算机科技的基础上而实施的体系化工程,但在智能电网体系建设过程中,我们所面临的建设任务不仅仅是对于电力二次进行智能化和自动化的改造。因为在此同时,对于电力一次网络的升级,使其可以满足智能电网自愈性的要求,是智能电网的建设基础。

1. 智能电网的一次建设

1.1 特高压直流网络建设

十二五期间,我国电网建设的最主要目的是实现三纵三横一环网的特高压直流输电网络的建设工作。因为我国作为人口大国和经济大国,用电需求日益增长和有限的输电能力之间的矛盾一直是国家电网的主要矛盾,到 2008 年,全国电力装机总容量达到了 7.9253 亿千瓦,发电量达到了 34334 亿千瓦时,变电容量 22 亿千伏安,达到了 2002 年的 4.2 倍,年均增长达到了 17.26%。这与 1949 年我国在一穷二白的基础上整顿恢复的 185 万千瓦的电力生产能力相比,是突飞猛进的进步。目前,我国电网规模已经达到了世界第一,但相比较国民经济的用电需求,仍有很多工作要做。

1.2 输配电网络网状建设

通过网络升级改造,原来我国普遍使用的星形拓展拓扑,也就是从上级输电

变电站为下级输电变电站提供电源的方式，已经逐渐显得落后。在智能电网的建设过程中，我们初步实现了各级电网的环路式控制，也就是通过各个变电站的高压进线总线联系不同上级变电站低压离场总线的方式，实现整个电压等级电网的一体化。这种一体化是实现双向供电的前提，也是实现电网自愈的前提。而在这样一个电网模式下，不论在哪一个电网等级上，都可以实现整个电能的双向传输，从理论上，不管是 500kV 网络、220kV 网络还是 110kV 网络，都可以形成独立的网络拓扑，实现电能在我国智能电网任意两个节点之间的交互。在特殊状态下，三个电压等级的电网可以彼此分担一部分电能传输压力，从而形成电网网络的故障自愈。各等级变电站成为了两个电网等级之间联系的纽带，而非决定电网有无电源供应的关键点。

1.3 供电网络拉手网建设

10kV 网络属于输电网络的末端，是直接用户之间实现交互的一个环节，而我们通过 10kV 断路器控制下的具有独立拓扑的网络功能，以目前的拉手网络为基础，拉手网络之间的可控制桥接电缆为桥梁，实现整体的多电源模式。当其中任何一个电源或者几个电源出现问题时，网络都能实现毫秒级的自愈调整，使得终端用户感知不到电网的状态变化。

2. 智能变电站需求分析

2.1 建设意义

智能变电站是智能电网中的节点设备，通过实现各个职能变电站之间的智能化联系，可以基本保证智能电网的实现。而通过研究智能变电站，我们可以对于智能电网进行小范围的工程试验，对于智能电网的各个功能模块进行联合测试，从而找出其中的短板进行提升或者规避。

智能变电站的建设思路是在现有变电站一次设备的基础上，施加监测系统和远控系统等智能化二次设备，使得现有变电站的二次设备实现数字化、自动化，且逐渐具有自学习能力和自组织能力。通过模拟人工倒闸和人工调度对于变电站的作用，达到建设智能化变电站的目的。

2.2 建设目标

2.2.1 明确定位

从技术意义上，智能化变电站是一个机器人系统，其具有完整的感官、思维、

记忆、行动力等机器人的基本功能。而智能电网是一个多机器人系统，通过各个智能化变电站的数据交流，实现不同变电站“机器人”之间的协同作业，最终形成一个智能化的变电系统。

2.2.2 逐层搭建智能化系统

（一）感知阶段

智能化变电站的感知系统的搭建工作目前已经完全展开，通过部署对于母线、断路器、隔离开关、变压器等设备的综合监测系统，我们已经基本上做到了让变电站对每一个设备以及每一相线路均具有灵敏的感知能力，这种感知能力的信号取样周期只有数十毫秒，也就是在一个工频周期内，可以得到数十个取样点，这种高密度的系统数据取样能力，已经远超过人工调度对于整个系统的状态观察能力。

（二）行动力搭建阶段

因为目前的断路器基本都配备了 PLC 系统，我们在 PLC 系统中的数据线取出一组，与网络模块联结，从而可以直接将远控信号输入到开关控制 PLC 系统中，从而使开关可以通过接受网络信号而实现全部动作，这些动作包括闭锁、合闸、拉闸、接地、隔离等。目前，我国电网系统中大部分开关设备也都已经实现了此步升级。

（三）智能化自我保护阶段

从理论上讲，只要将系统的感知功能和行动力功能进行对接，就可以实现系统的自主操作，但是，电网系统与其他系统不同，一单出现差错，就会酿成很惨重的次生事故。所以，在五防系统的基础上，我们需要进行进一步的升级改造，使得五防系统实现智能化，从而对智能化系统进行独立的闭锁保护作用。通过智能化五防系统可以有效的防止智能化电网设备在无人干预状态下运行时出现误动作现象。

（四）信息交互阶段

智能电网既然是一个多机器人系统，那么每个变电站之间，以及变电站每个部件之间的信息交互就成为影响到智能电网运行的关键因素。所以，智能电网的建设工作还需要有足够强大的电力二次通讯网络的支持。

（五）训练及智能化形成阶段

我们将所有系统进行整合，最终的数据链路和行动链路均汇聚到中央处理机中，通过中央处理机的 BP 神经元系统，可以进行各种输入参数的模糊化判断。这种判断模式来自反复的学习。这种学习状态，是通过建立某运行状态下的人工输入决策指令，系统对于这些指令建立起 BP 神经元计算回归计算，形成系统的 BP 神经网络关系。

（六）系统整合阶段

在所有系统均部署完毕后，如果网络学习效率，收敛值，迭代次数等参数均达到了令人满意的效果，就可以实现系统的联合试运行。因为虽然智能电网的输出结果较为简单，但其输入量大，中间变量多，所以这个学习训练的阶段相对漫长，但这不会影响我们建设智能电网的最终目的和方向。

3. 系统功能模块设计

3.1 一次系统设计

首先，智能变电站的一次系统，应该保证有完整的高压母线和低压母线，最简单的智能变电站，特别是 35/10 变电站，高压母线就是电源母线，低压母线就是离场母线，其结构相对复杂，本文系统依次为例进行讨论。

在高压母线上，应该有来自不同 110kV 变电站的不同进线，每个进线应该都有独立的高压断路器控制。因为 35kV 变电站的 10kV 出线，基本实现了拉手化，所以，低压母线上有多条负载线路，这些负载线路对于负载来说，均不为唯一电源。每个低压负载均有独立的断路器控制。不管是高压断路器和低压断路器，都应该实现至少一主一备的冗余控制，且能实现热切换。

断路器有独立的 PLC 进行控制，而每个 PLC 拥有足够的控制线冗余可以实现远控信号和智能闭锁信号的输入。而在一次系统中，因为智能化电网标准要求智能化系统在整个二次网络完全断链后，还可以在全手动的模式下完成全部功能，所以，我们在高度智能化的二次系统部署的同时，原有的基于电磁动力学原理控制的各种保护系统也必须完整部署，这些系统包括对于整个系统的过流、过压、浪涌、温度等保护。

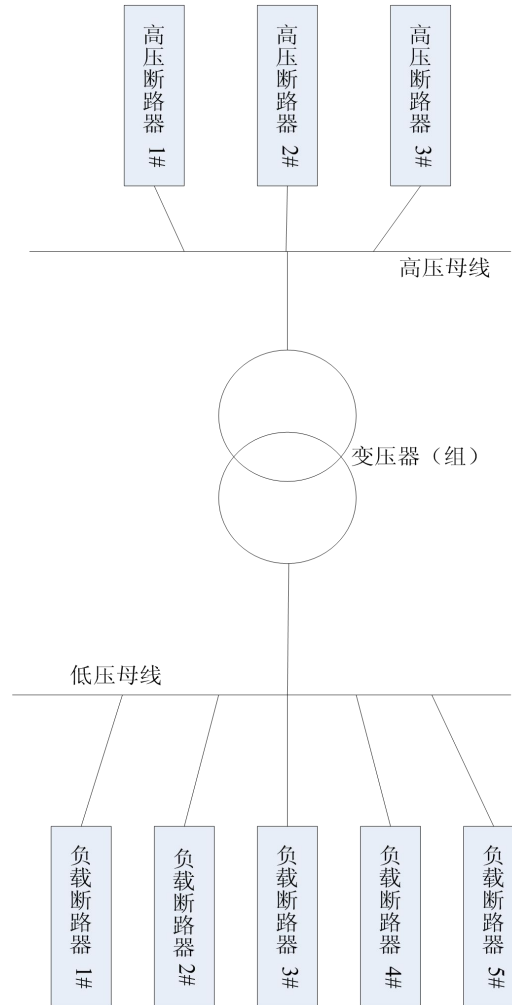


图 1：智能变电站一次系统示意图

3.2 二次系统设计

3.2.1 监测系统设计

目前电网中已经部署的电缆监测系统、架空线监测系统、负荷监测系统、变压器监测系统、母线监测系统、断路器监测系统、隔离开关监测系统等，通过多层数据逻辑整合，形成一个电网的三层数据系统。

监测第一层设备负责使用各种探头将数据采转化为数字信号，并在探头集中器中存储。监测第二层设备负责将所有的探头数据进行收集和整合，并且通过 minmax 变化，形成可以供数据挖掘和处理的初始化数据。监测第三层设备，通过将这写数据进行挖掘整理，实现可以供其他系统使用的神经网络输入变量。

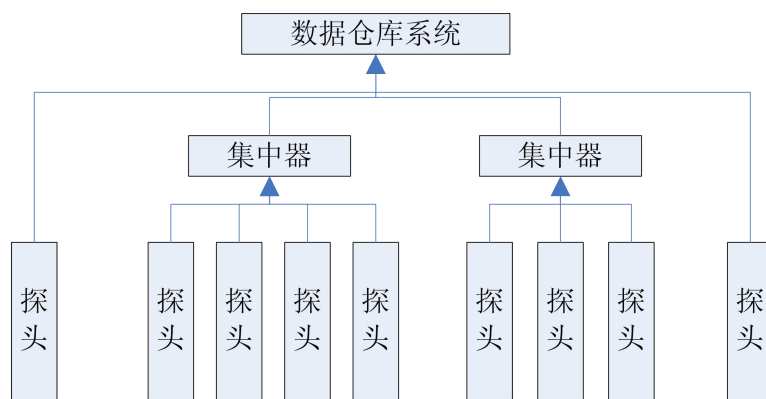


图 2：监测系统模块关系图

3.2.2 远控系统设计

智能电网的远控系统目前采用的实现方法较为简单，是通过网络远控模块，也就是简单的 8051F340 开发板直接使用其 RS232COM 接口与 PLC 连接，而其 RJ45 接口直接同电力二次通讯网络连接。当远控系统接收到拉闸动作信号时，会直接操作 PLC 的断路连接发生动作，切断电流，当远控系统收到合闸动作信号时，也会直接操作 PLC 使系统合闸。

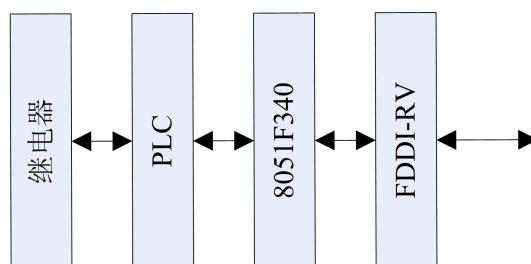


图 3：远控系统模块关系图

3.2.3 专家系统设计

电网专家系统的主要作用是对上述数据进行初始化分析，特别是数据挖掘和趋势预测，可以对决策系统的神经网络输入数据提供较完善的整合。电网专家系统目前的实现放线是采用 IBM 架构来实现，因为 IBM 架构中可以管理更大的运行内存（RAM）和辅存（HDD），虽然 IBM 架构的系统相对脆弱，故障率高，但是通过多机均衡系统，我们可以有效的规避 IBM 架构用作专家系统的弊病。在专家系统中，如果某一台镜像处理机出现死循环等状态问题，会自动重启，在负载均衡系统的管理下，这种重启不会对整个专家决策带来任何影响。

3.2.4 决策系统设计

电网决策系统因为需要绝对稳定的运行环境，所以，也建议采用负载均衡模

式下的 IBM 架构进行实现，通过负载均衡系统，我们可以采用 8~12 台决策主机对于智能电网的决策提供计算支持，这些主机在负载均衡和及时复位技术的支持下，通过 BP 神经网络软件支持，实现对于电网输入变量的神经网络分析，得到最终的执行动作。执行动作通过专用的执行总线发送到电网执行部件中。

3.2.5 保护系统设计

电网五防系统，是完全独立于之上四个功能模块之外的独立系统，这个系统通过在电网中取得开关量信息，以及接受人工输入的闭锁指令，实现比上述远控系统更高的操作权限。五防系统的保护下，即便是电网智能化无人干预运行出现了决策问题，其绝对独立且几乎纯条件关系的反射控制机制，会使得电网变的更加安全。与此同时，电网中基于电磁保护技术的过流保护、接地保护、过载保护、温度保护、浪涌保护等电磁保护机制，在智能电网中仍然完整部署，且具有最高的执行权限。这些系统直接与各自的动作继电器连接，其权限直接高于开关 PLC 的权限。

3.3 数据总线设计

3.3.1 节点柜

智能变电站的进口光缆一般选用分别来自不同变电站接入点的 2~4 条 12 芯光缆，其中每条光缆中设置 1 芯数据下载，1 芯数据上传，1 芯五防下载，1 芯五防上传，另外 8 芯作为备用。在 4 用 8 备的模式下，可以基本保证你光缆的快速检修成为现实。

节点柜使用一个四口的 QUIDWAY ME60-X18 作为接入设备，该设备可以实现多个高达十万兆接入回路的节点管理，在这个设备的支持下，基本可以保证系统的稳定性。因为该设备是一个 20U 设备，所以可以专柜专用管理。

交换柜采用一台 16 千兆光口和 16 千兆电口的 Quidway S9306 作为核心交换设备，这个设备可以实现高并发数和连接数的交换状态下实现稳定的数据处理。可以满足整个系统的数据交换。

3.3.2 场内数据总线

场内数据总线使用前节所述的 Quidway S9306 作为核心背板，2 台 H3C NS-SecPath L1000-A 作为专家系统和决策系统的负载均衡器，使用 PowerEdge M1000e 实现专家系统和决策系统的多机联合。在其他系统的整合方面，采用 H3C

LS-S5600-26F 作为远控系统、监测系统、五防系统的汇聚层设备。

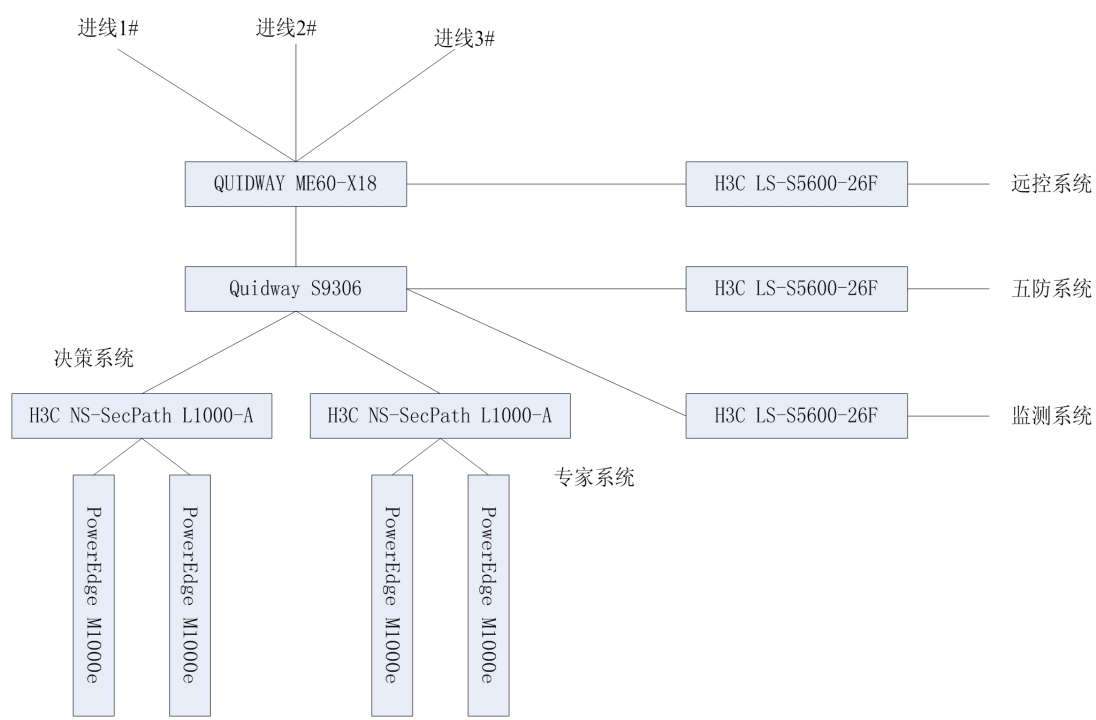


图 4：智能变电站二次智能化系统总体结构图

4. 总结与展望

智能电网的实质是在部署了复杂而强大的一次系统的基础上，使用人工调度和倒闸操作难以满足电网在这种环境下的运行要求，所以必须采用一些智能化和自动化的措施。而不是本末倒置因为部署电网的智能化而去变更一次设备的容量和拓扑复杂度。目前的智能化变电站模式下，本文所述的大部分子系统都已经基本完成了建设或正在建设中。本文认为的智能化变电站的建设过程是一次系统与二次系统的统一建设过程，一次系统的建设是功能实现基础，二次系统建设是不可缺少的辅助。通过系统化的逐步实施智能化变电站建设，可以使得我们在 2020 年之前真正体验到智能电网的建设成果。

【参考文献】

- [1] · 谢强强. 智能化变电站全场景试验系统的设计与实现. [D]. 北京. 电子科技大学硕士论文, 2012 年
- [2] · 申屠刚. 智能化变电站架构及标准化信息平台研究. [D]. 浙江. 浙江大学硕士论文, 2010 年

- [3] • 汪鹏; 杨增力; 周虎兵; 王友怀; 俸玲. 智能化变电站与传统变电站继电保护的比较. [J]. 湖北电力, 2010 (12): 122-127
- [4] • 杨磊. 智能化变电站建设与智能辅助设施应用技术分析. [D]. 山东. 山东大学硕士学位论文, 2012 年