

# 220kV 宜兴智能变电站过程层网络设计

王晓虎

(江苏省电力设计院, 江苏省南京市苏源大道 58-3 号 211102)

**摘 要:** 过程层是智能变电站区别于常规变电站的重要特点之一, 其组网方案直接影响保护、控制功能的实现和网络设备的投资。本文对几类典型过程层网络拓扑结构、采样值传输协议进行分析比较, 确定适合工程的过程层网络方案。并结合变电站现状, 给出设备选型、功能需求等方面设计实例。

**关键词:** 过程层网络; 星型拓扑; 环型拓扑; 采样值网络; GOOSE 网络; 网络风暴; 物理隔离

## 0 引言

智能变电站通信网络一般分为过程层、间隔层和站控层。

过程层设备主要包括变压器、断路器、隔离开关、电流/电压互感器等一次设备及其所属的智能组件以及独立的智能电子装置。

一次设备的选择和基于此选择的过程层网络配置直接关系到变电站保护、测控、远动功能的可靠实现。本文结合 220kV 宜兴智能变电站工程建设, 给出过程层网络设计实例。

## 1 建设规模

主变压器: 远期 3X240MVA, 电压等级为 220/110/10kV。本期建设 2X180MVA。

220kV: 选用户内 GIS 设备, 远期 8 回, 本期建设 4 回(王家、宋渎各 2 回), 本期及远景均采用双母线接线。

110kV: 选用户内 GIS 设备, 远期 14 回, 本期建设 8 回(王家 2 回、百家 1 回、荆溪 1 回、城中 1 回、协联 2 回、备用 1 回), 本期及远景均采用双母线接线。

10kV: 远期 36 回, 本期建设 20 回, 本期采用单母线 4 分段接线, 远景采用单母线六分段接线。

## 2 一、二次设备配置

### 2.1 一次设备

#### (1) 电流互感器

220kV 间隔、110kV 间隔、主变高、中压侧采用全光纤型电流互感器; 10kV 间隔及主变套管采用常规电流互感器。

#### (2) 电压互感器

220kV、110kV 电压互感器均采用电容分压型电子式电压互感器。10kV 母线采用常规电压互感器, 并采用带模拟量插件的合并单元进行数字转换。

### 2.2 二次设备

#### (1) 保护、测控

每台主变配置双套保护, 单套测控; 每回 220kV 线路(母联)配置双套保护, 单套测控; 每回 110kV 线路(母联)配置单套保护测控合一装置; 220kV 配置双套母线保护, 110kV 配置单套母线保护。

#### (2) 故障录波

主变配置双套故障录波, 220kV 配置双套故障录波, 110kV 配置单套故障录波。

#### (3) 合并单元

1) 根据保护双重化的需求, 220kV 线路、母联, 主变各侧合并单元按双套配置;

2) 110kV 线路、母联合并单元按单套配置;

3) 10kV 线路、电容器、接地变 CT 不配置合并单元;

4) 母线设备: 220kV、110kV 电压等级母线电压互感器合并单元按双套配置, 含 PT 并列功能; 10kV 采用常规电压互感器, 分段开关联接的两段母线配置双套合并单元, 要求合并单元带模拟量采集插件, 含 PT 并列功能。

#### (4) 智能终端

220kV GIS 设备: 设置双套智能终端(母线间隔单套配置), 统一控制间隔内断路器、隔离开关、接地开关。

110kV GIS 设备: 设置单套智能终端, 统一控制间隔内断路器、隔离开关、接地开关。

主变低压侧分支：每分支设置 2 套智能终端，统一控制间隔内断路器、手车、接地开关等。

主变本体：每台主变本体配置 1 台智能终端。

### 3 过程层网络设计

宜兴变采样值信息采用点对点方式传输，GOOSE 信息采用网络方式传输。

#### 3.1 GOOSE 网络拓扑

##### 1) 星型结构

星型拓扑结构因交换机连接各连接节点呈星状分布而得名。在这种结构的网络中有中央节点（公用交换机），其他节点（二次设备交换机）都与中央节点直接相连，这种结构以中央节点为中心。

优点：网络简单，易于布线；扩展容易；便于维护，任一台间隔交换机故障，都可以方便隔离，不影响其它间隔；公用交换机故障，仅影响公用智能电子设备，不影响间隔智能电子设备；传输环节少、速度快，从任一设备到另一设备至多经过三台交换机；报文延时固定；结构上无广播风暴的风险。

缺点：公用交换机负担较大，检修时将影响公用智能电子设备；交换机数量较多，成本一般相对较高，但间隔交换机所需端口最少，而端口数量影响交换机价格，整个网络成本应结合工程具体分析。

##### 2) 环型结构

环型拓扑结构由各交换机互相连接成闭环。

优点：网络冗余度好，网线或光纤故障时采用用 RSTP（快速生成树协议）自动重新组态，不影响交换机及设备运行；交换机数量较少，成本一般相对较低，但间隔交换机所需端口最多，而端口数量影响交换机价格，整个网络成本应结合工程具体分析。

缺点：网络结构较复杂，网络协议复杂；扩展困难，增加交换机设备时，需要将网络打开重新组环；维护、隔离比较困难，任一交换机检修，网络变为总线结构；报文延时不固定，网络中交换机数量多时影响网络速度；使用公有协议时自愈时间可能达到数百毫秒，将影响保护功能；使用私有协议时自愈时间减少到数十毫秒，但不同厂家设备不能组网；结构上存在广播风暴的风险。

星型结构过程层网络在技术性能上显著占优，但

该方案将导致交换机数量明显增多；考虑到该方案中单台交换机端口数与环型共享交换机相比略有减少，可免去网络管理这部分软硬件成本并降低人员维护方面的成本，综合来看，星型网网络设备部分的综合价格未见得会增加，推荐采用星型结构构建宜兴变的过程层 GOOSE 网络。

GOOSE 信息流量相对较少，在极严重的故障情况下每个间隔流量一般不超过 2Mbps。宜兴变最大的数据流量将出现在 110kV 过程层中心交换机母差的端口。110kV 母差保护远景间隔数量为 14(线路)+3(主变)+1(母联)+2(母线 PT)=20，GOOSE 总带宽不大于  $2M \times 20 = 40M$ ，选用 100M 交换机可保证总带宽在安全范围（40%）内。

#### 3.2 采样值传输

目前，智能变电站采样值传输协议主要有两种设计方案：

方案一：基于点对点方式的 IEC 60044-7/8 标准（FT3）；

方案二：基于网络方式的 IEC 61850-9-2 标准。

方案一的优点是采样值传输延迟固定，优点是可以在接收端实现插值同步（不需要全站集中同步源）且通过 FPGA 实现硬件并行处理，缺点是不同厂家互操作困难（厂家有私有扩展且使用专用硬件实现），不符合整体的 IEC 61850 智能变电站通信发展趋势。

方案二采用以太网传输方式，它是从 IEC 61850 模型配置的角度出发而制定的采样数据共享协议，其优势在于采样值数据的自由配置和共享，但合并单元与保护测控装置之间的数据匹配过程复杂，网络带宽和 CPU 编解码的开销较大，具有一定的实现难度（灵活性和效率之间的固有矛盾）。本方案体现了 IEC 61850 的复杂、通用和建模等方面的特点，代表了技术发展的趋势。

推荐宜兴变采样值传输协议采用 IEC 61850-9-2 标准。

#### 3.3 方案实施

##### 3.3.1 总体方案

采样值信息采用点对点方式传输，采样值传输协议采用 IEC 61850-9-2 标准。图 1 为本工程采样值信息传输示意（以#1 主变 220kV 侧 A 网为例）。

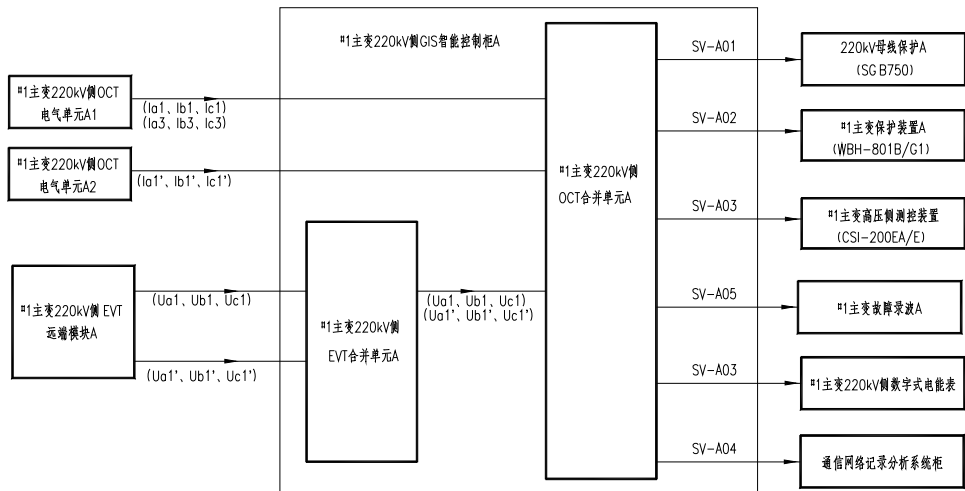


图1 #1主变220kV侧采样值信息传输示意图(A网)

GOOSE 网络按电压等级分别组网：220kV 过程层 GOOSE 网络按双套物理独立的单网配置；110kV 过程层 GOOSE 网络按单网配置；主变 110kV 侧、10kV 侧过程层 GOOSE 网络按双套物理独立的单网配置，其中 1 套与 110kV 过程层网络共网；其余 10kV 不设独立的过程层网络，其余 GOOSE 信息利用站控层网络传输。

过程层交换机采用面向间隔的原则配置，采用多间隔共用交换机方式，全站过程层 GOOSE 网络均采用 100M 星型以太网。

3.3.2 过程层交换机及网络配置

(1) 220kV 过程层交换机

220kV 过程层中心交换机：双网配置（A、B 网）。冗余配置 4 台 100M 以太网交换机（A、B 网各 2 台），每台带 16 个 100M 多模光口（间隔过程层交换机级联口 8 个，中心交换机级联口 1 个，母线智能终端 2 个，母线 EVT 合并单元、母线保护、母线测控、220kV 故障录波、主变故障录波各 1 个）。交换机本期及远景共计 4 台。

220kV 线路、母联间隔交换机：双网配置（A、B 网）。每 2 个间隔冗余配置 2 台 100M 以太网交换机，每台带 16 个 100M 多模光口（每间隔保护、测控、OCT 合并单元、EVT 合并单元、智能终端各占 1 个光口。2 个间隔共计 10 个光口，交换机级联口占 1 个光口。）。交换机本期共计 6 台，远景共计 10 台。单台过程层间隔交换机接线示意图如下。

主变 220kV 侧间隔交换机：双网配置（A、B 网）。每间隔冗余配置 2 台 100M 以太网交换机（A、B 网），每台带 16 个 100M 多模光口（每间隔保护、220kV 侧测控、本体测控、220kV 侧 OCT 合并单元、本体绕组合并单元、EVT 合并单元、220kV 侧智能终端、本体智能终端各占 1 个光口，交换机级联口占 1 个光口。）。交换机本期共计 4 台，远景共计 6 台。

(2) 220kV 过程层网络

按照宜兴变远景规模，共需配置 220kV 过程层交换机 20 台（A、B 网各 10 台）。以 A 网为例，220kV 过程层网络示意图见图 2。

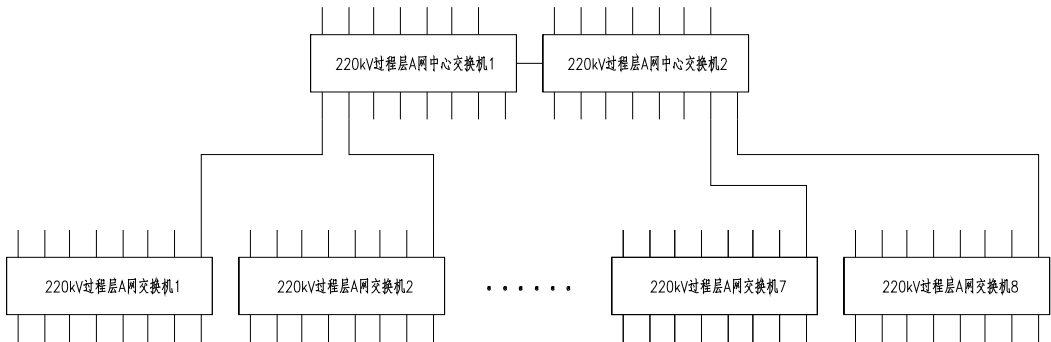


图2 220kV 过程层网络示意图（A、B 网同）

### (3) 110kV 过程层交换机

**110kV 过程层中心交换机：**双网配置（A、B 网），A 网用于 110kV 线路、母联；B 网仅用于主变 110kV 侧。A 网配置 1 台 100M 以太网交换机，带 16 个 100M 多模光口（间隔过程层交换机级联口 8 个，母线智能终端 2 个，母线 EVT 合并单元、母线保护、母线测控、110kV 故障录波各 1 个）。B 网配置 1 台 100M 以太网交换机，带 16 个 100M 多模光口（间隔过程层交换机级联口 3 个，母线智能终端 2 个，母线 EVT 合并单元、母线测控、母联测控各 1 个）。交换机本期及远景共计 2 台。

**110kV 线路、母联间隔交换机：**单网配置（A 网），每 3 个间隔配置 1 台 100M 以太网交换机，每台带 16 个 100M 多模光口（每间隔保护测控、OCT 合并单元、EVT 合并单元、智能终端各占 1 个光口。3 个间隔共计 12 个光口，交换机级联口占

1 个光口。）。交换机本期共计 3 台，远景共计 5 台。

**主变 110kV 侧间隔交换机：**双网配置（A、B 网）。每间隔冗余配置 2 台 100M 以太网交换机（A、B 网各 1 台），每台带 16 个 100M 多模光口（每间隔保护、110kV 侧测控、10kV 分支 1 测控、10kV 分支 2 测控、110kV 侧 OCT 合并单元、10kV 分支 1 合并单元、10kV 分支 2 合并单元、110kV 侧智能终端、10kV 分支 1 智能终端、10kV 分支 2 智能终端各占 1 个光口，交换机级联口占 1 个光口。）。交换机本期共计 4 台，远景共计 6 台。

### (4) 110kV 过程层网络

按照宜兴变远景规模，共需配置 110kV 过程层交换机 13 台（A 网 9 台、B 网各 4 台）。110kV 过程层 A、B 网络示意图见图 3、图 4。

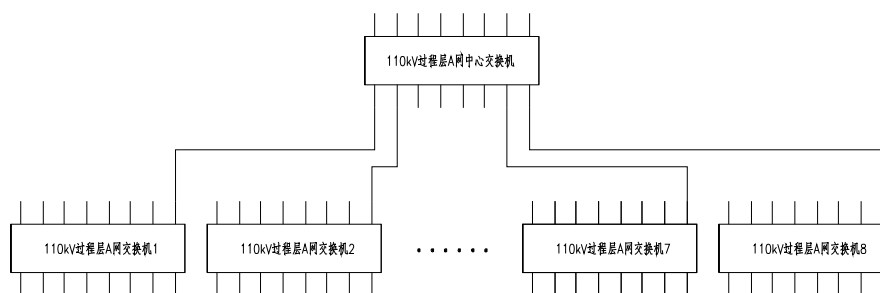


图 3 110kV 过程层网络示意图 (A 网)

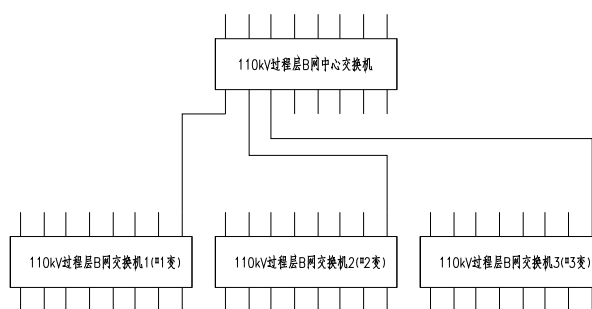


图 4 110kV 过程层网络示意图 (B 网)

### 3.3.3 二次设备过程层网络光口配置及要求

#### (1) 光口配置

双重化配置的二次设备，如主变保护、220kV 线路保护、220kV 故障录波、主变故障录波、智能终端、合并单元等分别采用单光口接入对应的双套过程层网络交换机。

单套配置的 220kV 测控（线路、主变 220kV 侧、主变本体、母联、母线）、220kV 母线智能终端需

具备双光口，分别接入对应的 220kV 过程层 A、B 网络交换机。

需接入 220kV、110kV 两个电压等级过程层网络的主变保护需具备双光口，分别接入对应的 220kV、110kV 过程层网络交换机。

单套配置的 110kV 故障录波、110kV 保护测控（线路、母联）、110kV 母线智能终端、110kV 合并单元等分别采用单光口接入对应的 110kV 过程层

#### A 网络交换机。

单套配置的 110kV 母联智能终端、110kV 母线测控需具备双光口,分别接入对应的 110kV 过程层 A、B 网络交换机。

#### (2) 单装置跨双网要求

对于上述情形中涉及单装置具备双光口跨接双网的,为防止其中一个光口发生网络风暴时影响到另一个光口,该装置的 A、B 网口需进行物理隔离。同时对信息上送和控制下行做以下处理,以确保上传信息、下行控制、防误闭锁的唯一性和完整性。

信息上送:双机双工,接收 2 台过程层设备装置上送数据,依靠人工设定以 1 台数据为主,比对发现 2 台数据不一致时告警。比对数据不一致应采用稳态时的数值(若干秒之内无变化)。

控制下行:不管采用哪一种切换方式,遥控均只下发一次,如果控制不成功也不会自动在另外一台上重试,而是把遥控权切换到另外一套过程层设备装置上,等待操作人员下次重新操作。

## 4 结论

过程层组网方案的选择对智能变电站的安全性、可靠性和经济性有重要影响。本文对多种组网方案利弊的进行分析比较,结合具体工程现状给出合适的过程层网络配置实例。为今后智能变电站过程层网络的构建提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 国家电网公司.IEC 61850 工程应用深化研究技术报告[R].北京:国家电网公司.2010.
- [2] 邱志勇,陈健民,朱炳铨.基于 IEC61850 标准的 500kV 三层结构数字化变电站建设[J].电力系统自动化,2009,33(12):103-107.
- [3] 万博,苏瑞.遵循IEC 61850-9-2 实现变电站采样值传输[J].电网技术,2009(19).
- [4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.基于 IEC 61850 标准的采样值传输模型构建及映射实现[J].电力系统自动化,2004,28(21):38-42.

#### 作者简介:

王晓虎(1980—),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统自动化工作。