

基于“强-简-强”供电模式的110 kV智能变电站组网方案论证

“强-简-强”模式下的110 kV智能变电站简化了主接线及一次设备，相应的减少了二次设备数量及其之间的逻辑关系。本文提出了在此背景下的二次自动化系统的较优组网方案，提高了站内二次系统的经济性和可靠性。

杨帆 张利 杨然静 周鑫 /北京电力经济技术研究院



杨帆/工程师

关键词/Keywords

智能变电站·
“强-简-强”·
组网·

0 引言

北京地区为保证高供电可靠性，现运行的电网结构的采用“强（220 kV）-强（110 kV）-强（10 kV）”的模式，110 kV变电站主接线较为复杂，二次设备繁多，站内自动化系统需采用“三层三网”网络结构保证运行的可靠性和网络设备的简化，以达到可靠性与经济性共赢的目的。

随着北京城市电网发展建设，220 kV及以上电网已形成环网接线、分区运行的格局；10 kV电网中电缆以环网结构为主，架空线路采用多分段多联络，配电自动化全覆盖，光纤通信到各区，互倒互带能力强；以上条件说明北京地区电网具备优化、简化110 kV电网结构的

物理基础。优化、简化后的110 kV变电站主接线简单，二次设备在此基础上精简，站内自动化网络设计方案的优化是迫切需要解决的课题。

本文针对“强-简-强”供电模式下的110 kV智能变电站的组网模式进行了论证，提出了兼具可靠性与经济性的组网模式，并对未来110 kV智能化变电站的组网模式进行了展望。

1 “强-简-强”110 kV变电站建设模式概述

目前110 kV具有可行性的接线模式有四种方案，分别为：多个单环网组成的环进环出接线模式（3断路器）、多个单环网组成的环进环出接线模式（2断路器）；T接形式接线模式（1断路器）和T接形式接线模式（无断路器）。

1.1 方案一描述

多个单环网组成的环进环出接线模式（3个断路器）如图1所示，该接线模式具备以下特点：

（1）变电站采用单元接线，供电可靠性高。每个变电站配置3组共9台断路器。

（2）每段110 kV线路均采用纵差保护。

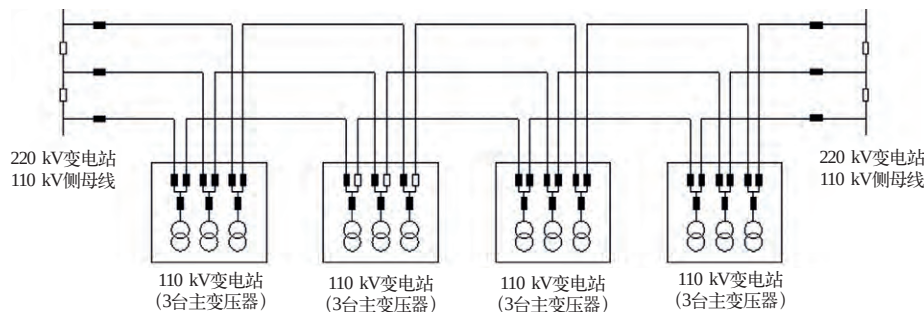


图1 多个单环网组成的环进环出的接线模式（3断路器）

1.2 方案二描述

多个单环网组成的环进环出接线模式（2个断路器）如图2所示，该方案特点与方案一基本一

致。在该方案中，每个变电站配置3组共6台断路器，较方案一减少了GIS设备占地面积。

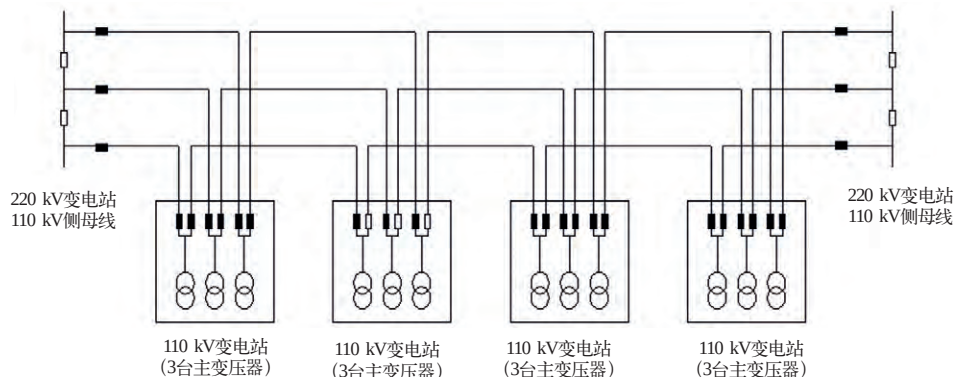


图2 多个单环网组成的环进环出的接线模式（2断路器）

1.3 方案三描述

多个变电站T接形式接线模式（1个断路器）如图3所示，该接线模式具备以下特点：

以上110 kV线路相连，110 kV变电站采用单元接线。由于每个变电站配置3台断路器，较方案一、方案二减少了GIS设备占地面积。

（1）两座220 kV变电站之间通过两回或两回

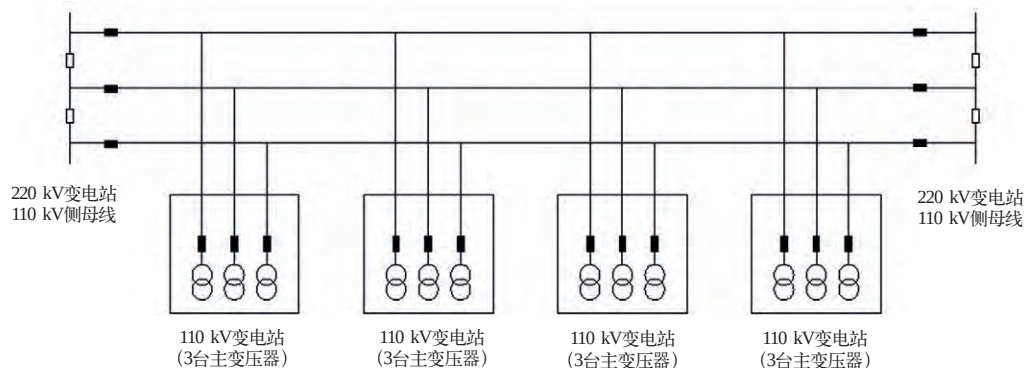


图3 T接方式的接线模式（1断路器）

（2）110 kV线路采用距离保护。

1.4 方案四描述

多个变电站T接形式接线模式（无断路器）如

图4所示，该方案特点与方案三基本一致。在该方案中，每个变电站不配置进线断路器，因此占地面积最小。

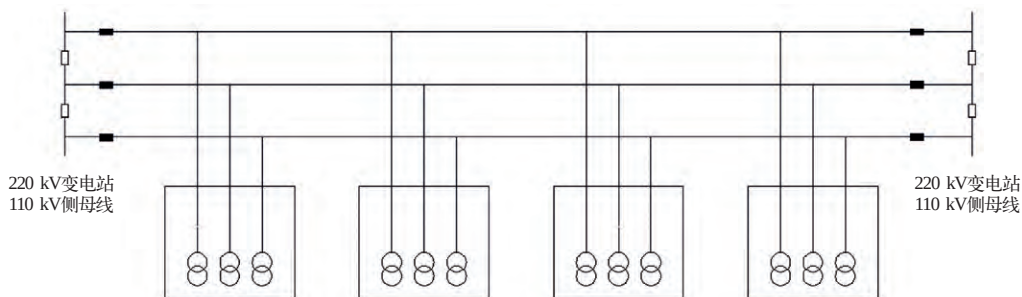


图4 T接方式的接线模式（无断路器）

综合北京地区电网供电区域类型的要求,多采用方案一、方案三中的供电模式,方案二、方案四作为“强-简-强”供电模式的完整补充,本文也加以探讨。

2 “三层一网”、“三层两网”和“三层三网”自动化系统结构简介

2.1 “三层一网”简介

“三层一网”是一种智能变电站网络的集成方式,主要的含义是智能变电站站控层网络和过程层网络进行优化整合,实现“SV+GOOSE+MMS”的共网应用。但是“三网合一”并不是简单的把现有的站控层和过程层简单的物理上合并在一起,而是需要在充分考虑网络各种服务数据传输可靠性的前提下,防止某种数据服务的异常导致其他数据服务全部异常的情况,现有的常规交换机并不能很好地满足这个要求,而是需要开发专用的交换机解决以下问题:在网络单个设备或交换机异常情况下,能够对错误报文进行抑制,避免影响其他无关设备数据传输的可靠性,防止整个网络可靠性下降甚至瘫痪。

三层一网的网络集成方式,对除交换机以外的其他设备的配置原则无影响,即保护装置、测控装置和合并单元智能终端集成装置等设备的配置原则和传统智能变电站规则一致,可以继续完全遵循既定的设计原则,但是交换机的配置会发生一些变化。

2.1.1 交换机端口数量减少

智能变电站间隔层设备一般都需要接入站控层网络向监控后台和远动设备发送通信信息。采用三网合一方案之后,这些设备需要的过程层通信交换机端口数量可以被忽略,交换机的端口需求就从配置方式1变为配置方式2,全站交换机端口数量减少1/3~1/2。

配置方式1:间隔层设备站控层通信端口,间隔层设备过程层通信接口,过程层设备过程层通信接口。

配置方式2:间隔层设备站控层通信端口,过程层设备站控层通信接口。

2.1.2 站控层交换机配置

采用三层一网组网方式后,提高了GOOSE和

SV服务的数据传输可靠性,站控层交换机修改配置为光纤接口设备。

1.三层一网关键技术

(1) 共网共端口报文的发送、接收机制。当采用共端口报文传输时,图5所示为装置内部实现示意图,过程层模块用于处理实时性要求较高的GOOSE、SV报文;站控层模块用于处理站控层通信的MMS报文及ARP广播报文等;报文收发模块用于处理发送、接收报文的分类及处理,并具有一定的抗风暴能力。

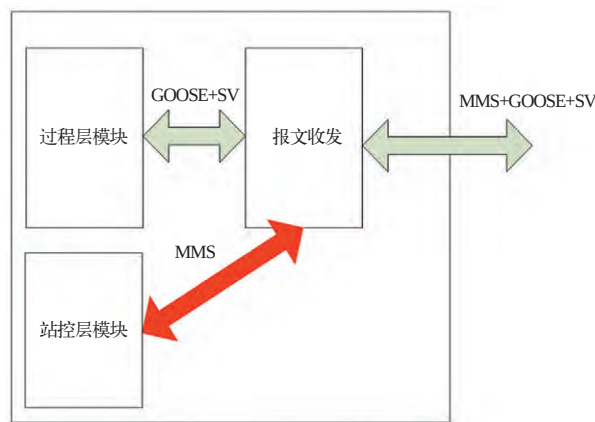


图5 共端口报文传输内部示意图

(2) 共网安全措施。为了实现MMS、GOOSE和SV等报文共网时报文间的有效隔离,采用域控制技术及分馏技术。简单理解为对每一路GOOSE报文和SV报文的组播地址进行流量控制,并对MMS报文流量进行了总流量的限制,确保SV、GOOSE中的每一个组播报文或MMS报文发生风暴时对其他报文产生冲击而中断。同时,在对组播或协议进行流量限制是设置突发流量最大值,保证GOOSE这种突发性较大的报文发送雪崩情况下不会导致报文丢失。

(3) 装置对报文抖动的应对办法。混合组网后必然会导致交换机上传输报文的排队等候,为了有效解决该问题,需要加大IED设备的抗抖动能力,在SV报文抖动小于500 μs时能够正常工作。同时在交换机上实现按优先级进行传输的办法确保抖动小于限定值,设置SV报文为最高优先级,GOOSE报文优先级次之,MMS报文优先级最低,最终保证SV报文的抖动在一个可控的范围内(500 μs以内),同时也兼顾了GOOSE报文的实时性和MMS报文的实时性。

2.网络结构特点

MMS、SV和GOOSE三网合一，交换机端口数量大大减少。

采用静态组播技术，全面优化数据转发流量。

采用VLAN技术实现不同电压等级网络逻辑隔离，支持按MAC地址、协议类型进行流量控制的交换机，降低了不同数据流传输间的互相影响；支持风暴抑制的间隔层设备及支持流量控制的交换机，降低了网络风暴对设备功能的影响。

现有常规交换机无法满足共网应用的要求，需开发专用三层一网交换机。

“SV+GOOSE+MMS”的共网应用对于各个设备厂家配置要求很高，目前无法进行大范围应用。

2.1.3 “三层一网”网络结构

采用“三层一网”自动化系统结构减少了过程层和间隔层、间隔层和站控层交换机级联端口，同时避免了过程层交换机按间隔配置后的冗余端口数量，全站仅按设备数量配置交换机端口即可。全站网络结构如图6所示。

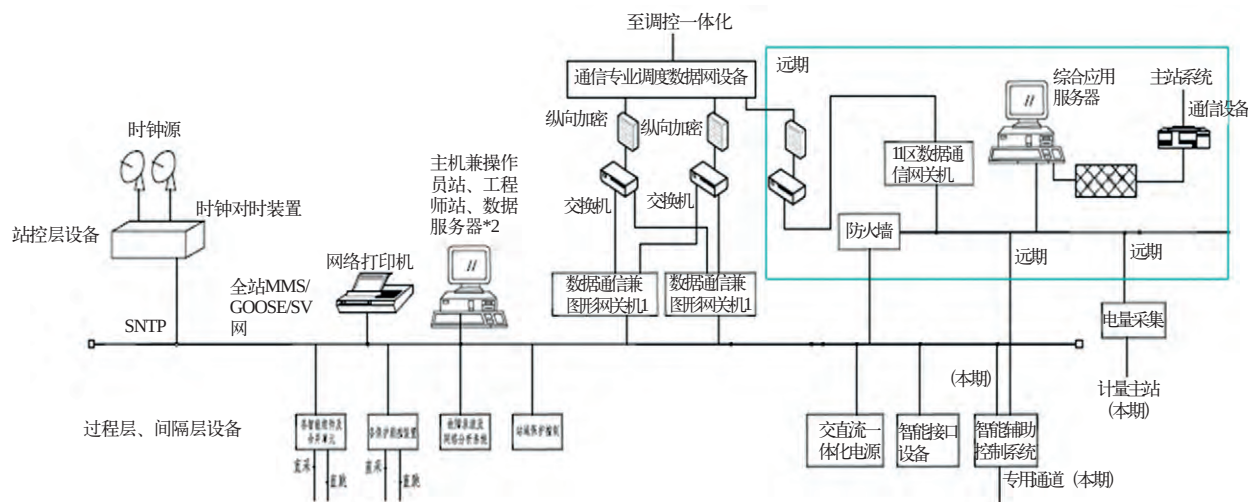


图6 “三层一网”网络结构图

2.3 “三层三网”简介

1. “三层三网”网络结构

变电站自动化系统由站控层、间隔层和过程层设备组成。站控层和间隔层之间、间隔层和过程层之间通过分层、分布、开放式网络实现连接。全站网络结构如图7所示。

站控层网络采用单星型组网，全站构建MMS、GOOSE和SNTP三网合一，共网传输。与

2.2 “三层两网”简介

1. “三层两网”网络结构

变电站自动化系统由站控层、间隔层和过程层设备组成。站控层和间隔层设备之间通过开放式网络实现连接，过程层和间隔层设备之间通过点对点光缆连接。

该方案过程层和间隔层设备采用GOOSE和SV共口传输，减少了设备光口数量，进而减少了光缆数量。

2. “三层两网”网络特点

“三层两网”与“三层一网”系统结构相比对站控层和间隔层交换机要求较低，不需要单独开发，研发费用较低，且所需交换机端口数量较少。此外过程层设备与间隔层设备、过程层与过程层设备之间采用点对点光缆传输后不需考虑SV和GOOSE数据网络VLAN划分以及网络风暴等智能变电站典型问题，数据传输和保护动作的可靠性提高。但是相比“三层一网”所需光缆数量有所增加。

站控层其他设备和间隔层网络连接，可传输MMS报文和GOOSE报文以及SNTP网络对时。

间隔层网络采用单星型拓扑结构，可传输MMS和GOOSE报文，与本间隔其他设备、间隔层其他设备及站控层网络通信。

过程层采用SV+GOOSE两网合一，按单网配置。跨间隔开关量信息交换采用站控层MMS/GOOSE网络传输。

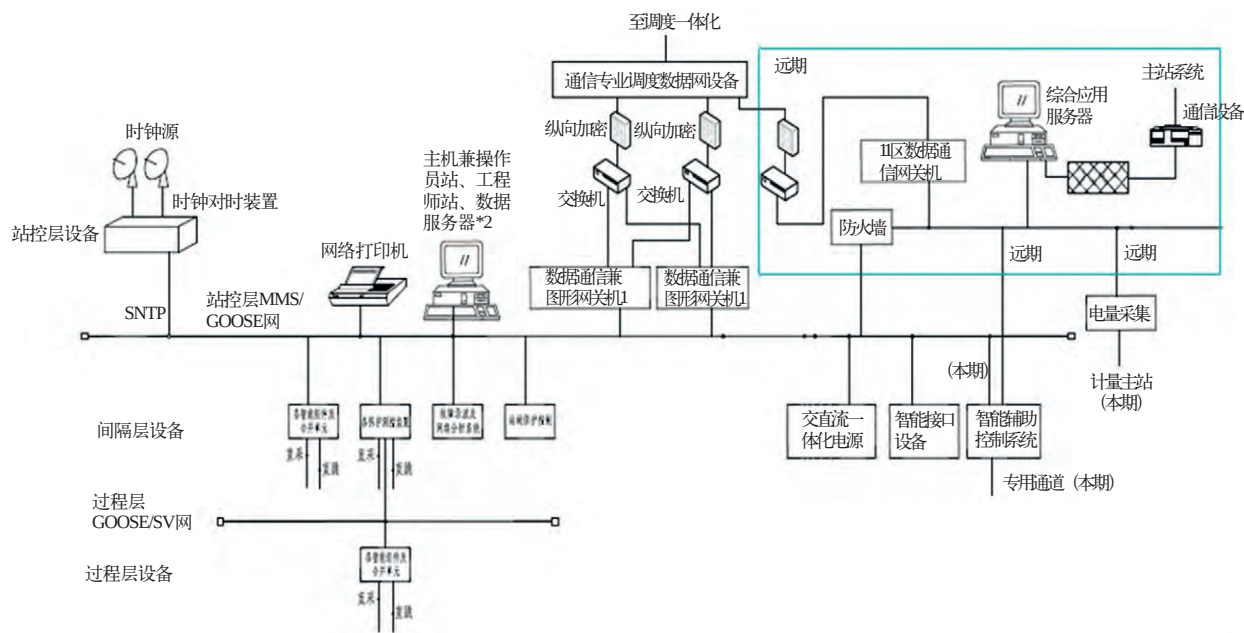


图7 “三层三网”网络结构图

2. “三层三网”网络特点

与“三层一网”结构相比，此种方案交换机端口数量较多，但是对交换机要求较低，研发费用较低，并且数据传输的可靠性较高，且网络扩展性好，便于维护；与“三层两网”结构相比，此种方案增加了交换机数量，网络结构较为复杂，数据传输的可靠性较差，但是较为节省光缆。

此种网络结构在北京地区应用较多，设备技术相对成熟。

3 基于“强-简-强”供电模式的四种110 kV智能变电站组网方案对比

本节内容是对前面所述四种主接线方案背景下论述，具体接线形式为：

方案一：全站3台主变压器，110 kV为3×3台断路器形式，主变10 kV为双受电，10 kV为单母线六分段环形接线形式。

方案二：全站3台主变压器，110 kV为2×3台断路器形式，主变10 kV为双受电，10 kV为单母线六分段环形接线形式。

方案三：全站3台主变压器，110 kV为1×3台断路器形式，主变10 kV为双受电，10 kV为单母线六分段环形接线形式。

方案四：全站3台主变压器，110 kV无断路器，主变10 kV为双受电，10 kV为单母线六分段环形接线形式。

3.1 “三层一网”组网配置方案

采用按照逻辑子网和数据隔离的方式创建站内“三层一网”自动化系统，按照110 kV及10 kV两个电压等级来创建逻辑子网，然后通过基于服务和地址的双重流量控制进行逻辑子网的级联方式进行级联。

站内过程层网络交换机全部取消，过程层设备直接接至站控层网络，站控层交换机全部改为光纤接口配置。

以上四种接线方式变电站均按终期规模配置“三层一网”交换机，所需光口数量以及全站敷设光缆数量见表1。

表1 “三层一网”组网方式光口及光缆数量对比表

项目	方案一 (3断路器)	方案二 (2断路器)	方案三 (1断路器)	方案四 (无断路器)
光口数量/个	50	50	44	44
光缆数量/根	50	50	44	44

同时，现阶段只有个别厂家可做到满足上述要求的交换机，且基于数据流量和优化控制方面的考虑，每台交换机光口数量大约仅为8个，即方案一和方案二变电站需8台“三层一网”交换机，方案三和方案四变电站需7台“三层一网”交换机，成本均较高。

目前，三网合一技术在当今智能电网发展历程中，处于反复试验并反复研发阶段，电力系统的发展需考虑到服务于社会，服务于民生，只有稳定的运行才能保证这一原则。此技术还存在一些发展的瓶颈，硬件发展水平难以支撑，现有常用工业级以太网交换机无法满足三层一网要求，即使现有个别厂家已经开发出专用三层一网交换机，毕竟性价比极低，尚未达到商务运营规模，不适用于大规模建设应用。新型的三层一网交换机制造水平及维护运行经验尚待提高，建议在产品成熟后推广使用。

3.2 “三层两网”组网配置方案

站内过程层设备采用智能终端、合并单元集成装置，间隔层设备包括主变保护装置、主变测控装置、110 kV线路保护测控装置（仅方案一和方案二配置）以及10 kV各保护测控装置。过程层设备以及线路、主变间隔层设备就地布置于一次设备当地。

由于全站过程层采用点对点传输方式，采用SV、GOOSE共口传输，故站内交换机端口数量仅统计间隔层和站控层设备即可。站控层和间隔层网络采用电以太网，过程层采用光以太网。以上四种接线方式变电站所需交换机数量及光缆数量见表2。

表2 “三层两网”组网方式交换机及光缆数量对比表

项目	方案一 (3断路器)	方案二 (2断路器)	方案三 (1断路器)	方案四 (无断路器)
交换机数量	站控层 2台	站控层 2台	站控层 2台	站控层2台
	间隔层 2台	间隔层 2台	间隔层 1台	间隔层1台
光缆数量/根	35	35	24	18

3.3 “三层三网”组网配置方案

站内过程层设备采用智能终端、合并单元集成装置，间隔层设备包括主变保护装置、主变测控装置、110 kV线路保护测控装置（仅方案一和方案二配置）以及10 kV各保护测控装置。过程层设备以及线路、主变间隔层设备就地布置于一次设备当地。

较“三层两网”组网方式增加过程层网络。过程层按间隔组网，GOOSE和SV共口共网传输，采用IEEE 1588网络对时，单网配置。10 kV不再考虑组网，跨间隔开关量信息交换采用站控层MMS/GOOSE网络传输。故“三层三网”结构较“三层两网”结构增加了过程层交换机3台。但是减少了过程层之间以及过程层与间隔层设备点对点联接光缆。具体针对以上四种接线方式变电站所需交换机数量及光缆数量见表3。

表3 “三层三网”组网方式交换机及光缆数量对比表

项目	方案一 (3断路器)	方案二 (2断路器)	方案三(1断路器)	方案四(无断路器)
交换机数量	站控层2台	站控层2台	站控层2台	站控层2台
	间隔层2台	间隔层2台	间隔层1台	间隔层1台
	过程层3台	过程层3台	过程层3台	过程层3台
光缆数量/根	23	26	18	15

3.4 “三层一网”、“三层两网”、“三层三网”组网方案分析对比

三种组网方式特点见表4。

表4 方案对比表

网络方案	三层一网	三层两网	三层三网
SV传输方式	全部网采网跳	集成装置直采, 故录直采	集成装置直采, 故录网采
GOOSE传输方式	保护直跳, 其余均网络传输	全部点对点传输	保护直跳, 其余均网络传输
过程层网络	SV+GOOSE+MMS	不组网	SV+GOOSE
光缆数量(方案一)/根	50	36	23
光缆数量(方案二)/根	50	36	26
光缆数量(方案三)/根	44	24	18
光缆数量(方案四)/根	44	18	15
交换机数量(方案一)/台	8	4	7
交换机数量(方案二)/根台	8	4	7
交换机数量(方案三)/台	7	3	6
交换机数量(方案四)/台	7	3	6

从表4分析可见，光缆根数差异占比不大，光缆的造价差异可以忽略，仅分析比较交换机数量、可行性即可。

由表4可以看出，“三层一网”所需交换机数量最多，且通过前面分析可知此交换机成本高，可靠性有待考证，但是组网方式简单，运行维护便捷，是今后智能化变电站的发展方向。“三层三网”所需交换机较“三层一网”所需交换机数量较少，且使用现阶段常规交换机即可，成本较低，网络扩展性好，运行维护也较为方便，但

是，过程层组网传输信息大部分为故障录波及网络分析所需数据，故障录波在中心交换机采集信息时因单口流量限制，需采用3~4端口接入，消耗了大量的交换机和其端口。现阶段，故障录波装置具备SV/GOOSE共口接入方式，通过适当增加其端口数量，即可满足全站故障录波接入的需求，可不组过程层网络。同时，由表4可以看出，针对四种主接线形式的110 kV变电站，“三层两网”组网方案均为最经济可行且可靠性较高的方案，因此，建议基于“强-简-强”供电模式的110 kV变电站采用“三层两网”自动化网络结构。

4 结束语

本文通过对“强-简-强”供电模式的110 kV变电站自动化系统三种组网模式进行分析对比，提出了适合于此类主接线较为简单的110 kV智能化变电站的组网方案，即“三层两网”组网结构，此种自动化系统数据传输可靠性高，交换机数量少，网络结构简单，满足智能化变电站安全、经济、可靠的原则。同时探讨了“三层一网”组网方式的关键技术和应用前景，显然，“三层一网”组网方式是未来智能化变电站的发展方向。目前已在武汉未来城110 kV站中试点应用，考虑在北京地区试点工程中运用“三层两网”组网方式，预留“三层一网”交换机端口数量，待条件成熟时便于升级改造，给新技术的实施预留应用空间。

参考文献

[1] 国家电网基建[2011]58号.国家电网公司2011年新建变电站设计补充规定[S].
[2] Q/GDW 393-2009.110（66）kV~220kV智能变电站设计规范[S].

(收稿日期：2015-03-30) EA

作者简介

杨帆（1986-），女，硕士研究生，工程师，主要研究方向为电力系统继电保护及其自动化。
张利（1970-），女，大学本科，高级工程师，主要研究方向为变电站设计及其自动化。