智能变电站二次设备工厂化、一体化及自动化调试

目前，智能变电站二次设备种类多、数量多，调试内容多，而建设现场调试环境一般较差，需要多个单位的工程师联合调试，调试过程中经常出现返工的现象，导致调试效率低下。在时间紧迫任务艰巨的情况下，如果调试不充分，则会埋下安全隐患。给出了工厂化、一体化及自动化的调试技术方案，将现场调试工作向厂内转移，所有产品一体化调试，采用组态调试软件实现自动化调试。该调试技术方案已在新一代智能变电站示范工程中得到应用，达到了提高调试质量、缩短调试周期及节约人工成本的目的。

刘强兴[1,2] 田家运[1,2] 但春林[1,2] 王 军[1,2] 樊 荣[1,2]/1.国电南瑞科技股份有限公司 2.南瑞集团公司（国网电力科学研究院）

刘强兴/高级工程师

关键词/Keywords
智能变电站·
工厂化·
一体化·
自动化·

0 引言

智能变电站二次设备种类多、数量多，调试内容多。国内公司根据自己的产品特点各自开发了组态软件，使用的ICD文件（IED能力描述文件）[1]和生成的装置下装文件没有统一的标准，在联调过程中遇到很多问题，需要经常返工，导致调试效率低下。从近几年智能变电站的建设运行情况来看，因为调试、运维人员的水平不够或者调试不充分等原因造成的质量事件和事故时有发生。

当前，国家电网公司正在进行新一代智能变电站示范应用，将“占地少、造价省及效率高”作为实施目标[2]。因此，有必要研究改进智能变电站的调试技术方案，以提高调试效率和调试质量。

国家电网公司科技项目《智能变电站信息模型解耦技术研究与应用》（SGTYHT/14－JS－188）。

1 智能变电站二次设备与系统构成

智能变电站二次系统横向分为安全Ⅰ区和安全Ⅱ区，纵向分为站控层、间隔层和过程层3部分[3]。二次系统体系架构如图1所示，采用三层两网的组网方式，有独立的过程层网络交换机，站控层与间隔层之间组建星形网络。保护装置与合并单元、智能终端之间全部为点对点方式，测控信息通过过程层交换机以组网的方式与测控装置互联[4]。站域保护、故障录波和网络分析仪通过过程层交换机与过程层设备互联。过程层智能组件就地化布置于一次设备场地，过程层与间隔层、站控层之间采用光纤通信。网络通信报文种类包括站控层网络传输制造报文规范MMS（Manufacturing Message Specification）报文，过程层网络传输采样值SV（Sampled Value）报文和面向通用对象的变电站事件GOOSE（Generic Object Oriented Substation Event）报文[5]。

智能变电站二次系统设备种类多，设备集成度高，网络通信功能强。这些设备之间的联系均依靠“虚端子连接关系”来实现[6]，造成变电站组态、调试工作复杂，工作量大。

2 智能变电站二次系统的调试现状

智能变电站采用GOOSE网和SV网代替了常规的二次信号、控制回路和采样回路，通过系统组态软件配置和光纤网

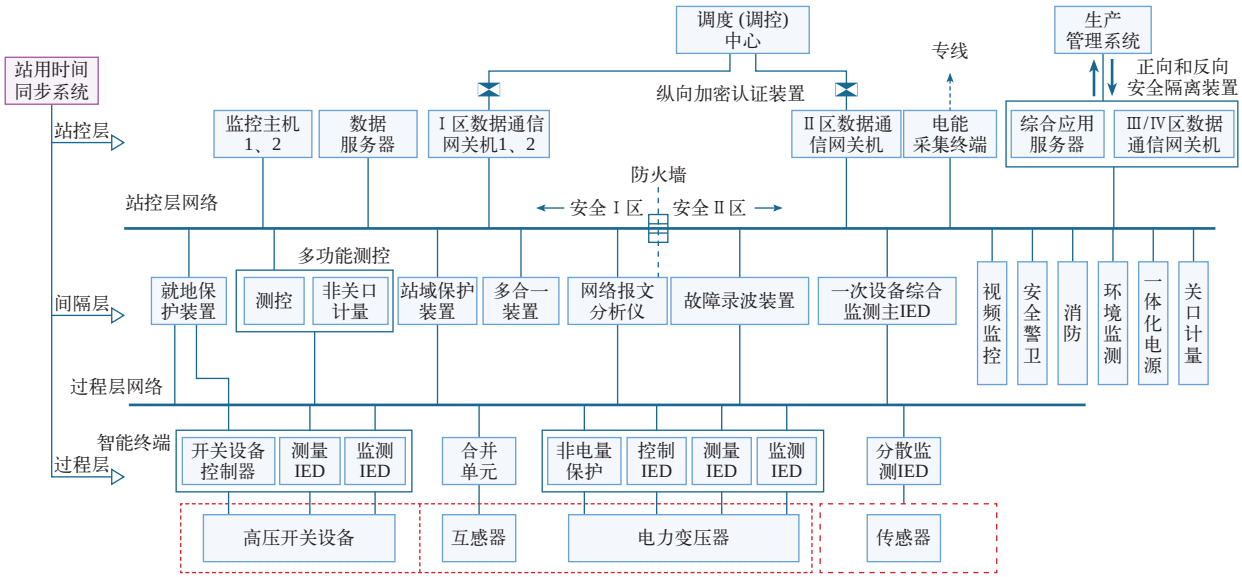

图1　智能变电站二次系统的体系架构

络通信实现系统集成，减少电缆的使用。二次系统的调试需要各厂家提供其二次设备的ICD文件，设计院提供虚端子图和光纤联络图等，通过组态生成SCD文件和各公司装置所需的私有文件，并下载到装置使用[7-8]。

目前，智能变电站的系统配置和调试工作分散在不同的厂家进行，主要存在以下几个方面的问题。

1）智能站使用多个公司的产品，各公司的装置需要下装的配置文件和使用的组态工具都不相同，需要互相配合，增加了调试工作的难度。

2）组态工作是系统的、连贯的，一旦前面的配置发生改动，往往会带来后续的配置改动，造成返工，组态工具之间的文件交换也易造成配置版本的更新错误。

3）全站二次设备的配置文件由各公司分散备份，采用不同的工具维护和修改，难以实现统一的归档和管理，不利于变电站日常运维工作的开展。

4）各公司和设计院的虚端子图没有统一，不利于统一读取、分析和管理。

5）组态软件和调试工具自动化程度不高，组态、核查及调试效率较低。

6）厂内经常采用典型间隔调试的方式，系统联调受制于数据源往往只能在部分间隔中局部开展，造成联调不充分，现场调试工作量依然很大。

3　工厂化、一体化及自动化调试技术

3.1　工厂化调试流程与方案

工厂化调试是指通过充分的联调提资，进行调试任务分解，优化变电站调试流程，将现场调试工作最大限度地前移至厂内开展，减少现场调试环境差对调试工作的不利影响。具体调试流程如图2所示。

联调项目提资是厂内联调工作能否充分开展的关键，集成商需要主动向设计院、业主单位和其他二次设备厂家进行厂内联调收资工作。设计院需提资的内容主要包括主接线图、电缆和光缆连接图、虚端子图和全站信息点表等；业主单位需提资的内容主要包括后台画面规范、顺控操作票和调度信息点表等；其他二次设备厂家需提资的内容主要包括设备技术资料、相应的装置ICD模型文件及版本等。集成商收到各方提资后核实相关资料并进行组态工作，生成SCD文件以及后台图库，期间发现问题及时与各提资方进行沟通解决。系统组态完毕后，经过单装置调试，间隔级调试和系统级调试的整个过程，将全站二次设备组成一个系统。

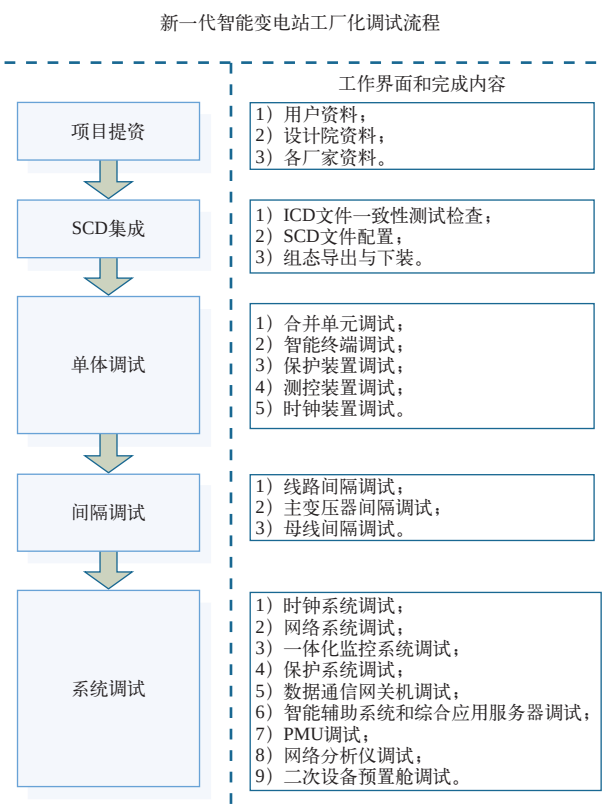

图2　智能变电站工厂化调试流程

调试工作任务分解，是将智能变电站厂内、现场的所有调试工作进行详细的任务分解，结合项目提资情况，逐项分析各调试任务在厂内完成的可能性。各相关单位紧密配合，创造调试任务在厂内完成所需要的条件，将现场调试工作最大化地向厂内转移。工厂化调试与常规调试方案比较如下表所示。

表　工厂化调试与常规调试方案比较

调试内容	常规调试方案	工厂化调试方案
系统安装、SCD集成	厂内开展	厂内开展
数据库、画面制作	厂内开展	厂内开展
典型间隔联调	厂内开展	厂内开展
全站系统级联调	现场开展	厂内开展
数据库、画面验收	现场开展	厂内开展
高级应用配置	现场开展	厂内开展
远动配置与模拟传动	现场开展	厂内开展
一次设备的信息传动	现场开展	现场开展
调度信息传动	现场开展	现场开展

工厂化调试具备优越的调试环境，有利于人力资源整合，能够及早发现问题并在厂内解决，减轻了现场调试的压力。现场调试时仅需进行信号核对、一次设备传动、调度通信调试及信息核对即可完成全站调试，有效缩短了现场调试时间，提高了现场调试质量，使得智能变电站的工程调试变得简单、高效。

3.2　一体化调试模式

一体化调试是指对全站二次设备统一建模、一体化配置，各设备厂家、设计单位、施工单位、运维与验收单位全程参与系统组态和调试过程，1：1模拟现场运行环境，使得厂内联调工作充分而有效。

新一代智能变电站采用全站主要二次设备统一招标、统一供货的物资采购模式，为全站二次设备的一体化调试创造了便利的条件。如上文所述，智能变电站二次设备主要包括一体化信息平台、保护装置、测控装置、合并单元、智能终端、一体化电源、故障录波装置和网络分析装置等，这些装置往往由多家公司生产，统一发给集成供货商进行厂内联调。各厂家、设计、施工、运维与验收人员共同参与、见证系统组态和调试过程，将厂内联调工作做精、做细。调试过程中，施工单位要将厂内调试视为现场调试，派员驻厂，及时发现并解决问题。运维与验收单位明确画面规范要求和操作习惯，提出现场应用方面的合理化建议。设计院明确虚端子连接关系，并根据联调情况及时做好SCD和图样资料的完善工作。各二次设备厂家确保装置完好，配置正确。各单位等遇有接口问题需要进一步明确时，业主单位需主导协调工作，保证一体化调试工作的顺利进行。

一体化调试需要各厂家提供统一标准的模型文件，然后调试人员编制IED名称及描述，分配IP地址、MAC地址和应用ID号等，并根据设计院提供的虚端子图和光纤联络图等进行组态工作，生成SCD文件。各相关厂家调试人员根据该SCD文件生成本公司装置所需的CID等文件并下载到装置使用。进行组态工作的同时，搭建光纤物理通信网络。组态工作完成后即可顺利进行IED单体调试、

间隔调试和系统调试。

智能变电站内二次设备是紧密联系的整体，每个二次装置在站内都是唯一的，即使硬件相同，配置也会不同。因此，一体化调试要求所有的二次设备不仅型号齐全，而且数量也要相符。避免同一型号的装置只提供一台，反复下装配置参数来切换不同间隔的情况。调试过程中发现问题，升级装置版本或者更改下装参数需要做好详细的记录。调试完成后，禁止更换装置和一切私自升级或修改参数行为。如此，才能保证一体化调试的成果。

通过一体化调试，做到了系统组态与系统调试一体化，多厂家与多系统调试一体化，厂内联调与现场调试一体化，调试、验收、培训与虚端子设计确认一体化，有效提高了调试质量，减少了重复调试的工作量。

3.3 自动化调试工具的应用

自动化调试是指将系统组态工具与自动化调试软件进行了一体化集成，通过二次设备虚端子的可视化配置、二次设备虚回路的自动校核及二次系统网络的故障定位等功能，提高二次设备的调试质量和调试效率。

虚端子的审核及纠错是智能变电站调试过程的重要环节，可是虚端子不直观一度成为困扰智能变电站调试人员的主要问题之一，虚端子可视化技术解决了这一难题。通过可视化组态调试软件，可以将原先作为一行行代码的控制块和虚端子信息很直观地展示出来，从而便于组态调试和维护查询。虚端子可视化示意图如图4、图5所示。

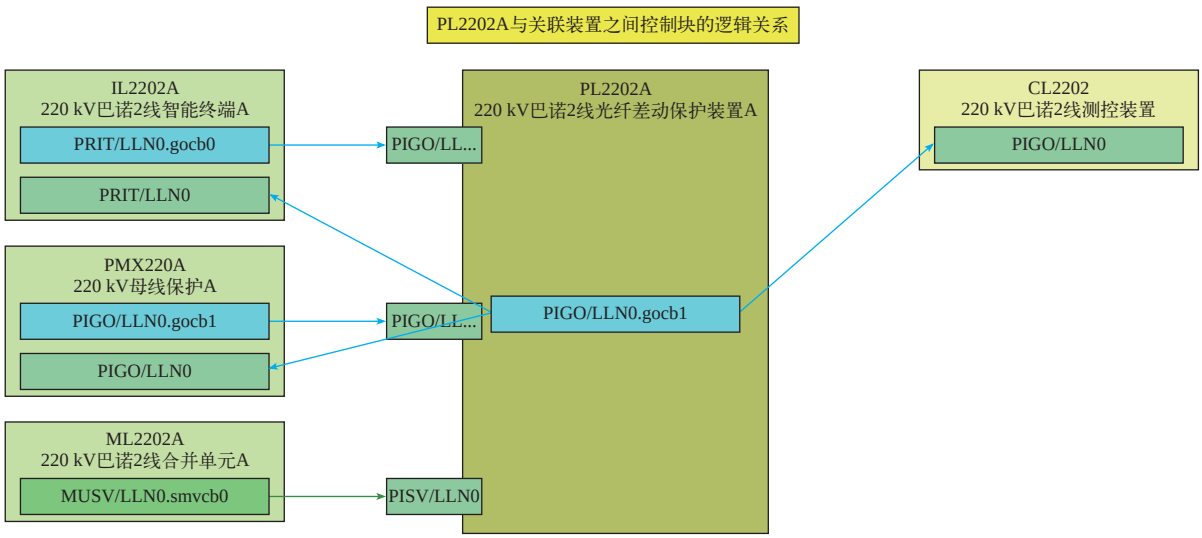

图4 控制块逻辑关系可视化示意图

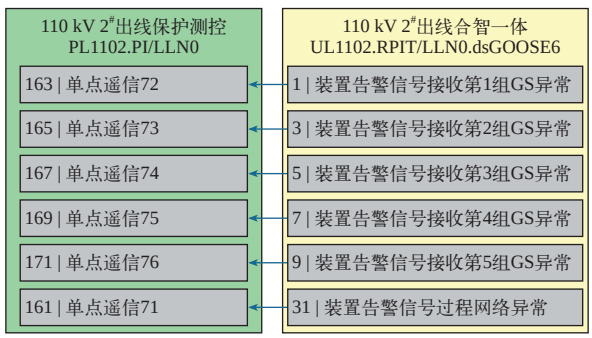

图5 虚端子信息可视化示意图

自动化组态调试软件可以将设计院提供的标准格式的虚端子文件批量导入，自动匹配后配置SCD文件，查看虚端子连接关系是否合理。也可以将各厂家的ICD文件批量导入，可视化手动配置相互连接关系后生成虚端子文件导出，以作备份或提交设计院确认。经过审核的SCD文件在调试过程中能够降低错误率和重复试验率，有效提高了工作效率。同时，利用基于标准化设计的模型文件以及专家知识库，根据需测试信号的产生机理

以及虚回路输入、输出数据的对应关系，可实现二次设备虚回路的自动校核和二次系统网络的故障定位，从而提高虚回路调试、校验和故障排查效率。

4 技术应用效果

工厂化、一体化及自动化调试技术在新一代智能变电站示范工程调试中进行了工程应用，并在后续智能变电站的调试中得到推广。

根据2013年新一代智能变电站首批示范工程和2015年新一代智能变电站扩大示范工程的实际应用情况分析，通过充分的联调提资、工作任务分解及多单位一体化调试，能够将40%以上的现场二次设备调试任务量转移至厂内；通过使用自动化调试技术，厂内联调的效率提高了约50%。经统计，对于集成商而言，一个中等规模的智能变电站现场服务需要约100人/天，而采用工厂化、一体化和自动化调试技术后，厂内调试人员投入没有增加，现场服务只需约50人/天，明显提高了整个变电站的建设质量和效率，降低了现场服务成本。

5 结束语

工厂化、一体化及自动化调试技术解决了智能变电站调试工作量大、效率低、周期长和质量差等问题，提高了建设效率，符合新一代智能变电站的建设理念，不仅适用于新一代智能变电站，而且适用于其他智能变电站。随着国内智能变电站建设工作的不断推进，变电站调试工作任务日益繁重，该技术将得到广泛的推广和应用。

参考文献

[1] Q/GDW 396—2009 IEC 61850工程继电保护应用模型 [S]. 2009.

[2] 宋旋坤，李敬如，肖智宏，等. 新一代智能变电站整体设计方案 [J]. 电力建设，2012，33 (11)：1-6.

[3] 刘强兴，田家运. 新一代智能变电站二次设备与系统优化集成探讨 [J]. 电力系统装备，2015，1 (6)：53-55.

[4] 辛培哲，闫培丽，肖智宏，等. 新一代智能变电站通信网络技术应用研究 [J]. 电力建设，2013，34 (7)：17-23.

[5] IEC 61850 Communication Networks and Systems in substations [S]. 2004.

[6] 郑文彬，王瑞彪. 智能变电站虚端子导入导出方法研究 [J]. 华电技术，2015 (2)：16-20.

[7] 赵子涵. 智能变电站二次系统调试技术探讨 [J]. 四川电力技术，2013，36 (1)：70-80.

[8] 王进虎，杨威，王娜，等. 新一代智能变电站站域保护调试技术研究 [J]. 电力信息与通信技术，2014，12 (7)：17-20.

（收稿日期：2016－07－14）EA

(上接第90页)

[9] 高洪雨，陈青，徐丙垠，等. 一种馈线自动化仿真培训系统 [J]. 电力系统保护与控制，2016，44 (10)：131-136.

[10] 杨乐祥. PON 技术在配网自动化通信系统中的应用 [J]. 电力系统通信，2010，31 (3)：26-30.

[11] 殷志锋，周雅，张元敏. 基于EPON的电力自动化信息传送平台 [J]. 电力系统保护与控制，2014，42 (2)：111-115.

[12] 孙中伟，马亚宁，王一蓉，等. 基于EPON的配电网自动化通信系统及其安全机制 [J]. 电力系统自动化，2010，34 (8)：72-75.

[13] 梁芝贤，王剑，唐万理. 智能配电网EPON 技术应用研究及网络设计 [J]. 电力系统通信，2012，33 (2)：85-90.

（收稿日期：2016－09－13）EA