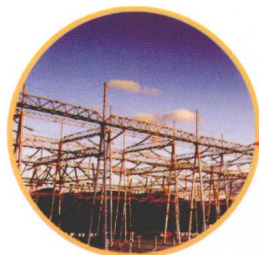
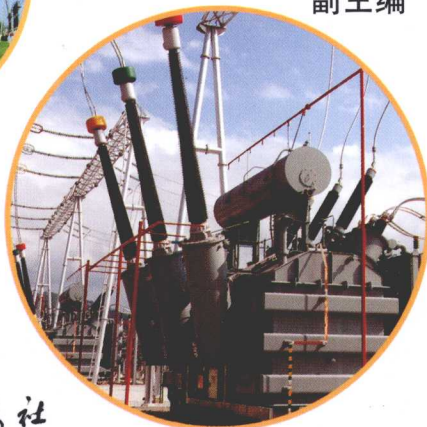
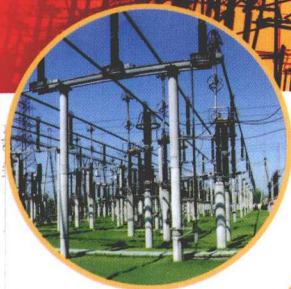




ZHINENG BIANDIANZHAN
XITONG CESHI JISHU

智能变电站

系统测试技术



主 编 何建军

副主编 徐瑞林 陈 涛



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013028244

TM63

55



智能变电站

系统测试技术

主 编 何建军
 副主编 徐瑞林 陈 涛
 参 编 张友强 高 晋 黄 蕙 陈 力
 钟加勇 刘祖建 李 杰 魏 甦 余红欣
 王瑞妙 魏 燕 徐 鑫 周 平



北航 C1634778



中国电力出版社
 CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM 63
 55

13885810

内 容 提 要

本书从智能变电站的主要设备出发,系统阐述了智能变电站的测试技术和测试流程。内容包括智能变电站的通信规约测试、系统网络性能测试,同时详细介绍了站控层、间隔层、过程层单体设备的测试内容和测试方法,并对保护系统、测控系统、计量系统和同步对时系统的测试方法进行了介绍。本书还结合工程实际,归纳整理了出厂集成联调的测试范例。

本书旨在规范测试方法,保证智能变电站的顺利投运和安全运行,对智能变电站的系统测试方法提供有益的参考,并为现场工程技术人员提供方法指导与技术参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站系统测试技术/何建军主编. —北京:中国电力出版社,2012.12

ISBN 978-7-5123-3820-3

I. ①智… II. ①何… III. ①变电所-智能技术-自动化系统-系统测试 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第299966号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年4月第一版 2013年4月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 13印张 204千字

印数0001—3000册 定价32.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序

我国建设的智能电网是以特高压为骨干网架、各级电网协调发展，以高速通信信息平台为支撑，以信息化、自动化、互动化为特征的电网。在智能电网的整体框架中，智能变电站既是核心节点，也是提升电网智能化水平的关键。

智能变电站是变电站技术发展历程中的重大变革，集中体现在：一次设备智能化、二次设备网络化、设备信息模型标准化。随着 IEC 61850 标准、计算机网络技术的应用，智能变电站具备了顺序控制、状态检修和智能告警等功能，为变电站“运维一体化”和系统安全稳定运行奠定了基础。同时，传统的测试工具和方法已难以满足智能变电站建设的需要。因此，研究智能变电站系统测试技术对智能变电站建设、调试、运行维护具有重要的意义。

重庆市电力公司始终致力于智能变电站的测试技术研究，依托重庆市电力公司电力科学研究院智能二次系统综合性能评估实验室，全面开展了通信规约测试、变电站网络系统性能测试、信息安全测试、高级应用功能测试等工作，积累了较为丰富的经验。

希望本书的出版，能够为智能变电站相关工程技术人员提供参考，并有助于智能变电站系统测试技术的完善和发展。

重庆市电力公司
副总经理

前言

智能变电站作为智能电网的重要组成部分，具有全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化和高级应用互动化等主要特征，正由研究试点阶段逐步走向全面推广应用。智能变电站三层两网的特有架构，使其与传统变电站在技术上有很大不同，尤其给站内的信息处理、应用模式带来了全方位的变化，并对二次系统的测试技术带来了深刻的影响。为此，亟待对智能变电站的测试技术进行深入阐述，以指导与规范工程应用。

本书从智能变电站的主要设备出发，系统阐述了智能变电站的测试技术。介绍了智能变电站的测试内容和测试流程，并对智能变电站的通信规约测试、系统网络性能测试方法进行了系统地阐述。同时，详细介绍了站控层、间隔层、过程层单体设备的测试内容和测试方法，并对保护系统、测控系统、计量系统和同步对时系统的测试方法进行了介绍。本书还结合工程实际，归纳了出厂集成联调的测试范例。

重庆市电力公司积极推进智能变电站建设，依托重庆市电力公司智能二次系统综合性能评估实验室，全面开展了智能站测试技术的研究和工程实践。在国家电网 110kV 杉树智能变电站、220kV 龙荫智能变电站和 220kV 悦来智能变电站等工程测试过程中，理论联系实际，取得了较好的效果。本书将这些工程测试实例融入书中，旨在规范测试方法、保证智能变电站的顺利投运和安全运行，同时能对智能变电站的系统测试方法提供有益的参考，并为现场工程技术人员提供方法指导与技术参考。

本书由重庆市电力公司电力科学研究院编写，在编写过程中，得到了重庆市电力公司调控中心继电保护处、自动化处和设备厂商的大力支持与帮助。同时，还参阅了相关技术规范、参考文献和行业标准等。在此，对以上单位及相关作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2012 年 12 月

目 录

序
前言

1 智能变电站系统概述	1
1.1 智能电网	1
1.2 智能变电站	2
1.2.1 智能变电站的内涵	2
1.2.2 智能变电站体系结构及要求	2
1.2.3 高压设备智能化	3
1.2.4 二次设备网络化	3
1.2.5 智能设备与顺序控制	4
1.2.6 智能变电站的高级功能	4
2 智能变电站自动化系统及主要设备	8
2.1 智能变电站自动化系统网络	8
2.2 站控层设备	9
2.2.1 设备状态监测系统	9
2.2.2 监控后台系统	11
2.2.3 远动通信装置	13
2.2.4 保护信息子站	16
2.2.5 网络报文记录分析系统	16
2.2.6 时间同步系统	16
2.2.7 智能辅助系统	18
2.3 间隔层设备	20
2.3.1 智能变电站测控装置	21
2.3.2 智能变电站保护装置	21
2.3.3 数字故障录波	22
2.4 过程层设备	22

2.4.1	非常规互感器	23
2.4.2	合并单元	24
2.4.3	智能操作箱	26
3	智能变电站系统测试技术	28
3.1	智能变电站对测试技术的新要求	28
3.2	智能变电站测试标准	29
3.3	智能变电站测试内容	29
3.3.1	出厂集成联调测试内容	30
3.3.2	现场测试内容	30
3.4	智能变电站调试流程	30
3.4.1	出厂集成联调阶段主要流程	32
3.4.2	现场调试阶段主要流程	33
4	智能变电站通信规约测试	36
4.1	IEC 61850 技术特点	36
4.2	IEC 61850 一致性测试技术	37
4.2.1	一致性测试	38
4.2.2	互操作测试	38
4.2.3	一致性测试和互操作测试的关系	39
4.3	一致性测试术语及标准	40
4.3.1	测试术语	40
4.3.2	测试标准	41
4.4	一致性测试的结构与流程设计	42
4.4.1	IEC 61850 标准体系结构	42
4.4.2	一致性测试结构	44
4.4.3	一致性测试过程	45
4.5	测试内容	47
4.5.1	文件及配置检查	47
4.5.2	通信服务功能测试	48
4.5.3	应用功能测试	55
4.5.4	性能测试	56

4.5.5	测试结果及记录	57
5	智能变电站系统网络性能测试	58
5.1	智能变电站系统常见组网方式	58
5.2	智能变电站系统网络测试标准	59
5.3	智能变电站系统网络的性能指标	60
5.4	智能变电站系统网络性能测试内容	61
5.5	智能变电站系统网络性能测试方法	62
5.5.1	网络性能测试	62
5.5.2	网络流量测试	74
6	智能变电站单体设备测试	77
6.1	站控层设备及测试	77
6.1.1	监控后台测试	77
6.1.2	远动装置测试	88
6.1.3	同步时钟装置测试	90
6.1.4	网络报文记录分析装置测试	97
6.1.5	保护信息子站测试	103
6.2	间隔层设备测试	107
6.2.1	测控装置测试	107
6.2.2	保护装置测试	113
6.3	过程层设备及测试	119
6.3.1	电子式互感器及合并单元测试	120
6.3.2	智能操作箱测试	131
7	智能变电站功能系统测试	134
7.1	保护系统联调	134
7.1.1	保护装置与后台 MMS 通信功能测试	134
7.1.2	保护装置与合并单元 SV 通信链路测试	134
7.1.3	保护装置与智能终端及其他保护装置 GOOSE 链路 测试	135
7.1.4	检修对保护 MMS 通信的影响	135
7.1.5	SV 检修对保护动作逻辑的影响	136

7.1.6	GOOSE 检修及断链对保护动作逻辑的影响	136
7.1.7	保护整组联动测试	137
7.2	测控系统联调	138
7.2.1	遥测	139
7.2.2	控制联闭锁功能测试	139
7.2.3	控制权切换功能测试	141
7.2.4	电压无功控制功能测试	142
7.2.5	测控部分 MMS 通信功能测试	143
7.2.6	检修对测控 MMS 通信的影响	144
7.2.7	SV 检修对测控功能影响的测试	144
7.3	计量系统联调	145
7.4	同步对时系统联调	145
7.4.1	基本式时间同步系统整组试验	146
7.4.2	主从式时间同步系统整组试验	147
7.4.3	主备式时间同步系统整组试验	147
8	智能变电站工程测试实例	148
8.1	工程背景	148
8.1.1	220kV 线路保护	148
8.1.2	220kV 母线保护	148
8.1.3	220kV 母联保护	149
8.1.4	主变压器保护配置	149
8.1.5	110kV 线路保护	150
8.1.6	110kV 母线保护	150
8.1.7	110kV 母联保护	150
8.1.8	10kV 保护配置	150
8.1.9	故障录波器	151
8.1.10	安全稳定控制装置配置	151
8.2	规约测试报告	152
8.2.1	全站配置文件检测	153
8.2.2	系统级测试的文件检查	153

8.3	网络性能测试报告	153
8.3.1	测试背景	156
8.3.2	过程层网络测试	157
8.3.3	站控层网络测试	171
8.3.4	网络流量测试	179
8.3.5	通信系统网络风暴测试	185
8.4	同步时钟测试报告	189
8.4.1	测试背景	191
8.4.2	输出信号测试	192
8.4.3	时钟同步系统功能测试	194
8.4.4	测试结论	196
参考文献	197

智能变电站系统概述

智能变电站系统是建立在数字化变电站系统之上的高级系统，就技术特点来说，它是数字化变电站的延续和发展，以一次设备参量数字化、标准化和规范化信息平台为基础，实现全站信息化、自动化、互动化。智能变电站技术给变电站内的信息处理、应用模式带来了全方位的变化。这种变化所体现的特征将更有利于实现信息的综合处理和综合应用，提高变电站系统的智能化程度，并对二次系统设计、试验、运行带来深刻的影响。

与数字化变电站相比，智能变电站更加智能化，但在智能电子设备的互操作性上还不能达到完全的实时互换，因此对智能变电站的一致性测试就显得十分重要。由于 IEC 61850《变电站网络与通信协议》系列标准的复杂性，其性能在网络异常时的未知性，以及保护、监控系统对实时性的严格要求等原因，很可能出现单独产品通过了测试，但放到系统中又不能通过测试的情况。

1.1 智能电网

通信、计算机、自动化等技术在电网中的广泛应用，极大地提升了电网的智能化水平。传感器技术与信息技术在电网中的应用，为系统状态分析和辅助决策提供了技术支持，使电网自愈成为可能。调度技术、自动化技术和柔性输电技术的成熟发展，为可再生能源和分布式电源的开发利用提供了基本保障。通信网络的完善和用户信息采集技术的推广应用，促进了电网与用户的双向互动。随着各种新技术的进一步发展、应用并与物理电网高度集成，智能电网应运而生。同时，为实现清洁能源的开发、输送和消纳，电网必须提高其灵活性和兼容性。为抵御日益频繁的自然灾害和外界干扰，电网必须依靠智能化手段不断提高其安全防御能力和自愈能力。为降低运营成本，促进节能减排，电网运行必须更为经济高效，同时须对用电设备进行智能控制，尽可能减少用电消耗。分布式发电、储能技术和电动汽车的快速发展，改变

了传统的供用电模式，促使电力流、信息流、业务流不断融合，以满足日益多样化的用户需求。电力技术的发展，使电网逐渐呈现出诸多新特征，如自愈、兼容、集成、优化，而电力市场的变革，又对电网的自动化、信息化水平提出了更高要求，因此智能电网终将成为电网发展的必然趋势。

坚强智能电网是以坚强网架为基础，以信息通信平台为支撑，以智能控制为手段，包括电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节，覆盖所有电压等级，实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合，是坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代化电网。

1.2 智能变电站

变电是电力生产的重要环节之一，智能变电站是智能电网的重要组成部分。所谓智能变电站，就是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求，自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能，并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能，实现与相邻变电站、电网调度等互动的变电站。

1.2.1 智能变电站的内涵

智能变电站是比数字化变电站更先进的应用，智能变电站的重要特征体现为“智能性”，即设备智能化与高级智能应用的综合。

作为智能电网的一个重要节点，智能变电站以变电站一、二次设备为数字化对象，以高速网络通信平台为基础，通过对数字信息进行标准化，实现站内外信息共享和互操作，实现测量监视、控制保护、信息管理、智能状态监测等功能的变电站。具有“一次设备智能化、全站信息数字化、信息共享标准化、高级应用互动化”等重要特征。

1.2.2 智能变电站体系结构及要求

智能变电站分为过程层、间隔层和站控层。过程层包括变压器、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。间隔层设备一般指继电保护装置、系统测控装置、监测功能组主

IED 等二次设备，实现使用一个间隔的数据并且作用于该间隔一次设备的功能，即与各种远方输入/输出、传感器和控制器通信。站控层包括自动化站级监视控制系统、站域控制、通信系统、对时系统等，实现面向全站设备的监视、控制、告警及信息交互功能，完成数据采集和监视控制（SCADA）、操作闭锁以及同步相量采集、电能量采集、保护信息管理等相关功能。

站控层功能宜高度集成，可在一台计算机或嵌入式装置中实现，也可分布在多台计算机或嵌入式装置中。智能变电站数据源应统一、标准化，实现网络共享。智能设备之间应实现进一步的互联互通，支持采用系统级的运行控制策略。智能变电站自动化系统采用的网络架构应合理，可采用以太网、环形网络，网络冗余方式应符合 IEC 61499《分布式工业过程测量与控制系统功能块标准》及 IEC 62439《工业通信网络与高可靠性自动控制网络标准》的要求。

1.2.3 高压设备智能化

高压设备是电网的基本单元。高压设备智能化（简称智能设备）是智能电网的重要组成部分，也是区别传统电网的主要标志之一。智能化的高压设备是附加了智能组件的高压设备，智能组件通过状态感知和指令执行元件，实现状态的可视化、控制的网络化和自动化。智能化的高压设备是一次设备和智能组件的有机结合体，具有测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化等特征。

随着一次设备智能化技术的不断发展，未来智能一次设备将逐步走向功能集成化和结构一体化，传统意义上一次、二次设备的融合将更加紧密，界限也将更加模糊。通过在一次设备内嵌入智能传感单元和安装智能组件，使得一次设备本身具有测量、控制、保护、监测、自诊断等功能，其将成为智能电力功能元件。通过数字化、网络化实现在智能变电站中的信息共享，每个设备采集的信息及其本身的状态信息都可以被网络上的其他设备获取。

总的来说，一次设备智能化技术不仅是测量技术与控制技术的革新，对变电站设计、电网运行乃至一次设备本身的发展都有重大影响。智能一次设备的应用，将使整个变电站向着更加简约、可靠和智能的方向发展。

1.2.4 二次设备网络化

智能变电站可以通过网络机制实现二次设备网络化信息交互，为变电站

网络化二次系统各种应用功能的实现提供根本的技术支撑。

变电站内常规的二次设备，如继电保护装置、防误闭锁装置、测量控制装置、远动装置、故障录波装置、电压无功控制、同期操作装置以及正在发展中的在线状态检测装置等全部基于标准化、模块化的微处理机设计制造，设备之间的连接全部采用高速的网络通信，二次设备不再出现常规功能装置重复的 I/O 现场接口，通过网络真正实现数据共享、资源共享，常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。

1.2.5 智能设备与顺序控制

为能实现高压设备的智能化操作，宜采用顺序控制方式。所谓顺序控制，是指通过监控中心的计算机监控系统下达操作任务，由计算机系统独立地按顺序分步骤地实现操作任务。全站所有隔离开关、接地开关防误操作方式为：远、近控均采用逻辑防误加本间隔电气节点防误，其中逻辑防误通过 GOOSE 传输机制实现，取消常规 HGIS 和 GIS 跨间隔电气节点闭锁回路，通过 GOOSE 信息实现跨间隔操作的闭锁。顺序化控制操作方式可以满足区域监控中心站管理模式和无人值班的要求，也能满足可接收执行调度中心、监控中心和当地后台系统发出的控制指令，经安全校核正确后自动完成符合相关运行方式变化要求的设备控制，即应能自动生成不同的主接线和不同的运行方式下的典型操作票；自动投退保护软连接片；当设备出现紧急缺陷时，具备急停功能；配备直观的图形图像界面，可以实现在站内和远端的可视化操作。

顺序控制可以极大地缩短变电站倒闸操作时间，解决人工操作效率低、易出错等问题，提高供电的安全可靠性。图 1-1 所示为调度主站顺序控制流程示意图。

1.2.6 智能变电站的高级功能

1. 设备状态监测

智能变电站设备广泛实现在线监测，让设备检修变得更加科学。在智能变电站中，能有效获取电网的运行状态数据以及各个智能电子设备的故障、动作信息和信号回路状态，二次设备状态特征量的采集也减少了盲区。但就现在的在线监测水平来看，还不具备实现所有设备的全面的在线监测可能性，对变电站的一次设备可采取有针对性的在线监测技术，这样可以取得较好的

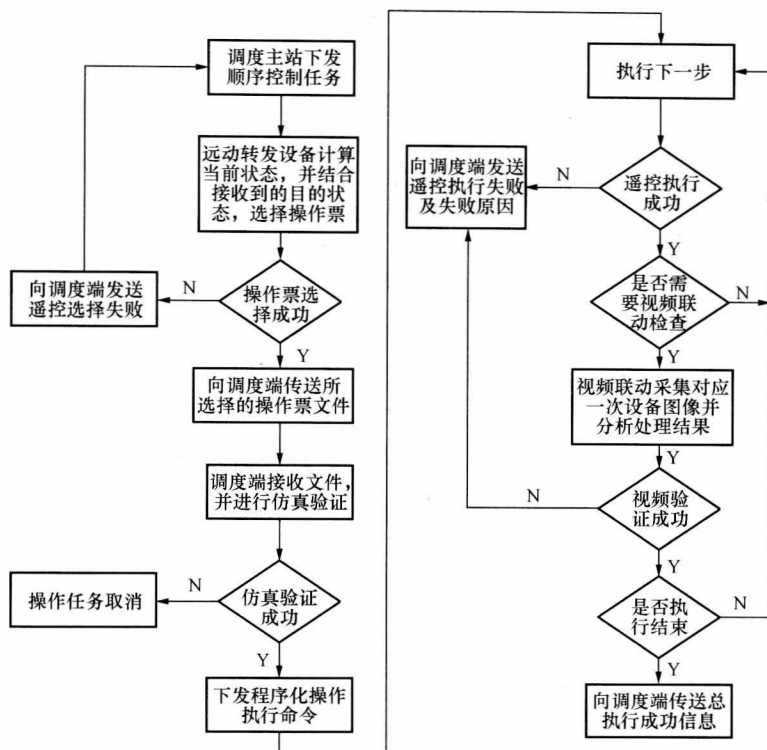


图 1-1 调度主站顺序控制流程示意图

投资收益。

信息融合又称数据融合, 是对多种信息的获取、表示及其内在联系进行综合处理和优化的技术。多信息融合技术从多信息的视角进行处理及综合, 得到各种信息的内在联系和规律, 从而剔除无用的和错误的信息, 保留正确的和有用的成分, 最终实现信息的优化。它也为智能信息处理技术的研究提供了新的观念。

状态检测和诊断系统是一套智能变电站设备的综合故障诊断系统, 它能依据获得的被检测设备状态信息, 采用多信息融合技术的综合故障诊断模型, 结合被监测设备的结构特性和参数、运行历史状态记录以及环境因素, 对被监测设备工作状态和剩余寿命作出评估。

2. 智能告警及分析决策

智能告警及分析决策的提出是为了从根本上解决异常及设备故障发生时

变电站信息过于繁杂的问题。在对全站设备对象信息建模的情况下，研究全站异常及设备故障情况下告警信息的分类、筛选、过滤，研究信号的过滤及报警显示方案，研究告警信号之间的逻辑关联，基于多事件关联筛选机制，利用推理机技术对“短时间”内事件进行关联推理，得出该时段内综合异常及设备故障模型信息，从而实现智能告警及分析决策。

智能告警及分析决策对变电站内异常及设备故障告警信息进行分类，对信号进行过滤，实时分析站内运行状态，如收到异常及设备故障信息则自动进行推理，生成智能告警信息，提供分析决策，并可根据主站需求为调度主站提供分层分类的异常及设备故障告警信息。该功能为智能变电站典型特征之一。

智能告警实现变电站正常及事故情况下告警信息分类，并建立信息上送的优先级标准，经过自动分级筛选过滤并分类存放，在异常及事故情况下实现信息分级上送，便于运行人员快速调用，为运行人员提供辅助决策，提高了运行值班的异常处理效率。智能告警结构如图 1-2 所示。

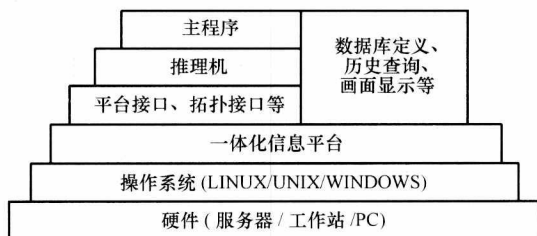


图 1-2 智能告警结构示意图

3. 故障信息综合分析决策

故障信息综合分析决策功能可以自动为值班运行人员提供事故分析报告并给出事故处理预案，便于迅速确定事故原因并确定应采取的措施，还可以为事后相关部门分析事故原因提供相关数据信息。

该功能通过对故障录波、保护装置、事件顺序记录 (SOE) 等相关事件信息进行综合分析和处理，得出事故分析结果，为电网运行提供辅助决策，并在后台以简明的可视化界面综合展示。分析决策及事故处理信息上传主站并定向发布，实现变电站故障分析结果的远传。通过对开关信息、保护、录波、设备运行状态等进行在线实时分析，实现事故及异常处理指导意见及辅

助决策，并梳理各种告警信号之间的逻辑关联，确定变电站故障情况下的最终告警和显示方案，为上级系统提供事故分析决策支持等。即通过各类实测信息、自动分析、逻辑推理自动给出故障处理决策，指导和帮助上级调度（或集控中心监控人员）快速处理故障。

4. 站域控制

站域控制建立在全站信息数字化和信息共享的基础上，在通信和数据处理速度满足功能要求的基础上实时采集全站数据，包括全变电站各母线电压、各线路电流和各开关的实时位置以及各保护的闭锁信号，从而完成全站各电压等级的备用装置投入（简称备投）、过负荷联切和过负荷闭锁动作、低频低压减负荷功能。

站域控制的各电压等级的备投、过负荷联切、过负荷闭锁和低频低压减负荷均相互独立，互相没有影响，既可单独使用又可集中组合使用，以实现一个变电站灵活多样的备投和联切、减载控制功能。

站域控制通常适用于 110kV 及以下电压等级的智能变电站，可实现多个电压等级的桥备投、进线备投、分段备投、主变压器备投等备投功能，可实现多个电压等级的过负荷闭锁备自投功能。另外，还可实现普通轮次（5 轮）和特殊轮次（2 轮）的低频低压减负荷功能，以及共 6 个轮次的过负荷联切功能。

通过监控系统可实时对站域控制进行运行状态监视、保护定值设置、出口连接片和断路器检修连接片设置，以及动作过程的详细记录，从而完成站域控制的全过程在线控制和分析及故障再现。图 1-3 举例说明了变电站内站域备自投逻辑结构图。

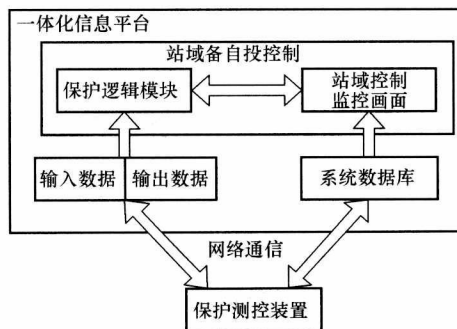


图 1-3 变电站内站域备自投逻辑结构图