

新一代智能变电站 设备集成技术及应用

王金行 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

新一代智能变电站 设备集成技术及应用

XINYIDAI ZHINENG BIANDIANZHAN
SHEBEI JICHENG JISHU JI YINGYONG

王金行 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书在讲解新一代智能变电站关键技术及典型应用的基础上,重点阐述了模块化预制舱、集成式隔离断路器、智能变压器、智能 GIS、电子式互感器、智能二次设备、一体化业务平台、层次化保护控制系统等设备在智能变电站的集成应用。在本书的最后,针对吉林永吉 220kV 新一代智能变电站的工程设计、建设、工艺以及一、二次设备的选型、配置进行了详细讲解;特别总结了高寒地区预制舱、新型断路器、土建创新优化等十余项智能变电站的创新成果。

本书适合从事新一代智能变电站建设、运行、维护的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

新一代智能电站:设备集成技术及应用/王金行主编. —北京:中国电力出版社,2017.3
ISBN 978-7-5198-0234-9

I. ①新… II. ①王… III. ①智能技术—应用—变电所 IV. ① TM763-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 003016 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:丁 钊(zhao-ding@sgcc.com.cn)

责任校对:太兴华

装帧设计:张俊霞 张 娟

责任印制:藺义舟

印 刷:北京博图彩色印刷有限公司

版 次:2017 年 3 月第一版

印 次:2017 年 3 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:16.75

字 数:295 千字 1 插页

印 数:0001—2000 册

定 价:85.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 王金行

副 主 编 朱教新 孙文胜 鲁海威

编委会成员 王晓波 贾 宏 郝泽明 聂 昕

刘 新 周子龙 吴 刚 邢 岩

田春光 李振元 冯利民 刘大鹏

张继国 杨 松 张 力 徐 庆

杨正盛 马立新 刘宁彪 刘 鹏

姜 来 满海龙 吕项羽 汲国江

编写组组长 王晓波

编写组副组长 王佳颖

编写组成员 钱春年 回俊龙 时 庆 刘忠战

冯 亮 李春亮

前言

构建坚强、环保、高效的智能电网是保障我国能源安全、承载第三次工业革命的关键。国家电网公司在 2009 年 5 月的特高压输电技术国际会议上提出了名为“坚强智能电网”的发展规划，并于同年 7 月开始启动建设智能变电站试点工程，2011 年开始全面推广建设智能变电站。智能变电站是衔接智能电网发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节的枢纽，同时也是实现能源转化和控制的核心平台之一，是实现风能、太阳能等新能源接入的重要支撑。

2012 年初国家电网公司提出建设“系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体”的新一代智能变电站。同年 10 月，国家电网公司在系统内选取了重庆大石、北京未来城等 6 座变电站作为示范工程进行建设，6 座示范站于 2013 年底全部投运。在融合配送式变电站建设技术基础上，2014 年开展了 48 座 110~220kV 新一代智能变电站扩大示范工程建设。

首批新一代智能变电站试点工程建成投运，为新技术的推广应用积累了经验。但 6 座试点站全部分布于北京以南，缺乏高寒地区的设计、运行及检修等经验。吉林永吉 220kV 变电站是国家电网公司新一代智能变电站在东北地区首座试点工程，位于吉林省中部。吉林省冬季漫长寒冷，降雪频繁，新一代智能变电站的新设备、新技术将面临严峻的考验。国网吉林省电力有限公司成立专家组，围绕高寒地区预制建筑的适应性、新型智能一次设备的深度集成、高寒地区土建创新优化等专题进行技术攻关，成功解决了新一代智能变电站在高寒地区应用所面临的难题，目前该站已顺利投运。

本书在总结吉林永吉 220kV 智能变电站工程建设经验的基础上，以新一代智能变电站关键技术为主线，首先介绍了模块化建设技术、隔离断路器及其他智能设备制造技术和二次系统等新一代智能变电站的基础理论、关键技术以及制造工艺；着重论述了高寒地区预制舱设计与应用、新型断路器的设计与应用、土建创新优化、一体化业

务平台深入应用、智能变电站二次系统辅助工具开发与应用等十余项智能变电站技术创新成果；总结了大量工程建设资料、科研技术成果、现场运行经验，对新一代智能变电站建设、运行、维护具有一定的借鉴和指导意义。

本书的出版凝聚了吉林省电力工业众多领导、专家和工程技术人员的心血，希望我们的工程实践经验能够为我国智能电网的建设添砖加瓦。

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

目 录

前言

第 1 章 新一代智能变电站概述

1.1	变电站作用与构成	2
1.2	变电站发展历程	2
1.2.1	常规变电站	3
1.2.2	智能变电站	5
1.2.3	国外变电站现状	8
1.3	新一代智能变电站	9
1.3.1	新一代智能变电站概念	10
1.3.2	新一代智能变电站关键技术与设备	12
1.3.3	新一代智能变电站典型应用介绍	15
1.3.4	新一代智能变电站高寒地区应用难题	17

第 2 章 模块化预制建设技术

2.1	预制舱建筑	22
2.1.1	预制舱概念	22
2.1.2	预制舱发展现状及未来展望	23
2.1.3	预制舱设计的引用标准	24
2.1.4	预制舱舱体工艺要求	24

2.1.5	预制舱舱体电磁兼容设计	28
2.1.6	其他辅助设施	30
2.1.7	预制舱的运输	30
2.2	装配式围墙和防火墙	32
2.2.1	装配式围墙	32
2.2.2	装配式防火墙	34
2.3	预制式光电缆	35
2.3.1	预制式光缆	35
2.3.2	预制光电复合缆	37

第3章 集成式隔离断路器技术

3.1	隔离断路器的发展与应用情况	44
3.1.1	隔离断路器需求分析	44
3.1.2	隔离断路器的发展与应用现状	45
3.2	集成式隔离断路器的结构	47
3.2.1	隔离断路器本体	47
3.2.2	接地开关	48
3.2.3	电子式电流互感器	48
3.2.4	闭锁系统	49
3.2.5	智能组件	51
3.3	集成式隔离断路器的关键技术	52
3.3.1	断口绝缘技术	53
3.3.2	闭锁系统技术	53
3.3.3	电子式电流互感器安装技术	55
3.3.4	智能化集成技术	56
3.4	集成式隔离断路器型式试验	57
3.4.1	型式试验项目与技术要求	58

3.4.2	短路组合功能试验	60
3.4.3	机械组合功能试验	60
3.5	集成式隔离断路器的技术优势	61
3.5.1	提高主接线可靠性水平	61
3.5.2	优化电气主接线	65

第4章 智能设备制造技术

4.1	智能变压器	74
4.1.1	智能变压器的构成	74
4.1.2	智能变压器的技术要求	76
4.1.3	智能变压器的发展趋势	77
4.2	集成式并联电容器	78
4.2.1	集成式并联电容器的构成	79
4.2.2	集成式并联电容器的关键技术	80
4.2.3	集成式并联电容器的发展趋势	84
4.3	智能 GIS	84
4.3.1	智能 GIS 的构成	85
4.3.2	智能 GIS 的技术要求	87
4.3.3	智能 GIS 的发展趋势	88
4.4	小型化开关柜	89
4.4.1	气体绝缘开关柜的发展与应用	89
4.4.2	气体绝缘开关柜的结构	90
4.4.3	小型化开关柜的发展趋势	94
4.5	电子式互感器	94
4.5.1	电子式互感器的结构	96
4.5.2	电子式互感器的原理	99
4.5.3	电子式互感器的发展趋势	107

第5章 新一代智能变电站二次系统

5.1 新一代智能变电站二次系统概述	112
5.1.1 变电站二次系统的发展历程	112
5.1.2 现有智能变电站的二次系统结构	114
5.1.3 新一代智能变电站的二次系统结构	114
5.2 新一代智能变电站二次设备集成	117
5.2.1 过程层设备集成	117
5.2.2 间隔层设备集成	118
5.2.3 站控层设备集成	121
5.3 一体化业务系统	122
5.3.1 系统构成	122
5.3.2 关键技术	125
5.3.3 一体化业务平台基本业务	127
5.3.4 一体化业务平台高级业务	134
5.4 层次化保护控制系统	139
5.4.1 基本概念	139
5.4.2 就地层继电保护	140
5.4.3 站域层继电保护	143
5.4.4 广域层继电保护	146

第6章 典型工程应用分析——吉林永吉 220kV 新一代智能变电站应用实例

6.1 永吉变电站工程概况	150
6.1.1 永吉电网现状	150
6.1.2 工程设计难度	151

6.1.3	工程技术亮点	152
6.2	永吉变电站电气一次系统	156
6.2.1	永吉变电站建设规模	156
6.2.2	电气总平面布置	157
6.2.3	电气一次设备选型	161
6.3	永吉变电站二次系统配置	164
6.3.1	电气二次设备布置	164
6.3.2	电气二次系统配置	166
6.4	一体化业务平台深入应用	172
6.4.1	智能告警	172
6.4.2	告警直传、远程浏览	173
6.4.3	时间同步监测管理	173
6.5	智能变电站辅助工具应用	176
6.5.1	设计配置一体化工具	176
6.5.2	SCD 可视化及管控工具	177
6.6	工艺改进与完善	180
6.6.1	电容器储油池排水系统	180
6.6.2	挡土墙排水设施	180
6.6.3	装配式围墙的工艺配合	180
6.6.4	航空插头的合理使用	181
6.6.5	高寒地区预制舱外观设计	181

第7章 高寒地区应用技术

7.1	高寒地区预制舱设计与应用	184
7.1.1	预制舱结构设计	184
7.1.2	高寒地区二次预制舱有限元分析	186
7.1.3	高寒地区预制舱除雪技术	204

7.1.4	预制舱防腐蚀技术	208
7.1.5	高寒地区门廊设计	213
7.2	预制舱光伏发电系统和温控系统设计与应用	215
7.2.1	预制舱光伏发电系统	215
7.2.2	高寒地区二次预制舱温控设计	217
7.3	集成电子式电流、电压互感器的新型断路器设计与应用	230
7.3.1	隔离断路器高寒地区应用技术难题	230
7.3.2	集成电子式电流/电压互感器的新型断路器	232
7.3.3	集成 ECVT 的新型罐式断路器 EMC 提升方法	235
7.3.4	集成式电子式互感器带电校验及维护技术	239
7.4	新一代智能变电站土建创新优化	246
7.4.1	总平面布置优化	246
7.4.2	竖向设计优化	247
7.4.3	现场实施创新优化特点	249
参考文献		252



第1章

新一代智能变电站概述



随着能源危机的彰显和环境的日益恶化，利用清洁能源和可再生能源逐步替代化石能源的变革正在逐步进行。同时，科技的快速发展、电能在终端能源消费中的比例不断提高使得电力负荷日趋复杂，电力流由传统的单向流动向双向互动模式转变。变电站作为各种电源、用户的汇集点与接入点，是实现能源转化和控制的核心平台之一，新能源的大量接入和用户负荷的日益复杂化，要求变电站更加灵活可控、友好互动。

1.1 变电站作用与构成

变电站是电网中的重要节点，是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的电力设施。其基本功能主要为实现电力传输的转换与分配、实施电网监控和运行操作、提供电网运行与维护的关键信息三个方面。

变电站的基本构成包括一次系统、二次系统和辅助系统，其中一次系统由一次设备通过某种连接关系而构成，二次系统由二次设备组成。变电站一次设备直接实现电压变换、电能接受和分配、电力流向的控制和电压调整等功能，包括变压器、断路器、隔离开关、电压互感器和电流互感器等。二次设备是对一次设备进行控制、调节、保护和监测的设备，包括控制器具、继电保护和自动装置、测量仪表、信号器具等，它通过电压互感器和电流互感器与一次设备取得电的联系，是电力系统不可缺少的重要组成部分，实现运行人员与一次系统的联系监视、控制，使一次系统能够安全经济运行。变电站辅助系统是指为变电站一、二次设备运行提供支持、支撑和保障的设备系统以及针对某些不安全因素而设置的专用设备系统，包括站用交直流电源系统、视频监控系统、火灾报警系统、防盗保卫系统、环境监测系统等。

1.2 变电站发展历程

1882年7月26日，上海乍浦路电灯厂第一台12kW机组发电，点亮了外滩的15盏电弧灯，开启了我国的电力工业发展历程。100多年来，电力系统由直发直供的雏形发展成为现代电力系统，作为现代电力系统枢纽的变电站也经历了从无到有，从常规变电站到智能变电站的发展过程。

早期的传统人工操作变电站,以低电压、小容量、弱联系、人工运维为技术特征,变电站二次系统采用模拟仪器仪表,实行就地监控和人工操作,基本不具备自动化能力。变电站以 110kV 及 35kV 变电站为主,主变压器容量低,采用少油、多油断路器,变电站与调度联系弱,二次系统仅实现机电式保护、仪器仪表监视和人工就地操作,站内设备间无通信,通过电缆建立联系,调试运维工作很大,运维方式为事故情况下停电检修。

改革开放后,作为国民经济重要的基础产业,电力工业实现了历史性的大跨越。20 世纪 70 年代后变电站进入了以超高压、大容量、强联系、自动化运维为特征的自动化阶段。随着计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术的不断深入发展。我国变电站的发展先后经历了传统自动化变电站、综合自动化变电站、数字变电站和智能变电站。

1.2.1 常规变电站

常规变电站经历了早期传统变电站、综合自动化变电站和数字化变电站三个发展阶段。图 1-1 所示为 500kV 常规变电站。

1. 传统自动化变电站 (1970~1983 年)

传统自动化变电站保护设备以晶体管、集成电路为主,二次设备均按照传统方式布置,各部分独立运行。初步具备了一定的自动化能力,可以实现与调度之间遥测、遥信的功能。随着微处理器和通信技术的发展,远动装置的性能得到较大提高,传统变电站逐步增加了遥控、遥调,实现“四遥”功能。

传统变电站大多数采用常规的设备,尤其是二次设备中的继电保护装置采用电磁型或晶体管式设备,设备本身结构复杂、可靠性不高,而且又没有故障自诊断的能力,主控制室、继电保护室占地面积大,无法适应更高用电可靠性的要求。



图 1-1 500kV 常规变电站

2. 综合自动化变电站（1984～2005 年）

20 世纪 80 年代中期，我国开始研究变电站综合自动化技术，利用大规模集成电路组成的自动化系统，代替常规的测量和监视仪表、常规控制屏、中央信号系统和远动屏，用微机保护代替常规的继电保护屏，改变常规的继电保护装置不能与外界通信的缺陷，变电站进入综合自动化阶段。

综合自动化变电站利用计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术，对变电站二次设备的功能进行重新组合、优化设计，建成了变电站综合自动化系统，实现对变电站设备运行情况进行监视、测量、控制和协调的功能。自 1984 年我国第一套微机保护装置挂网运行、1987 年我国第一座综合自动化变电站——望岛 35kV 变电站投运以来，综合自动化系统先后经历了集中式、分散式、分散分层式等不同结构的发展，使得变电站设计更合理，运行更可靠，更利于变电站无人值班的管理。

通过综合自动化系统，变电站内各设备间实现了相互交换信息，数据共享，完成了对变电站运行监视和控制任务。变电站综合自动化替代了传统变电站常规二次设备，简化了变电站二次接线，降低了运行维护成本；同时变电站自动化的应用，也是提高经济效益、向用户提供高质量电能的一项重要技术措施。但综合自动化变电站仍存在两点不足：①功能重复以致设备投资重复，比如保护、监控、计量分别使用各自的变送器，容易造成数据不一致且增加运行、维护的难度；②系统内使用的通信规约不统一，不同的设备厂家使用不同的通信规约，在系统联调时需要进行不同程度的规约转换，加大了调试复杂性，同样也增加运行、维护的难度。

3. 数字化变电站（2006～2008 年）

变电站综合自动化技术虽已部分实现了计算机化和网络化，但是仍存在信息无法完全共享、设备之间缺乏互操作性而无法实现一体化系统等不足。2004 年国际电工委员会颁布了 IEC 61850 协议，成为了基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一国际标准，通过对设备的一系列规范化，使其形成一个规范的输出，实现系统的无缝连接。国家电网公司要求在 2006～2009 年完成基于 IEC 61850 的变电站自动化系统示范应用。行业内对该时期采用这一标准的变电站统称为“数字化变电站”。

数字化变电站是由智能化一次设备（电子式互感器、智能化开关等）和网络化二次设备分层（过程层、间隔层、站控层）构建，建立在 IEC 61850 标准和通信规范基础上，能够实现站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。其突出成就就是实现了变电站信息的数字采集和网络化信息交互，具有全站信息数字化、通信平台

网络化、信息共享标准化、高级应用互动化四个重要特征。数字化变电站体现在过程层设备的数字化，整个变电站内信息的网络化，以及断路器设备的智能化，而且设备检修工作逐步由定期检修过渡到以状态检修为主的管理模式。

数字化变电站与传统变电站自动化系统相比，不管是在各自的构成原件上还是在系统结构上都有很多差异。从元件方面，数字化变电站可以分为一次设备和二次设备两个层面，再加上一些新技术的应用，使得一、二次设备之间的联系更紧密；从结构方面，数字化变电站可分为三层——过程层、间隔层和站控层，每层之间通过以太网进行数据通信。网络进行了直接参与并且直接影响到了系统的可靠性。

1.2.2 智能变电站

数字化变电站从技术上来说，其突出成就是实现了变电站信息的数字采集和网络化信息交互，但这对于智能电网的需求来说，还是远远不够的。国家电网公司在建设统一坚强智能电网的变电环节中，提出建设智能变电站的目标。智能变电站是由先进、可靠、节能、环保、集成的设备组合而成，以高速网络通信平台为信息传输基础，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、协同互动等高级应用功能的变电站。图 1-2 所示为 500kV 智能变电站。

2009 年国家电网公司启动了两批智能变电站的试点工程建设，涉及 24 个网、省、直辖市公司，覆盖 66~750kV 不同电压等级，采用 AIS、GIS、HGIS 等设备，涵盖户外、户内、地下变电站等多种类型。截至 2012 年底，两批共 47 座智能变电站试点项目全部竣工投产。截至 2013 年底，我国累计投运智能变电站 843 座。



图 1-2 500kV 智能变电站

智能变电站与常规变电站相比最大差别体现在三个方面：①一次设备智能化；②设备检修状态化；③二次设备网络化。而智能变电站与数字化变电站有密不可分的联系。数字化变电站的部分技术是智能变电站发展的基础，智能变电站是数字化变电站发展的必然结果。基于 IEC 61850 标准的变电站网络通信是二者最大的共同点，二