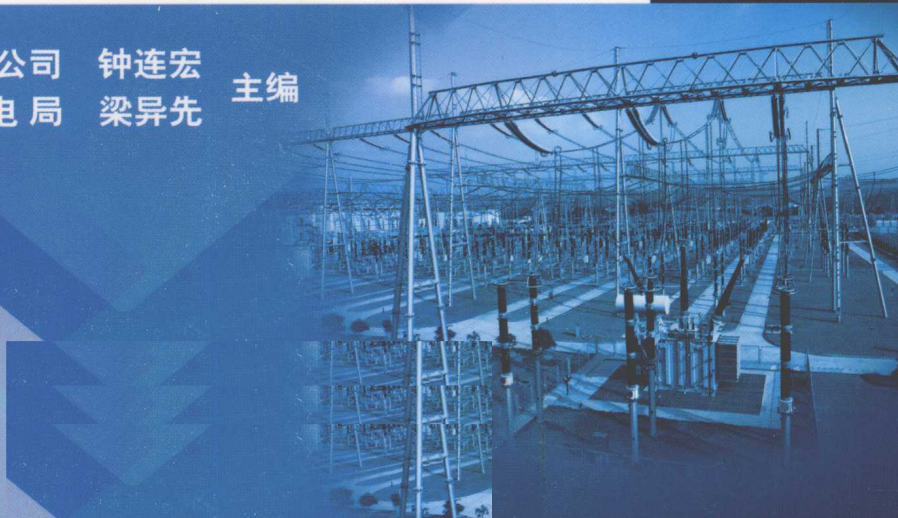


ZHINENG BIANDIANZHAN  
JISHU YU YINGYONG

# 智能变电站 技术与应用

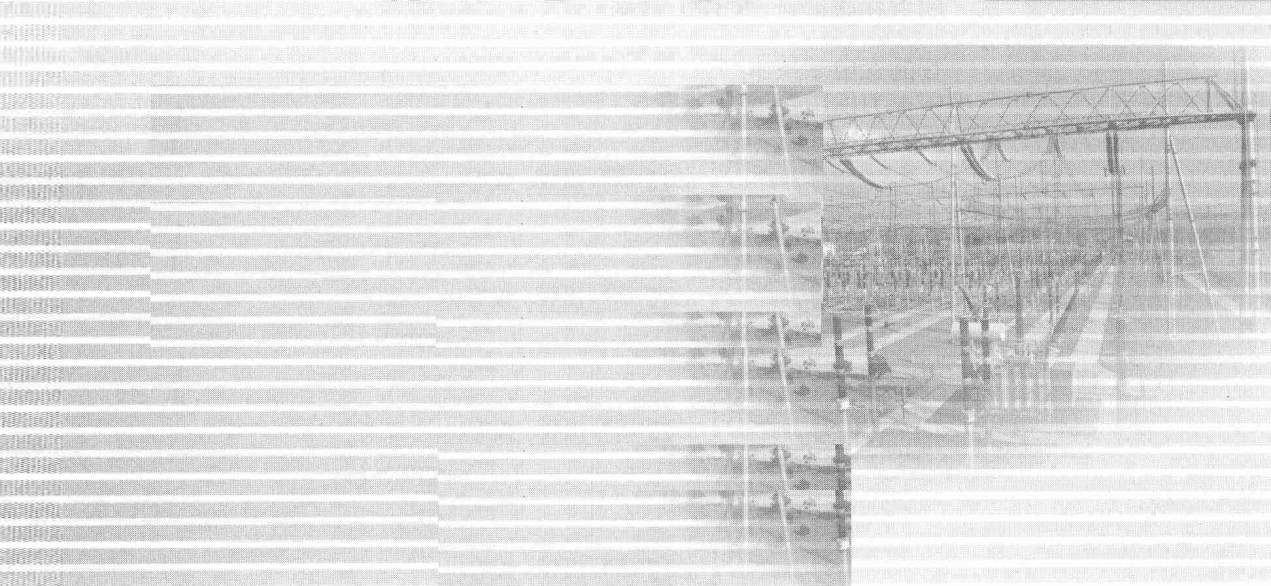
广东电网公司 钟连宏 主编  
茂名供电局 梁异先



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

ZHINENG BIANDIANZHAN  
JISHU YU YINGYONG

# 智能变电站 技术与应用



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书在借鉴国内外相关领域研究结果的基础上,结合茂名 110kV 文冲口变电站智能化改造成果和工程经验,对当前智能变电站特征、一次及二次设备的智能化技术、组网方案进行了总结和归纳,系统、全面地对智能变电站技术与应用进行介绍。全书共分 6 章,主要内容包括绪论、智能一次技术、智能二次技术、智能变电站网络化技术可靠性分析、文冲口智能变电站实例、智能变电站技术展望。

本书可供各电网(力)公司、电力科研部门及建设单位以及其他相关专业领域的管理和技术人员使用,也可供企事业单位和高等院校相关人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

智能变电站技术与应用 / 钟连宏, 梁异先主编. —北京:  
中国电力出版社, 2010.11  
ISBN 978-7-5123-1151-0

I. ①智… II. ①钟… ②梁… III. ①变电所—自动化技术 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 232721 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 12 月第一版 2010 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 12.75 印张 219 千字

印数 0001—1500 册 定价 32.50 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
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

# 《智能变电站技术与应用》

## 编 委 会

主	编	钟连宏	梁异先		
副	主 编	陈祖勋	高新华	刘之尧	余文辉
		段新辉	卢建刚	赵永发	梁晓兵
		陈炯聪	黄 曙	余南华	马 凯
参	编	刘 玮	朱广名	陈宏辉	杨颖安
		禩文健	贺 臣	吴国沛	黄奕俊
		张 弛	谭 喆	梁国坚	胡 巨
		曹丽娟	余东明	孙凤娇	文继峰
		傅培胜	邓忠华	钟朝丕	王治民



当前，建设“安全水平高、适应能力强、配置效率高、互动性能好、综合效益优”的坚强智能电网，已成为电网发展的必然趋势，是清洁能源发展、节能减排、能源结构调整的战略选择，也是推动低碳经济发展、促进经济发展方式转变的重大举措。与此同时，智能化电网发展热潮也对输变电建设提出新的要求。

智能变电站作为智能电网的重要组成部分，符合电力系统发展变革的最新方向，其建设和发展势在必行。目前，我国智能变电站的试点建设正在逐步开展，然而，对于智能变电站的概念和实现方式，仍尚未有完整、成熟的技术体系定义，相关技术和应用也处于试点建设探索阶段。

本书以智能变电站技术为主线，系统阐述了智能变电站的特征、智能一次技术、智能二次技术、应用实践与展望。在编写过程中吸收了广东电网公司茂名供电局 110kV 文冲口智能变电站技术改造项目的研究成果，对于目前尚未成熟的理论和技术，进行了适度的前瞻性描述。

智能电网的发展是一个渐进而漫长的过程，本书仅是对现有研究和实践成果的总结，目的是为今后智能变电站的建设提供一些经验借鉴。随着变电站智能化技术的深入研究及应用开发，智能变电站的建设模式必将进一步丰富、充实，形成一套成熟、稳定、可靠、先进的智能变电站技术体系。

本书由广东电网公司组织相关技术人员编写而成，钟连宏、梁异先担任主编。在本书的编写过程中，广东电网公司、广东电网公司电力科学研究院、广东电网公司茂名供电局等单位给予了大力支持。编写时还参阅了有关参考文献、国家标准、运行规程、技术说明书等。在此，对以上单位及有关作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2010年10月

# 目 录



## 前 言

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 变电站技术发展历程 .....	1
1.2 智能变电站概述 .....	2
1.3 智能变电站新技术特征 .....	3
<b>2 智能一次技术</b> .....	5
2.1 高压开关设备智能化技术 .....	5
2.2 电子式互感器技术 .....	19
2.3 电力变压器智能化技术 .....	38
2.4 一次设备在线监测与智能诊断技术 .....	45
<b>3 智能二次技术</b> .....	67
3.1 网络式保护技术 .....	67
3.2 间隔层双测控技术 .....	90
3.3 在线式五防技术 .....	94
3.4 网络通信监测分析技术 .....	101
3.5 智能变电站高级应用 .....	111
<b>4 智能变电站网络化技术可靠性分析</b> .....	133
4.1 过程层网络结构设计 .....	133
4.2 过程层网络安全可靠性分析 .....	138
4.3 过程层网络测试分析 .....	142
4.4 过程层网络分析结论 .....	161
4.5 小结 .....	162
<b>5 文冲口智能变电站实例</b> .....	164
5.1 文冲口变电站改造概述 .....	164
5.2 一次设备的智能化 .....	166
5.3 二次设备智能化 .....	168
5.4 现场运行情况 .....	177
5.5 文冲口智能化变电站模式特点 .....	178

5.6	技术亮点	180
5.7	小结	182
<b>6</b>	<b>智能变电站技术展望</b>	<b>183</b>
6.1	智能变电站新技术研究方向	183
6.2	智能变电站技术难点	184
6.3	智能变电站新技术发展前景	185
附录 A	文冲口变电站交换机端口划分及 110kV 过程层网络 VLAN ID 设置	186

# 绪 论

## 1.1 变电站技术发展历程

变电站是电力系统进行电压变换、电能集中与分配、电能流向控制及电压调整的重要场所，起联系发电厂和用户的纽带作用。作为电力系统中不可缺少的环节，变电站既是电压与无功的“调节控制中心”，又是电力系统重要的“信息源”和“信息中继站”。

20 世纪 90 年代以来，随着电子技术、信息技术、网络通信技术的发展，以微处理器为核心的智能化自动装置在电网控制领域得到了广泛应用，促进了变电站综合自动化技术的快速发展。传统变电站内原本分离的二次设备，通过功能组合和优化设计，实现了对站内主要设备和输配电线路的自动监视、测量、控制、继电保护以及与调度通信等有关的综合性的自动化功能。

按照国际流行惯例，变电站自动化系统需完成的功能有 63 种，归纳起来可分为 7 个功能组，即控制、监视功能，自动控制功能，测量表计功能，继电保护功能，与继电保护有关的功能，接口功能，系统功能。到目前为止，国内外变电站自动化系统的发展大致经历了集中式变电站、分散式变电站、集中和分散结合式变电站、数字化变电站、智能化变电站五个阶段。

(1) 集中式变电站综合自动化系统。20 世纪 90 年代初，在变电站控制室内将设备按不同功能归类划分成若干个独立系统，各系统分别采用计算机来实现自身的功能，被称为集中式变电站综合自动化系统。集中式结构并非指由一台计算机完成保护、监控等全部功能，也可由多台微型计算机各自完成相应功能。

(2) 分散式变电站综合自动化系统。20 世纪 90 年代中期，计算机价格大幅下降，价格已不再是制约计算机应用的主要因素。与此同时，集中式系统的可靠性、灵活性较低，无法满足大容量、高电压等级变电站的要求，变电站综合自动化开始向分散式结构发展。分散式结构采用多 CPU 并行处理多发事件，解决了集



中式结构中一个 CPU 计算处理的瓶颈问题，方便了系统的扩展和维护。

变电站信息的采集和控制被分为管理层、站控层和间隔层三级分层布置。其中间隔层按一次设备组织，具有测量、控制和继电保护部分，这些独立的单元装置直接通过总线接到站控层；站控层为数据集中处理和保护管理，担负着上传下达的重要任务；管理层则用于运行值班人员的各项操作。

(3) 集中和分散结合式变电站综合自动化系统。集中与分散结合式结构介于集中式与分散式两种结构之间，它采用面向电气间隔的方法进行设计，各间隔单元的设备相互独立，仅通过光纤或电缆由站控机进行管理和信息交换。该种结构集成了分散式结构的优点，简化了变电站二次部分的配置，适用于各种电压等级的变电站中，是当前主流的结构方式。

(4) 数字化变电站。21 世纪初期，随着电子式互感器、智能开关单元等智能一次设备技术的应用以及 IEC 61850 标准的推广，数字化变电站开始应用于电力系统中。从某种程度上讲，数字化变电站是基于 IEC 61850 标准且实现信息统一建模，以网络通信技术为依托，在变电站的运行过程中实现信息采集、处理、传输部分或整体数字化应用的系统。其最终目的是实现站内各层间的无缝通信，从而最大限度地满足信息共享和系统集成的要求。

(5) 智能化变电站。随着国际国内的经济形势、能源形势发生深刻地变化，智能电网成为目前最炙手可热的研究方向，世界各国都投入大量人力、物力进行深入研究。智能变电站作为智能电网技术的支撑，自然成为人们关注的焦点，它在数字化变电站的架构上，建立全站统一的信息采集、传输、分析、处理平台，使变电站具备自动运行控制、设备状态检修、运行状态自适应、智能分析决策等高级应用功能，从而大大提高了管理和运行维护水平。

智能变电站是数字化变电站发展的高级阶段，也是未来变电站技术发展的必然方向，本书将在后面章节就智能变电站的相关技术及应用实例进行重点介绍。

## 1.2 智能变电站概述

进入 21 世纪，欧美等发达国家从发展清洁能源、应对气候变化、保障能源安全、促进经济增长等需要出发，相继提出发展智能电网，其中部分国家已经把大力发展智能电网提升为国家战略。我国也高度重视智能电网的建设，温家宝总理在 2010 年政府工作报告中强调：“大力开发低碳技术，推广高效节能技术，积极发展新能源和可再生能源，加强智能电网建设。”由此可见，智能电网有着强大的

生命力和巨大的潜力，大力发展智能电网技术已成为世界各国的一致共识。

智能变电站作为建设智能电网的重要基础和支撑，其研究价值和现实意义十分显著。智能变电站是指由先进、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。

智能变电站对于硬件、软件同样有自身的需求。对于软件来说，智能化意味着自动化程度更高，可将工作人员从大量繁复、易出错的工作中解放出来；更聪明，对于系统运行状态并不是简单的通知运行人员，而是可以从系统采集数据中判断自身所处状态，并可以对状态进行闭环的处理；更灵活，系统部署方便、系统规模可调整，与其他系统的集成方便。

通过以上分析，传统变电站的高压一次设备和二次综合自动化系统将不再适应该种新型变电站的发展要求。电网侧高压设备的自动信息获取、监测、控制等功能需要借助于智能化一次设备，并引入在线监测、设备自诊断等技术；智能控制、在线分析决策等高级应用则在客观上要求开发应用更加智能化的二次设备和二次新技术。

### 1.3 智能变电站新技术特征

智能变电站的概念和内涵是不断发展的，并伴随智能电网技术的进步而扩充和完善。与传统的变电站不同，它是以设备智能化、信息标准化、控制智能化及互动技术为特征的新型变电站模式，其建设思路与此前也有了本质地区别，并具有以下新技术特征：

(1) 智能变电站以绿色环保、可持续发展为根本出发点。在变电站的设计、建设工程中，强调资源节约、环境友好、低碳节能等建设理念。

(2) 智能变电站内信息高度共享，采用了智能技术、互动技术等高级应用。智能变电站能完成比传统变电站范围更宽、层次更深、结构更复杂的信息采集和信息处理，信息交换和融合更方便快捷，控制手段更灵活可靠。

(3) 智能变电站扩展性强，便于升级和维护。智能变电站具有信息数字化、功能集成化、结构紧凑化、状态可视化等特征，采用国际通用的通信规约，便于设备更换及升级改造。

(4) 新型保护和控制技术大量应用。智能电网的建设为继电保护及测控装置



的发展提供了广阔空间，保护测控可以获得更加全面的信息，控制手段将更加灵活和可靠。

经过几年的发展，数字化变电站技术已经十分成熟，业界也出台了较为完善的技术规范。大量现场工程的实践，则积累了许多宝贵的运行数据和建设经验。以数字化变电站为支撑的智能变电站技术，借助站内统一的数据信息平台，引入设备状态检修、智能诊断、运行状态自适应、智能分析决策等一系列高级应用功能，大大提高了变电站的管理和运行维护水平，确保安全稳定运行。

# 智能一次技术

智能一次设备是指利用传感器、微型处理器、数字通信系统等技术,对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监测、控制,并通过高级应用软件把获取的数据进行分析、挖掘,实现高压设备的测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化,从而优化电网的运行和管理。

在智能变电站领域,智能一次设备的研究热点包括智能组件、智能高压开关、智能变压器、电子式互感器等。其中,智能组件是指若干智能电子装置的集合,通常安装在宿主设备旁边,用以承担与宿主设备相关的测量、控制和监控等功能;智能高压开关技术是建立在微电子技术、信息传感技术、计算机控制技术、伺服技术、驱动技术及精密机械技术等高度发展之上的综合技术;智能变压器是由变压器本体、内置或外置于变压器本体的传感器和控制器等组成,实现对变压器的测量、控制、计量、监测和保护的智能组件;电子式互感器有别于传统电磁式互感器,是就地实现变电站运行实时信息数字化的主要设备;在线监测与智能诊断技术利用传感器对关键一次设备的运行状况进行实时感知、监视、分析、预测、故障诊断和评估,进而实现变电站一次设备可观测、可控制和自动化。

智能一次设备的应用,使人们由以往关注设备可靠性转变为关注电网可靠性,大大提高了电网运行的智能化水平,降低运行管理成本。同时,还可以实现设备的寿命预测,从电网的大视角进行设备周期成本管理。本章针对现阶段变电站关键一次设备的智能化技术进行详细介绍,但由于一次设备的范畴较广,不代表智能一次技术的全部。

## 2.1 高压开关设备智能化技术

### 2.1.1 高压开关设备现状

高压开关设备是电力系统中非常重要的输配电设备,通常指用于一次设备



(包括发电厂、变电站、输配电线路和工矿企业等用户)操作和保护的用户内或户外交流断路器和隔离开关设备。它可根据电网运行的实际需要有一部分电力设备投入或退出运行,并在电力设备发生故障时将其从电网中快速切除,保证电网中无故障部分的正常运行及设备和运行维护人员的安全。

高压开关设备的安全、可靠运行对电力系统的安全、有效运行具有十分重要的意义,按其绝缘方式可分为3种类型:①空气绝缘的敞开式开关设备(AIS);②气体绝缘金属封闭开关设备(GIS);③混合式气体绝缘开关设备(HGIS)。

#### 2.1.1.1 空气绝缘的敞开式开关设备

空气绝缘的敞开式开关是变电站中应用最为普遍的设备,它由单一功能的独立单元组成,组合了断路器、隔离开关、接地开关等设备,各单元设备之间采用架空线路连接,采用单独的支撑结构,利用空气绝缘。AIS设备的工程应用如图2-1所示。

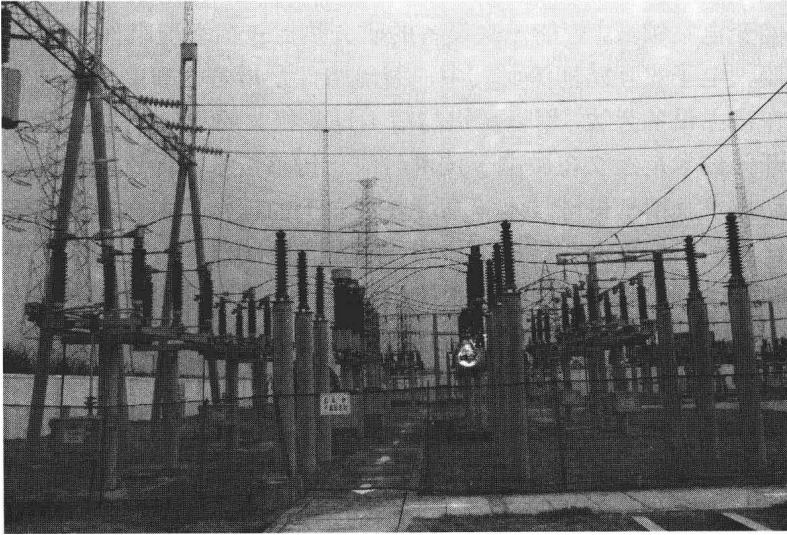


图 2-1 AIS 设备在变电站的应用

#### 2.1.1.2 气体绝缘金属封闭开关设备

气体绝缘金属封闭开关设备利用 SF<sub>6</sub> 气体优良的绝缘及灭弧性能,将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器(TA)、电压互感器(TV)、避雷器等多种设备以及主母线、分支母线等组合在一个全密封的金属接地外壳中,具有运行可靠性高、占地面积小等优点。世界上第一套 GIS 于 1967 年在德国投入运行,由西门子公司制造,采用油断路器,分相布置。目前,在我国变电站中 GIS 设备应用

较为广泛，特别是在大城市采用常规空气绝缘设备供电将愈加不可行，因而需要采用更为紧凑的户内 GIS 设备。GIS 设备的工程应用如图 2-2 所示。



图 2-2 GIS 设备在变电站的应用

#### 2.1.1.3 混合式气体绝缘开关设备

混合式气体绝缘开关是一种介于常规空气绝缘开关设备和气体绝缘开关设备之间的新型高压开关设备。HGIS 的结构与 GIS 基本相同，把断路器、隔离/接地组合开关、电流互感器、电压互感器等集合成为一个模块，但它不包括母线设备。其优点是母线不装于 SF<sub>6</sub> 气室，是外露的，因而接线清晰、简洁、紧凑，安装及维护检修方便，运行可靠性高。自从上个世纪末 ABB 公司首先推出了 HGIS 产品（其称为 PASS）以来，三菱公司、西门子公司、ALSTOM 公司也陆续推出了 MITS、HIS、GIM、HM 等产品。2002 年 12 月，国家电力公司在广东珠海针对 ABB 公司的 PASS 召集全国电力系统有关专家召开技术研讨会，并于 2003 年 3 月发文（生产输电函 [2003] 28 号）明确在国内推广使用此类产品。HGIS 设备典型工程应用案例如图 2-3 所示。

#### 2.1.1.4 几种开关设备的比较

AIS 设备在我国变电站中大量采用，但其在使用过程中存在着诸多缺点：AIS 设备以瓷套作为设备外壳及外绝缘，虽然优化了投资成本，但占地面积大，且因设备外露部件多，易受气候环境条件的影响，不利于系统的安全及可靠运行。

GIS 在减少占地面积方面具有明显优势，而且 GIS 的功能元件封闭在气体绝缘壳体内，因而抵御外界环境影响能力较强。GIS 是属于可靠性高、免（少）维

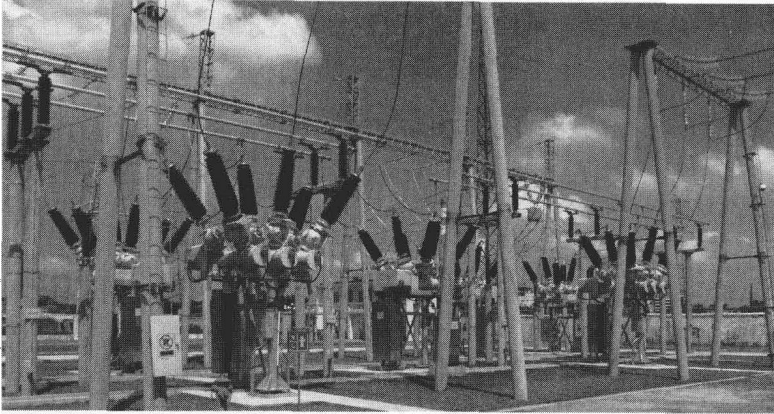


图 2-3 GIS 设备在变电站的应用

护的开关设备，它占地面积最小，但由于配置大量的金属封闭母线，使得造价昂贵，而且现场施工周期长，安装调试费用高。

GIS 的造价介于 AIS 和 GIS 之间。相对 GIS，HGIS 只将一相断路器、隔离/接地开关、TA 等集成为一组模块，整体封闭于充有绝缘气体的容器内，而对发生事故几率极低的母线，则采用常规方式（敞开式）进行布置，也就是说，HGIS 是一种不带充气母线的相间空气绝缘的单相 GIS，因而，使得现场结构清晰、简洁、紧凑，安装和维护方便，运行可靠性高。相对 AIS，HGIS 将隔离开关和接地开关封闭在充气的壳体内，这样就避免了户外隔离开关经常出现的绝缘子断裂、操作失灵、导电回路过热、腐蚀等四大问题。又由于隔离开关与接地开关合一简化了结构，大大缩小了尺寸。这种三工位隔离开关与接地开关，不存在常规隔离开关与接地开关间各种可能的误操作，因此可省略它们之间的电气操作联锁机构，使运行的可靠性大大提高。表 2-1 详细比较了这三类开关设备的各种性能。

表 2-1 AIS、GIS 及 HGIS 设备各种性能比较

比较项目	AIS	GIS	HGIS
运行安全可靠	带电体均暴露在空气中，受环境影响大，可能受污染造成外绝缘闪络	带电体密封在金属外壳内，受到环境影响小	较多带电体密封在金属外壳内，受到环境影响较小
维修工作量	维护设备多，工作量大，检修周期短，计划停电时间长	维护设备少，工作量小，计划停电时间较短	维护设备少，工作量小，计划停电时间较短
占地面积	最大	最小	较小（约为 AIS 占地面积的 60%）

续表

比较项目	AIS	GIS	HGIS
土建基础工作量	较大	最大	最小
对地质的要求	较高	最高	最小
施工安装	设备品种多, 型式复杂, 施工周期长, 安装调试费用高	施工周期长, 安装调试费用高	施工周期最短, 安装调试费用低
扩建	扩建复杂, 不完整串扩建成完整串, 需要倒改接线	扩建复杂	扩建方便, 在一个串内扩建, 如布置合理不需采用同一厂家产品
对环境的污染	大	小	小
抗震能力	差	差	强
费用	一次投资最小, 但在运行寿命内, 运行、维护和中断供电损失的总费用高	一次投资最大, 但在运行寿命内, 运行、维护和中断供电损失的总费用低	一次投资较大, 但在运行寿命内, 运行、维护和中断供电损失的总费用低

由表 2-1 可以看出, HGIS 在三类开关设备中具有较大的优越性。如图 2-4 所示的可靠性特征曲线, 选用 AIS 或 GIS 作为一次设备的变电站, 在一年内的早期故障多发期内, 事故率比 HGIS 设备高; 在设备的技术寿命期, AIS 设备的故障率较高, GIS 设备和 HGIS 设备的故障率相对较低, 运行相对比较稳定。

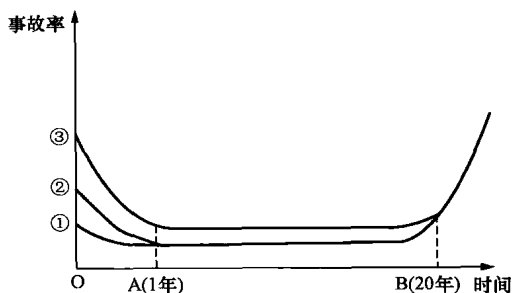


图 2-4 AIS、GIS、HGIS 设备的可靠性特征曲线

①—HGIS; ②—GIS; ③—AIS

注: O~A 段: 早期故障多发期;

O~B 段: 技术寿命期。

### 2.1.2 高压开关设备的智能化

智能变电站技术客观上要求采用智能化的高压开关设备, 根据 IEC 62063: 1999 中的定义, 智能开关设备是指具有较高性能的开关设备和控制设备, 配有电子设备、传感器和执行器,

不仅具有开关设备的基本功能, 还具有附加功能 (尤其在监测和诊断方面)。智能化开关综合应用了微电子、计算机和光纤通信等技术, 按照 IEC 61850 标准科学设计, 很好地解决了传统开关设备存在的问题, 实现了与智能变电站过程层<sup>①</sup>设

① 基于数字化变电站基础的智能变电站设备, 根据 IEC 61850 体系可划分为站控层、间隔层、过程层三层设备。





备的连接。

目前,我国智能变电站的建设已经步入一个快速发展阶段,开关设备的智能化大多采用传统开关设备外配智能终端的方式实现,即把智能终端集成在断路器的“贴身”就地控制柜中,柜体介于断路器和主控室之间,以数据接口和网络通信方式实现断路器操作与控制,并可以满足 DL/T 5163—2001 中 3~5ms 的连接要求。结合在变电站中使用的 AIS、GIS 和 HGIS 设备,在应用于智能变电站建设和运行时也各具特点。

#### 2.1.2.1 空气绝缘敞开式开关设备(AIS)

在已经投运的智能变电站中,AIS 设备被大量应用。但在运行的过程中仍存在不足,主要包括以下几个方面:

(1) 设备的总体安装、调试过程复杂。由于一次设备都是来自不同的厂家,在安装、调试二次系统时,这些厂家都要到达现场;一次设备的安装都是由电力公司的建设单位完成的,这些一次设备与二次设备之间的连接都必须由电力设计院出具详细图纸才能够完成。因此,设备的调试必须在现场全部安装完成之后才可进行。

(2) 电子式电流/电压互感器采集器单元的工作环境属于高电压状态,供电电源必须使用非导电体供给,电源系统复杂,容易出现故障。

(3) 由于一次设备是分散安装的,因此,通信及控制系统呈现分散布置状态,使用的光缆、采样控制数量与一次设备数量一致。

(4) 二次部分与常规系统相比,造价有明显增加。

(5) 由于设备是由不同厂家供货的,因此设备维护时要统一地进行组织协调;当变电站设备发生异常时,首先是对异常设备的判断,这样就需要有一次、二次设备专业知识扎实、经验丰富的技术人员去处理,其次还需一次、二次设备各厂家全部到达现场进行处理,使得故障处理过程较为复杂。

#### 2.1.2.2 混合式气体绝缘开关设备(HGIS)

用于数字化变电站建设的 HGIS 设备具有以下几个特点:

(1) 设备的总体安装、调试过程比较简单。原因在于一次设备均来自同一厂家,并且是集成化制造,所以在安装和调试一次、二次设备时都是在工厂统一完成的。从某种程度上讲,采用 HGIS 建设的数字化变电站是在工厂制造出来的,运行人员可以直接在工厂对一次、二次整体设备进行预先验收工作。

(2) 二次部分与常规系统相比造价有明显下降。

(3) 一次设备属于组合安装,因此通信及控制系统呈现集中布置状态,光