

刘洪正 主编

高压组合电器



GAOYA ZUHE DIANQI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014033464

TM51
07

GAOYA ZUHE DIANQI

高压组合电器

刘洪正 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



北航

C1722025

TM51
07

内 容 提 要

本书介绍了高压组合电器的相关知识, 主要内容包括高压组合电器概述、高压组合电器基本元件、高压组合电器设计安装、高压组合电器内部绝缘、高压组合电器试验技术、高压组合电器的运维与检修、高压组合电器常见故障及处理措施、智能技术在高压组合电器上的应用等。

本书内容理论联系实际, 既可供电力系统从事运行维护和管理的相关人员使用, 也可供高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压组合电器/刘洪正主编. —北京: 中国电力出版社, 2014.3

ISBN 978-7-5123-5432-6

I. ①高… II. ①刘… III. ①高压电器—组合电器 IV. ①TM51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 002710 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 3 月第一版 2014 年 3 月北京第一次印刷

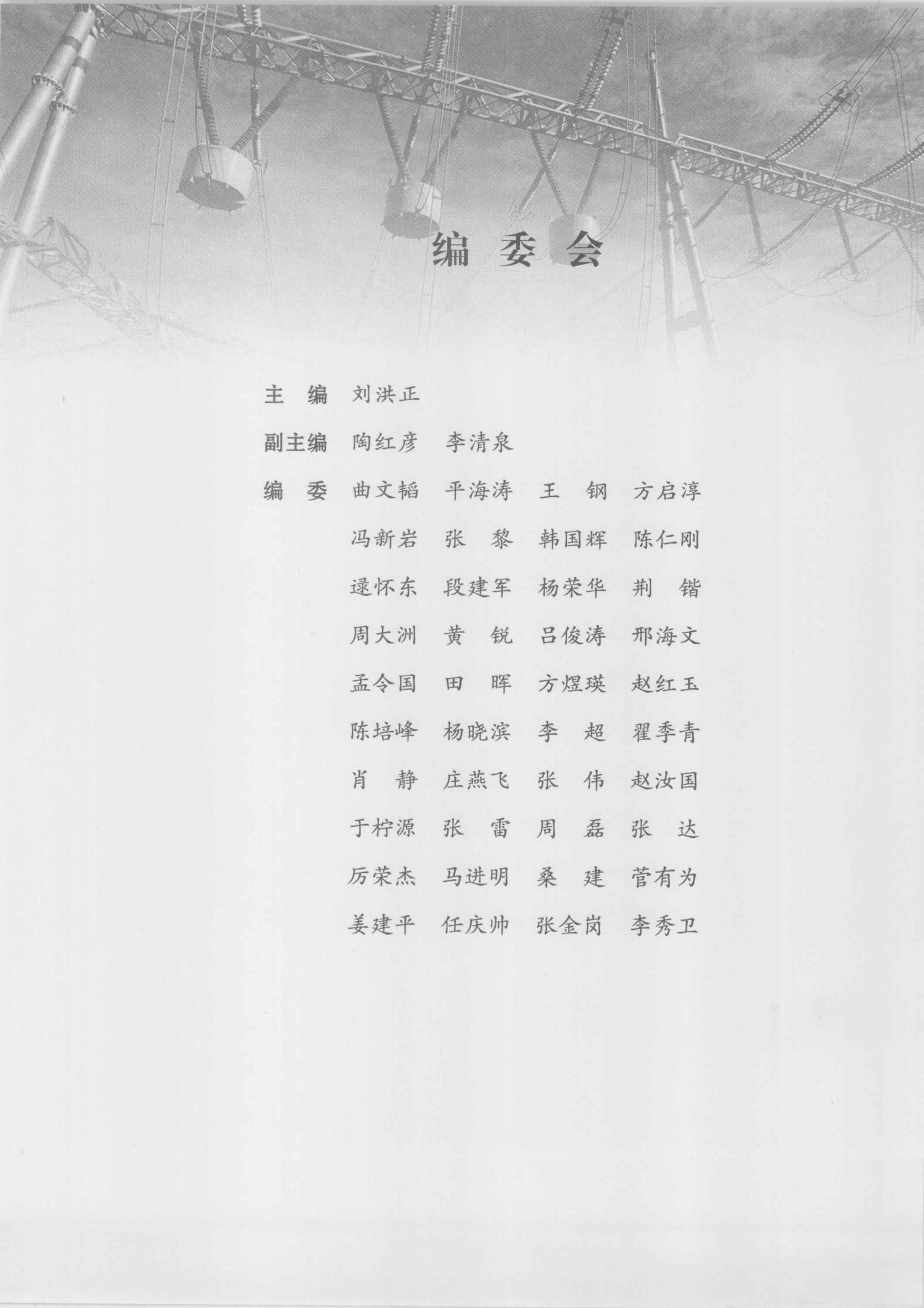
787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 326 千字

印数 0001—3000 册 定价 58.00 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



编委会

主 编 刘洪正

副主编 陶红彦 李清泉

编 委 曲文韬 平海涛 王 钢 方启淳

冯新岩 张 黎 韩国辉 陈仁刚

逯怀东 段建军 杨荣华 荆 锴

周大洲 黄 锐 吕俊涛 邢海文

孟令国 田 晖 方煜瑛 赵红玉

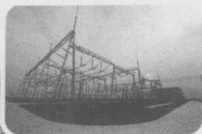
陈培峰 杨晓滨 李 超 翟季青

肖 静 庄燕飞 张 伟 赵汝国

于柠源 张 雷 周 磊 张 达

厉荣杰 马进明 桑 建 管有为

姜建平 任庆帅 张金岗 李秀卫



高压组合电器

序 ◀

癸巳年中秋节的前夕，收到一本《高压组合电器》书稿和主编刘洪正同志的一封热情洋溢、话语恳切的信函。在此后的一周多的时间里，我每晚的茶余饭后，便是仔细翻阅《高压组合电器》。

所谓高压组合电器，学名是指气体绝缘金属封闭开关设备（GIS 或 HGIS）。20 世纪 60 年代中期，高压组合电器推向市场，1965 年世界第一套组合电器在美国投运。日本也是在 1960 年开始研究，1965 年第一台 77kV 电压等级的 SF₆ 断路器投入运行，1968 年研制出分相式 SF₆ 封闭式组合电器。组合电器的投入运行，提高了变电站安全性能，但是那时的组合电器还不能与现在的组合电器相提并论。我国自行研制生产的第一套 126kV GIS 于 1973 年在湖北某水电站投入运行。20 世纪 80 年代起，国内高压开关制造企业通过引进国外 SF₆ GIS 制造技术以及合资合作生产，迅速大幅度提升了 GIS 的技术水平。我国的电网建设，自 20 世纪 90 年代开始选用 GIS，特别是三峡电力及外送工程建设，开始大量选用 500kV GIS 产品。2000 年以来，我国的 GIS 制造技术得到了长足的发展，GIS 产品得到了广泛应用。2006 年以来，在中国西北地区 750kV 交流电网的建设中，我国高压开关制造企业研制生产了 800kV GIS；2009 年 1 月 6 日，世界上第一条商业化运行的特高压输电线路，1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程在我国正式建成并投入使用，是目前世界上运行电压最高的组合电器产品。为国际 GIS 技术在特高压领域的突破和发展做出了巨大的贡献。

高压组合电器具有结构紧凑、运行可靠、环境影响小、维护工作量少等诸多优点。并且所占用的土地只有常规式的 15%~35%，这对我国节约土地的国策是非常有利的，十分合乎我国国情。

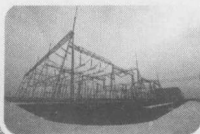
随着大量高压组合电器的应用，电力系统的现场维护工程师以及电气工程学科的学生都希望掌握高压组合电器的知识。遗憾的是到目前为止，国内、外还没有一本系统介绍高压组合电器的专业书籍。国网山东检修公司、国网平高电气集团公司、山东大学电气工程学院等单位工程技术人员和教师根据多年来从事高压组合电器设计、制造、安装、运维以及高校教学经验，借鉴国内、外有关的资料，编写本书。本书理论与实践并重，内容系统、详实，可为高压电网运维人员、电器设备厂商技术人员等了解掌握高压组合电器知

识、提高检修运维能力、拓展前沿知识提供参考，是国网系统专业人员培训的首选教材，也是大专院校相关专业师生学习掌握高压组合电器知识的极好参考书。

国家电网技术培训学院院长、教授：

赵建国

2013年9月19日



高压组合电器

前言 ◀

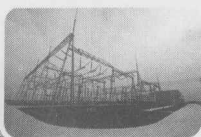
高压组合电器以其结构紧凑、占地空间小、维护工作少等优点在电力系统得到广泛应用。为使电力系统从事运行维护和管理的人员充分掌握组合电器知识、提高检修运维能力、拓展前沿知识，同时也为了让大专院校相关专业师生了解组合电器，国网山东检修公司同国网平高电气集团公司、山东大学电气工程学院合作，进行编写了本书。

本书由刘洪正主编。全书共分八章，第一章介绍高压组合电器概况、分类、型式及发展历程，由王钢、平海涛编写；第二章介绍高压组合电器的基本元件、结构及电气性能，由方启淳、韩国辉编写；第三章介绍高压组合电器设计安装，由陶红彦编写；第四章介绍高压组合电器内部绝缘，由李清泉编写；第五章介绍高压组合电器试验技术，由冯新岩编写；第六章介绍高压组合电器的运维与检修技术，由曲文韬编写；第七章介绍高压组合电器常见故障及处理措施，由荆锴、陈仁刚编写；第八章介绍智能技术在组合电器上的应用，由张黎编写。在本书的编写过程中，参考了大量资料、文献，在此对这些资料和文献的作者表示感谢。

由于编者水平所限，在本书编写过程中，难免会出现一些疏漏和不当之处，诚盼读者指正。

编者

2013年9月



目 录 ◀

序

前言

第一章 高压组合电器概述	1
第一节 高压开关设备简介	1
第二节 高压组合电器基本概念	6
第三节 高压组合电器分类	8
第四节 高压组合电器型式	11
第五节 高压组合电器发展历程	12
第二章 高压组合电器基本元件	18
第一节 断路器	18
第二节 隔离开关	23
第三节 接地开关	28
第四节 电流互感器	30
第五节 电压互感器	34
第六节 避雷器	38
第七节 母线	40
第八节 出线装置	44
第九节 机构	49
第十节 汇控柜	59
第三章 高压组合电器设计安装	69
第一节 高压组合电器工程设计	69
第二节 高压组合电器的组装技术	74
第四章 高压组合电器内部绝缘	85
第一节 SF ₆ 气体的绝缘特性	85
第二节 其他绝缘部件	96
第三节 GIS 中的 VFTO 现象	102
第五章 高压组合电器试验技术	109
第一节 GIS 停电试验	109

第二节	带电检测技术	124
第三节	在线监测技术	135
第六章	高压组合电器的运维与检修	142
第一节	GIS 投运前的验收	142
第二节	高压组合电器巡视检查	144
第三节	高压组合电器检修目的、项目和周期	146
第四节	高压组合电器检修前准备	148
第五节	GIS 检修工艺及注意事项	153
第六节	SF ₆ 气体处理技术	180
第七章	高压组合电器常见故障及处理措施	188
第一节	GIS 漏气故障及处理措施	188
第二节	GIS 内部放电故障及处理措施	194
第三节	水分含量过高及处理措施	200
第四节	异响和振动故障及处理措施	203
第五节	GIS 异常发热缺陷	210
第八章	智能技术在高压组合电器上的应用	211
第一节	智能高压组合电器概述	211
第二节	GIS 的智能化设计	212
第三节	智能化断路器	215
第四节	新型电子式互感器	217
第五节	传感器接入技术与计算机检测、控制系统	219
参考文献		222

高压组合电器概述

第一节 高压开关设备简介

一、高压开关设备的额定电压

高压开关设备在规定的正常使用条件下，能够连续运行的最高电压称为高压开关设备的额定电压。根据 GB/T 11022《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》的规定，高压开关设备的额定电压等于设备所在系统的最高电压。对应于 66kV 及以上高压、超高压和特高压交流电力系统，其标称电压和高压开关设备的额定电压如表 1-1 所示。

表 1-1 电力系统标称电压和高压开关设备额定电压

							kV
电力系统标称电压	66	110	220	330	500	750	1000
开关设备额定电压	72.5	126	252	363	550	800	1100

高压开关设备的额定电压决定了其额定绝缘水平。除在额定电压（系统最高电压）能够连续运行，高压开关设备还应耐受高于额定电压的各种过电压作用，如 1min 工频耐受电压，雷电冲击耐受电压（峰值）和操作冲击耐受电压（峰值，330kV 及以上），而不会导致绝缘的损坏。

DL/T 593—2006《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》、GB 311《高压电器的绝缘配合》等标准都对各电压等级高压电器的绝缘水平规定了具体数值。DL/T 593—2006 关于高压开关设备额定绝缘水平的规定值，用于我国各电压等级电力系统的高压开关产品，其额定绝缘水平必须满足表 1-2、表 1-3 所规定的数值。

表 1-2 额定电压范围 I 的额定绝缘水平

额定电压 U_r (kV, 有效值)	额定工频短时耐受电压 U_d (kV, 有效值)		额定雷电冲击耐受电压 U_t (kV, 峰值)	
	通用值	隔离断口	通用值	隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3.6	25/18	27/20	40/20	46/23
7.2	30/23	34/27	60/40	70/46
12	42/30	48/36	75/60	85/70
24	65/50	79/64	125/95	145/115
40.5	95/80	118/103	185/170	215/200

续表

额定电压 U_r (kV, 有效值)	额定工频短时耐受电压 U_d (kV, 有效值)		额定雷电冲击耐受电压 U_p (kV, 峰值)	
	通用值	隔离断口	通用值	隔离断口
72.5	140	180	325	385
	160	200	350	410
126	185	$185\left(+\frac{50}{70}\right)$	450	$450\left(+\frac{70}{100}\right)$
	230	$230\left(+\frac{50}{70}\right)$	550	$550\left(+\frac{70}{100}\right)$
252	395	$395\left(+\frac{100}{145}\right)$	950	$950\left(+\frac{140}{200}\right)$
	460	$460\left(+\frac{100}{145}\right)$	1050	$1050\left(+\frac{140}{200}\right)$

- 注 1 根据我国电力系统的实际, 本表中的额定绝缘水平与 IEC 60694: 2002 表 1 (a) 的额定绝缘水平不完全相同。
- 2 本表中项 (2) 和项 (4) 的数值取自 GB 311.1, 斜线下的数值为中性点接地系统使用的数值, 项 (2) 和项 (3) 斜线下的数值亦为湿试时的数值。
- 3 126kV 和 252kV 项 (3) 中括号内的数值分别为 $0.7U_r/\sqrt{3}$ 和 $1.0U_r/\sqrt{3}$, 是加在对侧端子上的工频电压有效值; 项 (5) 中括号内的数值分别为 $0.7U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$ 和 $1.0U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值。括号内的数值用户可根据需要选用。
- 4 隔离断口是指隔离开关。负荷—隔离开关的断口以及起联络作用或作为热备用的负荷开关和断路器的断口。

表 1-3

额定电压范围 II 的额定绝缘水平

额定电压 U_r (kV, 有效值)	额定短时工频耐受电压 U_d (kV, 有效值)		额定操作冲击耐受电压 U_d (kV, 峰值)			额定雷电冲击耐受电压 U_p (kV, 峰值)	
	相对地 及相间	开关断口及 隔离断口	相对地	相间	开关断口及 隔离断口	相对地 及相间	开关断口及 隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
363	460	$460\left(+\frac{150}{210}\right)$	850	1275	800 (+295)	1050	$1050\left(+\frac{205}{295}\right)$
	510	$510\left(+\frac{150}{210}\right)$	950	1425	850 (+295)	1175	$1175\left(+\frac{205}{295}\right)$
550	680	$680\left(+\frac{220}{315}\right)$	1175	1760	1050 (+450)	1550	$1550\left(+\frac{315}{450}\right)$
	740	$740\left(+\frac{220}{315}\right)$	1300	1950	1175 (+450)	1675	$1675\left(+\frac{315}{450}\right)$
800	900	$900\left(+\frac{320}{460}\right)$	1425	2420	1175 (+650)	1950	$1950\left(+\frac{455}{650}\right)$
	960	$960\left(+\frac{320}{460}\right)$	1550	2480	1300 (+650)	2100	$2100\left(+\frac{455}{650}\right)$
1100	1100	$1100\left(+\frac{445}{635}\right)$	1800	2700	1675 (+900)	2400	$2400\left(+\frac{630}{900}\right)$

- 注 1 根据我国电力系统的实际, 本表中的额定绝缘水平与 IEC 60694: 2002 表 2 (a) 的额定绝缘水平不完全相同。
- 2 本表中项 (2)、项 (4)、项 (5)、项 (6) 和项 (7) 根据 GB 311.1 的数值提出。
- 3 本表中项 (3) 括号内的数值分别为 $0.7U_r/\sqrt{3}$ 和 $1.0U_r/\sqrt{3}$, 是加在对侧端子上的工频电压有效值; 项 (6) 括号内的数值为 $1.0U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值; 项 (8) 括号内的数值分别为 $0.7U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$ 和 $1.0U_r\sqrt{\frac{2}{3}}$, 是加在对侧端子上的工频电压峰值。
- 4 本表中 1100kV 的数值是根据我国电力系统的需要而选定的数值。

二、高压开关设备产品的分类

高压开关设备产品按其采用的绝缘方式,可分为空气绝缘的敞开式开关设备、气体绝缘金属封闭开关设备、混合(绝缘)技术开关设备。

1. 空气绝缘的敞开式开关设备 (air insulated switchgear, AIS)

属于此类开关设备的有瓷柱式断路器 (P-GCB, 如图 1-1 所示), 罐式断路器 (T-GCB, 如图 1-2 所示), 与它们安装在一起的瓷柱式隔离开关 (如图 1-3 所示) 和接地开关, 其中瓷柱式断路器和罐式断路器的产品型号以 LW 为表征; 与它们安装在一起的瓷柱式隔离开关的产品型号以 GW 为表征, 接地开关的产品型号以 JW 为表征。

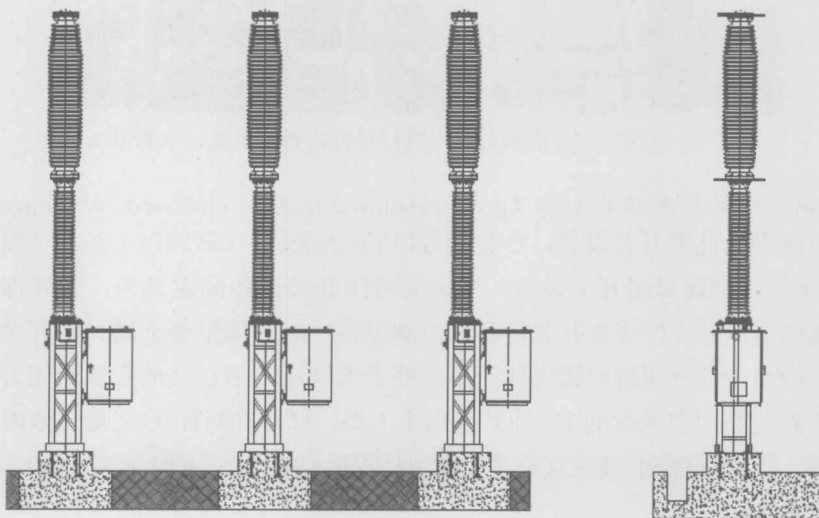


图 1-1 LW-252 瓷柱式六氟化硫断路器 (P-GCB)

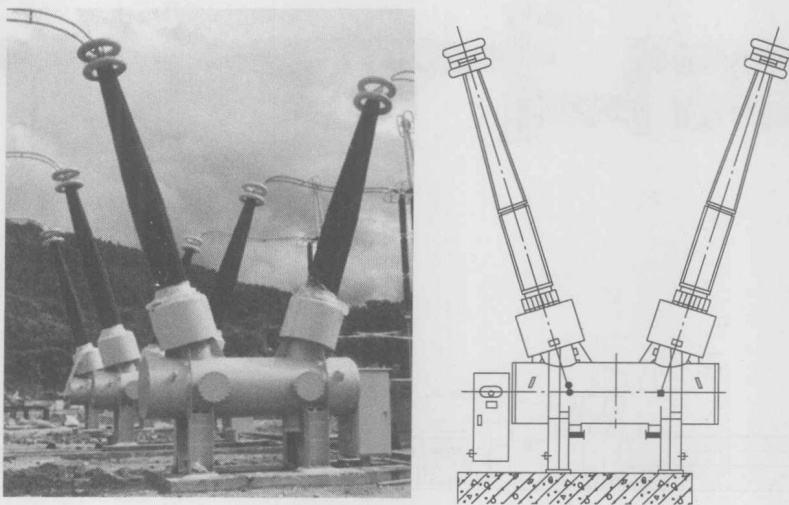


图 1-2 LW-550 罐式六氟化硫断路器 (T-GCB)

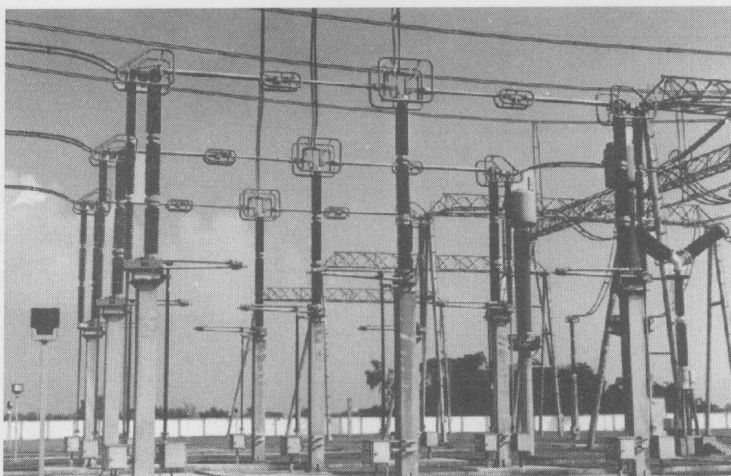


图 1-3 GW-550 隔离开关（双柱单臂折叠钳夹式，双静触头）

2. 气体绝缘金属封闭开关设备（gas-insulated metal-enclosed switchgear）

通称的 GIS 即为此类开关设备，产品型号以 ZF 为表征。GB 7674—2008《额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》对金属封闭开关设备的定义为：除外部连接外，具有完整并接地的金属外壳的成套开关设备和控制设备。对气体绝缘金属封闭开关设备的定义为：绝缘的获得至少部分通过绝缘气体而不是处于大气压力下空气的金属封闭开关设备。目前，我国电力系统使用和运行的 72.5 kV 及以上 GIS，都是在封闭的金属壳体内充以一定压力的 SF_6 气体，作为绝缘和/或灭弧介质。其中，ZF-800 GIS 结构示意图如图 1-4 所示，

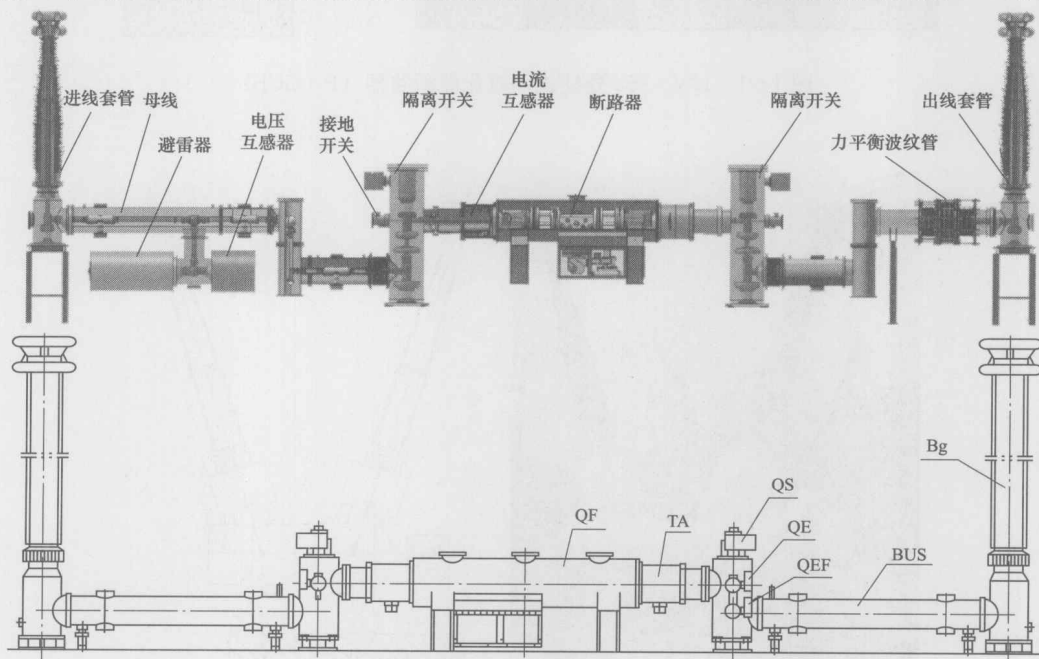


图 1-4 ZF-800 GIS 结构示意图（单极一个间隔）

QF—断路器；TA—电流互感器；QS—隔离开关；QE—接地开关；QEF—快速接地开关；BUS—母线；Bg—出线套管

ZF-126GIS 双母线进出线间隔如图 1-5 所示。

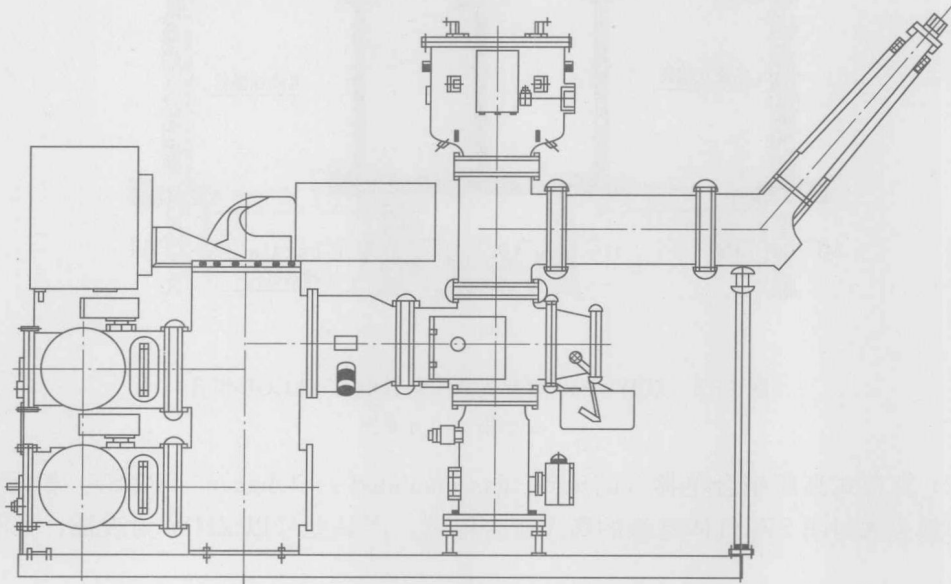
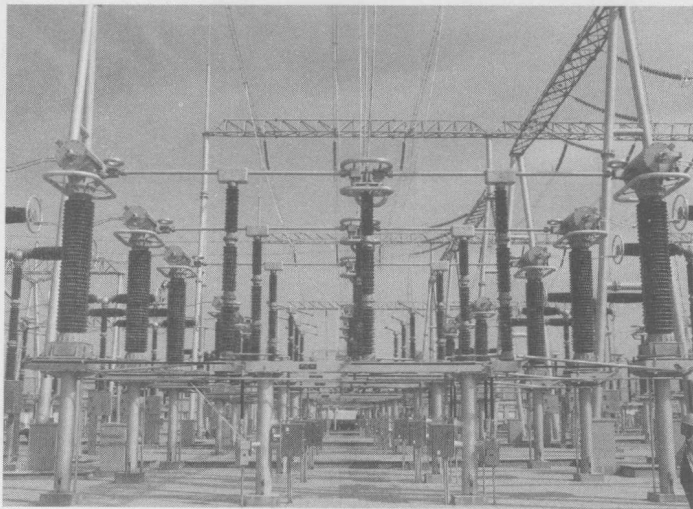


图 1-5 ZF-126 GIS 双母线进出线间隔

3. 混合（绝缘）技术开关设备（mixed technology switchgear, MTS）

它为基于敞开式开关设备组合及金属封闭开关设备组合的组合式开关设备。所以，又分为敞开式高压组合电器和复合式高压组合电器两种。

（1）敞开式高压组合电器（compact-air insulated switchgear, C-AIS），如瓷柱式断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器组合在一起的敞开式高压组合电器，产品型号以 ZCW 为表征，如图 1-6 所示。



(a)

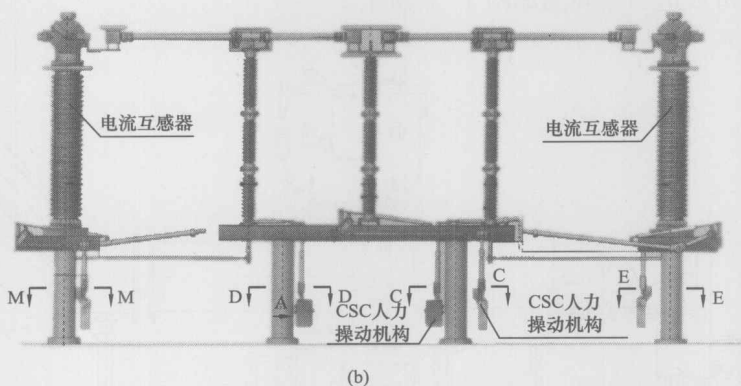


图 1-6 ZCW-363 敞开式高压组合电器 (LGGL 组合)

(a) 实物图; (b) 示意图

(2) 复合式高压组合电器 (hybrid-gas insulated switchgear, HGIS), 相间空气绝缘, 单极金属封闭 SF_6 气体绝缘的高压组合电器, 产品型号以 ZHW 为表征, 如图 1-7 所示。

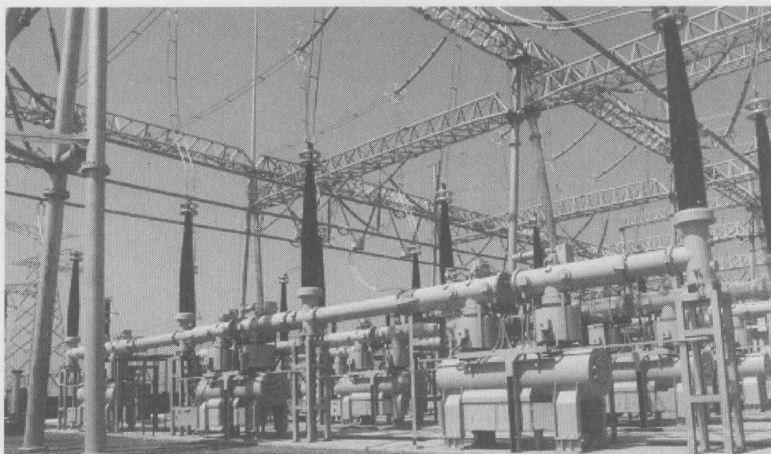


图 1-7 ZHW-550 复合式高压组合电器 (HGIS)

第二节 高压组合电器基本概念

一、高压组合电器定义

根据 GB/T 2900.20 《电工术语 高压开关设备》, 高压组合电器的定义为, 将两种或两种以上的高压电器, 按电力系统主接线要求组成一个有机的整体, 而各电器仍保持原规定功能的装置。

高压组合电器分为敞开式高压组合电器和封闭式高压组合电器。敞开式高压组合电器虽然也称为高压组合电器, 但它只是敞开式开关电器物理形式的组合, 组成敞开式高压组

合电器的电气元件大多保留原有独立产品的形态,只是通过底架、可移动的车体,或插接的触头将各个独立的电器产品连接在一起。而电力系统的采购、使用也没有将其纳入“高压组合电器”之列。

因此,通常所说的高压组合电器,一般是指封闭式高压组合电器,即“气体绝缘金属封闭开关设备”(gas insulated metal-enclosed switchgear),简称 GIS,它将各种控制和保护电器,包括断路器、隔离开关、接地开关、电压互感器、电流互感器、避雷器、连接母线等全部封装在接地的金属壳体内,壳内充以一定压力的 SF_6 气体作为绝缘和灭弧介质,并按一定接线方式组合构成的开关设备,主要包括:

(1) 根据变电站一次主接线图和布置图的要求,将间隔内的所有一次电气元件,如断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器(需要配置时)、避雷器(需要配置时),进出线套管、母线(仅对 GIS)集成为一体的成套开关设备,可以组成进出线间隔、母联间隔、PT/避雷器保护间隔等的高压组合电器。

(2) 高压组合电器的各种电气元件,都封装在接地并且密封的金属壳体内,壳内充以一定压力的 SF_6 气体作为对地和相间的绝缘。各密封元件用筒体连接部件如筒体法兰、盆式绝缘子、膨胀伸缩节等相互连接,导体用电连接和滑动触头连接。

(3) 高压组合电器整体的设计与制造,必须符合 GB 7674—2008《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》标准要求,其组成的各电气元件的设计与制造,还应满足各自标准的要求。如断路器应满足 GB 1984—2003 的要求;隔离开关应满足 GB 1985—2004 的要求。

由于 GIS 和 HGIS 都是将变电站内除变压器外的一次电气元件,如断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器(需要配置时)、避雷器(需要配置时),全部封装在接地的金属外壳内,壳内充以一定压力的 SF_6 气体作为对地绝缘的金属封闭式高压组合电器。所以,在电力系统的采购和使用中,将 GIS 和 HGIS 统称为高压组合电器,而在高压开关行业的产品产量统计中,也将 HGIS 归类于气体绝缘金属封闭开关设备进行统计。

在产品结构方面, GIS 是变电站中除变压器外所有一次电气元件的组合,包括断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器(有时还包括电压互感器、避雷器)、母线、进出线套管(或电缆终端)集成在一起的三相气体绝缘金属封闭开关设备。而 HGIS 是变电站中除变压器、母线外所有一次电气元件的组合,包括断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器(有时还包括电压互感器、避雷器)、进出线套管集成在一起的单相气体绝缘金属封闭开关设备。从产品结构方面定义, HGIS 就是没有三相母线的 GIS,根据变电站一次主接线图和布置图的要求, HGIS 或由 GIS 简化构成,也可由罐式断路器(T-GCB)扩装并集成其他电器元件构成。

二、高压组合电器特点

高压组合电器(GIS/HGIS)具有体积小、占地面积少、易于安装、受外界环境影响小、运行安全可靠、配置灵活、维护简单、检修周期长等特点,适合在 66~1000kV 电力系统中运行,在水电站、城网变电站和核电站中的应用也越来越广泛。

(1) 高压组合电器扩展了开关设备的功能。高压组合电器是高压断路器和高压隔离/接地开关产品的延伸与扩展,罐式断路器与罐式隔离开关、接地开关集成为一体,构成了高压组合电器的主要功能。再加上具有测量、保护功能的电流互感器、电压互感器、避雷器,与外部连接的进出线套管和/或电缆连接装置,以及间隔互联的封闭式母线,使高压组合电器具备了对输电线路、变电站进行控制、保护、测量、隔离、倒换等各项功能。特别是智能电网概念的提出,智能化变电站的功能最有条件在高压组合电器上得以实现。

(2) 高压组合电器体现了高压开关设备的组合化、复合化,可做到免/少维护及长使用寿命。高压组合电器的各功能元件,全部封装在密封的金属壳体内,外壳接地,壳内充以一定压力的 SF_6 气体作为对地和相间的绝缘。除进出线套管外,各功能元件不受大气环境的影响,也不承受污秽、腐蚀的侵蚀,外绝缘没有老化现象。只要制造符合相关标准要求,质量符合精细产品的指标,就可以做到少/免维护,延长产品的使用寿命。

(3) 高压组合电器减小了设备的占地面积,降低了变电站的综合造价。高压组合电器采用金属封闭式结构,结构紧凑,如 GIS 的筒体不断减小,断路器的断口数也在不断减少,各功能元件不断的技术升级和优化设计,使高压组合电器的整体体积越来越小,最大程度减小了设备的占地面积。经验数据表明,同等规模的变电站采用 GIS 设计,其设备占地仅为敞开式变电站的四分之一。

(4) 高压组合电器具有高电压少断口、通流能力强、开断容量大等技术特点。在 750kV 及以上电压等级电力系统中使用和运行,具有敞开式产品达不到的优势。在我国 1000kV 特高压交流输电工程的系统设计中,特高压下的绝缘配合是非常重要的指标,经过系统计算、分析和论证,采用了工频 1100kV、雷电冲击 2400kV (峰值) 的绝缘配合基准。如 1000kV 变电站采用敞开瓷柱式设备,设备本体对地的绝缘距离需在 15m 左右,设计和制造都很难做到。断路器的灭弧断口数是表征断路器技术先进的重要指标,1100kV 断路器要求 2 个断口,且额定电流要达到 6300A,额定短路开断电流要达到 63kA,这一点敞开瓷柱式断路器是绝对达不到的。而以 550kV 单断口罐式断路器为基础设计的 1100kV 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS),在各项技术指标方面都能满足 1000kV 特高压交流输电技术规范的要求。

第三节 高压组合电器分类

按照电力系统开关设备招标通用技术规范的分类,以及“全国高压开关设备标准化技术委员会”的规定,高压组合电器可分为气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 和复合式高压组合电器 (HGIS) 两类。

一、气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)

气体绝缘金属封闭开关设备 (gas insulated switchgear, GIS),是以罐式断路器为核心元件,将 (罐式) 隔离开关/接地开关、电流互感器、电压互感器 (需要时)、避雷器 (需要时)、管道式封闭母线、进出线套管 (或电缆出线装置) 等电器元件集成为一体而形