

30173

成套电器技术

黄绍平 李永坚 秦祖泽 编著

30173



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



成套电器技术

黄绍平 李永坚 秦祖泽 编著



机械工业出版社

成套电器是指以开关设备为主体的成套配电装置，又称为成套开关设备，主要有低压成套开关设备、高压开关柜、预装式变电站、SF₆ 气体封闭组合电器（GIS）等类别。本书系统地介绍了高、低压开关柜的原理、结构、性能、设计、制造、试验和运行等方面的问题，并对近年来出现的智能化开关柜进行了阐述；同时，对预装式变电站和 GIS 的原理、结构、性能等方面的问题进行了介绍。

本书可供从事开关电器设计制造和电力运行工作的工程技术人员阅读参考，也可作为高等院校电气工程专业、高职高专电器专业等相关专业的教材。

图书在版编目（CIP）数据

成套电器技术/黄绍平等编著. —北京：机械工业出版社，2005.9

ISBN 7-111-17239-6

I. 成… II. 黄… III. 成套电器 IV. TM59

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 095042 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王保家

责任编辑：苏颖杰 版式设计：张世琴

责任校对：陈延翔 封面设计：陈 沛 责任印制：洪汉军

北京原创阳光印业有限公司印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·16.5 印张·406 千字

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

成套电器是指以开关设备为主体的成套配电装置，又称为成套开关设备，它是电力系统各个电压等级中广泛使用的重要配电设备。成套开关设备的主要类别包括低压成套开关设备、高压开关柜、SF₆气体封闭式组合电器（GIS）和预装式变电站等。成套开关设备的使用量大面广，从低压系统到 500kV 甚至 800kV 的超高压系统，从发电厂、变电站到终端电力用户，无一不使用成套开关设备。各种成套开关设备是开关电器制造行业各厂家的主打产品。

然而，迄今为止，国内极少有公开出版的系统介绍成套电器技术的著作或教材，这给成套电器的设计、制造、运行、试验以及高等院校的专业教学和企业的技术培训带来不便。广大的成套电器生产企业和用户只能依靠有关的技术标准和一些零散的技术资料来指导成套电器的设计、制造、运行维护和试验。

编者在高等学校从事开关电器技术和电力技术专业教学、研究、技术工作近 20 年，深感编写一本系统介绍成套电器设计、制造、运行维护与试验的基本原理、基本方法、相关技术问题的图书的重要性，这不仅是高等院校相关专业教学的需要，更是给开关电器制造行业和电力运行行业的技术人员雪中送炭。

本书是在编者 1997 年为湖南工程学院电器制造专业编写的《成套电器》讲义的基础上，根据作者近年来的教学实践以及有关开关电器制造企业技术人员的意见，对内容进行了大幅度的修改，并补充了很多新内容而写成的。

在本书的编写过程中，编者一方面深入到工厂收集有关产品的资料和信息；另一方面检索和查阅了大量的文献资料，力求做到突出基本原理，反映新技术、新产品、新发展、新动向，强调指导性、实用性、资料性。

本书深入浅出地系统介绍了低压成套开关设备、高压开关柜、SF₆气体封闭式组合电器（GIS）和预装式变电站四大类成套开关设备的设计、制造、运行维护和试验的各种技术问题，重点介绍了高、低

压开关柜的原理、结构、性能、设计、制造、试验和运行等方面的问题，并结合作者的研究成果，对近年来出现的智能化开关柜作了详细的阐述；同时，还对 SF₆ 气体封闭式组合电器（GIS）和预装式变电站的原理、结构、性能等方面的问题进行了介绍。

本书可作为从事成套电器设计、制造、试验、运行维护工作的工程技术人员的专业书籍，也可作为高等院校电气工程专业的教材，也可作为高职高专电器专业和企业技术培训教材。

本书共七章，由三位作者合作编著。在本书编写中参考和引用的有关著作和论文在书后参考文献中已一一列出，谨在此向相关作者深表谢意。由于编者水平有限，错误及不当之处在所难免，恳切希望读者批评指正，并不吝赐教，我们将不胜感激。欢迎读者直接与我们联系：hsp@hnie.edu.cn。

编 者

2005年1月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 开关电器的作用、类型和主要性能参数	1
第二节 成套电器的种类与应用	5
第三节 成套电器的基本技术要求	11
第四节 成套电器技术的发展	17
第五节 我国高低压开关柜的生产情况	19
第二章 低压成套开关设备	25
第一节 概述	25
第二节 开关柜设计的主要内容与基本原则	26
第三节 模数、尺寸与空间	27
第四节 低压成套开关设备的基本结构与技术要求	31
第五节 低压抽出式成套开关设备的结构设计	38
第六节 低压成套开关设备的电击防护设计	48
第七节 低压开关柜的主回路	51
第八节 低压一次电器元件的选择	54
第九节 低压开关柜的辅助电路	59
第十节 低压成套开关设备的试验	65
第十一节 几种低压开关柜的技术特点	68
第三章 高压开关柜	78
第一节 概述	78
第二节 高压开关柜的基本结构	80
第三节 高压开关柜设计的基本技术要求	84
第四节 高压开关柜的手车	89
第五节 高压开关柜的“五防”设计	95
第六节 高压开关柜的主电路	105
第七节 高压一次电器元件的选择	117
第八节 高压开关柜的辅助回路	122
第九节 通用型高压开关柜的技术特点	125
第十节 环网柜	133
第十一节 F-C回路柜	137

第十二节 充气柜	139
第十三节 高压开关柜的试验	141
第四章 二次回路	146
第一节 二次回路的基本知识	146
第二节 断路器控制与信号回路的基本要求及基本组成	151
第三节 断路器控制与信号回路的设计	159
第四节 二次回路的保护和元件与导线的选择	165
第五节 二次回路工艺	168
第六节 高压开关柜二次回路设计举例	170
第五章 高、低压开关柜的制造与运行	173
第一节 开关柜运行的安全可靠性和	173
第二节 开关柜的绝缘配合	176
第三节 开关柜中的电接触	182
第四节 母线的选择、搭接与处理	187
第五节 开关柜的内部故障电弧	191
第六节 开关柜制造工艺简介	198
第七节 低压开关柜的质检	200
第八节 高压开关柜的诊断技术	204
第六章 预装式变电站与 GIS	209
第一节 预装式变电站的特点与应用	209
第二节 美式预装式变电站	211
第三节 欧式预装式变电站	214
第四节 GIS 的基本结构	219
第五节 GIS 的组成元件与技术特点	225
第六节 GIS 的技术发展	229
第七章 智能化开关柜	234
第一节 开关电器的智能化	234
第二节 智能化开关柜的基本组成与基本功能	240
第三节 智能化开关柜的硬件系统	242
第四节 智能化开关柜的测量与保护算法	245
第五节 现场总线在智能化电器中的应用	248
第六节 两种智能化开关柜简介	252
参考文献	255

第一章 概 论

第一节 开关电器的作用、类型和主要性能参数

一、开关电器的作用

开关电器 (switching device) 是一种重要的输配电设备, 它是电力系统 (包括发电、输电、变电、供电、配电、用电等环节) 以及电力拖动系统中的控制和保护设备, 凡是电能生产、传输、变换、供应、分配和使用的场所都要使用开关电器。

开关电器的主要功能是接通和断开电路, 也就是对电路进行“开”和“关”。具体来说, 开关电器具有以下几种主要的作用:

(1) 控制 根据电网或其他电能电路运行需要, 把某部分设备或线路投入或退出运行, 即在正常负荷电流条件下, 接通或断开电路。这种作用称为控制。这就要求开关电器具有一定的通断能力, 可以带负荷操作, 能够可靠地熄灭通断负荷电流时所产生的电弧。

断路器 (circuit - breaker)、负荷开关 (load - breaking switch)、接触器 (contactor) 等开关电器具有控制作用。

(2) 保护 当电力线路或电气设备发生故障时将故障部分从电网快速切除, 保证电网中的无故障部分正常运行。这种作用称为保护。电网短路时所产生的故障电流数值很大 (可达到正常负荷电流的几倍、十几倍甚至几十倍), 危害非常严重, 必须迅速切除。这要求开关电器既能快速动作, 又具有足够的通断能力。

具有保护作用的开关电器包括断路器、熔断器 (fuse)、负荷开关等。

(3) 隔离 退出运行或需要进行检修的电力线路及设备从电网中切除 (断开电源) 后, 还必须可靠地与电源隔离开来, 使之与电源形成一个明显的断口, 防止在误操作和过电压情况下接通电源, 以保证设备和检修人员的安全。这种作用称为隔离。具有这一作用的开关电器只在无负荷电流或小电流的情况下接通或断开电路, 因而无需专门的灭弧装置。但要求它在断开时触头间有足够的距离和可靠的绝缘, 以保证在恶劣的气候和环境条件下也能可靠地起隔离作用, 并保证在过电压及相间闪络的情况下不致引起绝缘的击穿。

具有隔离作用的开关电器包括高压隔离开关 (high - voltage disconnecter) 和低压刀开关 (low - voltage knife switch) 等。

(4) 接地 电力线路和电力设备在检修之前, 除断开电源和隔离电源外, 还要把三相短接接地, 其作用一是对地泄放掉电力线路和电力设备上的残余电荷; 二是使电力线路和电力设备与地保持零电位, 以防万一突然来电造成人身安全事故。这可采用挂接临时接地线的方法, 但更方便的方法是采用接地开关 (earthing switch)。

接地开关既有独立结构形式的, 也有与隔离开关合二为一的结构形式, 称之为隔离接地开关 (如旋转式隔离开关); 还有一类是三工位 (接通、隔离、接地) 负荷开关。

二、开关电器的类型

开关电器的用途广泛，职能多样，品种繁多，工作原理各异，大致可按以下方法来分类。

1. 按电压等级分为高压开关电器和低压开关电器

3kV 及以上电网中使用的开关电器称为高压开关电器，3kV 以下电网（实际上是 660V 及以下电网）中使用的开关电器称为低压开关电器。电力、电器行业中也把 3~35kV 电网中使用的开关电器称为中压开关电器，而把 66kV 及以上电网中使用的开关电器称为高压开关电器。

高压开关电器的种类包括断路器、隔离开关、负荷开关、接地开关、熔断器、接触器（真空式和 SF₆ 式）、重合器（automatic circuit recloser）、分段器（sectionalizer）、开关柜、SF₆ 封闭式组合电器（GIS）、负荷开关-限流式熔断器组合电器、紧凑型组合式开关设备等。

重合器和分段器是具有故障识别和恢复供电功能的开关电器。其中，重合器是具有多次重合功能和自具功能的断路器。“自具”功能包括两个方面：一方面指它自带控制和操作电源（如高效锂电池）；另一方面，指它的操作不受外界继电控制，而由微处理器按事先编好的程序指令重合器动作。分段器是一种具有自具功能的负荷隔离开关，并具有记忆和识别功能，能在重合器开断的情况下，隔离永久性故障线段，恢复供电。因此，重合器和分段器往往配合使用。

顺便提一下，接触网（电气化铁路供电系统）也要使用高压开关电器。我国交流接触网牵引供电系统采用国际上通用的单相 50Hz、25kV 交流供电制式，沿铁路平均每隔 50km 左右设置一个牵引变电站，铁路线上架设 27.5kV 接触网。机车上的受电弓从接触网取得电力，在机车上经降压整流后，供给直流电动机，由它驱动电力机车前进。牵引变电站和接触网需要 110kV、55kV、27.5kV 的开关设备。由于接触网-电力机车-铁轨构成单相回路，所以需要单相 27.5kV 的开关。这种开关不同于普通电力开关，其特点是操作频繁，开、合短路电流次数多，工作电流波动大。

低压开关电器大体上可分为配电电器和控制电器，配电电器主要有断路器、刀开关、熔断器、刀熔开关、负荷开关等；控制电器有接触器等等。

2. 按安装场所分为户内式和户外式

户内式开关设备的特点是：需要特殊建筑的房屋，土建工程量大，投资多；但占地面积小，设备运行和维护条件较好。户外式开关设备安装在露天场所，其特点是：不需要特殊建筑的房屋，土建工程量小，投资少；但受天气条件和周围空气污秽程度的影响较大，运行维护条件差，占地面积大。

10kV 及以下的开关设备一般为户内式，但农网使用的 6~10kV 开关设备一般是户外式柱上安装的。35kV 及以上的开关设备多为户外式，但随着开关设备小型化和无油化的发展，35kV 及以上的开关设备也越来越多地做为户内式，如 GIS。

3. 按组装方式分为装配式和成套式

开关电器在使用中还需要与其他一次电器设备以及各种二次回路相配合才能完成其职能。相应地，开关电器按组装方式可分为装配式和成套式两大类。装配式开关电器即电器元件，它在现场与其他一次电器设备以及二次回路组装在一起使用。成套式开关设备是由制造

厂完成装配的，即制造厂根据用户一次接线（主接线）的要求，将各种一次电器元件、二次回路以及连接件、绝缘支持件和辅助件等固定连接后安装在外壳内而构成的成套配电装置。

三、开关电器的主要性能参数

1. 额定电压 (rated voltage)

开关电器在规定的正常使用和性能条件下，能够连续运行的最高电压称为额定电压。

根据国标 GB 153—1993 的规定，我国电网的额定电压（系统标称电压，nominal voltage）等级有 0.22/0.38kV、0.38/0.66kV、1kV (1.14kV)、3kV、6kV、10kV、(20kV)、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV 等。由于电网有电压降落，并且电力系统有调压要求，所以考虑到电气设备的绝缘性能和与系统最高电压有关的其他性能，开关电器的额定电压规定为系统最高电压 (highest voltage of a system)。

按国标 GB/T 11022 的规定，对于额定电压在 220kV 及以下系统中的开关电器，其额定电压为系统额定电压的 1.15 倍，有 3.6kV、7.2kV、12kV、(24kV)、40.5kV、72.5kV、126kV、252kV 这些等级；对于额定电压在 330kV 及以上系统中的开关电器，其额定电压为系统额定电压的 1.1 倍，有 363kV、550kV 等等级。

2. 额定绝缘水平 (rated insulation level)

开关电器工作时还将承受高于额定电压的各种过电压作用，包括工频过电压、操作过电压、雷电冲击过电压。这就要求开关电器在各种过电压的作用下，不会导致绝缘损坏。标志这方面性能的参数有 1min 工频耐受电压（有效值）[power frequency withstand voltage (1min, rms)]、操作冲击耐受电压和雷电冲击耐受电压 [lightning impulse withstand voltage (peak value)]。开关电器的绝缘分为相间绝缘、相对地绝缘和开关断口绝缘，具体数值可参照国标 GB/T 11022 的规定。

3. 额定电流 (rated current)

额定电流是指在规定的正常使用和性能条件下，开关电器主回路能够长期承载的电流有效值，即开关电器允许长期通过的最大工作电流。在这种情况下，电器各部分的温度不会超过允许值，以保证电器的工作可靠。

4. 额定短时耐受电流 (rated short-time withstand current)

额定短时耐受电流即额定热稳定电流，是指在规定的使用和性能条件下，在确定的短时间内，开关在闭合位置所能承载的规定电流有效值。

5. 额定峰值耐受电流 (rated peak withstand current)

额定峰值耐受电流即额定动稳定电流，是指在规定的使用和性能条件下，开关在闭合位置所能耐受的额定短时耐受电流第一个大半波的峰值电流。

6. 额定短路开断电流 (rated short-circuit breaking current)

额定短路开断电流是指开关电器在规定的条件下能保证正常开断的最大短路电流。

7. 额定短路关合电流 (rated short-circuit making current)

额定短路关合电流是指在额定电压以及规定使用和性能条件下，开关能保证正常关合的最大短路峰值电流。

这一参数表征了断路器关合短路故障的能力。如果电力系统中的电力设备或电力线路在未投入运行前就已存在绝缘故障，甚至处于短路状态（即所谓的“预伏故障”），当断路器关

合电路时，在关合过程中出现短路电流，对断路器的关合造成很大阻力（这是由于短路电流产生的电动力造成的），有时甚至会出现触头合不到底的情况，此时会在触头间形成持续电弧，造成断路器严重损坏甚至爆炸。为避免出现上述情况，断路器应具有足够的关合短路故障的能力。

8. 自动重合闸性能 (auto-reclosing operation)

架空输电线路的短路故障大多数是雷害、鸟害等临时性故障。因此，为了提高供电的可靠性，并增加电力系统的稳定性，线路保护多采用快速自动重合操作的方式，即输电线路发生短路故障时，根据继电保护发出的信号，断路器开断短路故障；然后经很短的时间又再自动关合。断路器重合后，如故障并未消除，断路器必须再次开断短路故障。此后，在有的情况下，由运行人员经过一定时间（如 180s）再令断路器关合电路，称为“强送电”。强送电后，如故障仍未消除，断路器还需第三次开断短路故障。上述操作顺序称为快速自动重合闸断路器的额定操作顺序，可写为

$$0-t-CO-t'-CO$$

其中 0——分闸操作 (opening operation)；

CO——断路器合闸 (closing) 后无任何有意延时就立即进行分闸操作；

t ——无电流时间，是指自动重合操作中，断路器开断时从所有相中电弧均已熄灭起到随后重新关合时任意一相中开始通过电流时的时间间隔。对于快速自动重合闸的断路器，取 $t = 0.3s$ ；

t' ——强送电时间，一般取 180s。

以上主要是讨论了开关电器共有的电气性能参数，除此之外还包括操作性能（如分合闸速度、允许合分次数、电寿命、机械寿命等）和与自然环境有关的性能。而且不同类型的开关电器各有其特殊性，在此不一一列举。成套电器是由开关电器等各种一次电器元件按一定的接线方案构成的，开关电器的性能在很大程度上取决于开关电器元件的性能。

表 1-1 给出了国产 VS1 (ZN63A-12) 型真空断路器的主要性能参数。

表 1-1 VS1 (ZN63A-12) 型真空断路器的主要性能参数

项 目	数 据
额定电压/kV	12
额定频率/Hz	50
1min 工频耐受电压/断口 (有效值)/kV	42/48
额定雷电冲击电压/断口 (峰值)/kV	75/85
额定电流/A	630, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150
额定短路开断电流/kA	20/25, 31.5, 40
额定短路关合电流 (峰值)/kA	50/63, 80, 100
额定短路持续时间/s	4
额定操作顺序	0-t-CO-t'-CO
触头开距/mm	11±1
超行程/mm	3.1±0.3
三相分、合闸不同期性/ms	≤2

(续)

项 目	数 据
合闸触头弹跳时间/ms	≤ 2
平均分闸速度/ $m \cdot s^{-1}$	0.9 ~ 1.2
平均合闸速度/ $m \cdot s^{-1}$	0.5 ~ 0.8
合闸时间/ms	45 ~ 70
分闸时间/ms	25 ~ 50
燃弧时间/ms	≤ 15
开断时间/ms	≤ 65
开断次数	30, 50, 100
机械寿命	20 000

第二节 成套电器的种类与应用

成套电器即成套开关设备，它是以开关设备为主体的成套配电装置，即制造厂家根据用户对一次接线的要求，将各种一次电器元件以及控制、测量、保护等装置组装在一起而构成的成套配电装置。

一、成套电器的种类

(一) 低压成套开关设备

由一个或多个低压开关电器和相应的控制、保护、测量、信号、调节装置，以及所有内部的电气、机械的相互连接和结构部件组成的成套配电装置，称为低压成套开关设备（low voltage switchgear assemblies）。

低压成套开关设备种类繁多，使用场所广泛，在整个低压电网的各级配电系统中都要用到。相应的国家标准是 GB 7251—1997《低压成套开关设备和控制设备》。

1. 按供电系统的要求和使用的场所分类

(1) 一级配电设备 统称为动力配电中心（PC），俗称为低压开关柜，也叫低压配电屏。它们集中安装在变电所，把电能分配给不同地点的下级配电设备。这一级设备紧靠降压变压器，故电气参数要求较高，输出电路容量也较大。

(2) 二级配电设备 是动力配电柜和电动机控制中心（MCC）的统称。这类设备安装在用电比较集中、负荷比较大的场所，如生产车间、建筑物等场所，对这些场所进行统一配电，即把上一级配电设备某一电路的电能分配给就近的负荷。动力配电柜使用在负荷比较分散、回路较少的场合。电动机控制中心（MCC）用于负荷集中、回路较多的场合。这级设备应对负荷提供控制、测量和保护。

(3) 末级配电设备 是照明配电箱和动力配电箱的统称。它们远离供电中心，是分散的小容量配电设备，对小容量用电设备进行控制、保护和监测。

2. 按结构特征和用途分类

(1) 固定面板式开关柜 常称开关板或配电屏。它是一种有面板遮栏的开启式开关柜，

正面有防护作用，背面和侧面仍能触及带电部分，防护等级低，只能用于对供电连续和可靠性要求较低的工矿企业变电所。

(2) 封闭式开关柜 (low voltage enclosed switchgear assemblies) 指除安装面外，其他所有侧面都被封闭起来的一种低压开关柜。这种开关柜的开关、保护和监测控制等电气元件，均安装在一个用钢材或绝缘材料制成的封闭外壳内，可靠墙或离墙安装。柜内每条回路之间可以不加隔离措施，也可以采用接地的金属板或绝缘板进行隔离。

(3) 抽出式开关柜 (low voltage withdrawable switchgear assemblies) 这类开关柜采用钢板制成封闭外壳，进出线回路的电器元件都安装在可抽出的抽屉中，构成能完成某一类供电任务的功能单元。功能单元与母线或电缆之间，用接地的金属板或塑料制成的隔板隔开，形成母线、功能单元和电缆三个区域，每个功能单元之间也有隔离措施。抽出式开关柜有较高的可靠性、安全性和互换性，它们适合于对供电可靠性要求较高的低压供配电系统中作为集中控制的配电中心。

(4) 动力、照明配电控制箱 多为封闭式垂直安装，因使用场合不同，外壳防护等级也不同。它们主要作为用电现场的配电装置。

(二) 高压开关柜

按电力行业标准 DL/T 404 - 1997 的定义，高压开关柜 (high - voltage switchgear panel) 是指由高压断路器、负荷开关、接触器、高压熔断器、隔离开关、接地开关、互感器和站用变压器，以及控制、测量、保护、调节装置、内部连接件、辅件、外壳和支持件等组成的成套配电装置。这种装置的内部空间以空气或复合绝缘材料作为介质，用作接受和分配电网的三相电能。

高压开关柜按柜体结构可分为以下两大类。

1. 半封闭式高压开关柜 (unclosed high - voltage switchgear panel)

这种高压开关柜中离地面 2.5m 以下的各组件安装在接地金属外壳内，2.5m 及以上的母线或隔离开关无金属外壳封闭。半封闭式高压开关柜的母线外露，柜内元件也不隔开。图 1-1 所示是国内较早生产的 GG-1A (F) - 07S 型半封闭式高压开关柜的结构图。

半封闭式高压开关柜因其结构简单，制造容易，价格低廉，柜内检修空间大等优势，曾获得广泛应用，在电网中安装量占很大比例，目前也仍在运行。但它的母线为敞开式结构，防护性能差，威胁电网安全运行，因此这种产品将逐步淘汰。

2. 金属封闭式高压开关柜 (metal - enclosed switchgear panel)

制造厂根据用户对高压线路一次接线的要求，将高压断路器、负荷开关、熔断器、隔离开关、接地开关、避雷器、互感器以及控制、测量、保护等装置和内部连接件、绝缘支持件和辅助件固定连接后安装在一个或几个接地的金属封闭外壳内（只有进出线除外）。这样的成套配电装置称为金属封闭开关设备。

3~35kV 金属封闭开关设备俗称高压开关柜，全称是“金属封闭式高压开关柜”。相应的国家标准是 GB3906—1991《3~35kV 交流金属封闭开关设备》。

金属封闭式高压开关柜以大气绝缘或复合绝缘作为柜内电气设备的外绝缘，柜中的主要组成部分都安放在由隔板相互隔开的各小室内，隔室间的电路连接通过套管或类似方式完成。图 1-2 所示是 GZS1 (KYN28A) 型金属封闭式高压开关柜的结构示意图。

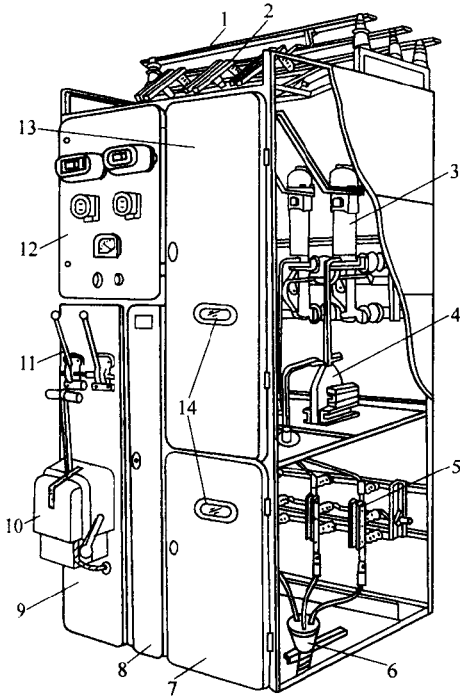


图 1-1 GG-1A(F)-07S 型高压开关柜结构图

- 1—母线 2—母线隔离开关 3—少油断路器
4—电流互感器 5—线路隔离开关 6—电缆头
7—下检修门 8—端子箱门 9—操作板
10—断路器手动操动机构 11—隔离开关的操动机构手柄
12—仪表继电器屏 13—上检修门 14—观察窗口

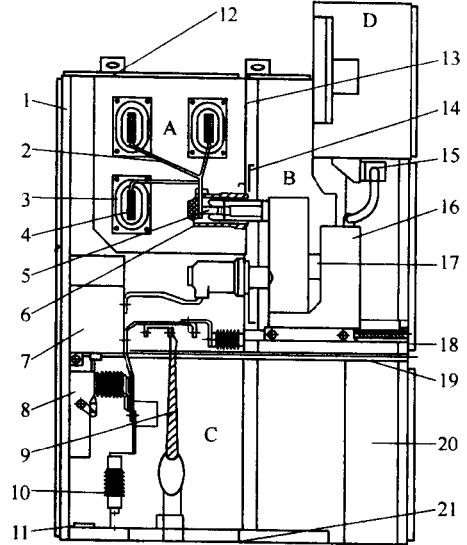


图 1-2 GZS 1 (KYN28A) 型金属封闭式
高压开关柜的结构示意图

- A—母线室 B—手车室 C—电缆室 D—继电器仪表室
1—外壳 2—分支母线 3—母线套管 4—主母线
5—静触头装置 6—静触头盒 7—电流互感器
8—接地开关 9—电缆 10—避雷器 11—接地母线
12—泄压装置 13—可卸式隔板 14—隔板(活门)
15—二次插头 16—断路器手车 17—加热装置
18—可抽出式水平隔板 19—接地开关操动机构
20—控制小线槽 21—底板

金属封闭式高压开关柜的种类较多，结构差异较大，可按以下方式来分类：

(1) 按柜内整体结构分

1) 铠装式高压开关柜 (metal-clad switchgear panel)。铠装式高压开关柜中的主要组成部分，如断路器、电源侧的进线母线、馈电线路的电缆接线处、继电器等都安放在由接地的金属隔板相互隔开的各自小室内。隔室间的电路连接通过套管或类似方式完成，如 KYN 型和 KGN 型。

2) 间隔式高压开关柜 (compartmented switchgear panel)。这类开关柜的某些组件分设于单独的隔室内 (与铠装式高压开关柜一样)，但具有一个或多个非金属隔板，隔板的防护等级应达到 IP2X ~ IP5X (或者更高) 的要求，如 JYN 型。

3) 箱式高压开关柜 (cubicle switchgear panel)。除铠装式和间隔式以外的金属封闭式高压开关柜统称为箱式金属封闭高压开关柜。它的隔室数量少于铠装式和间隔式，甚至不分隔室，一般只有金属封闭的外壳，如 XGN 型。

以上三种类型的高压开关柜中，间隔式和铠装式均有隔室，但间隔式的隔室一般用绝缘板，而铠装式的隔室用金属板。用金属板的好处是可将故障电弧限制在产生的隔室内。若电弧触及金属隔板，即可通过接地母线引入大地内。而在间隔式中，电弧有可能烧穿绝缘隔板，进入其他隔室，甚至窜入其他柜子，造成“火烧连营”。箱式柜结构简单、尺寸小、造

价低，但安全性、运行可靠性远不如铠装式和间隔式。

(2) 按柜体的形成方式分

1) 焊接式。柜体是焊接而成的，劳动强度大，易变形。

2) 组装式。是将金属板根据柜体尺寸，剪裁成各种板块并带组装螺孔，再用螺栓和拉铆螺母紧固而成。其误差较小，互换性好。

以前多用焊接式，现在基本上全部采用组装式。

(3) 按柜内主要电器元件固定的特点分

1) 固定式 (G)。柜内所有电器元件都是固定安装的，结构简单，价格较低。

2) 移开式 (Y)。又叫手车式，柜内主要电器元件（如断路器、电压互感器、避雷器等）安装在可移开的小车上，小车中的电器与柜内电路通过插入式触头连接。

移开式开关柜由柜体和可移开部件（简称小车）两部分组成，根据小车所配置的主电器的不同，小车可分为断路器小车、电压互感器小车、隔离小车和计量小车等。

移开式开关柜具有检修方便、恢复供电时间短的优点。当小车上的电器元件（如断路器）出现严重故障或损坏时，可方便地将小车拉出柜体进行检修，也可换上备用的小车，推入柜体内继续工作，大大缩短了线路的停电时间。

移开式开关柜又分为落地式和中置式 (Z) 两种形式。

落地式开关柜的小车本身落地，在地面上推入或拉出。图 1-2 所示的 GSZ1 (KYN28A) 开关柜就是中置式的。图 1-3 所示是 JYN6-10 型高压开关柜的外形结构图，其断路器小车是落地式的。中置式小车装于柜子中部，小车的装卸需要专用装载车。

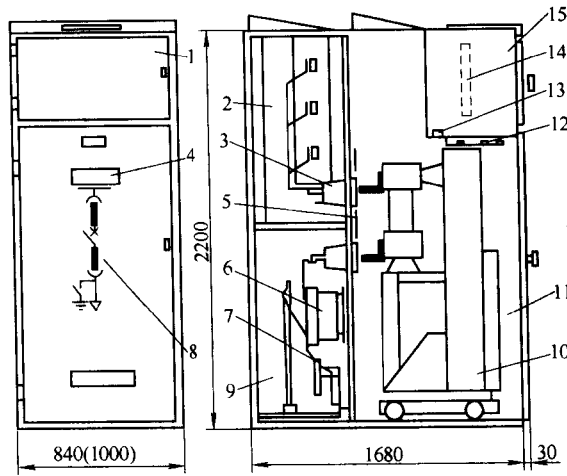


图 1-3 JYN6-10 型高压开关柜的外形结构图

- 1—继电器表板 2—母线室 3—触头座 4—观察窗 5—防护帘板
6—电流互感器 7—接地开关 8—一次线路模拟牌 9—电缆室 10—手车
11—手车室 12—行程开关 13—日光灯 14—继电器屏 15—继电器表室

与落地式开关柜相比，中置式开关柜具有更多的优点。由于中置式小车的装卸在装载车上进行，小车在轨道上推拉，这样就避免了地面质量对小车推拉的影响。中置式小车的推拉是在门封闭的情况下进行的，给操作人员以安全感。中置柜的柜体下部分空间较大，使电缆的安装与检修很方便，还可安置电压互感器和避雷器等，以充分利用空间。所以，移开式高

压开关柜大都采用中置式小车。

(4) 按母线组数分 6~35kV 供配电系统的主接线大都采用单母线, 因此 6~35kV 开关柜基本上都是单母线柜。但有的 6~35kV 供配电系统的主接线采用双母线或单母线带旁路母线, 以提高供电可靠性, 这就要求开关柜中有两组主母线, 因而母线室的空间较大。图 1-4 所示是 XGN66-10-11 型开关柜的主回路, 它有两组主母线(主母线与旁路母线)。

(5) 按安装场所分 可分为户内式和户外式, 户外式开关柜的技术特点是封闭式、防水渗漏、防尘。

从使用环境看, 对于高原、高寒、重污秽地区使用的开关柜, 其电气间隙和爬电比距应加大。

就 12kV 开关柜而言, 相间和相对地的空气绝缘距离应达到 180mm, 柜内采用大爬距的绝缘子(或套管)。

(6) 按柜内绝缘介质分 可分为大气绝缘高压开关柜和气体绝缘高压开关柜。以大气绝缘的金属封闭开关设备由于受到大气绝缘性能的限制, 占地面积和空间都较大。另外, 柜内各种电器暴露在大气中, 绝缘性能受环境的影响很大。20 世纪 80 年代以来, 出现了采用绝缘性能优良的 SF₆ 气体代替大气作为绝缘的全封闭式金属封闭开关设备。其中, 12~40.5kV 的 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备采用柜形箱式结构, 称为箱式气体绝缘金属封闭开关设备(cubicle type gas insulated switchgear, C-GIS), 简称为充气式开关柜。

充气式开关柜的电器元件封闭在充有较低压力(一般 0.02~0.05MPa)的壳体内, 其最大特点是不受外界环境条件的影响, 可用在环境恶劣的场所。另外, 由于使用性能优良的 SF₆ 绝缘, 大大缩小了柜体的外形尺寸。

(三) SF₆ 封闭式组合电器 (GIS)

72.5kV 及以上电压等级的 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备又称为封闭式组合电器, 简称 GIS (gas insulated switchgear)。它一般用于户内, 也可户外使用。

从原理上看, GIS 与 12~40.5kV 气体绝缘金属封闭开关设备(充气式开关柜)无多大差别。但是, 由于电压等级提高后对绝缘性能有了更高的要求, 气体压力需要提高到 0.3MPa (表压)。压力提高后, 箱式结构从机械强度考虑已很难以满足, 因而 GIS 多采用圆筒式结构, 即所有电器元件, 如断路器、互感器、隔离开关、接地开关和避雷器都放置在接地的金属材料(钢、铝等)制成的圆筒形外壳中。GIS 相应的国家标准是 GB7674《72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》。图 1-5 所示是一个 550kV GIS 设备(出线间隔)的外形图。

(四) 预装式变电站

预装式变电站(prefabricated substations)俗称箱式变电站。它是一种将高压开关设备、配电变压器和低压配电装置, 按一定接线方案排成一体的工厂预制户内、户外紧凑型配电设备。具有成套性强, 体积小、占地少, 能深入负荷中心, 对环境适应性强, 安装方便, 运行

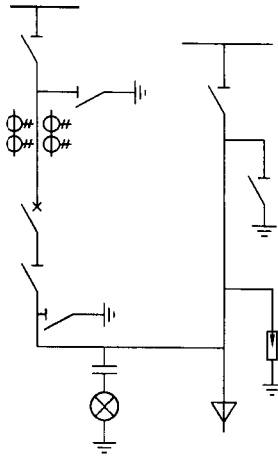


图 1-4 XGN66-10-11 型双母线高压开关柜

安全可靠等一系列优点，适用于城市公共配电、高层建筑、住宅小区、公园、油田、工矿企业及施工现场等场所。

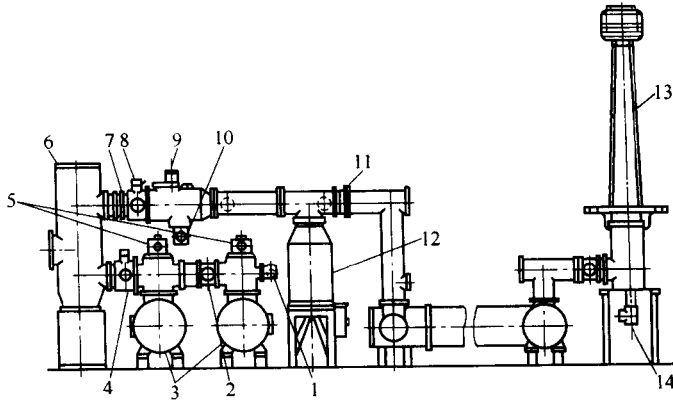


图 1-5 550kV GIS 设备（出线间隔）的外形图

- 1—操作接地开关 2—接合装置 3—主母线 4—电流互感器 5—主母线隔离开关
6—断路器 7、11—伸缩接头 8—电流互感器 9—线路侧隔离开关 10—操作接地开关
12—避雷器 13—气体套管 14—线路侧隔离开关

早在 20 世纪 60 年代，预装式变电站在国外就已崛起，目前已广泛采用。我国预装式变电站还处于大发展时期。我国相应的国家标准为 GB/T 17467—1998《高压/低压预装式变电站》。图 1-6 所示是“目”字形排列的 ZBW 系列预装式变电站的外形图，整个箱体分为高压配电室、变压器室和低压配电室。

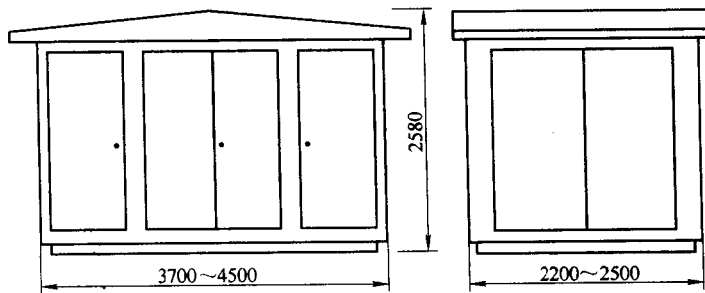


图 1-6 ZBW 系列预装式变电站的外形图（“目”字形排列）

二、成套电器的应用

各种类型的成套电器从使用场所的实际出发，考虑了性能参数的合理配合及电器元件的合理布置，因而具有占地面积少，空间体积小，安装、使用与维护方便，运行安全可靠等优点。

成套电器是在制造厂装配完成的，到现场后只需简单的安装固定，与进出线相连后即能投入使用，因而大大缩短了变电站的建设工期。

移开式高压开关柜和抽出式低压开关柜具有很高的互换性，当断路器等主要电器元件发生故障或需要检修时，可随时拉出，再推入同类备用小车或抽屉单元，即可恢复供电，提高了供电的可靠性。

预装式变电站和 GIS 大大缩小了变电站的占地面积。例如，110kV GIS 的占地面积只有