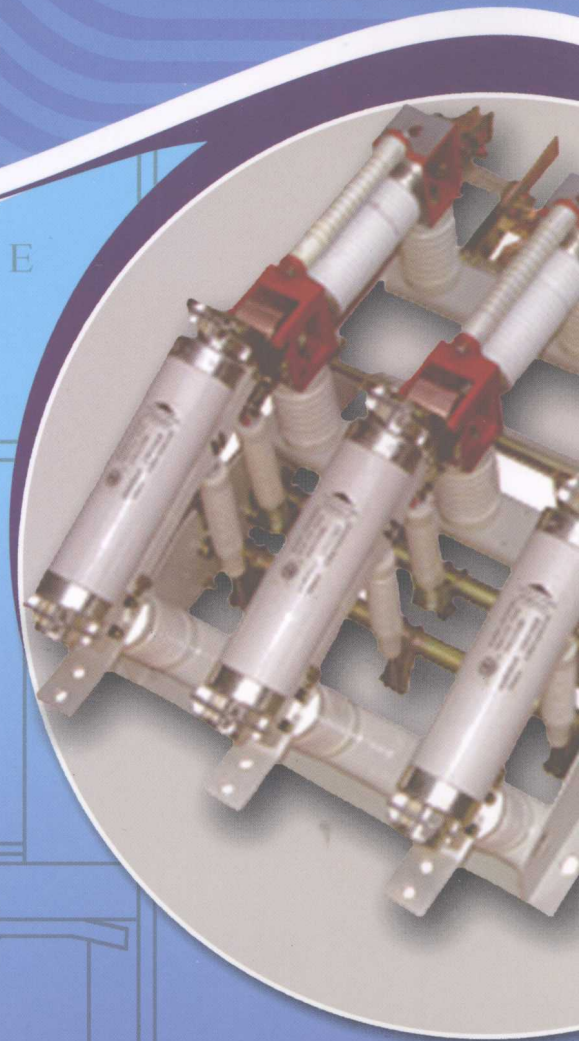
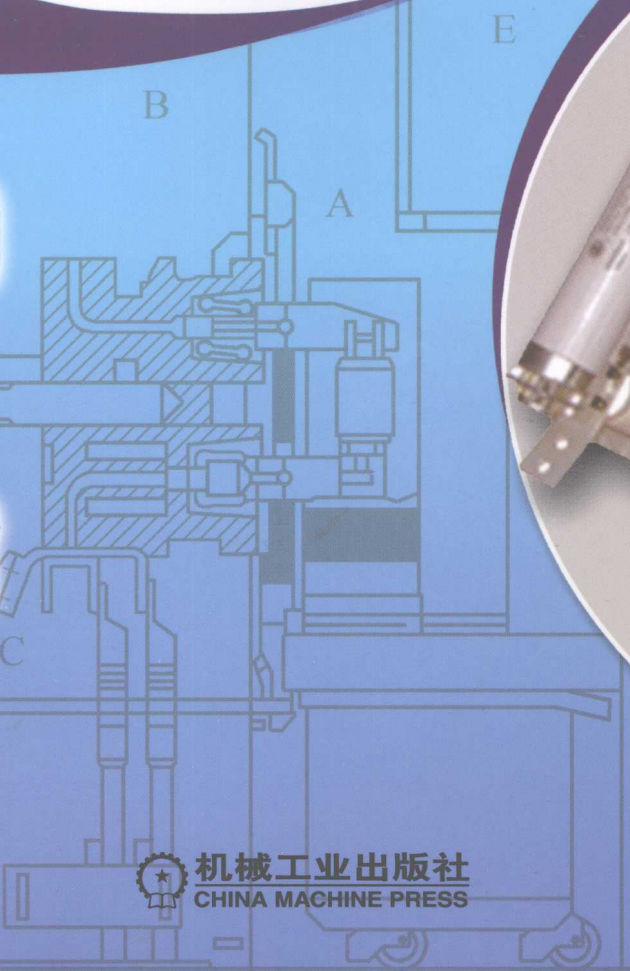
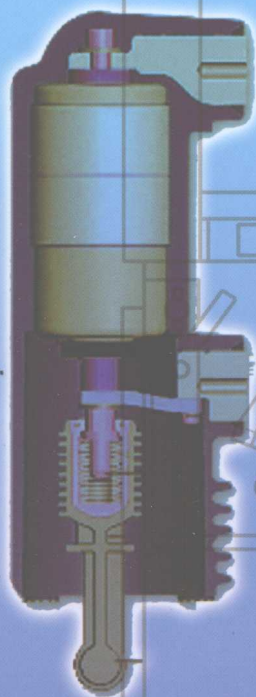


成套开关设备 实用技术

黄绍平 金国彬 李玲 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书以工程应用为主线,全面介绍了低压成套开关设备、高压开关柜、SF₆封闭式组合电器(GIS)和预装式变电站四大类产品的技术特点、结构原理、技术参数和应用技术。

本书特别注重内容的先进性、实用性、资料性和工具性。对于四大类成套开关设备,从元件到成套设备,都充分体现了最新技术和产品,既有国内厂家的最新产品介绍,又有国外公司先进技术和产品的介绍。从各类设备及其组成元件的原理、结构、技术特点、技术参数,到生产技术、运行维护知识,均有详尽阐述。本书收录了大量的最新电器产品的技术资料,方便设计人员和运行维护人员参考与查阅。

图书在版编目(CIP)数据

成套开关设备实用技术/黄绍平等编. —北京:机械工业出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 111 - 22913 - 1

I. 成… II. 黄… III. 低压电器:成套电路:开关
IV. TM591

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 182411 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:牛新国 付承桂

责任编辑:付承桂 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新

封面设计:鞠 杨 责任印制:邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 24.5 印张 · 605 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 22913 - 1

定价: 45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

前 言

成套开关设备是电力系统各个电压等级中广泛使用的重要输变电和配电设备。成套开关设备主要类别包括低压成套开关设备、高压开关柜、SF₆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，从低压系统到超高压系统，从发电厂、变电站到终端用户，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。

本书以工程应用为主线，全面介绍了低压成套开关设备、高压开关柜、SF₆封闭式组合电器（GIS）和预装式变电站四大类产品的技术特点、结构原理、技术参数和应用技术。

本书特别注重内容的先进性、实用性、资料性和工具性。对于四大类成套开关设备，从元件到成套设备，都充分体现了最新技术和产品，既有国内厂家的最新产品介绍，又有国外公司先进技术和产品的介绍。从各类设备及其组成元件的原理、结构、技术特点、技术参数，到生产技术、运行维护知识，均有详尽阐述。本书收录了大量的最新电器产品的技术资料，方便设计人员和运行维护人员参考与查阅。

本书可供从事成套开关设备设计、制造、试验、运行维护的工程技术人员及操作人员参考。

本书参考和引用了有关文献和生产厂家的大量产品资料，在此深表谢意。由于编者水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请使用本书的读者批评指正。

作 者
2007年10月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 低压电器的种类与主要性能	
参数	1
第二节 低压电器的发展趋势	3
第三节 高压电器的种类与主要性能	
参数	6
第四节 高压电器的发展趋势	14
第五节 对成套开关设备的一般要求	20
第二章 低压成套开关设备	29
第一节 概述	29
第二节 低压开关柜的结构	32
第三节 低压一次电器元件	37
第四节 低压开关柜的主回路	65
第五节 低压开关柜的辅助回路	69
第六节 低压开关柜产品概况与技术发展	74
第七节 GGD 型固定式低压开关柜	80
第八节 GCK 型抽屉式低压开关柜	82
第九节 GCS 型抽屉式低压开关柜	88
第十节 MNS 型抽屉式低压开关柜	99
第十一节 GHK-Z2000 智能型混合式低压开关柜	105
第十二节 西门子 SIVACON 低压开关柜	111
第十三节 施耐德 Okken 低压开关柜	118
第十四节 TABULA 低压开关柜	124
第十五节 低压成套开关设备的试验与质检	126
第三章 高压开关柜	133
第一节 概述	133
第二节 高压开关柜的基本结构	138
第三节 高压开关柜的基本技术要求	141
第四节 高压开关柜中的一次电器元件	146

第五节 高压开关柜的主回路	183
第六节 二次回路的基本知识与二次接线工艺	195
第七节 高压开关柜的辅助回路	203
第八节 HXGN21-12 型环网柜	221
第九节 XGN18-12 型 SF ₆ 负荷开关环网柜	227
第十节 KYN28A-12 (GZS1) 型铠装移开式开关柜	230
第十一节 KYN61-40.5 型移开式开关柜	239
第十二节 几种特殊的高压开关柜简介	245
第十三节 几种国外高压开关柜简介	251
第十四节 高压开关柜的绝缘与母线	254
第十五节 高压开关柜的试验	260
第十六节 高压开关柜的选用	264
第十七节 高压开关柜运行的安全可靠性的	268
第四章 预装式变电站	275
第一节 预装式变电站概述	275
第二节 美式预装式变电站	277
第三节 欧式预装式变电站	281
第四节 ZBW22-Q-10 系列美式预装式变电站	285
第五节 ZGS9 系列美式预装式变电站	291
第六节 ZBW 系列 10kV 欧式预装式变电站	293
第七节 35kV 欧式预装式变电站	302
第八节 箱式变电站的智能化	305
第九节 配电变压器的技术参数与选择	307
第十节 配电变压器的熔断器保护	315
第十一节 美式预装式变电站中的电器	321
第十二节 预装式变电站的选用	327
第五章 GIS	332

第一节	GIS 的基本结构	332	第七节	HGIS	365
第二节	GIS 的组成元件	338	第八节	C-GIS	367
第三节	GIS 的绝缘与密封	342	第九节	GIS 的技术发展	375
第四节	ZF10B-126 型 GIS	346	第十节	GIS 的安装与运行维护	381
第五节	ZF9-252 型 GIS	355	参考文献	385	
第六节	国产各电压等级 GIS 的主要技术 参数	361			

第一章 概 论

第一节 低压电器的种类与主要性能参数

在电力系统的发电、输电、变电、配电和用电的各个环节中,需要对电路起调节、分配、控制、保护和测量作用的各种电气设备,这些电气设备统称为电器。按电器的工作电压等级,可分为高压电器和低压电器两大类。我国现行标准将工作电压交流 1200V、直流 1500V 以下的电器称为低压电器。

一、低压电器的种类

低压电器在电路中根据外界信号或要求,自动或手动接通、分断电路,连续或断续地改变电路状态,对电路进行切换、控制、保护、检测和调节。低压电器种类繁多,可以有不同的分类方式。

1. 按用途或所控制的对象分类

(1) 配电电器 这类电器包括刀开关(低压隔离开关、隔离器)、转换开关、熔断器、刀熔开关和断路器等,主要用于低压配电系统中。

(2) 控制电器 包括接触器、控制继电器、起动机、控制器、主令电器和电磁铁等,主要用于电气传动系统中。

2. 按动作方式分类

(1) 自动切换电器 依靠电器本身参数变化或外来信号(如电、磁、光、热等)而自动完成接通、分断或使电动机起动、反向及停止等动作的电器,如接触器、继电器等。

(2) 非自动切换电器 依靠人力直接操作电路的电器。如按钮、刀开关等。

3. 按电器的执行机构分类

可分为触点电器和无触点电器。无触点电器是指电子电器、电力电子开关。

4. 按工作条件分类

可分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器及航空电器等几类。对不同类型的低压电器,其防护型式以及耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求不同。

5. 按组装方式分类

(1) 装配式 即指上述的各种电器元件,它在现场与其它一次电气设备以及辅助回路组装在一起使用。

(2) 成套式 即低压成套开关设备,它是由制造厂装配完成的,由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、辅助回路以及连接件、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设备。低压成套开关设备主要有低压开关柜、配电箱等。

二、低压电器的主要性能参数

1. 额定电压与绝缘能力

在低压电器的技术参数中，给出了额定工作电压和额定绝缘电压两个数值。额定工作电压是指电器安装处的电网额定电压，如 220V、380V、660V 等。对低压断路器来说，额定工作电压关系到它的通断特性参数；对接触器来说，额定工作电压关系到工作制和使用类别。额定绝缘电压是指电器的绝缘强度，对电器元件来说，它是指电器的触头处于分断状态时，动、静触头之间在不发生击穿或闪络现象下能够耐受的工频电压值。

2. 额定电流

额定电流是指在规定的正常使用和性能条件下，电器在主回路中能够长期承载的电流有效值，即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，以保证电器工作的可靠性。

3. 额定通断能力

低压电器肩负着下列通断任务：

(1) 隔离 将电路分隔，使系统的某一部分或设备建立无电状态，以保证检修时的安全。

(2) 空载通断 在无电流状态下或电流很小的情况下，接通与断开电路。

(3) 负荷通断 接通和断开正常的负荷电流。

(4) 电动机通断 通断电动机的电器应符合接通和断开各类电动机与各种工作制的要求。

(5) 短路通断 断开电网短路电流的能力。低压电器中，只有断路器、熔断器可以作为短路保护电器。

对于断路器来说，额定短路分断能力是指断路器在 1.1 倍额定工作电压、额定频率与规定的功率因数下，能断开的最大短路电流。

4. 动、热稳定性

动、热稳定性是指电器承受电网短路电流所产生的电动力和热效应的能力，分别用额定峰值耐受电流（动稳定电流）和额定短时耐受电流（热稳定电流）表示。

5. 操作频率和寿命

操作频率与通断任务密切相关。允许的操作频率是以每小时的操作次数来表示的。在低压电器中，只有接触器允许频繁操作。

电器的机械寿命是用空载工作时，即无电流通过主回路时，达到的通断次数来表示的。它主要取决于触头的磨损。

电器的电寿命是用直至触头报废的通断次数表示的。触头是在负荷情况下通断，它既要承受接通过程中的电流，又要承受分断过程中的电流。在接通过程中，动触头可能发生振动。这时出现的接通烧损和分断时出现的电弧烧损，是触头烧损的主要原因。

表 1-1 和表 1-2 分别是 CJ12 系列交流接触器、DZ15 系列塑壳式低压断路器的一些主要技术参数。

表 1-1 CJ12 系列交流接触器的主要技术参数

型号	主回路额定工作电压/V	操作频率/(次/h)	电寿命(AC-2)/万次	机械寿命/万次
CJ12-100	~380	600	15	300
CJ12-150				
CJ12-250		300	10	100
CJ12-400				
CJ12-600				

表 1-2 DZ15 系列塑壳式低压断路器的主要技术参数

型号	DZ15-40	DZ15-63(100)
额定电压/V	380	380
壳架等级额定电流/A	40	63(100)
极数	1,2,3,4	1,2,3,4
额定电流/A	6,10,16,20,25,32,40	6,10,16,20,25,32,40,50,63(80,100)
额定短路分断能力/kA	3	5
电寿命/次	1500	1500
机械寿命/次	8500	8500
操作频率/(次/h)	120	120

第二节 低压电器的发展趋势

低压电器基本上包括 12 大类产品,即刀开关、转换开关、熔断器、断路器、控制器、接触器、起动器、控制继电器、主令电器、变阻器、调整器、电磁铁。在配电系统中,低压成套开关设备主要由各种低压电器元件构成,低压电器元件的功能及性能对低压成套开关设备起着至关重要的作用。发电设备所发出电能的 80% 以上是通过低压电器分配使用的。每增加 1 万 kW 发电设备,约需 4 万件各类低压电器元件与之配套。在工业自动化系统中,也需要由低压电器构成的各种控制屏、控制台、控制器等。

一、我国低压电器的发展历程

我国低压电器的发展大致可以分为如下三个阶段:

1) 20 世纪 60 ~ 70 年代,在模仿的基础上设计开发了第一代有统一标准的产品。以 CJ10、DW10、DZ10、JR16B 等产品为代表。产品结构尺寸大,材料消耗多,性能指标不理想,品种规格不齐全。

2) 20 世纪 70 ~ 80 年代,是在引进国外先进技术基础上制造的第二代产品,以我国自行设计的 CJ20、DW15、DZ20 以及引进技术的 ME、AE、EWE、AH、B、3TB 等产品为代表。技术指标明显提高,保护特性较完善,体积缩小,结构上适应成套装置要求,是我国目前低压电器的支柱产品。

3) 20世纪90年代以来,跟踪国外新技术新产品自行开发试制新产品,以DW40、DW45、DZ40、CJ40、M、F、3TF等为代表。产品性能优良,工作可靠,体积小,电子化、智能化、组合化、模块化、多功能化程度高,总体技术性能达到或接近国外20世纪90年代初的水平。

虽然我国已有技术含量较高的第三代低压电器产品出现,但其市场占有率还较低。为了尽快提高我国电力系统、自动控制系统、自动监测系统的自动化水平,必须大力发展和推广使用第三代电器产品。

二、低压电器技术的发展趋势

1. 智能化

近年来,各主要电器公司纷纷展出带有微处理器的电器产品,进一步改进产品的保护性能,扩大功能,从单纯的保护作用发展为兼有控制功能,实现中低压配电系统保护和控制的智能化。这些智能化低压电器具有下述特点:

1) 具有对配电线路和电器本身的监测及显示能力。智能化低压电器能准确监测和显示配电线路的运行情况,并能准确地切除过负荷、短路等各种故障;还能按运行人员的要求进行各种操作;与此同时,还能对电器本身进行监测和故障自诊断及故障状况的显示。

2) 新的控制理论的应用。新的智能化控制理论(如模糊理论、神经网络等)已从家用电器延伸应用到低压电器的控制上。

3) 具有通信功能和现场总线控制新技术的应用。智能化低压电器带有通信接口,能和系统通信,构成整个智能化控制系统。在可通信智能化上引入现场总线控制新技术。采用现场总线技术控制的电器以现场总线为纽带,把各个智能化终端接通,构成可以相互沟通信息、共同完成任务的网络与控制系统,从而实现电器产品的“四遥”(遥控、遥信、遥测、遥调)功能。目前,现场总线在电站自动化、楼宇自动化、工业过程控制和生产自动化中得到广泛的应用。计算机信息技术和现场总线技术在低压电器中的应用,不仅提高了低压配电与控制系统的自动化程度,同时实现了信息化,使低压配电、控制系统的调度、操作和维护实现了“四遥”,提高了整个系统的可靠性。

目前,国内外低压电器制造厂家均推出了智能化的低压电器,如智能断路器、智能热继电器、智能接触器、智能电动机保护器等。

智能断路器就是将智能监控器的功能与断路器集成在一起,主要是实现了脱扣装置的智能化。断路器的保护功能大大加强,可实现长延时、短延时、瞬时过电流、接地、欠电压保护等功能。在断路器上还可显示电压、电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等系统运行参数。

由于在供电系统中大量使用软起动器、变频器、不间断电源等装置,使电网和配电网中存在大量谐波。传统模拟式电子脱扣器一般只反映故障电流的峰值,会造成断路器在谐波的影响下发生误动作;而带微处理器的智能化断路器反映的是电流的真实有效值,可避免谐波的影响。

与传统的双金属片型热继电器相比,微电子控制的智能热继电器具有下列优点:可保护电动机过负荷、断相、三相不平衡、反相、低电流、欠电压等故障;可数字显示故障类型;可保护不同起动条件与工作条件下的电动机,并且动作特性可靠。

2. 多功能化和组合作

新一代低压电器都几乎用较少品种满足各种不同的使用要求,即功能多样化。同时产品结构上都采用独立功能的组件进行装配,即采用所谓模块化的积木拼装式结构,例如多功能的组合电器就是一个典型。至于智能或漏电保护电器,也仅在电器本体上分别增加智能或漏电保护模块组件(插入式结构)而形成。

3. 新的灭弧系统和限流技术

由于电力系统发展的需要,对低压电器提出了高性能和小型化的要求,传统的灭弧系统已不能满足对低压开关电器开断能力的要求。因此,国内外致力于研究新的灭弧系统和限流技术。

新一代低压断路器几乎都采用限流分断的新技术,主要有:

1) 采用上进线静触头导电回路。大幅度提高电动斥力和吹弧磁场,从而达到限流和提高分断能力的目的,如日本三菱公司新一代 WS 型断路器。

2) 采用双断点分断技术。如施耐德公司的 NS 型、默勒公司的 NZM1-4 型断路器采用旋转式双断点分断,ABB 公司 T 型断路器采用平行式双断点分断。这两种结构在较小尺寸下可获得较大的短路分断能力。

3) 绝缘器壁产气和压力喷流技术。新型断路器几乎都采用带有出气口的半封闭灭弧小室,绝缘器壁在电弧侵蚀下产气,通过出气口在室内形成压差而驱动电弧,并形成喷流熄弧。这种压力喷流技术是灭弧的一种新观点。

4) 采用 PTC 的限流电阻元件来提高分断能力。如在微型断路器中获得应用,大大提高了短路分断能力。

这些限流新技术的综合应用,使得低压断路器短路分断能力最高可达 150kA。

4. 电力电子技术与微电子技术 in 低压电器中的应用

电力电子技术与微电子技术在低压电器中的应用有着较长的历史。近年来,该类产品经过不断更新换代,从晶体管式发展到集成电路式。特别是门极关断(GTO)晶闸管、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等电力电子器件的质量和可靠性不断提高,如固态断路器、混合式接触器、接近开关、固态继电器等获得越来越多的应用。尤其是电子式过载保护器的产生体现过载保护继电器的一种发展趋势。它与传统双金属片型过载保护继电器相比,具有安装方便、脱扣动作快而且准确、误差小、重复性好、参数调节方便、消耗功率小等优点,是一种更为理想的电动机保护装置。

5. 低压电器测试技术、电磁兼容技术和新工艺

衡量低压电器测试技术水平的高低主要从试验装置的能力(或规模)和自动化水平综合考虑。低压电器测试技术由以前的继电器接触控制向可编程序控制器(PLC)控制,并进一步向计算机控制发展。特别是试验参数的采集及处理技术逐趋现代化,即采用瞬态记录仪,将被测信号经 A/D 转换器采集后变成数字量,经计算机处理后,直接显示各试验数据。由于采用数字技术,使测试精度、深度和广度都向前迈进了一步。

随着低压电器产品智能化的不断推广使用,开展电磁兼容(EMC)研究尤其迫切。目前,国际上已经制定了相应的 EMC 标准,我国也应加快电磁兼容的理论研究,尽快制定低压电器 EMC 的国家标准。

在工艺方面,目前出现了母排安装及连接两位一体技术。所谓电器产品母排安装及连接

两位一体技术,就是将电器产品直接安装在成套柜体内的母排上,在安装的同时实现导电连接。它主要由熔断器、断路器等安装底座、主接线座、附件等构成。该技术在电器产品的应用中具有如下特点和优势:

- 1) 减少导电连接,提高可靠性。
- 2) 极大地方便了安装与导线连接,维护更为方便。
- 3) 大大减小了所占空间,从而使成套柜体积成倍缩小。
- 4) 节省材料,降低成本。

第三节 高压电器的种类与主要性能参数

一、高压电器的种类

3kV及以上电力系统中使用的电器称为高压电器。高压电器有不同的分类方式。

(一) 按功能分类

1. 开关电器

高压开关电器肩负下列功能:

(1) 控制 根据电网或其它电力线路的运行需要,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。

(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,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。

(3) 隔离 退出运行或需要进行检修的电力线路或设备在从电网中切除(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。

(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,以防万一突然来电时造成人身安全事故。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。

根据功能的不同,高压开关电器有以下几类:

(1) 断路器 高压断路器是一种具有控制和保护作用的电器。它不仅能关合、开断正常的负荷电流以及空载变压器、空载线路等,也可用来开合短路电流,且当发生短路故障时可以实现自动分闸、自动重合闸。根据灭弧介质的不同,高压断路器有油断路器、压缩空气断路器、真空断路器、SF₆断路器。目前,3~35kV电网中,基本上是真空断路器取代了早先的油断路器;66kV及以上电网中,SF₆断路器取代了早先的油断路器和压缩空气断路器。

(2) 负荷开关 高压负荷开关主要用于负荷通断,它能关合、开断负荷电流(含容性、

感性负荷电流),有时能关合短路电流,但不能开断短路电流。按灭弧方式的不同,高压负荷开关主要有产气式、压气式、真空式和 SF_6 式等几种。

(3) 隔离开关 高压隔离开关用来隔离电路或电源,它在断开时触头间有足够的距离和可靠的绝缘,在闭合位置时能承载正常电流及规定的短路电流,能开断很小的电容电流、容量不大的变压器空载电流以及开合母线转换电流。

(4) 接地开关 接地开关用来对设备或被检修线路实现保护接地。接地开关既有独立结构型式;也有与隔离开关合二为一的结构型式,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。

(5) 接触器 高压接触器是一种高压控制电器,能关合、开断及承载正常负荷电流及规定的过负荷电流,它具有寿命长、可频繁操作的特点,用于对高压电动机、电力变压器、电容器等进行远距离控制和频繁操作。高压接触器按灭弧介质的不同,有真空式和 SF_6 式两类。

(6) 熔断器 高压熔断器主要有限流式熔断器、喷射式熔断器等类型。

(7) 重合器 重合器是一种能够按照预定的程序,在电路中进行开断和重合操作,并在其后自动复位、分闸闭锁或合闸闭锁的自具(不需外加能源)控制保护功能的开关设备。

(8) 分段器 分段器是一种能够自动判断线路故障和记忆线路故障电流开断的次数,并在达到整定的次数后在无电压或无电流下自动分闸的开关设备。某些分段器可具有关合短路电流(自动重合闸功能)及开断、关合负荷电流的能力,但无开断短路电流的能力。

重合器和分段器都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。

(9) 负荷开关-熔断器组合电器

2. 量测电器

(1) 电流互感器 电流互感器用来转换和测量线路、母线的电流,以供计量与保护用。早先的电流互感器是油纸绝缘电磁式,现在有环氧浇注、 SF_6 电流互感器等,最新的有光电式电流互感器。为满足机电一体化设备需要,现在已有线性度好的电流传感器。

(2) 电压互感器 电压互感器用来测量线路、母线的电压,以供计量和继电保护用。传统电压互感器是油纸绝缘电磁式。目前在高压、超高压范围内则用重量轻、体积小的电容式电压互感器,国际上有已开发并正在商品化的光电式电压互感器。

3. 调节、限流与限压电器

(1) 电容器 主要用来进行无功补偿,以调节无功功率和电网电压。

(2) 电抗器 是一个扼流线圈,用来限制故障电流,用绝缘导线绕制。目前也有用环氧浇注法制作,其体积小,绝缘强度和机械强度比较高。

(3) 阻波器 也是一种电感线圈,主要用于载波通信,限制高频载波进入变电所。

(4) 避雷器 用来限制过电压,使电力系统中电气设备免受大气过电压和内部操作过电压的危害,是一种泄能装置,包括管式避雷器、碳化硅阀式避雷器、金属氧化物避雷器

等。

(二) 按安装地点分类

分为户内式和户外式两大类。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。

35kV 及以下电器以户内式为主，基本上是成套产品，但户外式柱上安装的电器也广泛使用。35kV 以上电器以户外式为主，但随着开关设备小型化和无油化的发展，35kV 及以上电器也越来越多地做成为户内式的，如 GIS (SF₆ 封闭式组合电器)。

顺便提一下，接触网（电气化铁路供电系统）也要使用高压电器。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，沿铁路平均每隔 50km 左右设置一个牵引变电站，铁路上架设 27.5kV 接触网。机车上的受电弓从接触网上取得电力，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 的开关设备。这种开关设备不同于普通电力开关设备，其特点是操作频繁，开、合短路电流次数多，工作电流波动大。

(三) 按组装方式分类

与低压电器一样，分为装配式和成套式两类。装配式电器在现场与其它一次电气设备以及二次电路组装在一起使用。

成套开关设备是由制造厂装配完成的，由制造厂根据用户电气主接线的要求，将各种一次电器元件、二次电路以及连接件、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设备。

高压成套开关设备主要有以下几类：

1. 高压开关柜

高压开关柜是 3 ~ 35kV 金属封闭开关设备的简称。按电力行业标准 DL/T 404—1997 的定义，高压开关柜是指由高压断路器、负荷开关、接触器、高压熔断器、隔离开关、接地开关、互感器及站用电变压器，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柜型高压成套配电装置。高压开关柜相应的国家标准是 GB3906—2006《3.6 ~ 40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》。图 1-1 是 JYN6-12 型高压开关柜的结构示意图。

2. SF₆ 封闭式组合电器 (GIS)

SF₆ 封闭式组合电器是指 72.5kV 及以上电压等级的 SF₆ 气体绝缘金属封闭开

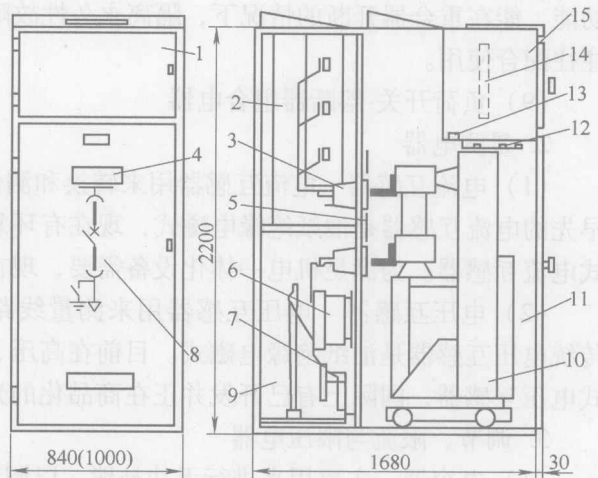


图 1-1 JYN6-12 型高压开关柜结构示意图

- 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—二次线路模拟牌 9—电缆室 10—手车 11—手车室
- 12—行程开关 13—荧光灯 14—继电器屏 15—继电器表室

关设备，简称 GIS(Gas Insulated Switchgear)。它一般用于户内，也可用于户外。

GIS 多采用圆筒式结构，它将所有电器元件如断路器、互感器、隔离开关、接地开关和避雷器以及母线等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—1997《72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》。图 1-2 是 550kV GIS 设备(出线间隔)的外形。

3. 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，按一定接线方案组合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 1-3 是 10kV 预装式变电站的外貌图。

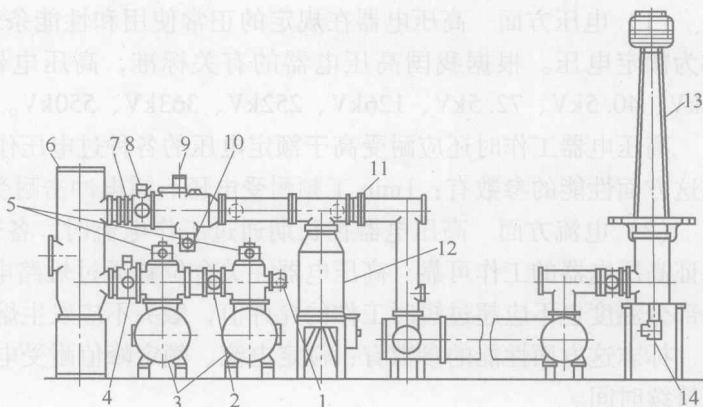


图 1-2 550kV GIS 设备(出线间隔)的外形

- 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—伸缩节头 8—电流互感器
9—线路侧隔离开关 10—操作接地开关 11—伸缩节头
12—避雷器 13—充气套管 14—线路侧隔离开关

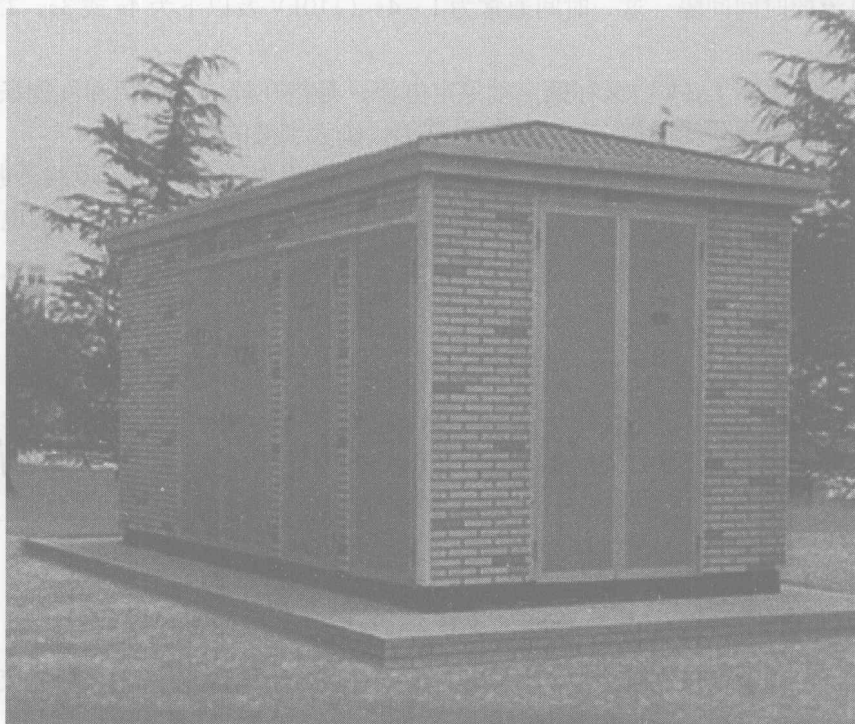


图 1-3 10kV 预装式变电站的外貌

二、高压电器的主要性能参数

高压电器的种类繁多,除了一些共性的性能参数之外,不同类型的高压电器还有一些特殊的性能参数。这里以高压断路器为例,介绍高压电器的主要性能参数。

1. 一般电气性能

(1) 电压方面 高压电器在规定的正常使用和性能条件下,能够连续承受的最高电压称为额定电压。根据我国高压电器的有关标准,高压电器的额定电压有 3.6kV、7.2kV、12kV、40.5kV、72.5kV、126kV、252kV、363kV、550kV。

高压电器工作时还应耐受高于额定电压的各种过电压作用,而不会导致绝缘的损坏。标志这方面性能的参数有:1min 工频耐受电压、雷电冲击耐受电压和操作冲击耐受电压。

(2) 电流方面 高压电器在长期通过工作电流时,各部分的温度不得超过允许值,以保证高压电器的工作可靠。高压电器在关合位置通过短路电流时,不应因电动力受到损坏,各部分温度也不应超过短时工作的允许值,触头不应发生熔焊和损坏。

标志这方面性能的参数有:额定电流、额定峰值耐受电流、额定短时耐受电流和额定短路持续时间。

额定电流 I_n (A) 是指在正常的使用和性能条件下,高压电器的主回路能够长期连续承载的电流有效值。

额定短时耐受电流 I_{sw} (kA) 又称额定热稳定电流,是指在规定的使用 and 性能条件下,在确定的短时间内,高压电器在合闸位置所能承载的电流有效值。

额定短路持续时间 t_{sw} (s) 又称额定热稳定时间,是指高压电器在合闸位置所能承载其额定短时耐受电流的时间间隔,这一时间通常为 1~4s (110kV 及以下为 4s 或 3s, 220kV 及以上为 2s 或 1s)。

额定峰值耐受电流 I_{pw} (kA) 又称额定动稳定电流,是指在规定的使用 and 性能条件下,高压电器在合闸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。

额定峰值耐受电流 I_{pw} 、额定短时耐受电流 I_{sw} 和下面将要讨论的额定短路开断电流 I_b 、额定短路关合电流 I_{pm} , 都是同一短路电流在不同操作情况下或不同时刻出现的电流有效值或峰值,它们之间的关系可用图 1-4 表示。还可写成下面的式子:

$$I_{pw} = I_{pm} \quad (1-1)$$

$$I_b = I_{sw} \quad (1-2)$$

2. 开断、关合性能

(1) 额定短路开断电流 额定短路开断电流 I_b (kA) 是指在规定条件下能保证正常开断的最大短路电流。通常以触头分离瞬间短路电流交流分量有效值和直流分量的百分数表示。如直流分量不超过 20%, 额定短路开断电流仅由交流分量有效值来表示。

当断路器工作在低于其额定电压的电网中时,其开断电流可以增大。但受灭弧室机械强度的限制,开断电流有一最大值,称为极限开断电流。

(2) 开断时间 开断时间 t_b (s) 是标志断路器开断过程快慢的参数。开断时间是指断路

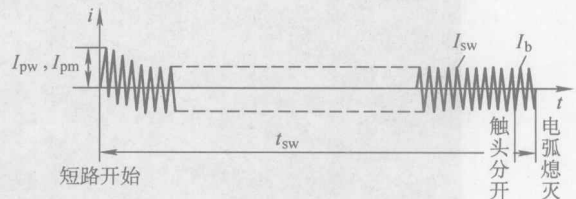


图 1-4 短路电流各个量的关系

器接到分闸指令起到所有各相中电弧最终熄灭的时间间隔。开断时间为分闸时间和燃弧时间之和。分闸时间为接到分闸指令瞬间起到所有相中弧触头分离瞬间的时间间隔。燃弧时间是指某相中首先起弧瞬间起到各相中电弧最终熄灭的时间间隔。

(3) 额定短路关合电流 额定短路关合电流 I_{pm} (kA) 是指断路器在额定电压以及规定使用和性能条件下, 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”), 当断路器关合有预伏故障的电路时, 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。

额定短路关合电流 I_{pm} 和额定峰值耐受电流 I_{pw} 在数值上是相等的, 两者都等于额定短路开断电流 I_b 的 2.55 倍。例如某断路器的额定短路开断电流 $I_b = 31.5\text{kA}$, 则 $I_{sw} = I_b = 31.5\text{kA}$, $I_{pw} = I_{pm} = 2.55I_b = 80\text{kA}$ 。

(4) 关合时间 与开断时间一样, 断路器的关合时间 t_{pm} (s) 也是一个重要参数。断路器的关合时间 t_{pm} 是指断路器接到合闸指令瞬间起到任意一相中首先通过电流瞬间的时间间隔。它是合闸时间与预击穿时间之差。合闸时间是指断路器接到合闸指令瞬间起到所有相触头都接触瞬间的时间间隔。预击穿时间是指关合时, 从任意一相中首先出现电流到所有相中触头都接触瞬间的时间间隔。

(5) 自动重合闸性能 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闸操作的方式, 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, 经很短时间又再自动关合。断路器重合闸后, 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, 由运行人员在断路器第二次开断短路故障后经过一定时间 (例如 180s) 再令断路器关合电路, 称为“强送电”。强送电后, 故障如仍未消除, 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

O-t-CO-t'-CO

式中 O——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, 是指自动重合闸操作中, 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 $t = 0.3\text{s}$;

t' ——强送电时间, 一般取 180s。

断路器在自动重合闸操作中的有关时间如图 1-5 所示。

(6) 开合各种空载、负载电路的性能 断路器除开合一般负荷外, 有时需要关合、开断空载架空线路和电缆线路、空载变压器、并联电抗器、电容器组、高压电动机等电路。开合这些电路的主要问题是可能产生过电压。这时对断路器的要求是在开合过程中, 不应产生危及绝缘的过电压。标志这方面开合能力的主要参数是额定电压和各种开合电流, 如额定线

路充电开断电流、额定电缆充电开断电流、额定电容器组开断电流、额定电容器组关合涌流和额定小电感开断电流等。

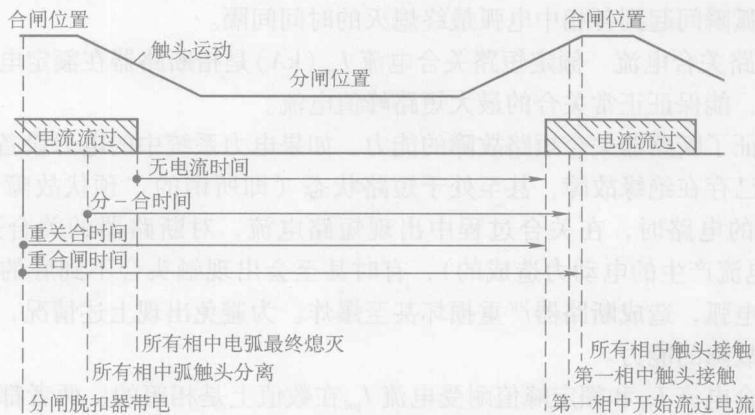


图 1-5 断路器在自动重合闸操作中的有关时间

(7) 允许合分次数 断路器应有一定的允许合分次数，以保证足够长的工作年限。根据标准，一般断路器允许空载合分次数（也称机械寿命）为 2000 次；控制电容器组、电动机的断路器，允许合分次数多一些，如 5000 次、10000 次，甚至更高。

(8) 电寿命 一般来说，断路器应有尽可能多的开断额定短路开断电流的次数，对于保护、控制经常启动的电气设备的断路器，更应有连续几千次以上开合负荷电流的能力。衡量断路器这方面的性能可用允许的开断额定短路开断电流的次数或是累计开断电流值（kA）来表示。

3. 自然环境因素

(1) 周围环境温度 有关标准规定，户内电气设备使用处的周围空气温度为 $-25 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，户外电气设备使用处的周围空气温度为 $-40 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。温度过低，会使电器内部的绝缘油、润滑油、液压油的粘度增加，影响电器的分合闸速度。温度过低还可能使密封材料的性能劣化，造成电器漏气、漏油。反之，温度过高可能造成导电部分过热等。国家标准中对交流高压电器在长期工作时的发热进行了规定，当电气设备在周围空气温度高于 40°C （但不高于 60°C ）时，允许降低负荷长期工作。推荐周围环境温度每增高 1K，额定电流减少 1.8%；反之，当周围空气温度低于 40°C ，每降低 1K，额定电流增加 0.5%。但其最大过负荷不能超过额定电流的 20%。另外，户外电气设备在阳光照射下很容易过热。因此，当电气设备使用环境条件为风速小于 0.5m/s 、日照强度大于 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 、周围空气温度为 40°C 时，其长期工作电流应降低到额定电流的 80%。

温度过高，空气的绝缘强度也会降低。标准规定，当电气设备使用在周围空气温度高于 40°C 的环境下，其外绝缘在干燥状态下的试验电压应在额定耐受电压值的基础上乘以温度校正因数 K_t 。

$$K_t = 1 + 0.0033(T - 40) \quad (1-3)$$

式中 T ——周围环境温度值（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

由上式表明，从 40°C 开始，每超过 3°C ，试验电压提高 1%。