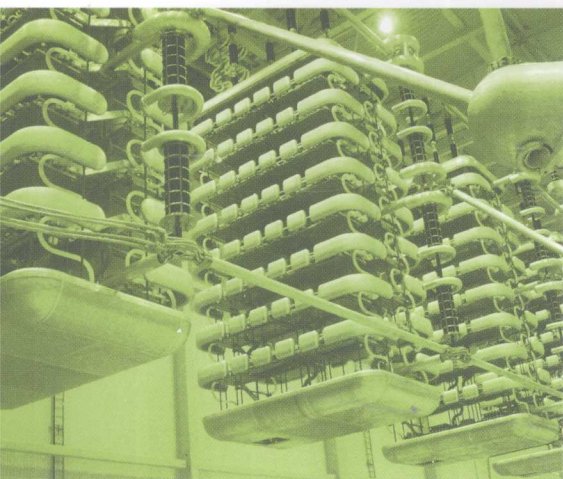




国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



高压直流输电 岗位培训教材

开关设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

高压直流输电 岗位培训教材

开关设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《高压直流输电岗位培训教材》丛书之一，主要介绍了高压交流断路器、高压交流隔离开关和高压直流断路器的技术规范、结构和操动机构，还介绍了相应的运行维护、检修、试验等内容，并结合典型设备进行了详细分析。附录中还收录了各大厂家断路器的相关技术参数。

本书可供高压直流输电岗位运行、检修技术人员及管理人员参考，也可作为相关专业院校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

开关设备/国网运行有限公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2009

高压直流输电岗位培训教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8442 - 9

I. 开… II. 国… III. 断路器 - 技术培训 - 教材 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 009757 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](http://www.cepp.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 12 印张 260 千字

印数 0001—3500 册 定价 28.00 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

《高压直流输电岗位培训教材》

编 审 委 员 会

主 编 崔吉峰

副主编 李 东 王守东 陈秋安 王晓希

娄殿强 罗德彬

编 委 余克武 余振球 刘 涛 唐开平 殷俊新

李继辉 仝培理 习超群 王聿升 王世民

胡开军 刘国云 丁子健 李安伟

各分册编写人员

变压器设备

饶红林 周 广 吴 聪 谭 静 陈 飞 靳海路 王 枫 陈大军
余姗姗 赵福莉 郑 华 黄瑶玲 张 勇 戚 菲 李 浩 张 念
张 益 张海燕

换流器及直流控制保护设备

吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 吴 宁 王紫鑫
许立新 吕拦坡 赵 杰 李 彪 付纪华 姚 孟 俞晓冬 孙 瑾
姚其新 韩情涛 贺霖华 李 君 刘蓓蒂 刘 询 李凤祁

开关设备

戴晨蓉 廖文锋

线路设备

曹 亮 李浙涛 刘庭波 吴秀海 胡 风

通信设备

马树明 欧阳兰 吴 军 朱煜冰 李 晶

互感器、滤波器及避雷器设备

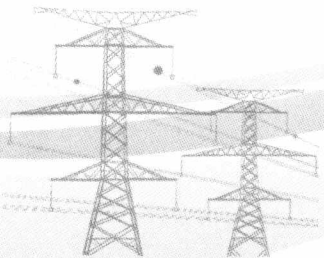
王 鹏 黄 晨 钱 龙 胡锦涛 康 文 石伟峰 李华兵 毛志平
黄岳奎 吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 陈炳华
顾舒扬

辅助设备

周建国 张 昕 饶 磊 魏华兵 李龙蛟 廖卉莲 康 文 石伟峰
黄 晨 邹根海 苏 飞 陈 凯 汪 涛 吴 鹏 王丽娜 摆 亲
陈 晓 王紫鑫 汤晓峥

交流保护设备

沈志刚 单 哲 郝跃东 汪道勇 李锋锋 徐 兵 商少波 郑 华
黄瑶玲 赵福莉 周建国 张 昕 黄正发 姚青强 吕拦坡 姚 兵



序

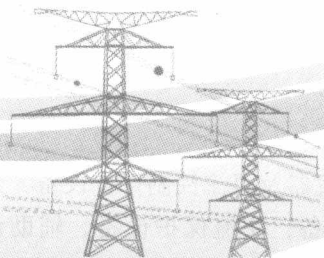
1989年,中国第一条超高压直流输电工程葛洲坝—南桥直流输电工程建成投产,直流输电技术在中国稳步发展。进入21世纪后,随着三峡电力送出和跨区电网大规模发展,中国直流输电工程也得到较快发展。目前,中国直流输电无论容量还是技术水平均已走在世界前列,今后还将有一大批直流输电工程投运,直流输电在电网中的作用越来越重要。

由于直流输电工程技术及设备的特殊性,工程运行维护较交流工程有很大不同,随着后续直流输电工程的快速发展,直流输电运行维护培训需求大大增加。因此,编写有关直流输电工程生产岗位培训教材是当前直流输电工程发展所急需的,对提高在运直流输电工程的运行可靠性也具有重要意义。国网运行有限公司是国内运行维护直流工程最早、数量最多、容量最大的专业电网运行公司。为了全面提高国内直流输电工程运行维护工作水平,公司组织了数十名长期从事直流输电运行、检修的技术人员,在充分总结在运直流工程运行经验的基础上,前后经过长达两年的时间编写完成了理论结合实际设备、全面系统、实用性较强的《高压直流输电岗位培训教材》。

这套教材共分八册,系统地对直流输电相关设备的原理、结构、技术特点进行了详细的描述,并进而对设备的巡视检查、检修试验等运行维护工作要求和特点进行了总结。它的出版发行将为从事直流输电运行维护、设计、安装、调试和直流输电设备制造、直流电网生产管理和调度管理等方面的技术人员和生产管理人员提供很好的技术参考。期望它能够对提高我国常规直流输电工程和特高压直流输电工程生产运行水平起到重要作用,从而为建设坚强国家电网作出贡献。

傅吉峰

2008年12月



前言

高压直流输电技术起步在 20 世纪 50 年代,到 80 年代,全世界共建成了 30 项直流输电工程,直流输电在电网中发挥了重要作用,直流输电控制保护技术得到进一步的发展和完善。迈入 90 年代以后,随着电力电子技术、计算机技术和控制理论的迅速发展,高压直流输电技术日益完善,可靠性得到提高。

我国直流输电技术同样是在 80 年代得到发展的,建成了我国自行研制的舟山直流输电工程(± 100 千伏,100 兆瓦,55 千米)和代表当时世界先进水平的葛洲坝—上海(简称葛上) ± 500 千伏直流输电工程。90 年代,随着三峡工程的建设,三常、三广、三沪直流工程相继投运。2004 年,我国第一个背靠背直流工程,同时又是一个直流设备国产化示范工程,灵宝背靠背直流工程顺利建成。标志着中国已经逐渐成为世界上运行直流工程数量最多、容量最大、线路最长的直流输电大国。

据预测,至 2010 年全国发电装机总容量将达到 8.4 亿千瓦左右,2020 年将突破 12 亿千瓦左右。将新建电源的电安全、稳定、可靠、经济地送出是我国电网建设的基本任务,并应在此基础上逐步改善电网结构、推进全国联网,这使得电网的发展比电源建设更具挑战性。特别是在西电东送工程中,直流输电本身适宜远距离输送、送电容量大、易于控制和调节的特点将发挥极其重要的作用。根据《国家电网公司特高压电网规划》,到“十一五”末,规划投产的直流背靠背工程包括东北华北背靠背、灵宝背靠背(扩建)、中俄背靠背、福建广东背靠背四个项目,以及德阳—宝鸡、呼盟—辽宁、晋东南—江苏、宁东—潍坊、蒙古—天津、俄罗斯—辽宁、西藏—青海、葛沪改造等八个项目。到“十一五”末,国网公司系统直流输电工程将达到 17 个、换流站 28 个、输送容量达到 4005 万千瓦。到“十二五”末,国家电网公司将有 8 个直流系统建成投产,包括向家坝—上海、宁东—济南、四川—湖南、锦屏—江苏、蒙古—唐山、溪洛渡—湖南、溪洛渡—浙江、蒙古—山东。直流工程总数将达到 25 个、换流站 44 个,输送容量 8085 万千瓦。“十三五”期间,国家电网公司规划建设投产的直流系统还有 14 个,直流输电工程将达到 39 个、换流站 72 个,输送容量达到 18 745 万千瓦。国内南方电网公司在运的天生桥—广州、安顺—肇庆、兴仁—深圳三个直流输电工程,总输送容量 780 万千瓦,此外在“十一五”末还将完成云广特高压直流输电工程,总输送容量达到 1420 万千瓦。

随着大批直流输电工程投运,直流输电工程的运行维护和生产管理工作显得日益重要,特别是随着近年来直流工程数量和容量的快速发展,直流工程运行维护也不再局限于专业的直流电网运行公司,各网省公司将更多地参与直流输电工程运行维护和生产管理工作。正是为了满足我国直流输电工程生产运行的需要,国网运行有限公司总结了近 20 年来在直流输电工程中运行维护的经验,结合直流输电设备特点,全面系统地编制了我国第一套专门针对直流输电岗位的培训教材。

本套教材共分八册，其主要内容有：变压器设备，换流器及直流控制保护设备，开关设备，线路设备，通信设备，互感器、滤波器及避雷器设备，交流保护设备，辅助设备等。系统地对直流输电工程中的上述设备的结构、原理、技术特性、运行维护工作内容和要求等进行了详细说明。本套教材在大量收集、整理、分析国网系统在运直流输电工程运行技术资料的基础上，结合现场运行维护经验，按照设备类别对直流输电工程的运行维护岗位专业技能进行了详细说明，是从事直流输电运行维护和生产管理人员学习直流输电原理、设备特性、控制原理和运行维护内容的岗位技能教材。同时本书也可用于直流输电工程设计、安装、调试、调度管理、设备厂家及相关直流输电工程生产管理人员使用。

为了编制好本套教材，国网运行有限公司充分发挥专业直流输电工程运行维护公司的特点，仔细分析直流输电各岗位的技术技能需求，自2007年10月开始进行编制，经过了多次讨论修改，数易其稿，最后于2008年10月完成了本套教材的编写工作。本书的编写人员均是有着丰富的直流输电工程现场工作经验、熟悉直流输电工程设备技术和生产管理的专业人员。运行公司所属宜昌、上海、惠州、三门峡四个管理处，共9个换流站的近百名专业技术人员参与了教材编写。

本书在编写过程中得到了国家电网公司、设备制造厂家、各技术监督单位的大力支持，特在此表示感谢。限于我们的水平和经验，书中难免存在缺点和不足，望读者批评指正。

编者

2008年11月

目 录

序
前言

第一部分 高压交流断路器

第一章 概述	2
第一节 简介	2
第二节 断路器工作原理	3
第二章 断路器技术规范	5
第一节 断路器型号	5
第二节 技术参数	5
第三节 重要名词定义	6
第四节 断路器的设计规范	8
第三章 高压交流 SF ₆ 断路器的结构	11
第一节 SF ₆ 断路器灭弧室结构	11
第二节 SF ₆ 断路器结构	13
第四章 高压交流断路器的操动机构	15
第一节 概述	15
第二节 弹簧操动机构 (CT)	15
第三节 液压操动机构 (CY)	18
第五章 高压交流断路器的运行维护	29
第一节 高压交流断路器的巡视检查	29
第二节 高压交流断路器的红外测温	31
第三节 高压交流断路器的操作	31
第四节 高压交流断路器故障分析及处理	32
第六章 高压交流断路器的检修	35
第一节 总则	35

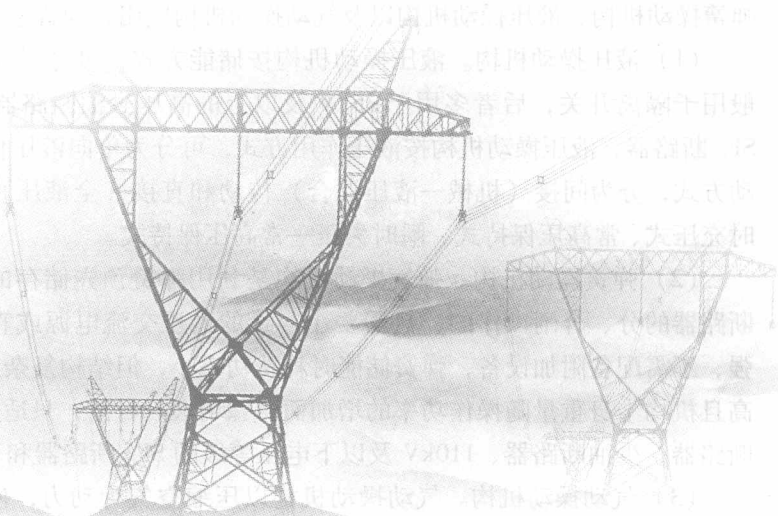
第二节	高压交流断路器的小修项目	36
第三节	高压交流断路器的例行检查测试项目	36
第四节	大修前的准备工作	37
第五节	大修前的检查和试验	39
第六节	大修项目及技术要求	40
第七节	断路器大修后的调整及试验	46
第八节	检修后断路器的投运	48
第七章	高压交流断路器的试验	49
第一节	型式试验	49
第二节	出厂试验	55
第三节	交接试验	56
第四节	预防性试验	57
第八章	典型设备示例	65
第一节	说明	65
第二节	BLG 1002A 型操动机构运行说明	66
第三节	BLG 1002A 型操动机构维护说明	71
第四节	HPL 型 SF ₆ 断路器操作与维护说明	82
第五节	HPL 型 SF ₆ 断路器及 BLG 1002A 操动机构大修说明	88
附录 A	相关的标准和规范	106
附录 B	应用中的各厂家断路器图片参数	107

第二部分 高压交流隔离开关

第九章	概述	110
第一节	简介	110
第二节	高压隔离开关结构特点	111
第十章	隔离开关的技术规范	113
第一节	断路器型号	113
第二节	技术参数	113
第三节	隔离开关的设计规范	114
第十一章	高压隔离开关的运行维护	116
第一节	高压隔离开关的巡视检查	116
第二节	高压隔离开关的操作	116

第三节	高压隔离开关故障分析及处理	117
第十二章	高压隔离开关的检修	119
第一节	概述	119
第二节	高压隔离开关的小修	119
第三节	大修前的准备工作	120
第四节	大修前的检查和试验	121
第五节	大修项目及技术要求	121
第六节	隔离开关大修后的调整及试验	122
第七节	大修后隔离开关的投运	123
第十三章	高压隔离开关的试验	124
第一节	型式试验	124
第二节	出厂试验	126
第三节	交接试验	127
第四节	预防性试验	127
附录 C	相关的标准和规范	129
附录 D	应用中各厂家隔离开关图片参数	130
第三部分 高压直流断路器		
第十四章	概述	136
第十五章	ABB 高压直流断路器设计规范	139
第十六章	ABB 高压直流断路器的控制回路	150
第十七章	ABB 高压直流断路器及操动机构简介	158
第十八章	BLK82 操动机构介绍	161
第十九章	直流断路器状态检修及试验	166
附录 E	直流断路器各单元技术数据	169
附录 F	直流断路器及操动机构图片参数	175

高压交流断路器



概 述

第一节 简 介

一、用途和结构

1. 断路器本体

断路器在电力系统中起着两方面的作用：一是控制作用，即根据电力系统运行需要，将一部分电力设备或线路投入或退出运行；二是保护作用，即在电力设备或线路发生故障时，通过继电保护装置作用于断路器，将故障部分从电力系统中迅速切除，保证电力系统无故障部分的正常运行。

高压交流断路器的类型很多，但就其结构来讲，都是由通断元件、绝缘支撑件、传动元件、基座及操动机构五个基本部分组成。通断元件是断路器的核心部分，操动机构接到操作指令后，经中间传动机构传送到通断元件执行命令，使主电路接通或断开。通断元件包括触头、导电部分、灭弧介质和灭弧室等，安装在绝缘支撑件上，使带电部分与地绝缘。绝缘支撑件安装在基座上。这些基本组成部分的结构，随断路器类型不同而异。

2. 操动机构

操动机构是完成断路器分、合闸操作的动力能源，是断路器的重要组成部分，目前以弹簧操动机构、液压操动机构以及气动操动机构应用较为普遍。

(1) 液压操动机构。液压操动机构按储能方式，可分为非储能式和储能式。前者一般用于隔离开关，后者多用于 35kV 及以上的高压少油断路器和 110kV 及以上的单压式 SF₆ 断路器，液压操动机构按液压作用方式，可分为单向液压传动和双向液压传动；按传动方式，分为间接（机械—液压混合）传动和直接（全液压）传动；按充压方式分为瞬时充压式、常高压保持式、瞬时失压—常高压保持式。

(2) 弹簧操动机构。弹簧操动机构是利用弹簧预先储存的能量作为合闸动力，进行断路器的分、合闸操作的，只需要小容量的低压交流电源或直流电源。此种机构成套性强，不需配备附加设备，弹簧储能时耗费率小，但结构复杂，加工工艺及材料性能要求高且机构本身重量随操作功率的增加而急骤增大。目前，只适用于所需操作能量少的真空断路器、少油断路器、110kV 及以下电压等级的 SF₆ 断路器和自能式灭弧室 SF₆ 断路器。

(3) 气动操动机构。气动操动机构以压缩空气为动力，使断路器实现气动分闸，同时又使合闸弹簧储能，合闸时依靠合闸弹簧的释放能量，而不消耗压缩空气。

二、类型和适用场所

断路器按其所采用的灭弧介质，可分为下列几种类型：

1. 油断路器

采用变压器油作灭弧介质的断路器,称为油断路器。如断路器的油还兼作开断后的绝缘和带电部分与接地外壳之间的绝缘介质,称为多油断路器;如断路器的油仅作为灭弧介质和触头开断后的绝缘介质,而带电部分对地之间的绝缘介质采用瓷或其他介质的,称为少油断路器。油断路器主要用在不需频繁操作及不要求高速开断的各级电压电网中。

2. 六氟化硫(SF_6)断路器

采用具有优良灭弧性能和绝缘性能的 SF_6 气体作为灭弧介质的断路器,称为 SF_6 断路器,在电力系统中广泛应用。适用于频繁操作及要求高速开断的场合,在我国推荐在 7.2~40.5kV 选用 SF_6 断路器,特别是 126kV 以上几乎全部选用 SF_6 断路器,但不适用于高海拔地区。

3. 真空断路器

利用真空的高介质强度来灭弧的断路器,称为真空断路器。现已大量应用在 7.2~40.5kV 电压等级的供(配)电网络上,也主要用于频繁操作及要求高速开断的场合。在海边地区使用时,应注意防凝露,因为凝露会使断路器灭弧室灭弧能力下降。

目前,在电力系统中主要使用以上三种形式的断路器,而一些旧式断路器,如空气断路器和多油断路器等,已逐步被淘汰。

三、国内外知名断路器简介

目前世界上断路器的生产主要集中在欧洲的几大生产厂家如 Siemens、ABB、Alstom、Schneider 和日本的几大公司如三菱、东芝、日立公司。上述几家大公司所生产的各个电压等级的产品,基本上代表了世界上最先进技术水平。我国的断路器生产厂家通过技术引进和与外国著名厂商的合作,其中的五大著名开关生产厂商(西安西开高压电气股份有限公司、沈阳高压开关有限责任公司、平顶山天鹰集团有限责任公司、上海华通开关厂有限公司、北京北开电气股份有限公司)已经有生产 126~550kV 断路器和 GIS 封闭式组合电器的能力。

第二节 断路器工作原理

1. 油断路器的灭弧原理

这类断路器用油作灭弧介质,电弧在油中燃烧时,油受电弧的高温作用而迅速分解、蒸发,并在电弧周围形成气泡,这样能有效地冷却电弧,降低弧隙电导率,促使电弧熄灭。在油断路器中设置了灭弧装置(室),使油和电弧的接触紧密,气泡压力得到提高。当灭弧室喷嘴打开后,气体、油和油蒸气本身形成一股气流和液流,按照具体的灭弧装置结构,可垂直于电弧横向吹弧,平行于电弧纵向吹弧或纵横结合等方式吹向电弧,对电弧实行强力有效的吹弧,这样,就加速去游离过程,缩短燃弧时间,从而提高了断路器的开断能力,电流过零时灭弧。

2. SF₆ 断路器的灭弧原理

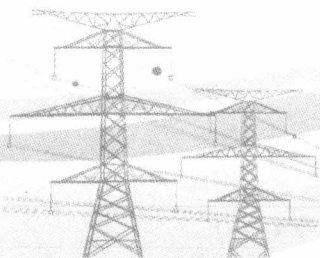
SF₆ 断路器用 SF₆ 气体作为灭弧介质。SF₆ 气体是理想的灭弧介质，它具有良好的热化学性与强负电性。

(1) 热化学性。热化学性即 SF₆ 气体有良好的热传导特性。由于 SF₆ 气体有较高的导热率，电弧燃烧时，弧心表面具有很高的温度梯度，冷却效果显著，所以电弧直径比较小，有利于灭弧。同时 SF₆ 气体在电弧中热游离作用强烈，热分解充分，弧心存在着大量单体的 S、F 及其离子等，电弧燃烧过程中，电网注入弧隙剩余的能量比空气和油等作灭弧介质的断路器低得多。因此，触头材料烧损较少，电弧也就比较容易熄灭。

(2) SF₆ 气体的强负电性。就是这种气体分子或原子生成负离子的倾向性强。由电弧电离所产生的电子，被 SF₆ 气体和由它分解产生的卤族分子和原子强烈地吸附，因而带电粒子的移动性显著降低，并由于负离子与正离子极易复合还原为中性分子和原子。因此，弧隙空间导电性的消失过程非常迅速。弧隙电导率很快降低，从而促使电弧熄灭。

3. 真空断路器的灭弧原理

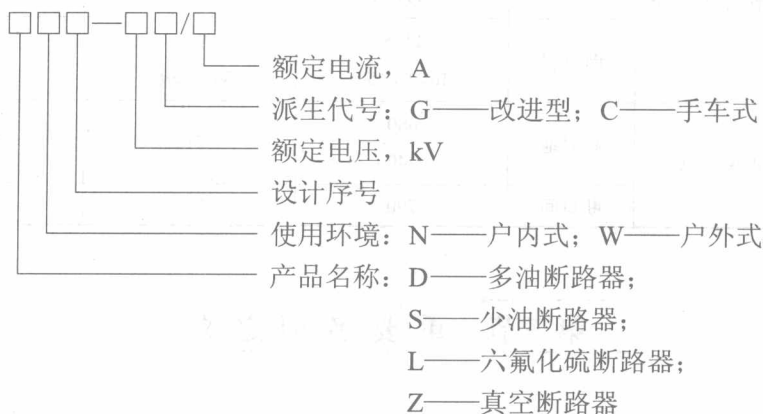
真空断路器应用真空作为绝缘和灭弧介质。断路器开断时，电弧在由真空灭弧室触头材料所产生的金属蒸气中燃烧，简称为真空电弧。当开断真空电弧时，由于弧柱内外的压力与密度差别都很大，所以弧柱内的金属蒸气与带电质点会不断向外扩散。弧柱内部处在一面向外扩散，一面处于电极不断蒸发出新质点的动态平衡中。随着电流减小，金属蒸气密度与带电质点的密度都下降，最后在电流接近零点时消失，电弧随之熄灭。此时，弧柱残余的质点继续向外扩散，断口间的介质绝缘强度迅速恢复，只要介质绝缘强度的恢复速度大于电压恢复上升速度，电弧最终熄灭。



断路器技术规范

第一节 断路器型号

型号表示方法：依据 GB 高压断路器的型号是由字母和数字组成，表示如下。



第二节 技术参数

主要技术参数:

- (1) 额定电压。指断路器能承受的正常工作线电压。
- (2) 额定电流。指断路器可以长期通过的工作电流。断路器长期通过额定电流时, 其各部分的发热温度不超过允许值。
- (3) 额定开断电流。在额定电压下, 规定的时间内断路器能可靠切断的最大电流的有效值, 称为额定开断电流 I_k , 它表示断路器的断路能力。
- (4) 动稳定电流。断路器在闭合位置时, 所能通过的最大短路电流, 称为动稳定电流, 亦称额定峰值耐受电流, 它表明断路器在冲击短路电流作用下, 承受电动力的能力。这个值的大小由导电及绝缘等部分的机械强度所决定。
- (5) 热稳定电流。热稳定电流是断路器在规定时间内, 允许通过的最大电流, 它表示断路器承受短路电流热效应的能力。以短路电流的有效值表示。断路器的铭牌规定一定时间 (1, 2, 4s) 的热稳定电流。
- (6) 额定绝缘水平。额定绝缘水平见表 2-1。

表 2-1

额定绝缘水平

项 目		电压等级 (kV)		
		550	363	252 (245)
额定电压 (kV)		550	363	252 (245)
额定频率 (Hz)		50	50	50
1.2/50 μ s 雷电冲击耐受电压峰值 (kV)	相对地	1550 (1675)	1175	950
	断口间	1550 + 315 1675 + 315	1175 + 205	1050
250/2500 μ s 操作冲击耐受电压峰值 (kV)	相对地	1050 (1175)	950	
	断口间	1175 1050 + 450	950 850 + 295	
1min 工频耐受电压 (kV)	相对地	680 (740)	510	395
	断口间	790	580	460

第三节 重要名词定义

(1) 开断时间 (又称全开断时间)。是指从断路器的操动机构接到开断指令起, 到三相电弧完全熄灭为止的一段时间。开断时间可划分为分闸时间和燃弧时间两部分。

1) 分闸时间 (又称固有分闸时间) 是指自断路器接到分闸指令起, 到首先分离相的触头刚分开为止的一段时间。这一段时间的长短通常主要和断路器及所配操动机构的机械特性有关, 受开断电流大小的影响较小, 可以看成是一个定值。

2) 燃弧时间是指自先分离相的触头刚分开起、到三相电弧完全熄灭为止的一段时间。这段时间的长短随开断电流的大小而变动。

可见, 要缩短断路器的开断时间, 必须从改善断路器的机械特性和灭弧特性两方面着手。随着断路器技术的发展, 目前快速开断时间已到 50ms 左右。

(2) 合闸时间 (又称固有合闸时间)。是指自断路器的机构接到合闸指令起, 到各相触头均接触时为止的一段时间。合闸时间的长短, 主要取决于断路器的操动机构及传动机械的特性。目前合闸时间已缩短到 100ms 左右。

(3) 分闸相间同步。是用来反映三相触头分开时间差异的。这一性能的衡量, 是由断路器接到分闸指令, 自首先分离相的触头刚分开起到最后分离相的触头刚分开为止这一段时间的长短来表示。一般分闸相间同步应不大于 3ms。

同一相内串联几个断口时, 还有断口间分闸同步的要求。断口间分闸同步应不大于 2ms。