

中国电力教育协会审定



全国电力高职高专“十二五”规划教材
电力技术类（电力工程）专业系列教材

电气设备运行与检修

全国电力职业教育教材编审委员会 组编

郭琳 鲁爱斌 主编



配套课件



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力教育协会审定



全国电力高职高专“十二五”规划教材

电力技术类（电力工程）专业系列教材

电气设备运行与检修

全国电力职业教育教材编审委员会 组 编

郭琳 鲁爱斌 主 编

马 雁 石锋杰 高 虹 副主编

姜秉梁 王锐凤 彭 博 郭 雷 编 写

吴斌兵 主 审



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本书采用任务驱动、行动导向的方式编写,包括项目描述、教学环境、教学目标、任务描述、任务准备、相关知识等环节,目标任务明确。

本书共七个项目,主要内容包括高压断路器的运行与检修,高压隔离开关的运行与检修,互感器、限流限压及补偿设备的运行与检修,高压开关柜的运行与检修,SF₆组合电器的运行与检修,电气主接线及倒闸操作,配电装置的布置。

本书可供高职高专院校电力工程类相关专业师生使用,也可供电力工程类相关专业技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备运行与检修/郭琳,鲁爱斌主编;全国电力职业教育教材编审委员会组编. —北京:中国电力出版社,2015.6

全国电力高职高专“十二五”规划教材. 电力技术类(电力工程)专业系列教材

ISBN 978-7-5123-7548-2

I. ①电… II. ①郭…②鲁…③全… III. ①电气设备—运行—高等职业教育—教材②电气设备—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 071809 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

*

2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 369 千字

定价 30.00 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

全国电力职业教育教材编审委员会

主 任 薛 静

副 主 任 张薛鸿 赵建国 刘广峰 马晓民 杨金桃 王玉清
文海荣 王宏伟 朱 飙 何新洲 李启煌 王宏伟(女)
陶 明 杜中庆 杨建华 周一平

秘 书 长 鞠宇平 潘劲松

副秘书长 李建强 谭绍琼 武 群 黄定明 樊新军

委 员 (按姓氏笔画顺序排序)

丁 力	马敬卫	王 宇	王火平	王玉彬	王亚娟
王俊伟	毛文学	方舒燕	兰向春	冯 涛	任 剑
刘家玲	刘晓春	齐 强	汤晓青	阮予明	佟 鹏
李建兴	李高明	李道霖	李勤道	吴金龙	吴斌兵
余建华	宋云希	张小兰	张进平	张惠忠	陈延枫
罗红星	罗建华	郑亚光	郑晓峰	屈卫东	胡 斌
胡起宙	饶金华	倪志良	郭连英	盛国林	章志刚
黄红荔	黄益华	黄蔚雯	龚在礼	董传敏	曾旭华
解建宝	廖 虎	潘汪杰	操高城	戴启昌	

参 编 院 校

山东电力高等专科学校
山西电力职业技术学院
四川电力职业技术学院
三峡电力职业学院
武汉电力职业技术学院
江西电力职业技术学院
重庆电力高等专科学校

西安电力高等专科学校
保定电力职业技术学院
哈尔滨电力职业技术学院
安徽电气工程职业技术学院
福建电力职业技术学院
郑州电力高等专科学校
长沙电力职业技术学院

电力工程专家组

组 长 解建宝

副组长 李启煌 陶 明 王宏伟 杨金桃 周一平

成 员 (按姓氏笔画排序)

王玉彬 王 宇 王俊伟 刘晓春 余建华 吴斌兵
张惠忠 李建兴 李道霖 陈延枫 罗建华 胡 斌
章志刚 黄红荔 黄益华 谭绍琼

出版说明

为深入贯彻《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020)精神,落实鼓励企业参与职业教育的要求,总结、推广电力类高职高专院校人才培养模式的创新成果,进一步深化“工学结合”的专业建设,推进“行动导向”教学模式改革,不断提高人才培养质量,满足电力发展对高素质技能型人才的需求,促进电力发展方式的转变,在中国电力企业联合会和国家电网公司的倡导下,由中国电力教育协会和中国电力出版社组织全国14所电力高职高专院校,通过统筹规划、分类指导、专题研讨、合作开发的方式,经过两年时间的艰苦工作,编写完成全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本套教材分为电力工程、动力工程、实习实训、公共基础课、工科专业基础课、学生素质教育六大系列。其中,电力工程和工科专业基础课系列教材40余种,主要针对发电厂及电力系统、供用电技术、继电保护及自动化、输配电线路施工与维护等专业,涵盖了电力系统建设、运行、检修、营销以及智能电网等方面内容。教材采用行动导向方式编写,以电力职业教育工学结合和理实一体化教学模式为基础,既体现了高等职业教育的教学规律,又融入电力行业特色,是难得的行动导向式精品教材。

本套教材的设计思路及特点主要体现在以下几方面。

(1) 按照“行动导向、任务驱动、理实一体、突出特色”的原则,以岗位分析为基础,以课程标准为依据,充分体现高等职业教育教学规律,在内容设计上突出能力培养为核心的教学理念,引入国家标准、行业标准和职业规范,科学合理设计任务或项目。

(2) 在内容编排上充分考虑学生认知规律,充分体现“理实一体”的特征,有利于调动学生学习积极性。是实现“教、学、做”一体化教学的适应性教材。

(3) 在编写方式上主要采用任务驱动、行动导向等方式,包括学习情境描述、教学目标、学习任务描述、任务准备、相关知识等环节,目标任务明确,有利于提高学生学习的专业针对性和实用性。

(4) 在编写人员组成上,融合了各电力高职高专院校骨干教师和企业技术人员,充分体现院校合作优势互补,校企合作共同育人的特征,为打造中国电力职业教育精品教材奠定了基础。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略、实现高端技能型人才培养的重要举措,是加快高职高专教育教学改革、全面提高高等职业教育教学质量的具体实践,必将对课程教学模式的改革与创新起到积极的推动作用。

本套教材的编写是一项创新性的、探索性的工作,由于编者的时间和经验有限,书中难免有疏漏和不当之处,恳切希望专家、学者和广大读者不吝赐教。

前言

随着我国职业教育的不断发展,以工作过程为导向的职业教育思想已被我国职业教育界所接受,并对我国职业教育课程改革的理论研究和方法研究产生了深刻影响。为贯彻落实《国家中长期教育改革和规划纲要》(2010—2020)要求企业参与职业教育的文件精神,满足电力行业产业发展对高技术技能型人才的需求,中国电力教育协会联合国家电网公司人力资源部,在全国各电力高职高专院校和中国电力出版社共同参与下,组织编制了全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本教材以《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》为指导,主要采用行动导向编写方式,按照“项目导向、任务驱动、理实一体、突出特色”的原则,以岗位分析为基础,以课程标准为依据,充分体现高等职业教育教学规律。教材内容突出能力培养为核心的教学理念,引入国家标准、行业标准和职业规范,科学合理设计任务或项目,充分考虑学生认知规律,充分体现任务驱动的特征,充分调动学生学习积极性。本书作为高职高专院校电力技术类专业的教材,在编写过程中坚持人才培养目标的要求,以适用为度,同时结合我国电力生产现状,由郑州、武汉、长沙、保定和福建的电力职业院校的在校教师共同编写。

本书共分七个项目,项目一由郭琳(郑州电力高等专科学校)、鲁爱斌(武汉电力职业技术学院)、高虹(长沙电力职业技术学院)、彭博(郑州电力高等专科学校)共同编写,项目二由鲁爱斌、高虹、石锋杰(郑州电力高等专科学校)彭博共同编写,项目三和项目五由郭琳、石锋杰、马雁(郑州电力高等专科学校)、郭雷(洛阳供电公司)共同编写,项目四由郭琳、鲁爱斌、姜秉梁(保定电力职业技术学院)共同编写,项目六由王锐凤(福建电力职业技术学院)、高虹、马雁、郭雷共同编写,项目七由石锋杰、王锐凤共同编写。全书由郭琳统稿。

本书承蒙江西电力职业技术学院吴斌兵主审,提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者教学水平和生产实际经验有限,不足之处在所难免,希望读者批评指正。

编者

2015年4月

目 录

出版说明

前言

项目一 高压断路器的运行与检修	1
任务 1.1 高压断路器的认识	2
任务 1.2 高压断路器的运行	15
任务 1.3 高压断路器的管理	21
任务 1.4 高压断路器的检修	26
任务 1.5 高压断路器的事故预防	37
项目总结	44
复习思考	45
项目二 高压隔离开关的运行与检修	46
任务 2.1 高压隔离开关的认识	47
任务 2.2 高压隔离开关的运行	57
任务 2.3 高压隔离开关的检修	61
任务 2.4 高压隔离开关的事故预防	70
项目总结	72
复习思考	73
项目三 互感器、限流限压及补偿设备的运行与检修	74
任务 3.1 互感器的运行与检修	74
任务 3.2 避雷器的运行与检修	104
任务 3.3 电抗器的运行与检修	108
任务 3.4 电力电容器的运行与检修	112
项目总结	122
复习思考	122
项目四 高压开关柜的运行与检修	124
任务 4.1 高压开关柜的认识	124
任务 4.2 高压开关柜的运行	137
任务 4.3 高压开关柜的检修	141
任务 4.4 高压开关柜的事故预防	146
项目总结	150
复习思考	150

项目五 SF₆ 组合电器的运行与检修	151
任务 5.1 SF ₆ 组合电器的认识	151
任务 5.2 SF ₆ 组合电器的运行	157
任务 5.3 SF ₆ 组合电器的检修	161
任务 5.4 SF ₆ 组合电器的事故预防	167
项目总结	171
复习思考	172
项目六 电气主接线及倒闸操作	173
任务 6.1 电气主接线的形式及特点	173
任务 6.2 发电厂和变电站电气主接线倒闸操作	191
任务 6.3 线路停送电操作	200
任务 6.4 母线停送电操作	203
任务 6.5 变压器停送电操作	205
项目总结	207
复习思考	208
项目七 配电装置的布置	209
任务 7.1 配电装置的一般问题	209
任务 7.2 屋内配电装置的布置	214
任务 7.3 屋外配电装置的布置	218
任务 7.4 配电装置的识图	226
项目总结	230
复习思考	230
参考文献	231

项目一

高压断路器的运行与检修

【项目描述】

本项目介绍高压断路器的作用及类型、基本技术参数及型号、结构及操动机构等基本知识,了解高压断路器的运行规程和检修规范,了解高压断路器常见的事故类型,熟悉其预防措施。通过本项目的学习与训练,学生能够完成高压断路器的巡视、维护工作,能够根据异常现象分析故障原因并完成故障处理等方面的工作。

【教学目标】

- (1) 掌握高压断路器的作用、工作原理、基本技术参数和结构。
- (2) 了解高压断路器的运行规程和检修规范,掌握高压断路器的巡视、维护内容,掌握高压断路器的操作方法。
- (3) 了解高压断路器的技术资料内容,熟知设备的缺陷分类,熟悉事故处理预案内容,了解一些现场的事故案例。
- (4) 了解检修对人员、环境及工器具的要求,熟知检修工作过程和检修工艺。
- (5) 能够读懂高压断路器的产品技术说明书,根据其运行管理规范,能对设备进行验收、安装和投运。
- (6) 能够根据高压断路器的特点及用途,结合近年来国家电网公司输变电设备评估分析、生产运行情况分析及设备运行经验,为防止和减少设备运行故障,对其进行正常巡视、特殊巡视、正常操作和异常操作。
- (7) 根据高压断路器的运行维护情况,能对其进行缺陷管理、事故处理,并做事故处理预案及方案,建立健全的技术资料档案,对高压断路器的运行做出分析,定期对运行的高压断路器进行评级,对其运行状态做出科学评价,指导检修。
- (8) 根据高压断路器检修的一般规定,能收集检修所需的资料,确定检修方案,准备检修工具、备件及材料,设置检修安全措施,处理检修环境,进行检修前的检查和试验,确定检修项目,实施高压断路器的检修,能做检修记录和总结报告。
- (9) 根据高压断路器在运行中频繁出现的、典型的事故(故障),能进行预防和处理。

【教学环境】

教学场所:多媒体教室、实训基地。

教学设备:电脑、投影仪、展台、扩音设备、纸质及电子资料。

教学资源:实训场地符合安全要求,实训设备充足可靠。

任务 1.1 高压断路器的认识

【教学目标】

1. 知识目标

- (1) 掌握高压断路器的基本要求、类型、参数、型号；
- (2) 熟悉高压断路器的灭弧原理；
- (3) 熟悉高压断路器本体和机构的工作原理及结构。

2. 能力目标

- (1) 能看懂断路器技术说明书；
- (2) 能指出断路器的主要组成部分及作用。

3. 态度目标

- (1) 能做到认真预习和收集上课所需要的资料；
- (2) 能认真上课，仔细看书，听老师所讲的内容，积极参与讨论并发表意见；
- (3) 尊重小组的决定，积极配合小组其他成员完成分配的工作任务；
- (4) 在学习中，学习他人的长处，改正自己的缺点，积极与老师、同学交流和探讨；
- (5) 能吃苦耐劳，团结互助，具备职业岗位所需要的基本素质。

【任务描述】

在对高压断路器的类型、型号、基本技术参数、结构等知识有了深入了解之后，能够对实训室现有高压断路器实物，说出其结构特点，并准确指出主要组成部分。

【任务准备】

课前预习相关部分知识，通过观看实训基地现有高压断路器的实物、图片、动画、视频，经讨论后能独立回答下列问题：

- (1) 断路器的作用是什么？分为哪几种类型？型号如何表示？
- (2) 断路器有哪些额定参数？分别表示什么意义？
- (3) 断路器的基本结构可分为哪几部分？

【相关知识】

高压开关指额定电压 1kV 及以上，主要用于开断和关合导电回路的电器。高压开关设备指高压开关与控制、测量、保护、调节装置以及辅件、外壳和支持件等部件及其电气和机械的联结组成的总称。

高压开关设备按其功能和作用的不同，可以分为元件及其组合和成套设备。元件及其组合包括断路器、隔离开关、接地开关、重合器、分断器、负荷开关、接触器、熔断器以及上述元件组合而成的负荷开关-熔断器组合电器、接触器-熔断器（F-C）组合电器、隔离负荷开关、熔断器式开关、敞开式组合电器等。成套设备是将上述元件及其组合与其他电器（如变压器、互感器、电容器、电抗器、避雷器和二次元件等）进行合理配置，有机地组合

于金属封闭外壳内,具有相对完整使用功能的产品,如金属封闭开关设备(开关柜)、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)和高压/低压预装式变电站等。

高压开关设备按其绝缘可分为空气绝缘的敞开式开关设备(AIS)、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)和混合技术开关设备(MTS)三种类型。

AIS以优化投资成本为特征,GIS以最小的空间需求为特征,MTS则以可靠性极高的单线布置为特征。MTS是基于敞开式开关设备组合及气体绝缘金属封闭开关设备组合的组合式开关设备。MTS可分两类:一类为敞开式组合电器;另一类为H-GIS即复合式GIS。敞开式组合电器是以敞开式元件组合形成的开关设备,基本型号为ZCW。H-GIS是三相空气绝缘且不带母线的单相GIS,基本型号为ZHW。国内将H-GIS亦称为准GIS、简化GIS等。

AIS以瓷套作为设备外壳及外绝缘,优化了投资成本;但占地面积大且设备外露部件多,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、H-GIS在减少占地面积方面具有明显的优势,GIS、H-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、免维护的开关设备,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H-GIS的造价介于AIS和GIS之间。

相对于GIS,H-GIS(或MTS)只将一相断路器、隔离/接地开关、电流互感器等集成为一组模块,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,H-GIS是一种不带充气母线的相间空气绝缘的单相GIS,因而,使得其现场结构清晰、简洁、紧凑、安装和维护方便、运行可靠性高。相对于AIS,MTS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,使运行的可靠性大大提高。

H-GIS的特点:①完全解决了户外隔离开关运行可靠性问题,同时由于各元件组合,大大减少了对地绝缘套管和支柱数。减少了绝缘支柱因污染造成对地闪络的概率,有助于提高运行的可靠性。②由于元件组合,缩短了设备间接线距离,节省了各设备的布置尺寸。相对于传统的AIS,大大缩小了高压设备纵向布置尺寸,减少占地面积达40%~60%。③由于采用在制造厂预制式整体组装调试、模块化整体运输和现场施工安装的方式,现场施工安装更为简单、方便。同时减少了变电站支架、钢材需用量;又由于基础小,工程量少,混凝土用量少,大大减少了基础工作和费用开支。④由于MTS模块化,非常灵活,特别适用于老式变电站的改造。MTS正是适应欧洲20世纪五六十年代老电站改造而兴起的,MTS降低了老变电站升级改造的施工难度和投资规模,同时提高了可靠性。

高压断路器是电力系统最重要的控制和保护设备,它结构完善,并有灭弧装置和高速传动机构,能关合和开断各种状态下高压电路中的电流。其在电力系统中主要起两方面的作用:①控制作用,即在正常时,根据电力系统的运行需要,接通或断开电路的工作电流;②保护作用,当系统中发生故障时,高压断路器与继电保护装置及自动装置配合,迅速、自动地切除故障电流,将故障部分从电力系统中断开,保证电力系统无故障部分的安全运行,以减小停电范围,防止事故扩大。

一、高压断路器的基本要求、类型

(一) 高压断路器的基本要求

电力系统的运行状态、负荷性质是多种多样的,起控制和保护作用的高压断路器,必须满足以下基本要求:

(1) 工作可靠。断路器应能在规定的运行条件下长期可靠地工作,并能正确地执行分、合闸命令,圆满完成接通或断开电路的任务。

(2) 具有足够的开断能力。断路器在断开短路电流时,触头间会产生很大的电弧,此时断路器应具有足够强的灭弧能力才能安全可靠地断开电路,并且还要有足够的热稳定性。

(3) 具有尽可能短的开断时间。分断时间要短,灭弧速度要快,这样当电网发生短路故障时可以缩短切除故障的时间,以减轻短路电流对电气设备和电力系统的危害,有利于系统的稳定。

(4) 具有自动重合闸功能。由于输电线路的故障多数是暂时性的,采用自动重合闸可以提高供电可靠性和电力系统的稳定性。即在发生短路故障时,继电保护动作使断路器跳闸,切除故障电流,经无电流间隔时间后自动重合闸,恢复供电。当然,如果故障仍然存在,断路器则再次立即跳闸,切断故障电流。

(5) 具有足够的机械强度和良好的稳定性能。正常运行时,断路器应能承受自身重量、风载和各种操作力的作用。在系统发生短路故障,断路器通过短路电流时,应有足够的动稳定和热稳定,以保证断路器的安全运行。

(6) 结构简单、价格低廉。在满足安全、可靠要求的前提下,还应考虑经济性。因此要求断路器结构简单、体积小、质量轻、价格合理。

(二) 高压断路器的类型

高压断路器按安装地点不同可分为屋内式和屋外式两种。按它使用的灭弧介质不同可分为:

(1) 油断路器(包括多油断路器和少油断路器)。它是用变压器油作为灭弧介质。多油断路器的油除灭弧外,还作为对地绝缘使用;少油断路器的油仅作灭弧介质和分闸后触头间的绝缘使用。油断路器维护简单、价格低廉、技术成熟,但随着无人值守变电站中无油化基本要求的推广,它已逐渐被其他类型断路器取代。

(2) 真空断路器。它是一种用高度真空作为灭弧介质和绝缘介质的断路器,具有可频繁操作、维护工作量少、体积小等优点。

(3) 空气断路器。它以压缩空气作为灭弧介质和绝缘介质,具有灭弧能力强、动作迅速等优点,但结构复杂、运行费用高、价格高,已逐步被六氟化硫断路器所取代。

(4) 六氟化硫(SF_6)断路器。它是采用具有优异的绝缘性能和灭弧能力的六氟化硫气体作为灭弧介质和绝缘介质的断路器,具有开断能力强、动作快、维护工作量小、运行稳定、安全可靠等优点,目前在110kV及以上系统中已得到了广泛的应用。

真空断路器、 SF_6 断路器是现在和未来重点发展与使用的断路器。

二、高压断路器的基本技术参数和型号

(一) 高压断路器的主要技术参数

(1) 额定电压:表征断路器绝缘强度的参数,是断路器长期工作的标准电压。为了适应电力系统工作的要求,断路器又规定了与各级额定电压相应的最高工作电压。对3~220kV

各级,其最高工作电压较额定电压高 15% 左右;对 330kV 及以上等级,最高工作电压较额定电压约高 10%。断路器在最高工作电压下,应能长期可靠地工作。

(2) 额定电流:表征断路器通过长期电流能力的参数,即断路器允许连续长期通过的最大电流。

(3) 额定开断电流:表征断路器开断能力的参数。在额定电压下,断路器能保证可靠开断的最大电流,称为额定开断电流,其单位用断路器触头分离瞬间短路电流周期分量有效值的千安数表示。当断路器在低于其额定电压的电网中工作时,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。

(4) 动稳定电流:表征断路器通过短时电流能力的参数,反映断路器承受短路电流电动力效应的能力。断路器在合闸状态下或关合瞬间,允许通过的电流最大峰值,称为电动稳定电流,又称为极限通过电流。断路器通过动稳定电流时,不能因电动力作用而损坏。

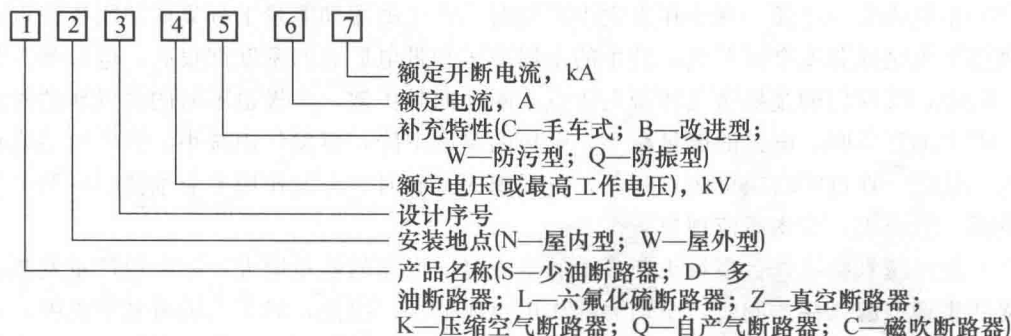
(5) 关合电流:表征断路器关合电流能力的参数。因为断路器在接通电路时,电路中可能预伏有短路故障,此时断路器将关合很大的短路电流。这样,一方面由于短路电流的电动力减弱了合闸的操作力,另一方面由于触头尚未接触就发生击穿而产生电弧,可能使触头熔焊,从而使断路器造成损伤。断路器能够可靠关合的电流最大峰值,称为额定关合电流。额定关合电流和动稳定电流在数值上是相等的,两者都等于额定开断电流的 2.55 倍。

(6) 热稳定电流和热稳定电流的持续时间:热稳定电流也是表征断路器通过短时电流能力的参数,但它反映断路器承受短路电流热效应的能力。热稳定电流是指断路器处于合闸状态下,在一定的持续时间内,所允许通过电流的最大周期分量有效值,此时断路器不应因短时发热而损坏。国家标准规定:断路器的额定热稳定电流等于额定开断电流。额定热稳定电流的持续时间为 2s,需要大于 2s 时,推荐 4s。

(7) 合闸时间与分闸时间:表征断路器操作性能的参数。不同类型断路器的分、合闸时间不同,但都要求动作迅速。合闸时间是指从断路器操动机构合闸线圈接通到主触头接触这段时间。断路器的分闸时间包括固有分闸时间和熄弧时间两部分。固有分闸时间是指从操动机构分闸线圈接通到触头分离这段时间。熄弧时间是指从触头分离到各相电弧熄灭为止这段时间。所以,分闸时间也称为全分闸时间。

(二) 高压断路器的型号

目前我国断路器型号根据国家技术标准的规定,一般由文字符号和数字按以下方式组成:



例如：ZN28-12/1250-25，表示户内式真空断路器，设计序号为28，最高工作电压12kV，额定电流为1250A，额定开断电流为25kA。

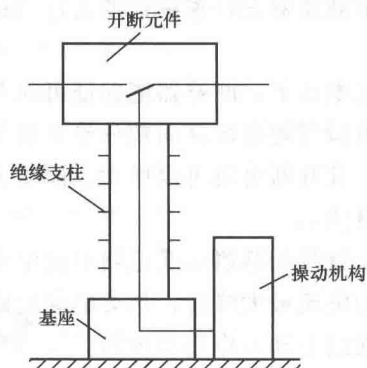


图 1-1 高压断路器基本结构示意图

三、高压断路器的基本结构和灭弧原理

高压断路器的基本结构如图 1-1 所示。它的核心部件是开断元件，包括动触头、静触头、导电部件和灭弧室等。动触头和静触头处于灭弧室内。动、静触头是用来开断和关合电路的，是断路器的执行元件。断路器断口的引入载流导体和引出载流导体通过接线座连接。开断元件是带电的，放置在绝缘支柱上，使处在高电位状态下的触头和导电部分保证与接地的零电位部分绝缘。动触头的运动（开断动作与关合动作）由操动机构提供动力。操动机构与动触头的连接由传动机构和提升杆来实现。操作操动机构使断路器合闸、分闸。当断路器合闸后，操动机构使断路器维持在合闸状态。

下面分别以目前广泛使用的真空断路器和六氟化硫断路器为例介绍其基本结构和工作原理。

（一）真空断路器

在真空容器中进行电流开断与关合的开关电器叫真空断路器，它是利用真空度为 $6.6 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 以上的高真空作为绝缘和灭弧介质。所谓真空是相对而言的，指的是绝对压力低于 1 个大气压（ $1 \text{ atm} = 1.0133 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）的气体稀薄的空间。真空度就是气体的绝对压力与大气压的差值。气体的绝对压力值越低，真空度就越高。真空间隙气体稀薄，气体分子的自由行程大，发生碰撞游离的机会少，击穿电压高，绝缘强度高，电弧很容易熄灭。真空间隙在较小的距离间隙（2~3mm）情况下，有比变压器油、1 个大气压下的 SF_6 气体和空气高得多的绝缘强度，这就是真空断路器的触头开距一般不大的原因。

1. 真空中电弧的形成与熄灭

真空电弧和一般的气体电弧放电现象有很大的差别，气体的游离现象不是产生电弧的主要因素，真空电弧放电是在触头电极蒸发出来的金属蒸气中形成的。同时，开断电流的大小不同，电弧表现的特点也不同。一般把它分为小电流真空电弧和大电流真空电弧。

（1）小电流真空电弧。触头在真空中开断时，产生电流和能量十分集聚的阴极斑点，从阴极斑点上大量地蒸发金属蒸气，其中的金属原子和带电质点的密度都很高，电弧就在其中燃烧。同时，弧柱内的金属蒸气和带电质点不断地向外扩散，电极也不断地蒸发新的质点来补充。在电流过零时，电弧的能量减小，电极的温度下降，蒸发作用减小，弧柱内的质点密度降低，最后，在过零时阴极斑点消失，电弧熄灭。有时，蒸发作用不能维持弧柱的扩散速度，电弧突然熄灭，发生截流现象。

（2）大电流真空电弧。在触头断开大的电流时，电弧的能量增大，阳极也严重发热，形成很强的集聚型的弧柱。同时，电动力的作用也明显了，因此，对于大电流真空电弧，触头间的磁场分布对电弧的稳定性和熄弧性能有决定性的影响。如果电流太大，超过了极限开断电流，就会造成开断失败。此时，触头发热严重，电流过零以后仍然蒸发，介质恢复困难，不能断开电流。

2. 真空断路器的结构和工作原理

真空断路器的生产厂家比较多, 型号也较繁杂。按总体结构一般分为悬臂式和落地式两种类型, 主要由框架部分、真空灭弧室部分(真空泡)和操动机构部分组成。

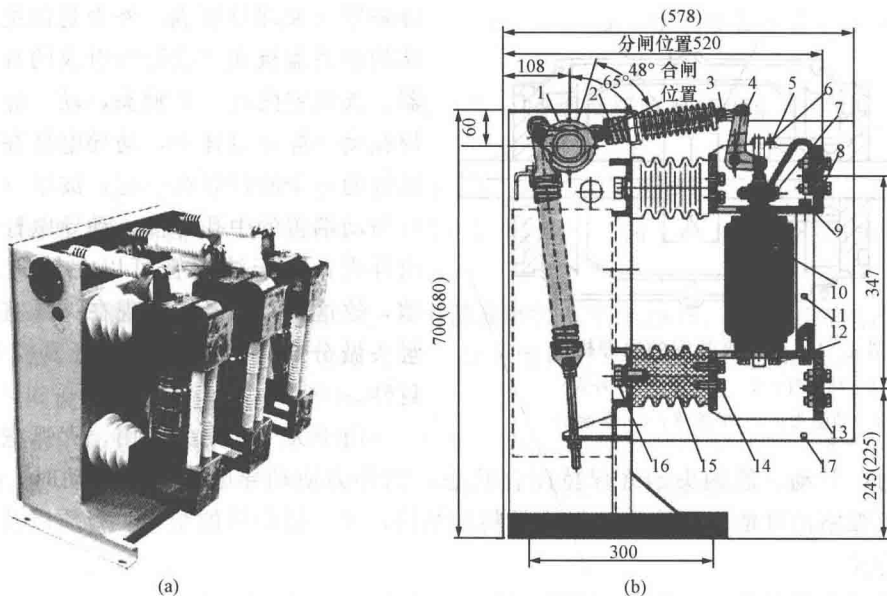


图 1-2 ZN28-12 型户内型悬臂式真空断路器

(a) 外观图; (b) 结构图

- 1—主轴; 2—触头弹簧; 3—接触行程调整螺栓; 4—拐臂; 5—导向板; 6—导向杆; 7—导电夹紧固螺栓;
8—动力架; 9—螺栓; 10—真空灭弧室; 11—绝缘支撑杆; 12—真空灭弧室紧固螺栓;
13—静支架; 14—螺栓; 15—绝缘子; 16—绝缘子固定螺栓; 17—绝缘隔板

ZN28-12 型户内型悬臂式真空断路器如图 1-2 所示。该真空断路器本体与操动机构一起安装在箱形固定柜和手车柜中。采用中间封接式纵磁场真空灭弧室, 每个灭弧室由一只落地绝缘子和一只悬挂绝缘子固定, 真空灭弧室旁有一棒形绝缘子支撑。真空灭弧室上下铝合金支架既是输出接线的基座又兼起散热作用。在灭弧室上支架的上端面, 安装有黄铜制作的导向板, 使导电杆在分闸过程中对中良好。触头弹簧装设在绝缘拉杆的尾部。操动机构、传动主轴和绝缘转轴等部位均设置滚珠轴承, 用于提高效率。

ZW32-12 型户外落地式真空断路器可分为箱式和支柱式(见图 1-3)。由真空灭弧室、上下绝缘罩、箱体、操动机构及驱动部件等组合而成。断路器为直立安装, 三相真空灭弧室分别封闭在三组绝缘罩内, 绝缘罩(采用聚氨酯密封材料, 内部采用新型的发泡灌封材料)固定在箱体上, 箱体内安装弹簧操动机构。同时具备电动和手动操作功能, 可配置智能开关控制器, 设有三段式过电流保护、零序保护、重合闸、低电压、过电压保护等多种功能, 支持多

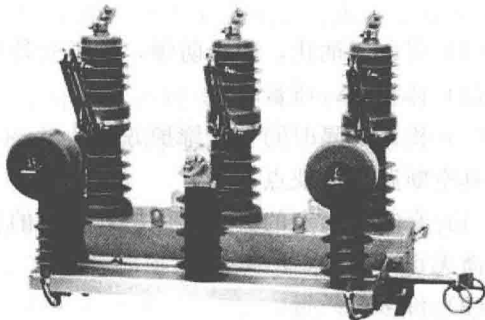


图 1-3 ZW32-12 型户外支柱式真空断路器外观图

种通信信议, 允许选用多种通信方式构成通信网, 既可对开关进行本地手动或遥控操作, 又可通过通信网实现远方控制。

真空灭弧室是真空断路器中最重要的部件, 其结构如图 1-4 所示。它由外壳、触头和屏蔽罩三大部分组成。外壳是由绝缘筒、两端的金属盖板和波纹管所组成的真空密封容器。灭弧室内有一对触头, 动、静触头分别焊在动、静导电杆上, 动导电杆在中部与波纹管的一个断口焊在一起, 波纹管的另一端口与动端盖的中孔焊接, 动导电杆从中孔穿出外壳。由于波纹管可以在轴向上自由伸缩, 故这种结构既能实现在灭弧室外带动触头做分合运动, 又能保证真空外壳的密封性。

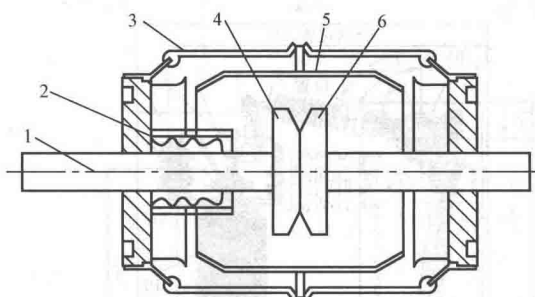


图 1-4 真空灭弧室的原理机构

1—动触杆; 2—波纹管; 3—外壳;
4—动触头; 5—屏蔽罩; 6—静触头

由于大气压力的作用, 灭弧室在无机机械外力作用时, 其动、静触头始终保持闭合状态, 当外力使动导电杆向外运动时, 触头才分离。真空灭弧室的性能主要取决于触头材料和结构, 并与屏蔽罩的结构、材质以及灭弧室的制造工艺有关。

真空灭弧室的触头, 一般采用磁吹对接式。如图 1-5 所示, 其触头的中间是一接触面的四周开有三条螺旋槽的吹弧面, 触头闭合时, 只有接触面相互接触。当开断电流时, 最初在接触面上产生电弧, 在电弧磁场作用下, 驱动电弧沿触头四周切线方向运动, 即在触头外缘上不断旋转, 避免了电弧固定在触头某处而烧毁触头。电流过零时, 电弧即熄灭。

3. 真空断路器的优缺点

真空断路器具有以下优点:

(1) 寿命长, 适于频繁操作。其额定电流开断次数为 10 000 次及以上, 满容量开断次数可达 30 次以上。

(2) 触头开距与行程小。不仅减小了灭弧室体积, 而且大大减少了操动机构的合闸功, 并且分合闸速度大, 操作噪声及机械振动均小。

(3) 燃弧时间短, 一般不超过 20ms, 燃弧时间基本上不受分断电流大小和负载性质的影响。

(4) 可以无油化, 防火防爆, 既不受外界污染, 也不污染外界。

(5) 体积小, 质量轻。

(6) 检修间隔时间长, 维护方便。

真空断路器的缺点:

(1) 真空灭弧室的真空度保持和有效的指示有待改进。其真空度可因某些意外而降低, 并且尚无很可靠的检测方法。

(2) 价格较昂贵。

(3) 容易产生危险的过电压。

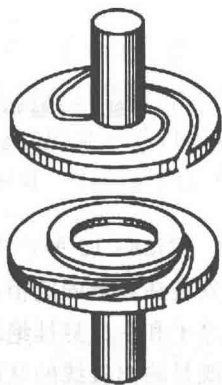


图 1-5 内螺槽触头