



煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

选煤厂电气控制技术

XUAN MEI CHANG DIAN QI KONG ZHI JI SHU

煤炭工业出版社

煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

选煤厂电气控制技术

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

名誉主任	朱德仁						
主任	邱江						
常务副主任	刘富						
副主任	刘爱菊	吕一中	肖仁政	张西月	郝临山	魏焕成	
	曹允伟	仵自连	桂和荣	雷家鹏	张贵金	韩文东	
	李传涛	孙怀湘	程建业				
秘书长	刘富	(兼)					
委员	(按姓氏笔画为序)						
	朱宪民	王枕	王明生	王树明	王朗辉	甘志国	
	白文富	仵自连	任秀志	刘爱菊	刘富	吕一中	
	孙怀湘	孙茂林	齐福全	何富贤	余传栋	吴丁良	
	张久援	张先民	张延刚	张西月	张贵金	张瑞清	
	李传涛	肖仁政	辛洪波	邱江	邹京生	陈季言	
	屈新安	林木生	范洪春	侯印浩	赵杰	赵俊谦	
	郝临山	夏金平	桂和荣	涂国志	曹中林	梁茂庆	
	曾现周	温永康	程光岭	程建业	董礼	谢宗东	
	谢明荣	韩文东	雷家鹏	题正义	魏焕成		
主编	姚霞						

前 言

为贯彻落实《中共中央办公厅、国务院办公厅印发〈关于进一步加强高技能人才工作的意见〉的通知》(中办发〔2006〕15号)精神,推动煤炭高级技工学校、技师学院和高等职业学校加快煤炭行业高技能人才培养工作,适应煤炭工业发展对高技能人才的需求,中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会于2005~2006年召开了多次会议,对煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进行了深入的研究,并按专业开展了教学计划、教学大纲的研究和教材开发工作。经过1年多的工作,煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进展顺利,一套“结构科学,特色突出、专业配套、质量优良”的煤炭高级技工学校通用教材将陆续出版发行,为煤炭行业高技能人才培养提供有力的技术支持。

这套教材主要适用于煤炭高级技工学校、技师学院、高等职业学校教学,也适合具有高中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《选煤厂电气控制技术》是这套教材中的一种,是根据经劳动和社会保障部批准的全国煤矿技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的,经中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会审定,并认定为合格教材,是全国煤炭高级技工学校教学,高等职业学校开展高技能人才培养的统一教材。

本教材由安徽淮北煤炭高级技工学校姚霞同志主编,由淮北矿业集团公司王淮生同志主审。另外,在本教材的编写过程中,得到了有关煤炭高级技工学校的广大教师和煤矿企业有关工程技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,书中难免有不当之处,恳请广大读者批评指正。

中国煤炭教育协会职业教育教材
编审委员会

二〇〇七年四月

目 录

第一章 选煤厂供电的基本知识	1
第一节 电力系统的基本知识	1
第二节 选煤厂常用高压电气设备	7
第三节 选煤厂常用低压电气设备	20
复习思考题	33
第二章 电力拖动的基本知识	34
第一节 电路图的基本知识	34
第二节 三相鼠笼式异步电动机的直接启动控制	40
第三节 电动机控制的几个常用环节	46
第四节 鼠笼式电动机的降压启动	49
第五节 绕线式异步电动机的启动控制	53
第六节 三相异步电动机的制动控制	56
第七节 电动机的保护与选择	59
第八节 交流调速技术	66
第九节 固态继电器及软起动器	68
复习思考题	71
第三章 选煤工艺参数的测试	74
第一节 测试系统	74
第二节 密度、浓度的检测	94
第三节 流量的检测	102
第四节 物位的检测	107
第五节 灰分、水分的检测及磁性物含量的检测	116
第六节 质量的检测	124
第七节 压力的检测	129
复习思考题	131
第四章 选煤厂集中控制	133
第一节 概述	133
第二节 可编程控制器集中控制	135
第三节 FX2 系列 PLC	144
第四节 典型电路梯形图	161
第五节 PLC 应用控制系统的设计方法	165
第六节 计算机在选煤厂控制及管理中的应用	167
复习思考题	170

第五章 选煤工艺的自动控制系统.....	174
第一节 自动控制的基本知识.....	174
第二节 跳汰选煤工艺参数自动测控系统.....	187
第三节 浮选工艺参数自动测控系统.....	199
第四节 重介质选煤工艺参数自动测控系统.....	203
第五节 耙式浓缩机溢流水浊度自动测控系统.....	213
第六节 真空过滤机液位自动调节系统.....	218
复习思考题.....	219
参考文献.....	221

第一章 选煤厂供电的基本知识

第一节 电力系统的基本知识

一、电力系统的基本知识

电能是现代工业的主要动力，它具有取用方便，输送简单，便于控制、调节和测量等优点。因此，电能被广泛用于国民经济各部门及人们的日常生活。电能是由发电厂生产的，发电厂一般设在一次能源所在地（如煤田、油田、河流等），但有可能远离电力用户，这样就存在一个电能输送问题；为了保证电能经济输送和满足不同用户对电压的要求，又存在一个变换电压的问题；电能输送到用户以后还存在一个电能分配的问题。因此，在电力系统中，电能从生产到供给用户使用，通常要经过发电、变电、输电及配电等许多环节。

1. 发电厂

发电厂又名发电站，简称电厂或电站，是生产电能的工厂。它将各种形式的一次能源（如热能、水能、核能等）转变成电能。按所用一次能源的不同，可分为火力发电、水力发电和核能发电等多种。目前我国以火力发电为主，约占发电总量的 70%；其次是水力发电；核能发电近年来也有较快的发展。

2. 变电站（所）

它是变换电压和变换电能的场所。它主要由变压器、母线及开关设备等组成。根据性质和作用的不同，它可以分为升压变电站（所）和降压变电站（所）两大类。升压变电站（所）多设在发电厂内，而降压变电站（所）则根据其在电力系统内所处的地位和作用不同又分为区域变电站（所）（或者叫一级变电站）、企业变电站（所）及车间变电所。区域变电站（所）的作用是进行输电电压的变换，同时指挥、调度和监视某一大区域的电力运行，进行必要的保护，并能有效地控制事故的蔓延，以确保整个区域电网运行稳定和安全。企业变电站（所）、车间变电所通常用来进行配电电压的变换。

3. 输电

发电厂生产的电能除了满足内部用电和直接分配给附近电力用户外，大部分需要经过升压变电站（所）变换成高压电能，进行远距离输送。根据焦耳—楞次定律（ $Q = I^2 R t$ ），电流通过导体产生的热量（ Q ）是与通过导体的电流强度（ I ）平方成正比的。在输送电能功率一定的情况下，采用低电压、大电流输电，不但线路热损耗（ Q ）很大，而且因导线截面大而浪费了金属材料，很不经济。如果提高输电电压，则输电电流可以减少，不仅线路热损耗（ Q ）减小，而且输电电压愈高，输电电流就愈小，导线截面将愈小，从而可以节省大量的金属材料。因此，输电容量（功率）越大，输电距离越远，就要求输电电压升得越高。在一般情况下，输电距离在 50km 以下时，采用 35kV 电压；在 100km 左右时，采用 110kV 电压；超过 200km 时，采用 220kV 或更高的电压。在具体选择输电电压

等级时，还要综合各种经济技术指标来考虑。

按输电电压的高低，输电线路可以分为高压级和超高压级两种。我国高压输电标准电压是 35kV；超高压输电电压有 110kV、220kV、330kV 和 500kV 等多种。

4. 配电

配电是指对电能的分配，有电业系统对电能用户的电能分配和各用户内部对用电设备进行的电能分配两种。配电线路上的电压称为配电电压。配电电压的高低通常取决于用户的分布、用电性质、负荷密度和特殊要求等情况。常用的高压配电电压为 110kV、35kV、10kV 和 6kV 等多种，大多数用户是由 10kV 或 6kV 直线供电。低压配电电压为 660V、380V、220V。选煤厂大多采用 380V 和 220V 电压，目前所建选煤厂动力配电电压也有采用 660V 的。

由发电厂、变电站（所）、输电配电线路和电力用户组成的系统称为电力系统。它们之间的关系如图 1-1 所示。发电机输出的额定电压多为 6~20kV，经升压变压器升至 220~500kV 的超高压，由输电网路送到远离发电厂的城市或工业集中地区。在城市近郊或工业区的负荷中心，建立区域变电站（所），将 220~500kV 的超高压降为 35~110kV；然后再将 35~110kV 高压电能送至附近各工矿企业变电站（所）；最后由企业变电所进行内部电能分配。

二、电力负荷的分级

各类负荷由于运行的特点和重要性的不同，它们对供电可靠性和电能质量的要求也不

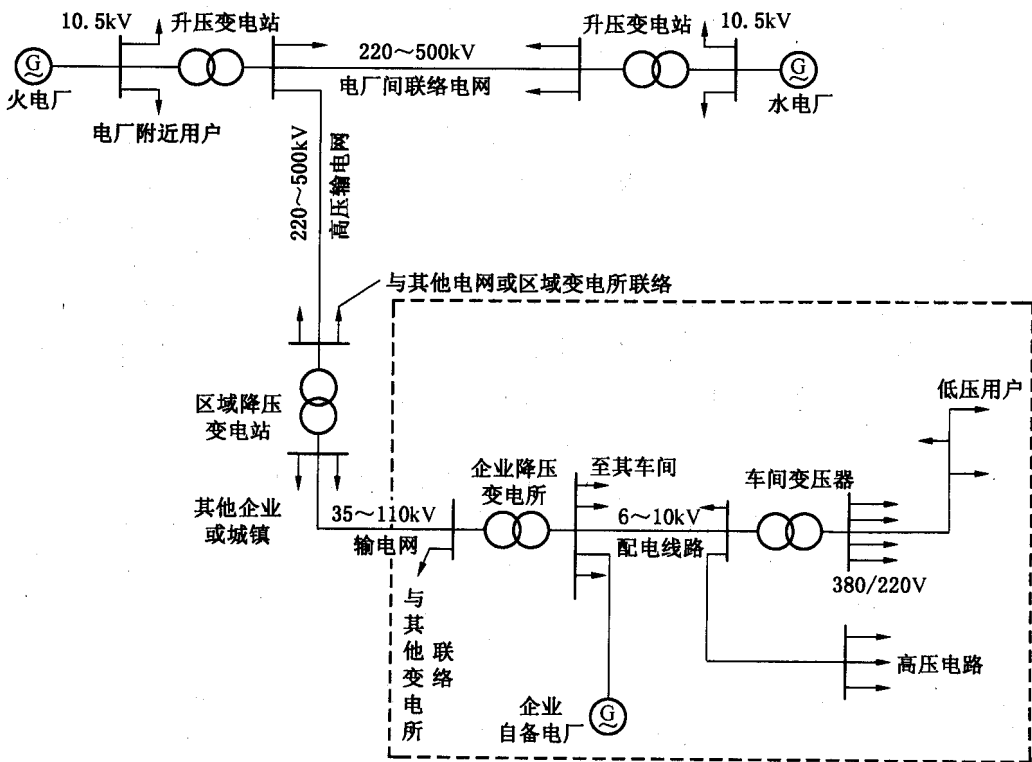


图 1-1 电力系统示意图

同。为了适应不同负荷的要求、合理选择供电方案，我国将电力负荷分为三级：

(1) 一级负荷。这类负荷在供电突然中断时将造成人员伤亡，或造成重大设备损坏且难以修复，或给国民经济带来巨大损失，如煤矿的主排水泵和主要通风机，炼钢厂的高炉等。

对于一级负荷用户供电不能间断，应由两个独立电源供电，其中任一电源发生故障或因检修而停电时，立即由另一电源供电，以确保供电的连续性。

(2) 二级负荷。这类负荷在供电突然中断时将造成设备的局部损坏，或生产流程紊乱且恢复困难，或出现大量废品或大量减产，从而在经济上造成较大损失，如选煤厂、水泥厂和化纤厂等。

二级负荷只允许短时停电，要求采用双回路电源供电，且应来自上一级变电所的不同变压器。当采用双回路电源供电有困难时，允许采用单回路专用架空线路（6kV 及以上）供电。

(3) 三级负荷。凡不属于一、二级负荷的电能用户，均属于三级负荷。三级负荷对供电无特殊要求，可以采用单回路供电，但在不增加投资的情况下，也应尽量提高其供电可靠性，如商店、学校等。

三、选煤厂供电的特点及要求

选煤厂机械化程度较高，生产连续性强，生产机械高度集中，便于实现集中控制和自动化生产，因而选煤厂对供电要求较高。

(1) 可靠。选煤厂属于二级负荷用户，供电中断会造成减产和产品质量下降，带来较大的经济损失。矿属选煤厂采用 6~10kV 电压供电时，一般不少于双回路供电，而且双回路电源应引自矿井地面变电所不同的变压器或母线段；大型独立选煤厂一般采用 35kV 电压等级，双回路或单回路专用架空线路供电。

(2) 安全。为了避免事故，保证生产的顺利进行，必须采用如防触电、过负荷及过电流保护等一系列技术措施和相应的管理制度，以确保供电的安全。

(3) 经济技术合理。除满足供电的可靠性和安全性要求以外，应力求系统简单、运行灵活、操作方便、建设投资和年运行维护费用低，并能保证供电质量。

供电质量的主要指标是供电电压和供电频率。在交流电网中，电压 U 和频率 f 对电动机的转矩 M 和转速 n 有很大影响：电动机的转矩正比于电压的平方 ($M \propto U^2$)，转速正比于频率 ($n \propto f$)，因此，供电电压 U 和频率 f 的波动直接影响到电动机的正常运行。

我国规定，工频交流电的额定频率是 50Hz，频率的偏差不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。频率指标由电力部门来保证，在此不作论述。

电压指标是电力用户需要考虑的。由于种种原因，用电设备在工作过程中的电压与额定电压总有一定的差值，两者之差称为电压偏移。各种用电设备的电压偏移都有一定的允许范围 ($\pm 15\%$)，超出此范围，用电设备将无法正常工作，严重时甚至造成设备损坏。

四、选煤厂变电所

对于大型选煤厂（图 1-2），送入选煤厂的 35kV 的高压电首先经过主降压变压器降压（图 1-2 中 1），然后引至 6~10kV 高压配电室（图 1-2 中 2），经各种配电装置后分

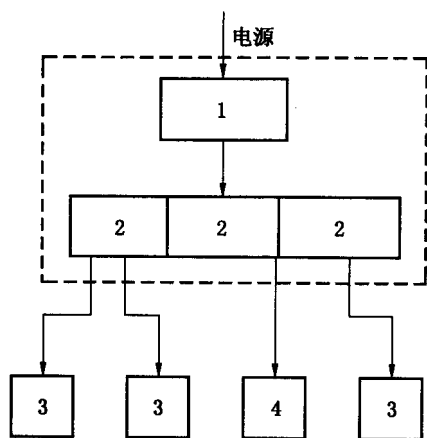


图 1-2 大型选煤厂供电系统框图

1—总降压变压器；2—高压配电室；

3—车间变压器；4—高压用电设备

位于污染源（如锅炉、煤仓等）上风侧，避开有剧烈震动的场所，还应留有扩建和发展的余地。

高压配电室主要由各种高压开关柜组成。根据控制对象的不同，开关柜的接线方案和结构都有所不同。每台高压开关柜分别与车间变压器、高压用电设备以及电力电容器、避雷器等相对应，将 6~10kV 母线（即高压配电室 6~10kV 总电源线）上的电能分配给各种用电设备。

中小型选煤厂供电系统可用图 1-3 所示的框图表示。这类选煤厂供电，一般是由矿井地面变电所直接引入 6~10kV 电压，不再需要总降压变压器，只设 6~10kV 配电所，将电能分配给各车间变电所或高压用电设备。

当供电距离较近、设备集中时，车间变压器也可以设在 6~10kV 配电室内（此时称高压变电所），将 6~10kV 电能变为 380V/220V 后送往车间低压配电室。当 6~10kV 变电所距车间较远时，必须设置车间变电所（亭），如图 1-3 所示。

车间变电所（亭）一般只有 1 台变压器，其容量取决于该车间用电设备的总计算负荷。

车间变电所的位置一般根据下述几个原则来确定：尽量接近大容量设备；避开有剧烈震动的设备（如振动筛、破碎机等）；避免设在用水的设备及水池、水槽水面附近。另外，主厂房车间变电所的母线一般应采取竖向布置，各层配电室由竖向母线供电。母线由专设的母线通道与各层车间封闭，检修和安装口应设网门开向各层配电室。

车间变电所（亭）的种类很多，按所处的

配给各车间变电所（亭）（图 1-2 中 3）或高压用电设备（图 1-2 中 4），最后由车间变电所（亭）将 6~10kV 电能变至 380V/220V 供给各种低压电气设备和用于全厂照明。

大型选煤厂采用 35kV 电压供电时，厂内要设总降压变电所（图 1-2 中 1 和 2 部分）。变电所的主变压器一般为 2 台，当其中 1 台故障或检修时，另 1 台应能保障全厂的主要生产设备用电（不少于全厂总负荷的 75%）。变压器的容量是根据全厂用电设备总计算负荷来确定的，变压器的总容量应大于或等于全厂用电设备的总计算负荷。

总降压变电所的位置一般选在靠近全厂负荷中心（即主厂房）的地方，且应进出线方便，

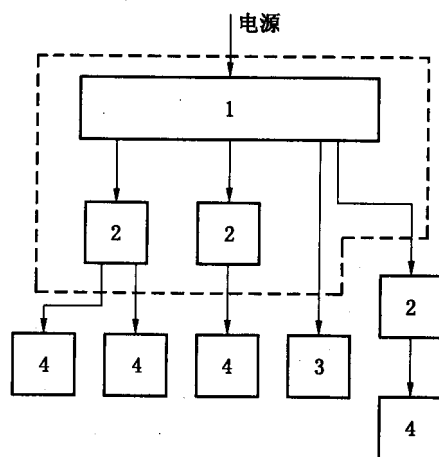


图 1-3 大型选煤厂供电系统框图

1—高压配电室；2—车间变压器；

3—高压用电设备；4—低压配电室

位置来划分有下列几种类型：

(1) 户外变电所。变压器安装于户外露天地面上，不需要建设房屋，通风良好，造价低。户外变电所多位于车间外墙侧，也可单独设立。

(2) 附设变电所。利用车间的一面或几面墙壁，在车间墙内或墙外设置的变电所。附设在车间墙内的变电所叫内附式；附设在车间墙外的变电所叫外附式。附设变电所大门向车间外开。变电所不占车间生产面积或只占车间边角的一部分，不妨碍生产流程变动时调整设备布局。这种变电所比户外变电所造价略高，但供电可靠性高。

(3) 车间内变电所。对于设备布局稳定、负荷大且集中的大型车间（如选煤厂主厂房），变电所设置在车间内，门向车间内开，由车间进入变电所。这种变电所突出的优点是接近负荷中心，可以节省大量的有色金属，减少功率损耗，保证电压稳定。

(4) 独立变电所。设置在离车间有一定距离的单独建筑物内。这种变电所造价较高。对于不适合采用前几种变电所的情况，可以采用独立变电所。

五、变电所的主要电气设备

变电所的主要电气设备有电力变压器、高压断路器、隔离开关、负荷开关、母线、电流互感器、电压互感器、电力电容器、避雷器、高压开关柜以及各种继电保护装置等。这些设备的结构和原理将在以后的章节中详细分析，这里仅作简单介绍。

1. 电力变压器

电力变压器是变电所的核心设备，用来进行电压变换，以满足各种电压等级用电设备的需要。如总降压变压器将 35kV 电压变至 6~10kV，车间变压器将 6~10kV 电压变至 380V/220V。

2. 高压断路器

高压断路器的作用是接通和切断高压负荷电流，同时也能切断过载电流和短路电流。高压断路器种类很多，变电所常用的主要是油断路器和真空断路器。油断路器有多油断路器和少油断路器之分，在 6~10kV 高压配电装置中使用的是少油断路器。

3. 高压隔离开关

高压隔离开关的作用是隔离电源并造成明显的断开点，以保障电气设备能够安全进行检修。隔离开关没有专门的灭弧装置，不能用来关断负荷电流。它通常安装在高压断路器的进、出线侧，在高压断路器断开电路以后，隔离开关才能打开，使断路器或其他电器与电源隔离，以便检修。

4. 负荷开关

高压负荷开关的作用是切断和接通负荷电流。它具有简易灭弧装置，断流能力不大，不能切断事故短路电流，必须和高压熔断器配合使用，靠熔断器来切断短路电流。

5. 高压熔断器

高压熔断器用来保护电气设备免受过载电流和短路电流的危害。

6. 母线

母线又称汇流排，指高、低压配电室中的电源线，由它向各高、低压开关柜供电。母线一般用铜、铝等材料制成。它的截面形状有圆形、矩形和多股绞线。在 35kV 以下的配电室中大多采用矩形母线；35kV 以上的室外变电系统中多采用多股绞线作母线。为了便

于识别相序，母线都涂有不同颜色：第一相为黄色，第二相为绿色，第三相为红色。

7. 互感器

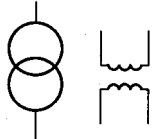
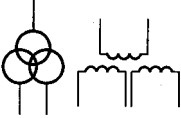
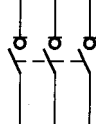
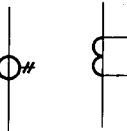
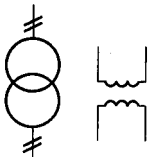
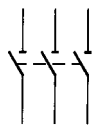
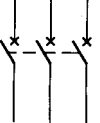
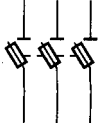
互感器用来将一次回路中的交流电压、电流按比例降至某一标准值（如电压 100V，电流 5A），以便于向仪表、继电器等低压电器供电，组成低压二次回路，并对一次侧高压回路进行测量、调节和保护。互感器按变换量的不同可分为电压互感器和电流互感器。

8. 避雷器

避雷器用来保护电气设备免遭雷电过电压的危害。它接在电气设备的进线侧或母线上。在电压正常时，避雷器电阻很大，相当于对地开路；当雷击引起雷电过电压时，避雷器击穿，对地放电。

变电所主要电气设备的图形符号和文字符号见表 1—1。

表 1—1 变电所主要电气设备图形符号与文字符号

序号	名称	图形符号 (GB 4728)	文字符号 (GB 7159)	序号	名称	图形符号 (GB 4728)	文字符号 (GB 7159)
1	双绕组 变压器		TM	7	高压负 荷开关		Q
2	三绕组 变压器		TM	8	三相负 荷开关		Q
3	电流 互感器		TA	9	隔离 开关		QS
4	电压 互感器		TV	10	三相隔 离开关		QS
5	高压 断路器		QF	11	熔断器		FU
6	三相 断路器		QF	12	带熔断器 三相隔 离开关		QS

续表

序号	名称	图形符号 (GB 4728)	文字符号 (GB 7159)	序号	名称	图形符号 (GB 4728)	文字符号 (GB 7159)
13	跌落式熔断器		FU	15	自动空气开关		QF
14	低压刀开关		QS	16	避雷器		F

第二节 选煤厂常用高压电气设备

一、高压断路器

高压断路器是 1000V 以上高压设备中很重要的一种用来接通和断开高压电路的开关电器。它不但在正常时可断开负荷电路，而且又可以借助保护装置和自动装置在短路故障状态下自动断开故障电路。

高压断路器的型式和种类很多，在工矿企业中最常见的为油断路器，它是利用绝缘油来熄灭电弧。根据用油量的多少可分为多油断路器和少油断路器。另外，还有六氟化硫断路器和真空断路器等。

(一) 多油断路器

多油断路器的触头系统放置在装有变压器油的接地油箱中，油既用来熄灭电弧，又作为断路器导电部分之间以及导电部分与接地的油箱之间的绝缘介质，因用油量较多，故称为多油断路器。

多油断路器分为没有特殊灭弧装置的（电弧在油内自由地熄灭）和具有灭弧装置的两种。后者可以加速灭弧，提高断路器的断路能力。

多油断路器的一般结构如图 1-4 所示。多油断路器的主要部件有油箱、箱盖、绝缘套管、触头和灭弧装置等。

电压为 10kV 及以下的多油断路器一般不装设特殊的灭弧装置，其三相触头都放入 1 个圆形的油箱内；电压为 35kV 及以上的多油断路器，每相触头单独放在 1 个圆形或椭圆形的油箱中，并且都装有特殊的灭弧装置，用以提高断路能力，还可在电弧产生时减少对油箱的压力。

多油断路器的导电部分一般呈“U”形，每相至少有 2 个断口。导电部分穿过箱盖时要用绝缘套管，套管下端套装电

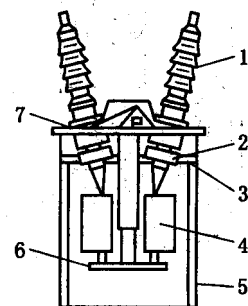


图 1-4 多油断路器

- 1—绝缘套管；2—电流互感器；
3—变压器油；4—静触头和灭弧室；5—油箱；
6—横担；7—箱盖

流互感器。为了加强绝缘，在油箱内壁围上1层或多层的绝缘板，以防止导电部分与油箱之间发生闪络。多油断路器油箱是不带电的。

多油断路器的缺点是体积庞大，用油量多，且随额定电压的增高而加大，增加了爆炸和火灾的危险性，检修工作量较大。目前除了DW₈-35型断路器以外，多油断路器已逐步被其他类型的断路器所取代。多油断路器的特点是配套性强（断路器内部可装设电流互感器），油量较多，在户外使用时受大气影响较小。

（二）少油断路器

少油断路器是一种当前最常见的断路器。少油断路器的灭弧室在绝缘筒或不接地的金属筒中，变压器油只用作灭弧和动、静触头之间的绝缘。对地绝缘主要用瓷质件、环氧玻璃布和环氧树脂件等固体绝缘。所以，少油断路器体积小、质量轻、用油量少（一般约为同容量多油断路器的1/20左右），同时油箱的结构很坚固，防爆、防火性能较好，使用比较安全。

少油断路器灭弧室由灭弧片构成纵吹、横吹与纵横吹等灭弧结构。各相触头分别装在单独的圆形油箱内。按使用地点的不同，少油断路器分为户内式（SN）和户外式（SW）两种。户内式主要用于6~35kV电压等级，户外式电压等级在35kV以上。下面以选煤厂中常用的SN₁₀-10型少油断路器为例，来说明其结构及灭弧过程。其外形结构如图1-5所示，灭弧室结构如图1-6所示。

当触头分断产生电弧时，油被气化和分解，灭弧室内腔压力增大，使静触头座内的钢球上升，将球阀9关闭；电弧在密闭的空间内燃烧，压力急剧增大；当导电杆5向下运动，依次打开上、中、下3个横吹口时，油气混合物高速横吹电弧，使其熄灭。在开断小

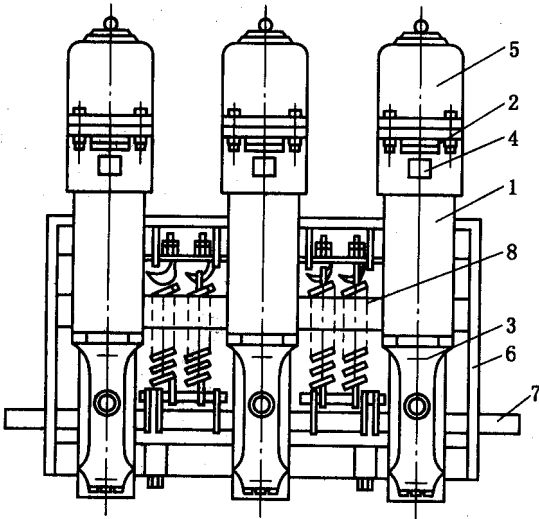


图1-5 SN₁₀-10型少油断路器的外形结构

- 1—油箱；2、3—上、下引线板；4—油位计；
5—空气室及油气分离器；6—支架；
7—主轴；8—断路弹簧

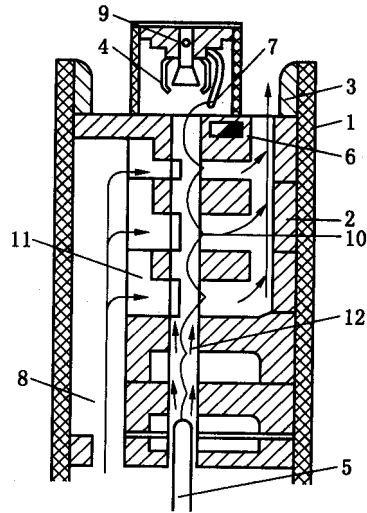


图1-6 SN₁₀-10型少油断路器的

灭弧室结构示意图

（上、下横吹弧道为左、右各旋转45°后的剖面）

- 1—绝缘筒；2—灭弧片；3—压紧环；4—静触头；
5—动触头；6—铁片；7—耐弧触头；8—附加油流道；
9—球阀；10—电弧；11—横吹油道；12—纵吹油道

电流时，电弧能量小，横吹效果不佳，导电杆 5 继续向下打开 2 个纵吹油道，电弧受到纵吹，加上导电杆 5 向下运动，将一部分油压入附加油道 8 横吹电弧，起到机械油横吹作用，使小电流电弧很快熄灭。

由于断路器的静触头 4 装在上部，不但能产生机械油横吹的效果，更因为导电杆 5 向下运动，使导电杆 5 处的电弧不断与冷油接触，既降低了触头温度，又使电弧受到良好的冷却，加强了灭弧效果。断路器最上面的 1 个灭弧片 2，在靠近喷口处预埋一铁片 6，从而把电弧引向耐弧触头 7，以减少主触头的损坏。

少油断路器的优点是结构简单、坚固，运行比较安全，体积小，用油少，可节约大量的油和钢材；缺点是附装互感器比较困难，不适用于严寒地带（因油少易冻）等。

（三）真空断路器

真空断路器是一种利用真空空间作为绝缘和熄弧介质的新型开关设备。当触头一切断，触头间将产生电弧，在电流瞬时值为零值的瞬间，真空中的电弧立即被熄灭；电弧中的离子、电子、中性蒸气以及气体分子等迅速扩散，并被“复合”冷却与吸附，真空空间的介质电强度得以很快恢复。此时真空绝缘的破坏主要来自电极及电极材料所产生的蒸气作用。这是真空断路器的基本工作原理。

真空断路器的主要部件是真空灭弧室，其结构如图 1-7 所示。它是由动触头 4、动触杆 1、静触头 6、上下玻璃壳 3、屏蔽罩 5 及波纹管 2 等组成。动、静触头部分密封在灭弧室内，担负着接通和切断电路的任务。灭弧触头采用中心凹下的 2 个圆盘组成的对接式结构，如图 1-8 所示。这种触头结构的特点是：既能产生驱使电弧径向运动和推动弧极移动的电磁力，有利于灭弧，又有较高的机械强度，不会因触头的变形而影响触头间的绝缘强度，同时加工工艺也简单。触头材料是经过特殊冶炼的铍钨合金，具有高抗熔焊能力和耐弧腐蚀能力、含气量小、开断能力强的特点，因而能可靠地开断负荷电流及短路电流。

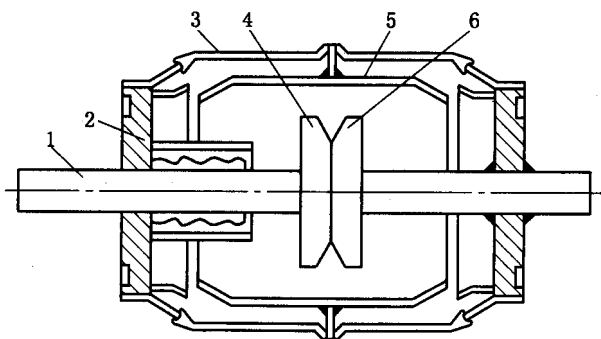


图 1-7 真空灭弧室的原理结构图

1—动触杆；2—波纹管；3—外壳；4—动触头；5—屏蔽罩；6—静触头

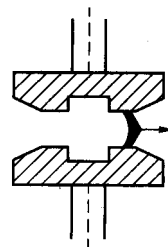


图 1-8 灭弧触头结构

动触头杆与波纹管的一端相焊接，起真空灭弧室的动密封作用。动触头移动时仍能保持密封，是凭借着波纹管的伸缩弹性（行程很小）。灭弧室的屏蔽罩系统经支盘以氩弧焊固定在上、下玻璃外壳上，故机械强度高，散热效果好，有利于金属蒸气的冷凝和介

质强度的恢复。灭弧室的外壳采用玻璃外壳，具有直观、易检查和成本低廉的特点。用无油机组抽气，可获得较高的真空度（在 10^{-5} Pa 以上），又没有油污染，故性能稳定可靠。

真空断路器具有质量轻、体积小、寿命长、维护简单、检修周期长、操作无噪声、无爆炸着火危险、开断能力强、性能稳定、动作快等优点。但在开断小电流时易产生截流现象，因而在开断感应性的小电流回路时，会产生很高的截流过电压。目前真空断路器在一些厂、矿企业中得到了广泛的应用，逐步取代了油断路器。

二、隔离开关

虽然高压断路器具有强力灭弧装置，可用以切断带负载甚至短路事故的电路，但其 2 个触头间的距离较近且带电，检修时极不安全。因此应采取隔距较大的另一种开关设备把带电部分隔开，以便安全检修。这种隔开电源的开关称为隔离开关，又称刀闸。

隔离开关没有灭弧装置，不能用来开断负荷电流，只有在电路被高压开关断路的情况下，才能操作隔离开关进行接通或断开；否则，会在隔离开关触头之间形成很强的电弧，这不仅能烧毁隔离开关本身，还能烧坏邻近的电气设备，甚至会引起相间或对地弧光闪络，造成严重的短路或人身伤亡事故。因此，操作规程规定：“只有当电路被断路器切断之后，才能操作隔离开关使其接通或断开。”也就是说，只有当相应的高压断路器切断电路后，才能拉开隔离开关。当合闸时，则须先合上隔离开关，然后再合高压断路器。两者之间应装有必要的连锁装置。

隔离开关也用来进行电路的切换操作，如在双母线电路中，用隔离开关将负载从工作母线切换到备用母线的操作；有时也可以用来进行小电流电路的切换工作，因为这时隔离开关触头上不会产生很强的电弧。我国电力工业有关规定中规定：隔离开关可以分合 2A 以下的变压器空载电流或线路电容电流，5A 以下的电阻性负载电流。隔离开关与熔断器

配合使用，可作为 180kVA 以下容量变压器的电源开关。

隔离开关按极数可分为单极式和三极式；按动触头的动作方式可分为闸刀式、旋转式和插入式，按使用环境可分为户内式和户外式。

图 1-9 所示为 GN₈-10/600 型高压隔离开关的外形结构图，它的额定电压为 10kV，额定电流为 600A，它由三相共用的底架、支柱瓷瓶、导电系统（包括闸刀、触头）以及操作绝缘子组成。

隔离开关的触头采用指形线接触。其动触头由 2 个或多个平行闸刀片组成，额定电流越大，刀片数越多，各刀片间互相隔开并用弹簧压紧。固定触头是以铜板弯成直角做成。在合闸位置时，2 个刀片因弹簧的压力紧紧夹在固定触头两

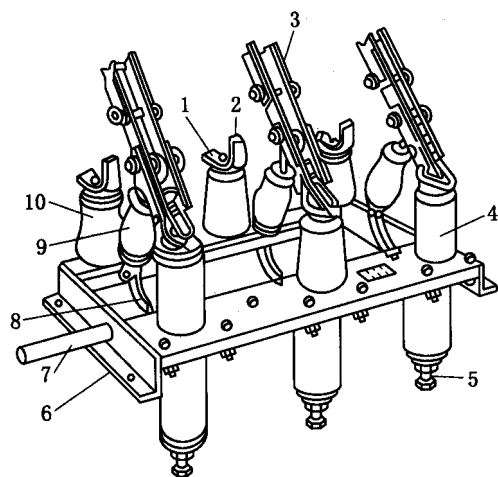


图 1-9 GN₈-10/600 型高压隔离开关

- 1—上接线端；2—静触头；3—刀闸；4—套管绝缘子；
5—下接线端；6—框架；7—转轴；8—拐臂；
9—升降绝缘子；10—支柱绝缘子

侧，形成线接触。这样的线接触在合闸的过程中等于擦掉接触表面的氧化物，降低接触电阻。当短路电流通过隔离开关的闸刀片时，两平行刀片互相作用产生较大的互相吸引的电动力，使接触压力增大。为了增加这种接触压力，常在平行刀片的两侧加上磁锁，即在平行刀片的外侧加装2块钢片，以增强磁场，加大电动力。在正常工作或发生短路故障时，保证它有足够的电动稳定性，防止发生自发性的开闸危险。这对闸刀向下安装的隔离开关尤为重要。

三、负荷开关

负荷开关是一种小切断容量的开关电器，专门用来开断和闭合电路的负载电流或指定的过载电流。为此，在负荷开关上装设具有一定灭弧能力的灭弧装置。

负荷开关的结构较断路器简单。它有着和隔离开关一样明显可见的断点，但比隔离开关具有较大的切断电流的能力。负荷开关不能开断短路电流，但这并不意味着它不能代替断路器。负荷开关往往和高压熔断器串联成一体，用负荷开关切断负荷电流，用高压熔断器切断短路电流及过载电流，以代替断路器。这种组合的电器称为综合负荷开关。在功率不大或不甚重要的场所可用综合负荷开关来代替断路器，这样使配电装置的成本降低，操作与维护简单。

负荷开关与隔离开关不同，有灭弧装置，能自动开断。

负荷开关种类很多，按灭弧介质的不同分为固体产气式、压气式和油浸式3种。其中前两者均有明显的外露可见断口，因而能够起到隔离开关的作用。

图1-10为FN₁-10R型产气式负荷开关的结构图，它主要由底架、灭弧器、导电系

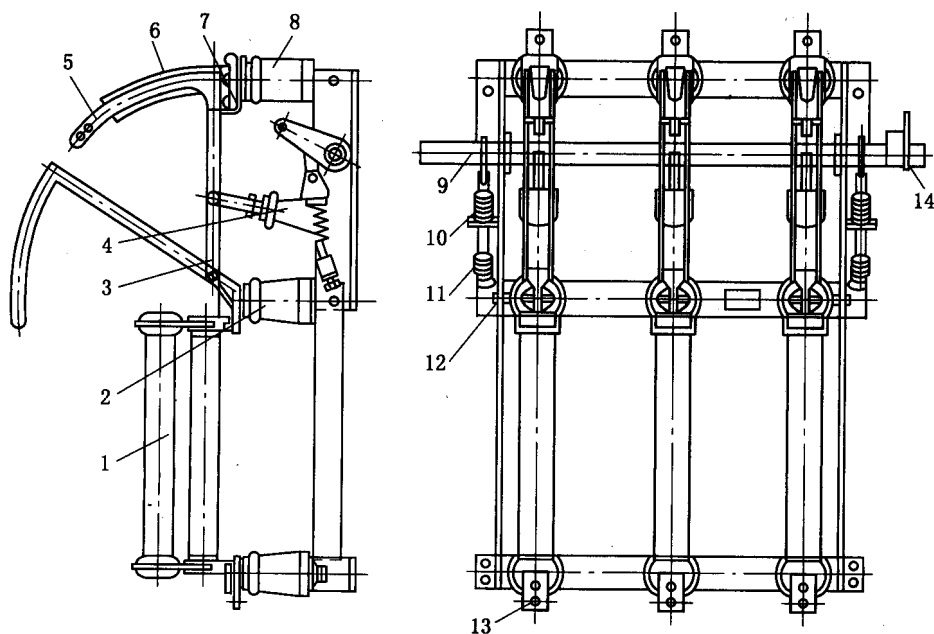


图1-10 FN₁-10R型负荷开关

- 1—RN₁型熔断器；2，8—支柱绝缘子；3—主刀闸；4—操作绝缘子；5—灭弧刀闸；6—灭弧器；7—主静触头；9—主轴；10—分闸弹簧；11—弹性缓冲器；12—底架；13—接线端；14—拉杆