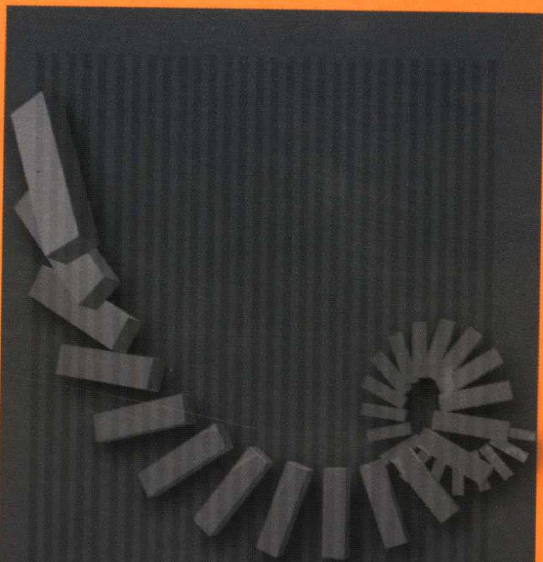


供用电工人职业技能培训教材

# 变电检修

中国电机工程学会城市供电专业委员会 组编  
杨香泽 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

供用电工人职业技能培训教材

# 变电检修

---

中国电机工程学会城市供电专业委员会管理体制和技能培训专家工作组 组编

杨香泽 主编 郭鹏武 主审



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

为满足供电人员职业技能鉴定及日常工作的需要,依据《中华人民共和国职业技能鉴定规范 电力行业》和相关规程标准的规定,并结合供电生产实际情况,中国电机工程学会城市供电专委会和中国电力出版社共同组织编写了本套《供用电工人职业技能培训教材》及其复习题解。本套培训教材以简明扼要的形式,对职业技能鉴定所必备的知识和技能要求予以全面阐述和精炼实际,以便全国供用电工人在职业技能鉴定、岗位技能培训等培训工作中使用,以增强操作技能和提高技术素质。

本分册是《供用电工人职业技能培训教材》及其复习题解之一,共11章,主要内容包括:高压断路器概论,少油断路器、真空断路器、SF<sub>6</sub>断路器及GIS的检修、调试及故障处理,高压断路器的操动机构,高压隔离开关,母线与电缆,电力变压器,电压互感器及电流互感器,电容器、电抗器、消弧线圈、避雷器的接地装置,电网运行技术。

本分册可作为供用电专业变电检修工种的培训使用外,还可供其他相关人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

变电检修/杨香泽主编. —北京:中国电力出版社,  
2005

供用电工人职业技能培训教材

ISBN 7-5083-3178-8

I. 变... II. 杨... III. 变电所-检修-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第102843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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2006年1月第一版 2006年1月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 24.5印张 650千字

印数0001—3000册 定价45.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 《供用电工人职业技能培训教材》

## 编 委 会

主任委员：宗 健 曾德君 廖泽龙

副主任委员：朱良镛 秦继承 陈金玉 孙秉正  
肖 兰

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 炜 付迎栓 刘忠浦 李天友  
李兆华 李海星 徐景国 曹文华  
黄奇峰 鲁 鹏

## 前 言

为配合供用电职业技能鉴定培训的需要,中国电机工程学会城市供电专委会管理体制和技能培训专家组和中国电力出版社组织编写了《供用电职业技能鉴定培训教材》。本套培训教材共 14 本,包括线路运行与检修专业 5 个工种,变电运行与检修专业 10 个工种,营业用电专业 5 个工种。《带电检修》一书包括“变电路径带电检修”。电能表修理工和电能表校验工合为《电能表修校》。总体涵盖了供用电职业的主要知识内容。

1. 本套教材的编写指导思想。1999 年,劳动和社会保障部正式颁发施行电力行业《国家职业技能鉴定规范》(以下简称《规范》)。《规范》对职业培训从内容和要求上都有较大的改革。本套教材的编写指导思想就是按照《规范》和配套复习题与题解(14 本)中对供用电职业技能鉴定培训的要求,以《规范》体现出的新的培训内容和新的模式体系为指导,以实际生产中成熟的规程、制度为依据,按《职业技能鉴定指导书》(以下简称《指导书》)中“职业技能培训”的要求编写。

2. 本套教材的编写要求。教材紧扣《指导书》中“职业技能培训大纲”来编写。体现模块技能培训法(MES)的基本模式,采用职业功能分析和职业工作分析相结合的理论方法,密切结合生产实际,突出实际操作技能,以本职业技能为主线,以实际操作步骤为序,理论知识为提高技能服务,确定模块—学习单元的教学文件体系。教材力求体现实用性、先进性,吸收新知识,介绍新技术、新工艺、新设备,符合现代电力工业的生产要求。

以技能培训大纲中的“职业技能模块”(MU)设章及章序。也可根据生产实际及培训的可操作性的需要,对模块进行调整设

章并调整章序。要将相关专业理论知识和工作标准融入技能要求的模块中。以培训大纲中的“学习单元”（LE）设节及节序。每节前要讲清本节的“学习目标”，应包括操作步骤、注意事项（含工作态度、安全环境等）、工作实例、相关知识等。

以培训大纲的“学习内容”分列的点作为培训的重点内容叙述，完整系统地涵盖了《指导书》中对各等级工的培训，相应要求不再明确分割各等级的培训内容。各章后对本章的重点内容适应等级予以提示。

3. 各本教材的编写人员。为了保证本套教材的编写质量，根据中国电机工程学会城市供电专委会管理体制和技能培训专家组的推荐，由各编写单位挑选了有丰富实践经验的一线生活人员直接参加编写，编写单位给予了大力度的支持，编写提纲和初稿均由编写单位组织审定，又经全国性的专家审稿会审议，最后每本书均配合有丰富实践经验的专家作为主审，并组成了每本书的编写人员，从而保证了本书稿的技术质量和本套教材的权威性。

4. 本教材是《变电检修》分册。本教材比较全面系统地叙述了电力行业各级变电检修供应掌握的专业设备的基础知识和检修调试技能，如高压油断路器、真空断路器、SF<sub>6</sub>断路器、GIS、高压隔离开关、母线与电缆、电力变压器及有载分接开关、互感器、电容器、电抗器、消弧线圈、接地装置等设备的结构和工作原理、检修调整的方法步骤和常见故障的处理方法。并对电网运行技术和组织管理工作按照“培训大纲”的要求进行了讲述，可供电力行业变电检修人员培训、学习使用。

5. 本教材在云南省电机工程协会供用电专委会的组织领导下进行编写。全书共分十二章，第一章第一节及第二章第一、四、五节由杨香泽同志执笔；第一章第二节由罗小强同志执笔；第一章第三节及第四章第五节由牛志国同志执笔；第一章第四、五节由张丽群同志执笔；第二章第二、三节及第十二章由沈力同志执笔；第三章及第七章第一节由邓申文同志执笔；第四章第一、二、三、四节由马钦同志执笔；第五章及第七章第二节由子

宏同志执笔；第六章及第十章由尹志同志执笔；第八章及第九章由朱碧清同志执笔；第十一章由伍程铮同志执笔。全书由杨香泽同志主编，牛志国、伍程铮同志协编，由北京供电公司郭鹏武同志主审。

6. 本套教材的读者对象。除作为供用电专业变电检修工种的培训使用外，还可供其他相关人员学习参考。

本书在编写过程中得到中国电机工程学会城市供电专委会与各级组织的领导、各编者所在单位、各主审所在单位的大力支持和热诚帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

**编 者**

2005年6月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 高压断路器概论</b> .....	1
第一节 高压断路器的基本知识 .....	1
第二节 少油断路器的工作原理、构造及特点 .....	29
第三节 真空断路器的原理、构造及特点 .....	69
第四节 SF <sub>6</sub> 气体断路器的原理、构造及特点 .....	94
第五节 全封闭组合电器(GIS)的原理、构造及特点 .....	117
<b>第二章 少油断路器的检修、调试和故障处理</b> .....	126
第一节 少油断路器的检修周期、项目及修前准备 .....	126
第二节 SN <sub>10</sub> -12 型少油断路器的检修 .....	128
第三节 SW <sub>2</sub> -40.5 型少油断路器的检修 .....	137
第四节 SW <sub>2</sub> - <sup>126</sup> / <sub>252</sub> 、SW <sub>3</sub> -126、SW <sub>6</sub> - <sup>126</sup> / <sub>252</sub> 型少油 断路器的检修 .....	145
第五节 SW <sub>4</sub> - <sup>126</sup> / <sub>252</sub> 型少油断路器的检修 .....	174
附录 少油断路器的试验项目、周期和要求 .....	201
<b>第三章 真空断路器的检修、调试及故障处理</b> .....	206
第一节 检修周期、项目及修前准备 .....	206
第二节 真空断路器的检修与调整 .....	208
<b>第四章 SF<sub>6</sub> 断路器及 GIS 的检修、调试及故障处理</b> .....	218
第一节 SF <sub>6</sub> 断路器的检修周期、项目及修前准备 .....	218



第二节	SF <sub>6</sub> 断路器的一般检修工艺要求	221
第三节	LW <sub>8</sub> - 40.5 型 SF <sub>6</sub> 断路器的检修	230
第四节	LW <sub>6</sub> 型断路器的检修	236
第五节	126 - GLKA 型 (ZF <sub>7</sub> - 126 型) GIS 的维护 和检修	264
附录	SF <sub>6</sub> 断路器、GIS 及 SF <sub>6</sub> 气体的试验项目、周期 和要求	301
<b>第五章</b>	<b>高压断路器的操动机构</b>	<b>307</b>
第一节	电磁操动机构的原理与检修	307
第二节	弹簧操动机构的原理与检修	328
第三节	液压操动机构的原理与检修	352
第四节	CQ <sub>6</sub> 型及 AM 型气动操动机构的原理与检修	422
<b>第六章</b>	<b>高压隔离开关</b>	<b>431</b>
第一节	隔离开关的用途和分类	431
第二节	隔离开关的结构原理	432
第三节	隔离开关的检修及常见故障处理	448
<b>第七章</b>	<b>母线与电缆</b>	<b>454</b>
第一节	母线	454
第二节	电力电缆	474
<b>第八章</b>	<b>电力变压器</b>	<b>510</b>
第一节	概述	510
第二节	变压器的基本工作原理	517
第三节	电力变压器的基本结构	526
第四节	变压器的维护检修	573
<b>第九章</b>	<b>电压互感器及电流互感器</b>	<b>610</b>
第一节	电压互感器	610

第二节	电流互感器	619
第三节	油浸式互感器的检修与常见故障处理	628
<b>第十章</b>	<b>电容器、电抗器、消弧线圈、避雷器和接地装置</b>	<b>647</b>
第一节	电容器的结构原理与维护	647
第二节	电抗器的结构原理与维护	658
第三节	消弧线圈的结构原理与维护	668
第四节	避雷器的结构原理与维护	674
第五节	接地装置的安装与维护	693
<b>第十一章</b>	<b>电网运行技术</b>	<b>704</b>
第一节	电网监控	704
第二节	继电保护与自动装置简介	729
<b>第十二章</b>	<b>组织管理工作</b>	<b>755</b>
第一节	技术档案管理	755
第二节	检修工作的组织管理	760

# 第一章

## 高压断路器概论

### 第一节 高压断路器的基本知识

#### 一、高压断路器的定义和用途

高压断路器是指额定电压在 3kV 及以上能关合、承载和开断运行回路正常电流，也能在规定时间内关合、承载和开断规定的过载电流（包括短路电流）的开关设备。通常使用的断路器分合频度应不大，但某些特殊形式的断路器也可用于频繁分合操作。

高压断路器是电力系统中最重要设备之一，它在电网中主要起以下三方面的作用：

(1) 控制作用：根据需要将部分线路或电器设备投入或退出运行，以改变电网的运行方式或者将部分设备恢复（停止）供电。

(2) 保护作用：当电网中部分电气设备或线路发生故障时，高压断路器在继电保护的配合下，快速将故障切除。

(3) 安全隔离作用：断开高压断路器和隔离开关，可将电气设备与高压电源隔离，保证设备和工作人员的安全。

#### 二、电力系统对高压断路器的要求

为了保证电力系统在各种不同运行条件下的安全稳定运行，对高压断路器的要求是多方面的，归纳起来可分为以下几个方面：

##### (1) 开断、关合功能方面：

1) 要求高压断路器能快速可靠的开断、关合各种负载线路和短路故障。对于架空输电线路，由于大多短路故障都是雷害或鸟害等瞬时故障，为了不中断供电和提高电网的稳定性，还要求

断路器能满足自动重合闸的要求。

2) 能可靠的开断、关合空载变压器、电抗器、空载长线及电缆、电容器组等而不引起超过规定的过电压。

(2) 电气性能方面:

1) 载流能力: 要求高压断路器长期通过额定负载电流时, 各部分的温升不超过允许值; 而在短时通过短路电流时能满足热稳定和动稳定的要求, 就是断路器各部分不因电动力受到损坏, 短时温升不超过允许值及触头不发生熔焊现象。

2) 绝缘性能: 设备导电回路对地、断口间及相与相之间能长期耐受最高工作电压, 短时耐受大气过电压及操作过电压。

(3) 机械性能方面:

1) 操作特性: 相间和每相各断口之间, 触头的分合及不同期性均能满足技术条件的要求。

2) 机械寿命及密封性: 按照规定的次数和要求操作后, 零部件不损坏, 运动特性符合要求, 密封性能良好。

(4) 自然环境条件方面: 在规定的海拔高度、环境温度、湿度、风沙、冰雪、雨雾、日照、污秽、地震、湿热、干热等环境条件下, 高压断路器在寿命使用期内能保证设备运行的稳定性和抗老化性。

(5) 对噪声、无线电干扰, 以及环境污染等的控制满足有关技术条件的要求。

### 三、高压断路器的结构和分类

#### (一) 高压断路器的基本结构组成

高压开关类设备包括断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、接地短路器等产品, 它们虽然种类繁多、结构复杂、差异很大, 但总体结构都是由开断元件、绝缘支撑元件、传动元件、基座及操动机构五个基本部分组成, 见图 1-1 及图 1-2。以上基本结构中, 开断元件是整个设备的核心, 高压开关设备的主要任务都由它来完成。

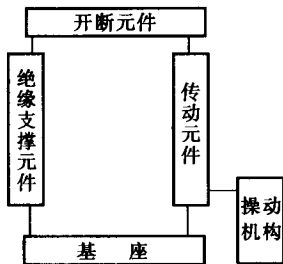


图 1-1 高压开关结构方框图

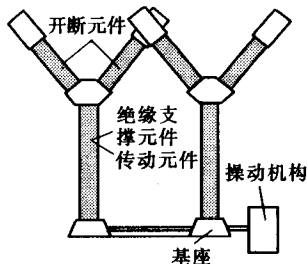


图 1-2 断路器基本组成示意图

各基本组成元件的功能和主要部件如下：

(1) 开断元件：作用是开断、关合电路和安全隔离电源。开断元件包括高压开关设备的导电回路、动静触头和灭弧装置等。

(2) 绝缘支撑元件：用来支撑高压开关设备的器身，承受开断元件的操作力和各种外力，保证开断元件有可靠的对地绝缘。绝缘支撑元件主要由瓷柱、瓷套管和绝缘管等构成。

(3) 传动元件：将操作命令和操作动能传递给动触头。传动元件由连杆、拐臂、齿轮、液压或气压管道等组成。

(4) 基座：用来支撑和固定高压开关，就是设备的底座。

(5) 操动机构：用来提供能量，操动高压开关分、合闸。操动机构有电磁、液压、气动、弹簧、手动等不同类别，独立成型，可根据断路器的不同需要进行选配。

## (二) 高压断路器的分类

高压断路器的种类很多，一般可按以下三种不同的方法进行分

(1) 按照断路器的灭弧介质或灭弧原理来划分，有油断路器（又可分为多油断路器和少油断路器）、压缩空气断路器、 $\text{SF}_6$  断路器、真空断路器、磁吹断路器及固体产气断路器等。

(2) 按照断路器控制、保护对象的不同来划分，有发电机断路器、输变电断路器、馈电断路器及特殊用途断路器等。

发电机断路器是控制、保护发电机用的断路器；输变电断路

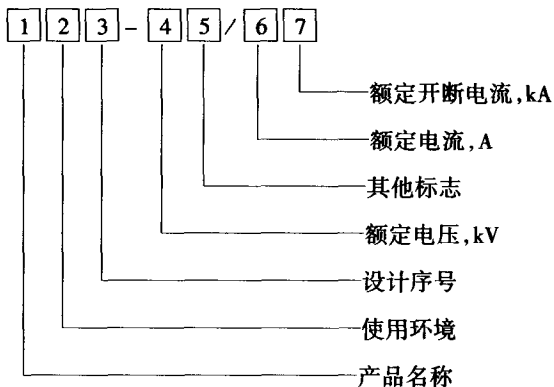
器是用于 35kV 及以上变电站中的断路器；馈电断路器是用于电力系统末端直接为中小企业供电或工厂内部用来控制用电设备的断路器；特殊用途断路器是用于频繁操作、防爆或铁道供电等的断路器。

(3) 按照断路器使用的电压等级来划分有中压断路器、高压断路器和超高压断路器。中压断路器是用于 35kV 及以下电压等级的断路器；高压断路器是用于 110kV 及 220kV 电压等级的断路器；超高压断路器是用于 330kV 及以上电压等级的断路器。

#### 四、高压断路器的型号编制和技术参数

##### (一) 高压断路器产品型号的编制方法

高压断路器产品全型号组成形式为：



其中：

① 以拼音字母表示产品名称：

S—少油，D—多油，Z—真空，K—压缩，L—六氟化硫，C—磁吹，Q—自产气；

② 以拼音字母表示使用环境：

N—户内，W—户外；

③ 以数字表示设计系列的顺序号；

④ 以数字表示设备的额定电压，均以 kV 为单位；

5]是设备的其他标志,以拼音字母来表示设备的某种特殊性能,如:G—改进型,D—增容,W—防污,Q—耐震等。如无此标志,则空着不填,也可同时使用两个标志;

6]表示设备的额定电流,以A为单位;

7]表示设备的额定开断电流,以kA为单位。

例如,SW<sub>3</sub>—126G/1200即表示为:少油断路器,户外式,设计顺序号为3,额定电压为126kV,改进型,额定电流为1200A。

## (二) 高压断路器的主要技术参数

高压断路器特性和工作性能的主要技术参数有:

(1) 额定电压( $V_r$ )。断路器的额定电压为它在运行中能长期承受的系统最高电压。额定电压不仅决定了断路器的绝缘尺寸,而且在很大程度上决定着断路器的灭弧条件和总体尺寸。我国目前采用的额定电压标准值有3.6、7.2、12、(24)、40.5、72.5、126、252、363、550、(800)kV等。其中括号中的数值为用户有要求时使用。

(2) 额定电流( $I_r$ )。断路器的额定电流是在规定的使用和性能条件下能够持续通过电流的有效值。设备在此电流下长期工作时,其各部温升不得超过有关标准的规定。额定电流决定了触头及导电部分的截面,并在一定程度上决定着它们的结构。额定电流应当从GB/T 762《标准电流等级》规定的R10系列中选取。R10系列包括数字1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8及其与10<sup>n</sup>的乘积。

(3) 额定短路开断电流( $I_{sc}$ )。额定短路开断电流是指在规定的条件下,断路器能保证开断而不影响其继续正常工作的最大短路电流。额定短路开断电流由交流分量有效值和直流分量百分数两个值来表征。在断路器实际电压低于或等于额定电压时,应能开断额定短路开断电流。

额定短路开断电流是表明断路器开断能力的一个重要参数。

(4) 额定短路关合电流。额定短路关合电流是在额定电压以及规定使用和性能条件下，断路器能保证正常关合的最大短路峰值电流。按照系统直流分量衰减的时间常数为 45ms 推算，它等于额定短路开断电流交流分量的 2.5 倍。

(5) 额定开断容量。额定开断容量也是表征断路器开断能力的一个参数，它是由开断电流通过计算而得出的，对于三相断路器，额定开断容量由下式决定

$$\text{额定开断容量} = \sqrt{3} \times \text{额定开断电流} \times \text{额定线电压}$$

由于额定开断容量纯粹由计算得出，并不具备具体的物理意义，而开断电流能更明确更直接地表述断路器的开断能力，所以我国国标及 IEC 标准都不再采用这个参数。

(6) 额定短时耐受（热稳定）电流（ $I_k$ ）。额定短时耐受电流反映的是断路器承受短路电流热效应的能力。它是在规定的使用和性能条件下，在规定的时间内断路器在合闸位置能够承载的电流的有效值，数值上就等于断路器的额定短路开断电流。

(7) 额定峰值耐受（动稳定）电流（ $I_p$ ）。额定峰值耐受电流是指在规定的使用和性能条件下，断路器在合闸位置所能够承载的额定短时耐受电流第一个大半波的峰值电流。

额定峰值耐受电流等于 2.5 倍额定短时耐受电流，与额定短路关合电流相等。

(8) 额定短路持续时间（ $t_k$ ）。额定短路持续时间是断路器在合闸位置能够承载额定短时耐受电流的时间间隔。额定短路持续时间的标准值为 2s，需要时也可选取大于或小于 2s 的数值，国家标准中推荐的待选值有 0.5、1、3、4s。

(9) 合闸时间。合闸时间是指从断路器合闸回路接到合闸命令（合闸线圈电路接通）开始到所有极触头都接触瞬间的时间间隔。以前合闸时间又称固有合闸时间。

(10) 分闸时间。分闸时间是指从断路器分闸回路接到分闸命令到所有极的触头都分离瞬间的时间间隔。以前分闸时间又称固有分闸时间。



(11) 电弧持续时间。电弧持续时间是指从断路器某极触头首先起弧瞬间至各极均熄弧瞬间的时间间隔。该时间又称燃弧时间。

(12) 全开断时间。全开断时间是指从分闸回路接到分闸命令至所有极电弧熄灭时的时间。此时间等于断路器的分闸时间与电弧持续时间之和。

(13) 合闸一分闸时间（金属短接时间）。在合闸操作期间第一相触头的瞬间和在接着发生的分闸操作期间所有相的弧触头分开瞬间之间的时间间隔。

(14) 额定操作顺序。额定操作顺序是根据实际运行需要制定的对断路器的断流能力进行考核的一组标准的规定操作。操作顺序分为两类：

1) 无自动重合闸断路器的额定操作顺序，可在以下两种操作顺序中选择一种：①“分(O)—180s—合分(CO)—180s—合分(CO)”；②“合分(CO)—15s—合分(CO)”。

“分—180s—合分—180s—合分”顺序反映的是运行线路发生永久性故障断路器跳闸后两次强送电的情况，而“合分—15s—合分”顺序反映的是断路器合闸在永久性故障线路上跳闸后又强送一次的情况。操作顺序中的180s和15s称为强送电时间。“合分”时间又称金属短接时间，它是从首合相触头刚接通时起至之后分闸过程中最后断开相弧触头刚断开时的时间间隔。金属短接时间对系统动稳定极限影响很大，在满足断路器自卫能力的前提下，希望金属短接时间尽可能缩短。

2) 能进行自动重合闸断路器的额定操作顺序为“分—0.3s—合分—180s—合分”。

此种操作顺序反映的是在运行线路上出现永久性故障时断路器重合不成功后又强送一次的情况。操作顺序中的0.3s称为无电流间隔时间，就是从电弧全部熄灭到首合相电路重新接通的时间，这个时间取决于断路器开断故障后恢复灭弧能力所需的时间。之后的180s为强送电时间。