

国家电网企业技能人员职业能力培训指导书

220kV变电运维技术

主 编 杨 林 赵守忠 李凤羽 李文文

副主编 梁 浩 张龙飞 林嘉宇 赵泓博



东北大学出版社
Northeastern University Press

能力人员职业能力培训指导书

220kV 变电运维技术

主 编 杨 林 赵守忠 李凤羽 李文文
副主编 梁 浩 张龙飞 林嘉宇 赵泓博

东北大学出版社
· 沈 阳 ·

© 杨林等 2018

图书在版编目 (CIP) 数据

220kV 变电运维技术 / 杨林等主编. — 沈阳: 东北
大学出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-5517-1814-1

I. ①2… II. ①杨… III. ①变电所—电力系统运行
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 027074 号

内容提要

为提高变电运维岗位人员专业技能水平, 增强岗位胜任力, 依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》, 并结合变电运维岗位生产实际, 组织编写了《220kV 变电运维技术》。

本书分为 11 章, 主要内容包括电气设备, 继电保护及安全自动装置, 变电站自动化及运行工况分析, 变电站的运行与巡视, 设备运行验收与投运, 220kV 变电站倒闸操作, 220kV 变电站异常及缺陷处理, 220kV 变电站事故处理, 变电站安全管理及事故案例, 220kV 变电站运维一体化作业, PMS 应用与内容填写。书后附有 3 个附录: 调度术语、操作指令、变电站典型巡视卡。

本书可作为 220kV 及以下变电运维专业岗位员工和电气专业大学生的培训教材, 也可为变电专业技术管理人员参考使用。

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024-83683655(总编室) 83687331(营销部)

传真: 024-83687332(总编室) 83680180(营销部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印刷者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印张: 25

字数: 562 千字

出版时间: 2018 年 2 月第 1 版

印刷时间: 2018 年 2 月第 1 次印刷

组稿编辑: 石玉玲

责任校对: 图图

责任出版: 唐敏志

责任编辑: 孟颖

封面设计: 潘正一

ISBN 978-7-5517-1814-1

定价: 68.00 元

《220kV 变电运维技术》编委会

主 编 杨 林 赵守忠 李凤羽 李文文

副主编 梁 浩 张龙飞 林嘉宇 赵泓博

编 委：刘 军 李胜川 田庆阳 赵 会

赵洪丽 赵 睿 郑 率 张清华

白 洋 张 镇 孟 镇 孟祥博

钱 勇 王 强 赵 兴 王 凯

卜凡勇 叶春光 焦冠男 白俊广

屈国峰 安景凯 徐明虎 赵晓娜

马晓路 赵 蕾 徐大海 肖 傲

前 言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，努力满足省公司对于加强生产专业全员培训的新要求，促进变电运维岗位员工尽快适应公司和岗位需要，提高员工培训的针对性、有效性和实用性。国网辽宁省电力有限公司运维检修部和国网辽宁省电力有限公司技能培训中心共同组织优秀专兼职培训师和生产现场专家，以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》和变电运维岗位工作实际情况为依据，编写本培训教材，旨在提高变电运维岗位员工岗位胜任力。参加编写的单位主要有：辽宁省电力有限公司运检部、国网辽宁技培中心、国网锦州供电公司、国网铁岭供电公司、国网鞍山供电公司、国网葫芦岛供电公司、国网辽宁检修公司。

本书借鉴国内外先进的培训理念，以培养职业能力为出发点，注重学以致用，注重情境教学模式，把“教、学、做”融为一体。本书共包括 11 章。第一章电气设备主要由杨林编写；第二章继电保护及安全自动装置主要由赵守忠、张镇编写；第三章变电站自动化及运行工况分析主要由赵洪丽、孟祥博编写；第四章 220kV 变电站的运行与巡视主要由张清华、林嘉宇编写；第五章设备运行验收与投运主要由梁浩、李文文编写；第六章 220kV 变电站倒闸操作主要由白洋、孟镇编写；第七章 220kV 变电站异常及缺陷处理主要由张龙飞编写；第八章 220kV 变电站事故处理主要由李凤羽、梁浩编写；第九章变电站安全管理及事故案例主要由郑率、赵泓博编写；第十章 220kV 变电站运维一体化作业主要由赵睿编写；第十一章 PMS 应用主要由梁浩、白洋、赵兴编写。附录部分为变电运维人员常用的参考材料主要由田庆阳编写。全书由赵守忠和杨林组织编写，杨林统稿。

在编写过程中，参考了许多规程规范和文献，在此向其作者和编者表示衷心的感谢！由于编者的水平有限，加之时间仓促，难免存在疏漏及差错之处，恳请各位专家和读者批评指正，并提出宝贵意见，以便修订时改进完善。

编 者

2017 年 9 月

目 录

第一章 电气设备	1
第一节 电力变压器	1
第二节 高压断路器	6
第三节 SF ₆ 全封闭组合电器	14
第四节 隔离开关	16
第五节 高压开关柜	19
第六节 互感器	22
第七节 补偿设备	26
第八节 避雷器	28
第九节 变电站一、二次设备间的联系	32
第二章 继电保护及安全自动装置	34
第一节 母线保护	34
第二节 变压器保护	45
第三节 线路保护	58
第四节 安全自动装置	80
第五节 合并单元与智能终端	92
第三章 变电站自动化及运行工况分析	103
第一节 自动化信息分类与审核	103
第二节 运行工况正常监视方法	113
第三节 运行工况监视的相关要求	117
第四章 变电站的运行与巡视	124
第一节 变电站运行巡视的一般规定	124
第二节 变压器的运行与巡视	125
第三节 断路器运行与巡视	130
第四节 组合电器的运行与巡视	134
第五节 隔离开关的运行与巡视	138
第六节 开关柜的运行与巡视	141
第七节 电流互感器的运行与巡视	145

第八节	电压互感器的运行与巡视	148
第九节	避雷器的运行与巡视	150
第十节	并联电容器的运行与巡视	152
第十一节	干式电抗器的运行与巡视	155
第十二节	消弧线圈的运行与巡视	157
第十三节	端子箱及检修电源箱运维细则	159
第十四节	母线及绝缘子的运行与巡视	161
第十五节	电力电缆的运行与巡视	163
第十六节	站用变的运行与巡视	166
第十七节	站用交流电源系统的运行与巡视	169
第十八节	直流系统的运行与巡视	170
第五章	设备运行验收与投运	173
第一节	设备验收项目及要​​求	173
第二节	新设备投运与操作	185
第三节	新设备投运方案编制与投运操作	189
第六章	220kV 变电站倒闸操作	192
第一节	倒闸操作规定	192
第二节	典型倒闸操作票	200
第七章	220kV 变电站异常及缺陷处理	253
第一节	变电站异常处理一般原则	253
第二节	变电站常见异常处理	254
第三节	SF ₆ 断路器异常及缺陷处理	261
第四节	变压器异常及缺陷处理	265
第五节	隔离开关异常及缺陷处理	270
第六节	电流互感器异常和事故处理	275
第七节	电压互感器异常和事故处理	280
第八章	220kV 变电站事故处理	286
第一节	变电站事故处理的一般原则	286
第二节	典型事故处理案例分析	290
第九章	变电站安全管理及事故案例	312
第一节	变电站安全管理一般要求	312
第二节	220kV 变电站一起恶性电气误操作事故反思	315
第三节	220kV 变电站 110kV 带电合接地闸刀事故	318
第四节	220kV 变电站母差保护误动事件	321

第五节 220kV 变电站母线失压事件	324
第六节 330kV 变电站全停事件	329
第十章 220kV 变电站运维一体化作业	333
第一节 普通红外检测	333
第二节 铁芯、夹件接地电流测量	342
第三节 呼吸器硅胶更换	345
第四节 设备锈蚀处理	347
第五节 交流加热回路消缺	350
第十一章 PMS 应用与内容填写	354
第一节 PMS 的内容与填写	354
第二节 PMS 的应用	361
附 录	374
附录 A 调度术语	374
附录 B 操作指令	380
附录 C 变电站典型巡视卡	384
参考文献	388

第一章 电气设备

第一节 电力变压器

培训目标：

掌握变压器的结构、性能参数及运行要求等。

（一）基本结构

电力变压器（简称变压器）是变电站最主要的一次设备，它的作用是进行电压变换和电流变换。变压器主要由变压器本体、冷却器装置、调压装置、套管、保护装置及其他附件组成，如图 1-1 所示。

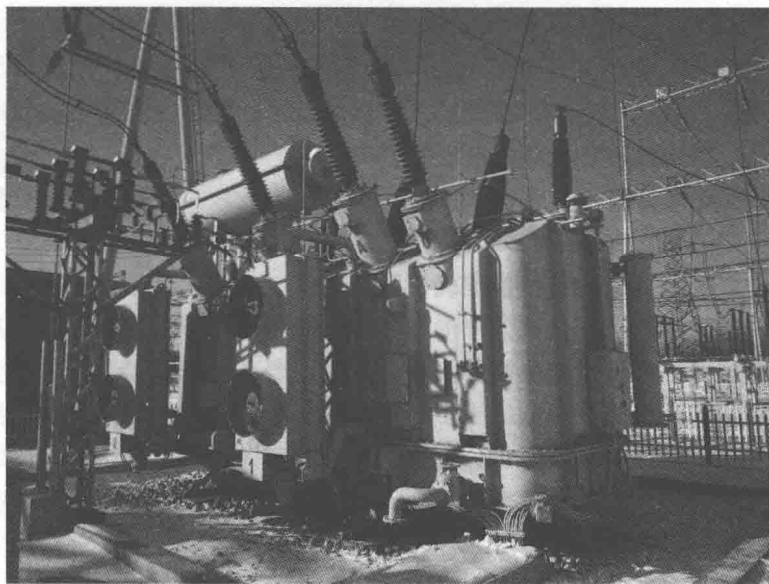


图 1-1 变压器

1. 变压器本体

铁芯和绕组是变压器本体的主要部分，铁芯是导磁部件，绕组是导电部件。为防止变压器在运行或试验时，由于静电感应使铁芯等金属构件上产生悬浮电位，造成对地放电，铁芯及其金属附件必须且仅有一点接地。

变压器运行中会产生铜损和铁损，使铁芯和绕组发热，温度升高，影响变压器的运

行,尤其是影响变压器绝缘材料的绝缘强度,温度越高绝缘老化越快。在我国,电力变压器大多数采用 A 级绝缘,正常运行中,铁芯和绕组温度不能超过 105℃。

电力变压器大都是油浸式变压器,变压器油对绕组起绝缘和冷却的作用,一般通过监测上层油温来控制变压器绕组最热点的工作温度,使绕组运行温度不超过其绝缘材料的允许温度,以保证变压器的绝缘使用寿命。由于绕组的平均温度比油温高 10℃,当周围最高空气温度为 +40℃ 时,油浸自冷或风冷变压器上层油温允许值一般不宜超过 85℃,最高允许温度为 95℃,220kV 及以下变压器一般采用油浸自冷、风冷。

2. 冷却装置

运行中变压器铁芯和绕组产生的热量,是通过绝缘油经油道带出并传至散热器和油箱散发冷却的,带风扇加强散热的称为油浸风冷式;有油泵加强油的循环的称为强迫油循环风冷式,其冷却方式为变压器油箱上部的热油,由潜油泵抽入上集油器,经风扇吹冷的冷却通道,由下集油器回流入油箱中。串联的冷却管道之间,可接入净油器。

油浸风冷变压器在风扇停止工作时允许的负荷和运行时间应遵守制造厂的规定,其中油浸风冷变压器,当上层油温度不超过 65℃ 时,允许不开风扇带额定负荷运行。

3. 调压装置

调压装置又叫分接开关,是变压器为了稳定负荷中心电压的调压设备。它是在变压器的某一绕组上设置分接头,当变换分接头时就改变了绕组的匝数,改变了绕组的匝数比。绕组匝数的改变使电压相应改变,从而达到了调整电压的目的。

分接开关的调压方式有无载调压和有载调压两种。

(1) 无载调压装置。

无载调压装置用于油浸变压器在无励磁状态下进行分接变换。按相数分为单相和三相;按安装方式分为卧式和立式;按结构形式分为鼓形、笼形、条形和盘形;按调压部位分为中性点调压、中部调压和线端调压。

变压器无载调压装置的额定调压范围较窄,调节级数较少。在额定调压范围以变压器额定电压的百分数表示为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2 \times 2.5\%$ 。

无载调压装置要求开关动作位置准确,操作灵活、方便,有良好的绝缘性能和稳定性,同时要求机械强度好,寿命长,外形尺寸小且便于维护等。在对二次侧电压进行调整时,首先对该变压器进行停电。变换分接头位置时,要求正反转三个循环,消除触头上的氧化膜及油污,然后正式变换分接头。变换分接头后测量绕组挡位的直流电阻,并检查销紧位置,以确保接触良好、可靠。分接头变换情况应做好记录并报告调度部门。

由于每次变换分接位置比较麻烦,无载调压装置只适用于不经常调整电压或季节性调整电压的变压器。

(2) 有载调压装置。

有载调压装置用于油浸变压器在变压器励磁(带负载)状态下变换分接位置,它必须满足两个基本条件。在变换分接过程中保证电流的连续,不能开路;在变换分接过程中,保证分接头间不能短路。

为满足以上两个基本条件,在变换过程中必然在某一瞬间同时桥接两个分接头以确保电流连续。在桥接的两个分接头间,必须串入阻抗以限制循环电流,该阻抗称为过渡阻抗。调压变压器绕组有多个分接头,需要一套电路来选择这些分接头,该电路称为选择电

路。不同的调压方式要求有不同的调压电路。因此有载调压装置的电路由过渡电路、选择电路、调压电路三部分组成。

有载调压时应遵守以下规定：

① 有载分接开关切换调节时，应注意分接开关位置指示、变压器电流和母线电压变化情况，并做好记录；

② 有载调压时应逐级调压，原则上每次只操作一档，间隔 1min 后再进行下一档的调节。严禁分接开关在变压器严重过负荷时进行切换；

③ 分相安装的有载分接开关，应三相同步电动操作，一般不允许分相操作；

④ 两台有载调压变压器并联运行时，其调压操作应轮流逐级进行；

⑤ 有载调压变压器与无载调压变压器并联运行时，有载调压变压器的分接头位置应尽量靠近无载调压变压器的分接位置。

4. 保护装置

(1) 储油柜。储油柜也称油枕，用以补偿油的热胀冷缩或缺油漏油引起的油位变化；并能使空气与本体油不直接接触，减少油的氧化。储油柜储油的总量为变压器油的 10%，其面积小，缩小了空气对油的接触面。

(2) 吸湿器。吸湿器也称空气滤过器，可防止空气中的水分和杂质进入储油柜，安装在变压器油枕的呼吸器管路上。吸湿器是一个圆形的玻璃容器，上端通过联管接通到油枕里面油面上，下端是空气的进出口，通过油封与大气相通，可以起到呼吸作用。其中的变色硅胶吸湿后，由蓝色变为粉红色。当变色达 2/3 时应予以更换。

(3) 气体继电器。气体继电器也称为瓦斯继电器。常用的有浮子式和挡板式气体继电器。

1) 浮子式气体继电器。浮子式气体继电器是比较老旧的，其应用历史比较长，目前在很大一部分变压器上还在使用。在浮子式气体继电器容器内部上下各有一个带水银触点的玻璃泡，它们可以以支点为中心自由转动。正常运行时，气体继电器整个容器内充满油，上触点保持水平，下触点保持垂直状态。当变压器内部有少量不正常气体产生时，气体上升到变压器箱壳的顶部，然后沿着管道流向气体继电器，由于气体发生比较缓慢，气体开始凝聚在容器的上部，迫使油面逐渐下降，当下降到一定程度，上玻璃泡内的水银触点闭合，接通信号回路，发出轻瓦斯信号。当变压器内部故障，大量气体突然发生，强烈的油流会急促地涌向气体继电器冲动下玻璃泡，水银触点闭合，接通跳闸回路，将故障变压器从系统中切除。

2) 挡板式气体继电器。挡板式气体继电器是比较新型的，比浮子式气体继电器动作更为可靠。它也是装在储油柜与变压器箱盖的连管之间，运行时气体继电器整个容器内充满油。当变压器内部轻微故障时，产生少量气体聚集于继电器顶部，使上油杯带动磁铁下降，使干簧继电器触点接通，发出轻瓦斯信号。当内部严重故障时，急速的油流冲击挡板，使挡板向上翘起，磁铁吸合干簧继电器触点，接通跳闸回路。

(4) 压力释放阀和防爆管。压力释放阀和防爆管是变压器的安全装置，作用是当变压器内部发生故障，变压器油产生大量气体，使变压器内部压力骤然猛增时能有一个排气泄压处，以避免变压器壳因受高压而发生爆裂。当油箱内的压力降低或恢复正常值后，阀盖自动复位，使箱内变压器油与外部空气隔绝。

(5) 净油器。净油器也称温差过滤器，是一个充有吸附剂的金属容器。变压器油流经吸附剂时，油中水分、游离酸和各种氧化物均被吸附剂吸收，使油得到连续再生，使油质能长时间保持在合格状态。如果压力释放器与全密封式储油柜配合使用，可以不装净油器。常用的净油器有温差环流法净油器和强制环流法净油器。

5. 监测部件

(1) 温度计。电力变压器中一般装设有油面温度指示计和绕组温度指示计，用来监视上层油温和绕组的温度。常用的温度计形式有水银温度计、指针式温度计和电阻式温度计。

(2) 油位计。变压器油位过高可能因温度上升溢油，过低可能因温度下降引起气体继电器动作。因此必须监视变压器油位的高低。油位计上有 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 时的油位。

(二) 基本参数

(1) 额定电压。额定电压是变压器长时间所承受的工作电压，它关系到主绝缘和纵绝缘的承受能力。

(2) 额定电流。额定电流是允许长时间通过的电流，它关系到变压器的发热、温度和寿命。

(3) 温度及温升。变压器中所使用的材料，在长期热作用下，会逐渐降低原有的绝缘性能，温度越高绝缘老化越快。电力变压器大多都是油浸式变压器，运行中各部分的温度是不同的，绕组温度最高，铁芯温度次之，绝缘油的温度最低。运行中必须监视各部分温度的变化，确保变压器绝缘使用寿命。

运行中的变压器不仅要监视上层油温，而且要监视上层油温的温升。当周围环境温度较低时，变压器外壳的散热能力大大加强，使外壳温度降低较多；但内部散热能力却提高很少，即使上层油温不超过允许值，变压器绕组温度可能会超过允许值。油浸自冷或风冷变压器上层油的允许温升（周围环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ ，额定负荷）为 55°C 。

(4) 效率。效率是二次输出功率 P_2 与一次输入功率 P_1 之比，即

$$\eta = P_2 / P_1 \times 100\%$$

效率关系到变压器的经济运行。

(5) 变压器的联结组别。变压器的联结组别就是表示绕组的连接形式及以时钟表示的方法标示出高低压绕组相位的关系。220kV 变电站主变压器联结组别多为：双绕组变压器为 $Y_N d11$ ，三绕组变压器为 $Y_N Y_N d11$ 。

(三) 变压器的运行规定

(1) 过负荷的一般规定。

- 1) 变压器允许的过负荷倍数和时间按照厂家说明书或现场运行规程掌握。
- 2) 有缺陷的变压器不宜过负荷运行。
- 3) 变压器的载流附件和外部回路元件应能满足超额定电流运行的要求，当任一附件

和回路元件不能满足要求时,应按负载能力最小的附件和元件限制负载。

(2) 运行电压要求。变压器的运行电压一般不应高于 105% 的运行分接电压。

(3) 运行温度要求。油浸式变压器顶层油温一般不应超过表 1-1 规定(制造厂另有规定的除外)。当冷却介质温度较低时,顶层油温也相应降低。自然循环冷却变压器的顶层油温一般不宜经常超过 85℃。

表 1-1 油浸式变压器顶层油温一般限值 ℃

冷却方式	冷却介质最高温度	最高顶层油温
自然循环风冷	40	95
强迫油箱环风冷	40	85

(4) 冷却装置的运行要求。

1) 不允许在带有负荷的情况下将强油冷却器(非片散)全停,以免产生过大的铜油温差,使线圈绝缘受损伤。在运行中,当冷却系统发生故障切除全部冷却器时,变压器在额定负载下允许运行 20min。当油面温度尚未达到 75℃时,允许上升到 75℃,但冷却器全停的最长运行时间不得超过 1h。

2) 同时具有多种冷却方式(如 ONAN、ONAF 或 OFAF)的变压器应按制造厂规定执行。如型号为 SFPSZ10-180000/220 的片散式变压器在各种冷却方式下允许长期运行的负荷如表 1-2 所示。

表 1-2 SFPSZ10-180000/220 型片散式变压器在各种冷却方式下允许的负荷

冷却方式	长期运行负荷允许值	冷却方式	长期运行负荷允许值
ONAN	65% S_N	OFAF	100% S_N
ONAF	80% S_N		

注: S_N 为变压器的额定容量, kVA。

3) 油浸风冷变压器,风机停止工作时,允许的负载和运行时间应按制造厂的规定。

4) 冷却装置部分故障时,变压器的允许负载和运行时间应按制造厂的规定。

(5) 并列运行要求。

1) 变压器并列运行条件是:一次和二次额定电压分别相等或电压比相等,联结组别相同,短路阻抗百分值相近。

2) 电压比不等或短路阻抗不等的变压器并列运行时,每台变压器并列运行绕组的环流应满足制造厂的要求。

3) 短路阻抗不同的变压器,可通过调整分接头位置,适当提高短路阻抗大的变压器的二次电压,使并列运行变压器的容量均能得到充分利用。

(6) 变压器三相负载不平衡时,应监视最大一相的电流。

(7) 对变压器间隙过流保护与零序过电流保护共用中性点电流互感器时,变压器投入运行时,中性点放电间隙保护应退出运行,合上变压器中性点接地刀闸。送电结束后,根据运行方式安排拉开中性点接地刀闸,投入间隙零序保护压板。间隙零序保护必须在变压器中性点刀闸合上前停用,拉开后投入。对变压器间隙过流保护采用间隙回路单独电流互感器时,在变压器中性点切换时,间隙保护压板可不用切换。

第二节 高压断路器

培训目标：

掌握高压断路器的结构、性能参数及运行要求等。

（一）高压断路器的类型

高压断路器是变电站的重要设备，既用来断开或闭合正常工作电流，也用来断开或闭合短路电流。

高压断路器主要由导流部分、绝缘部分、灭弧部分和操动机构几部分组成。根据高压断路器的装设地点，可分为户内和户外两种型式。按断路器使用的灭弧介质和灭弧原理可分为六氟化硫（SF₆）断路器、真空断路器、油断路器（多油断路器和少油断路器）、空气断路器等。由于油断路器运行维护量大，且有发生火灾的危险，而空气断路器结构复杂、制造工艺和材料要求高，有色金属消耗量大，维护周期长等缺点，目前油断路器、空气断路器逐渐被 SF₆ 断路器和真空断路器取代。操动机构应用最多的是液压机构、气动机构、弹簧储能机构。

1. SF₆ 断路器基本原理和构造

采用具有优良灭弧性能和绝缘性能的 SF₆ 气体作为灭弧介质的断路器，称为 SF₆ 断路器。这种断路器具有开断能力强、全开断时间短、体积小、运行维护量小等优点，但结构复杂，金属消耗量大，价格较贵。由于六氟化硫（SF₆）断路器的优良性能，目前 35kV 及以上系统得到广泛应用，尤其是以 SF₆ 断路器为主体的封闭式组合电器（GIS）。

（1）SF₆ 断路器构造（如图 1-2 所示）。

（2）SF₆ 断路器灭弧室原理。

SF₆ 断路器采用的是自能式灭弧方式，断路器分闸时，提升杆带动压气缸高速运动，运动过程中，一方面压气缸内的 SF₆ 气体被压缩增压；另一方面，利用电弧产生的能量对压气缸内的 SF₆ 气体增压。分闸过程中，高速的 SF₆ 气体通过喷口吹向电弧，对电弧进行冷却。电弧在电流过零时熄灭，此后，只要 SF₆ 介质的恢复强度大于断口间的电压恢复强度，电流就被成功开断。

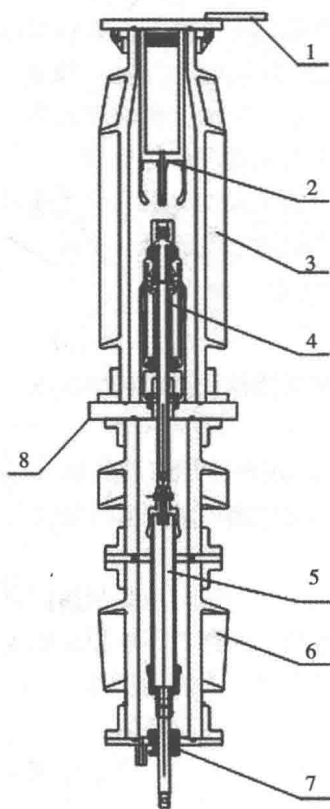
2. 真空断路器

利用真空（ $133.3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下）的高介质强度来实现灭弧的断路器，称为真空断路器。这种断路器具有开断能力强，灭弧迅速，运行维护简单，灭弧室不需要检修等优点。目前真空断路器在 10kV 配电系统得到广泛应用。

（二）高压断路器的基本技术参数

1. 额定电压（ U_N ）

额定电压是指断路器长期工作的标准电压。产品铭牌上标明的额定电压是指正常工作

图 1-2 SF₆ 断路器构造

1—上接线端子；2—静触头系统；3—灭弧室瓷套；4—动触头系统；5—绝缘拉杆；6—支持瓷套；7—直动密封；8—下接线端子

的线电压。我国采用的额定电压等级有 6、10、35、66、110、220、330、500kV 等。

考虑到输电线路的首、末端运行电压不同及电力系统调压要求，高压断路器又规定了与额定电压对应的最高工作电压 U_{alm} 。当 $U_N \leq 220\text{kV}$ 时， $U_{alm} = 1.15U_N$ ；当 $U_N > 220\text{kV}$ 时， $U_{alm} = 1.1U_N$ 。额定电压的高低影响断路器的外形尺寸和绝缘水平，电压越高，要求绝缘水平越高，外形尺寸越大。

2. 额定电流 (I_N)

额定电流是指断路器长期允许通过的最大工作电流。电气设备长期通过 I_N 时，其发热温度不会超过国家标准规定值。额定电流的大小，决定断路器导电部分和触头的尺寸及结构，在相同的允许温升下，电流越大，则要求导电部分和触头的截面越大，以便减小损耗和增大散热面积。

3. 额定开断电流 (I_{Nbr})

开断电流是指断路器在开断操作时，首先起弧的那相电流。额定开断电流是指断路器在额定电压下能保证正常开断的最大短路电流。它是标志断路器开断能力的一个重要参数。开断电流和电压有关，在低于额定电压下，断路器开断电流可以提高。由于灭弧装置机械强度的限制，开断电流仍有一极限值，此极限值称为极限开断电流。

4. 关合电流 (i_{Ncl})

当线路上存在短路故障时，断路器一合闸就会有短路电流流过，这种故障称为“预伏故障”。当断路器关合有预伏故障的线路时，在动、静触头接触前几毫米就发生预击穿，随之出现短路电流，给断路器关合造成阻力，影响动触头合闸速度及触头的接触压力，甚至出现触头弹跳、熔化、焊接以至断路器爆炸等事故。

短路时，保证断路器能够关合而不致发生触头熔焊或其他损伤的最大电流，称为断路器的关合电流。其数值以关合操作时瞬态电流第一个最大半波峰值来表示，制造部门对关合电流一般取额定开断电流的 $1.8\sqrt{2}$ 倍，即

$$i_{Ncl} = 1.8\sqrt{2}I_{Nbr} = 2.55I_{Nbr}$$

断路器关合短路电流的能力与断路器操动机构的功率、断路器灭弧装置性能等有关。

5. t 秒热稳定电流 (I_t)

t 秒热稳定电流是指在 t_s 内，通过断路器使其各部分发热不超过短时发热允许温度的最大短路电流。它是标志断路器承受短路电流热效应能力的一个重要参数。

6. 动稳定电流 (i_{es})

动稳定电流亦称极限通过电流。动稳定电流是指断路器在合闸位置时，允许通过的短路电流最大峰值。在通过这一电流后，断路器不应损坏而是能继续正常工作。短路电流最大峰值以短路电流的第一个半波最大峰值来表示。即

$$I_{es} = 2.55I_{Nbr}$$

动稳定电流表示断路器对短路电流的动稳定性，它决定于导体部分及支持绝缘子部分的机械强度，并决定于触头的结构形式。额定关合电流在数值上应等于动稳定电流，以保证关合与开断能力相匹配。

7. 全开断（分闸）时间 (t_1)

全开断时间是指断路器接到分闸命令瞬间起到各相电弧完全熄灭为止的时间间隔，即

$$t_1 = t_0 + t_2$$

式中， t_0 ——断路器固有分闸时间，指断路器接到分闸命令瞬间到各相触头都分离的时间间隔；

t_2 ——燃弧时间，指断路器触头从分离燃弧瞬间到各相电弧完全熄灭的时间间隔。

断路器开断单相电路时，各个时间的关系如图 1-3 所示。

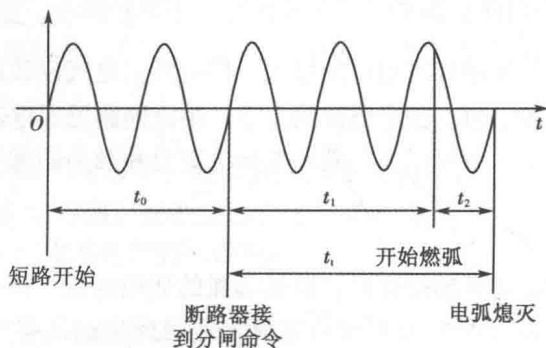


图 1-3 断路器开断电路时的有关时间

全开断时间是表征断路器开断过程快慢的主要参数。从电力系统对开断短路电流的要求来看,希望 t_1 愈小愈好,因为它直接影响故障设备的损坏程度、故障范围、传输容量和系统的稳定性。高速动作的断路器 $t_1 < 0.08\text{s}$;低速动作的断路器, $t_1 > 0.12\text{s}$;中速动作的断路器 $t_1 = 0.08 \sim 0.12\text{s}$ 。

8. 合闸时间 (t_{hz})

合闸时间是指处于分闸位置的断路器,从接到合闸命令瞬间起到各相的触头均接触为止的时间间隔。合闸时间决定于断路器的操动机构及中间传动机构。电力系统对合闸时间一般要求不高,但希望稳定。

9. 操作循环

操作循环也是表征断路操作性能的指标。架空线路的短路故障大多为暂时性的,短路电流切除后,故障迅速消失。为了提高架空线路供电的可靠性和系统运行的稳定性,断路器应能承受一次或两次以上的关合、开断,或关合后立即开断的能力。此种按一定时间间隔进行多次分、合的操作,称为操作循环。我国规定断路器的额定操作循环如下。

(1) 自动重合闸操作循环:

分— θ —合分— t —合分。

(2) 非自动重合闸操作循环:

分— t —合分— t —合分。

其中 分——分闸操作;

t ——强送电时间,标准时间为 180s ;

合分——合闸后立即分闸的动作;

θ ——无电流间隔时间,标准值为 0.3s 或 0.5s 。

高压断路器自动重合闸操作循环有关时间如图1-4所示。图中 t_0 、 t_1 和 θ 的定义与前述相同, t_3 为预击穿时间, t_4 为金属断路时间, t_5 为燃弧时间。

断路器的全分闸时间加上间隔无电流时间称为自动重合闸时间。从断路器重合操作触头闭合到第二次触头分开为止的时间,称为金属短接时间。因为重合操作是在线路可能仍处于故障下的合闸,所以为提高电力系统的稳定性,要求所使用的断路器具有较高的动作速度,除了缩短全分闸时间外,金属短接时间也必须较短。

断路器所允许的无电流间隔时间取决于第一次开断后,断路器恢复熄弧能力所需要的时间。如果时间太短,则当高压断路器重合后再次分闸时,会因其灭弧能力尚未恢复,而使断路器在第二次分闸时的开断能力降低。

(三) 高压断路器的结构

1. 弹簧机构

虽然高压断路器类型不同,具体结构也不相同,但其基本结构类似,主要由电路通断元件、绝缘支撑元件、操动机构及基座组成,如图1-5所示。电路通断元件安装在绝缘支承元件上,而绝缘支承元件则安装在基座上。电路通断元件承担接通和断开电路的任务,由接线端子、导电杆、触头及灭弧室等组成;绝缘支撑元件起固定通断元件的作用,并使其带电部分与地绝缘;操动机构起控制通断元件的作用,当操动机构接到合闸和分闸