

本书编写组 编

变电站综合自动化 原理与运行

BIANDIANZHAN ZONGHE
ZIDONGHUA
YUANLI YU YUNXING



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

BIANDIANZHAN ZONGHE
ZIDONGHUA
YUANLI YU YUNXING

变电站综合自动化 原理与运行

本书编写组 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书对变电站综合自动化系统,装置原理与接线,综合自动化系统的通信、操作、维护等进行了全面介绍,突出了应用性特色,着重解决综合自动化系统变电站运行中的实际问题,以便为变电站运行值班和事故处理提供帮助。

本书主要内容为:变电站概述,变电站综合自动化系统,装置原理与接线,变压器保护测控单元,输电线路微机保护系统,电压、无功综合控制系统或装置,变电站公用二次装置与系统,变电站综合自动化系统的数据通信、运行操作,变电站综合自动化系统的运行可靠性与日常维护,变电站倒闸操作与事故处理。

本书可作为综合自动化变电站各类工作人员的培训教材、自学教材,也可作为在校学生的辅助教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电站综合自动化原理与运行/《变电站综合自动化原理与运行》编写组编. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-7827-5

I. 变… II. 变… III. 变电所—自动化技术 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 138864 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 12 月第一版 2008 年 12 月北京第一次印刷

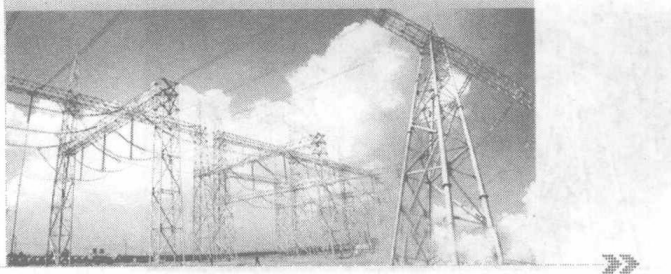
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 504 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 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



序

与中国经济蓬勃发展的态势相适应，中国现代化电网的建设步伐也不断加快。近年来，国家电网公司从我国基本国情和电力工业发展的客观规律出发，作出了实施“一特三大”战略的重大部署，全力建设以特高压为骨干网架、各级电网协调发展的坚强国家电网成为公司上下的一致共识。

在跨省市、跨区域大电网的发展架构下，变电站无人或少人值守、实现综合自动化，作为提高变电站安全稳定运行水平、降低运行维护成本、确保向用户提供高质量电能、提高企业经济效益的一项重要技术措施，已经成为电网建设和改造中的普遍应用趋势。计算机技术、自动控制技术、网络及通信技术的飞速发展，加快了变电站综合自动化的普及步伐。但与此不相适应的是，变电站一线运行人员的业务素质 and 实际操作能力，还不能完全满足各种新设备、新技术、新规程的要求，还不能完全适应变电站现代化管理的需要。确保现场运行人员抛开惯有的工作模式和设备模式，有效、快速地掌握变电站综合自动化系统的运行原理，提高实际操作能力，已成为当务之急。

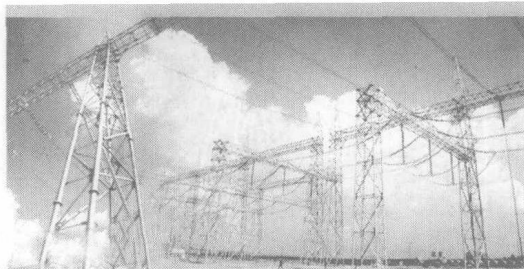
河南省电力公司培训中心敏锐地注意到这一问题，并立即组织相关专业培训人员，开展了“变电站综合自动化原理与运行”培训项目的立项、研发和教学工作。几年来，组织力量对河南省多个市、县供电公司的变电站运行人员进行了变电站综合自动化系统原理与运行方面的培训，并在长期的教学实践过程中总结出了一套适合现场的培训教程体系，收到了良好的培训效果，得到了各基层单位和受培人员的一致好评。

《变电站综合自动化原理与运行》一书，正是河南省电力公司培训中心数位优秀专业培训人员在近年来培训实践的基础上，精心总结、提炼、完善而成。该书充分考虑了变电站一线运行人员的实际需求，内容丰富，通俗易懂，还使用了不少实物图片帮助理解，是一本面向生产一线、以系统认知和实际操作为重点的实用型变电站综合自动化培训教材。

相信通过该书的出版发行，将有助于帮助广大一线运行人员熟悉综合自动化变电站的组成及软硬件环境，全面学习变电站综合自动化系统的基本知识，特别是在帮助一线运行人员解决变电站综合自动化系统实际运行中的重点和难点问题方面将发挥重要作用。

唐昕

2008年4月



前 言

随着计算机在电力工业的深入应用，综合自动化变电站的广泛普及，综合自动化变电站运行、维护、管理的人员对新技术培训需要十分迫切。河南省电力公司培训中心综合自动化培训团队，总结几年来对综合自动化变电站进行理论和实际操作培训的经验，将《变电站综合自动化原理与运行》一书奉献给广大读者。

本书在对综合自动化系统，装置原理与接线，综合自动化系统的通信、操作、维护等进行深入讲解的基础上，实现对变压器、线路及公用部分的保护测控装置的进一步详细讲解。本书强调系统性、逻辑性、简洁性、实用性、应用性。突出应用性特色，着重解决目前综合自动化变电站运行中的实际问题，使读者全方位了解综合自动化系统和二次装置是如何工作的，以达到为综合自动化变电站的运行值班和事故处理提供帮助的目的。

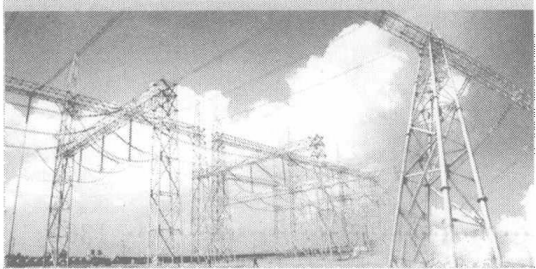
本书第一章变电站概述、第二章变电站综合自动化系统，由张儒编写；第三章装置原理与接线；由高俊萍编写；第四章变压器保护测控单元，由陈宏编写；第五章输电线路微机保护系统，第一节、第四节由娄南编写，第二节、第三节由王青编写；第六章电压、无功综合控制系统，由杨玮编写；第七章变电站公用二次装置与系统，由胡学鹏编写；第八章变电站自动化系统的通信网络及传输规约，由张庆伟编写；第九章变电站自动化系统的运行操作，由王青编写；第十章变电站综合自动化系统的运行可靠性与日常维护，由张庆伟编写；第十一章变电站倒闸操作与事故处理，由胡学鹏编写。张儒和胡学鹏对全书编写进行了组织协调和总体规划。教材编写组由张儒负责。

本书得到了河南省电力公司培训中心各级领导及同仁的大力支持和帮助，并得到了河南电力仿真培训中心、郑州电力高等专科学校、郑州市供电公司、许继电气股份有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司、国电南京自动化股份有限公司、天津凯发电气股份有限公司、河南思达电力技术公司、华星恒业电气设备有限公司等提供资料和大量帮助，在此一并表示感谢。

由于时间和水平原因，不足之处请大家批评指正。

编 者

2008年1月



目 录

序

前言

第一章 变电站概述	1
第一节 变电站一次设备.....	1
第二节 电气主接线	11
第三节 二次回路	14
第二章 变电站综合自动化系统	17
第一节 变电站综合自动化的基本概念	18
第二节 变电站综合自动化的结构模式	21
第三节 分层分布式的变电站综合自动化系统	27
第四节 变电站综合自动化的功能和信息量	36
第五节 变电站综合自动化的优越性	41
第三章 装置原理与接线	44
第一节 装置概述	44
第二节 模拟量的输入/输出回路.....	46
第三节 开关量输入及输出电路	55
第四节 微型机系统和变电站综合自动化算法	64
第五节 人机对话、通信和电源插件	69
第六节 操作回路	73
第七节 测控装置	77
第四章 变压器保护测控单元	82
第一节 微机保护概述	82
第二节 变压器保护测控装置的配置	83
第三节 变压器的非电量保护	86
第四节 差动保护	87
第五节 变压器的后备保护	95
第六节 变压器保护测控单元应用举例.....	100
第七节 变压器保护测控装置举例.....	105
第五章 输电线路微机保护系统	116
第一节 输电线路继电保护原理.....	116
第二节 自动重合闸.....	125
第三节 自动按频率减负荷.....	132

第四节	线路保护装置	136
第六章	电压、无功综合控制系统	153
第一节	电力系统无功功率与电压调整	153
第二节	变电站电压、无功综合控制	156
第三节	电力电容器微机保护	161
第四节	变电站电压、无功综合控制装置举例	165
第五节	变电站电压、无功综合控制系统	167
第七章	变电站公用二次装置与系统	179
第一节	备用电源自动投入装置	179
第二节	小电流接地选线装置或系统	194
第八章	变电站自动化系统的通信网络及传输规约	208
第一节	综合自动化系统数据通信的基本概念	208
第二节	通信接口	214
第三节	综合自动化系统的通信网络概述	217
第四节	计算机网络体系结构及协议	226
第五节	变电站信息传输规约	231
第九章	变电站自动化系统的运行操作	236
第一节	后台监控系统	236
第二节	继电保护工程师站	247
第三节	异常处理	262
第十章	变电站综合自动化系统的运行可靠性与日常维护	273
第一节	变电站综合自动化系统可靠性问题及抗干扰措施	273
第二节	变电站综合自动化系统的日常维护与系统安装	278
第三节	常见故障分析及处理	282
第四节	变电站综合自动化常用术语解释	288
第十一章	变电站倒闸操作与事故处理	294
第一节	变电站倒闸操作	294
第二节	事故处理	306
参考文献		320

第一章

变电站概述

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，是电网中线路的连接点，起着变换电压、交换功率和汇集分配电能、控制电力流向、调整电压的作用。以规模大小分为枢纽站、区域站与终端站。枢纽站电压等级一般为三个（三绕组变压器），如 550kV/220kV/110kV。区域站一般也有三个电压等级（三绕组变压器），如 220kV/110kV/35kV 或 110kV/35kV/10kV。终端站一般直接接到用户，大多数为两个电压等级（双绕组变压器），如 110kV/10kV 或 35kV/10kV。用户本身的变电站一般只有两个电压等级（双绕组变压器），如 110kV/10kV、35kV/0.4kV、10kV/0.4kV，其中以 10kV/0.4kV 为最多。

为了确保供电的安全、可靠和经济，按照严格的设计要求，变电站中安装有不同电压等级的各种电气设备。把直接生产、变换、输配和使用电能的设备称作一次设备，主要包括：生产和变换电能的设备、接通和断开电路的开关电器、限制过电流或过电压的设备、接地装置、载流导体以及用于测量监视的互感器等，如发电机、变压器、断路器、隔离开关等。

把对一次设备进行监察、测量、控制、调节及保护的设备称为二次设备，主要包括：互感器的二次绕组、测量仪表、继电保护及自动装置、信号设备、控制设备与控制电缆和直流设备等。

为确保变电站正常、稳定的运行，每一个一次设备都对应设置了相应的二次设备。如继电保护、就地监控、远动控制、录波装置、保护屏、控制屏、录波屏、中央信号屏、远动屏等。

第一节 变电站一次设备

一、变压器

它是变电站的主要电气设备之一，是变电站的核心设备，它将一个电压等级的交流电通过电磁感应变换成同频率的另一个电压等级的交流电。升压变压器将电压升高，可以减少传输中的线路损耗，提高送电的经济性，达到远距离输电的目的；降压变压器将高电压变为用户所需的各级适用电压，提高用电安全，满足用户需要。

(一) 变压器的工作原理

变压器的基本工作原理就是电磁感应原理的应用（见图 1-1-1）。在绕组 1 中接入交流电压 u_1 ，产生一次电流 i_0 ，该电流在铁芯中励磁产生交变磁通 Φ ，它同时与两侧绕组交链，分别在各绕组中感应电动势 e_1 、 e_2 。磁通 Φ 在铁芯上的每匝线圈

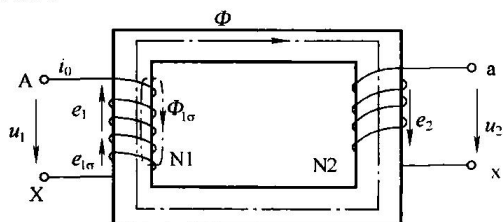


图 1-1-1 变压器工作原理

上感应的电动势相等，两侧绕组取不同的匝数就可以得到不同的电压。在绕组 2 的端子 a 、 x 产生电压 u_2 ，在 a 、 x 上接入负荷，就会有电能从绕组 2 中输出。

把输入电能的绕组称为一次绕组，输出电能的绕组称为二次绕组。

(二) 变压器的分类

- (1) 按绕组个数分双绕组变压器、三绕组变压器、自耦变压器。
- (2) 按相数分单相变压器、三相变压器。
- (3) 按冷却方式分油浸自冷、油浸风冷、强迫油浸风冷、强油循环水冷、干式变压器等。
- (4) 按用途分升压变压器、降压变压器、联络变压器等。
- (5) 按容量分一般把容量为 8000~63 000kVA 的变压器称作大型变压器，容量为 90 000kVA 及以上的称作特大型变压器。

(三) 变压器的基本结构

变压器的组成主要包括：铁芯、绕组、绝缘、引线、变压器油、油箱、冷却装置、调压装置、保护装置（吸湿器、安全气道、气体继电器、储油柜、测温装置和出线套管等（见图 1-1-2）。

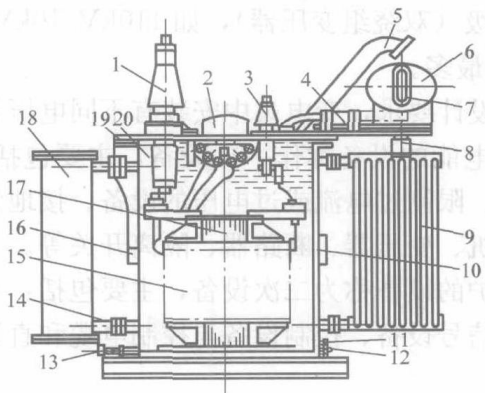


图 1-1-2 油浸式电力变压器结构示意图

- 1—高压套管；2—分接开关；3—低压套管；
- 4—气体继电器；5—安全气道；6—储油柜；
- 7—油位计；8—吸湿器；9—散热器；
- 10—铭牌；11—接地螺栓；12—油样活门；
- 13—放油阀门；14—活门；15—绕组；
- 16—信号温度计；17—铁芯；18—净油器；
- 19—油箱；20—变压器油

储油柜：当变压器油内的体积随着油的温度膨胀或缩小时，储油柜起着储油及补油的作用，保证油箱内充满油。同时由于装了储油柜，使变压器缩小了与空气的接触面，减少了油的劣化速度。储油柜的侧面还装有油位表，可以监视油位的变化。

铁芯：提供磁的通路。

线圈：提供电的通路。

油箱：是变压器的外壳，内装铁芯和线圈并充满变压器油。变压器油起绝缘和散热的作用。

呼吸器：对空气起过滤作用，其内部的干燥剂吸收空气中的水分，从而保持油的清洁。

压力释放阀：当变压器内部故障时，温度升高，油剧烈分解产生大量气体，使油箱内压力剧增，这时压力释放阀动作油及气体由管口喷出，防止变压器的油箱爆炸或变形。

散热器：当变压器上层油温与下部油温产生温差时，通过散热器形成油的对流，经散热器冷却后流回油箱，起到降低变压器温度的作用。

绝缘套管：变压器各侧线圈引出线必须采用绝缘套管，以便于连接各侧引线。

气体继电器：当变压器内部故障时，温度升高，油剧烈分解产生大量气体，气体继电器上触点接信号回路，下触点接开关的跳闸回路。

分接开关：当分接头改变时，可以调整变压器的输出电压。

温度表：用于测量变压器的上层油温。

其中铁芯和绕组是构成变压器磁路和电路的关键部件，它们的材质、制造工艺直接影响变压器在电网的运行参数，而运行参数又决定着变压器运行损耗和运行的稳定。

(四) 变压器的主要技术参数

(1) 额定容量 S_N ：视在功率，单位为 VA/kVA/MVA，在铭牌规定的额定电压、额定电流时连续运行的输送容量。

(2) 额定电压 U_{1N}/U_{2N} ：单位为 V 或者 kV。变压器长期运行时所能承受的工作电压。三相变压器中，额定电压指的是线电压。

(3) 额定电流 I_{1N}/I_{2N} ：单位为 A/kA，是变压器正常运行时所能承担的最大电流，在三相变压器中均代表线电流。

(4) 变比：变压器各侧之间的额定电压比。也等于它的输入侧绕组匝数与输出侧绕组匝数之比。

(5) 联结组别：用于表明变压器一、二次侧绕组的接线方式和电压之间的相位关系。我国规定三相双绕组变压器的标准组别有：Yyn0；YNy₀；Yy0；Yd11；YNd11 五种。

(6) 阻抗电压 u_k ：变压器的短路电压，是指变压器短路试验情况下的短路电压占额定电压的百分数。它是表示变压器内阻抗（漏阻抗）大小的参数，可以表示为 $u_k = U_k/U_N \times 100\%$ 。

(7) 空载电流 I_0 ：变压器额定电压下，二次侧空载，一次侧通过的电流，也称激磁电流。

(五) 变压器的运行维护

1. 变压器正常运行

正常运行的变压器，因负荷、季节等因素的变化，其温度会发生变化。特别是负荷增大时，各侧绕组通过较大的电流而引起发热加剧。长期发热会加速绝缘的老化，另外变压器的内、外部故障也会引起发热。所以，变压器的温度和温升成为衡量其是否运行正常的重要参数，要有一定的限制。变压器油起绝缘、散热作用。变压器油的质量将直接影响变压器的正常运行和寿命。如果油中含有水分或空气都将严重影响其绝缘性能。

2. 变压器的巡视

变电站运行值班员通过监视控制系统监视变压器的运行情况：电压的波动、负荷电流的变化等。要定期巡视：

1) 变压器的油温和温度计应正常，储油柜的油位应与温度相对应，各部位无渗油、漏油。

2) 套管油位应正常，套管外部无破损裂纹、无严重油污、无放电痕迹及其他异常现象。

3) 变压器音响正常。

4) 各冷却器手感温度应相近，风扇、油泵、水泵运转正常，油流继电器工作正常。

5) 中性点接地及接地装置良好。

6) 呼吸器完好，吸附剂干燥。

7) 引线接头、电缆、母线应无发热迹象。

8) 压力释放器、安全气道应完好无损。

9) 有载分接开关的分接位置及电源指示应正常。

10) 气体继电器内应无气体。

11) 各控制箱和二次端子箱应关严，无受潮。

应特殊巡视：

1) 新设备或经过检修、改造的变压器在投运 72h 内。

- 2) 有严重缺陷时。
- 3) 气象突变(如大风、大雾、大雪、冰雹、寒潮等)时。

4) 雷雨季节特别是雷雨时;雷雨时,检查套管有无放电闪络,基础是否下沉。大风时,引线有无剧烈摆动或松动,上盖及引线上有无刮起物。冰雪后,根据接触部分积雪情况判断是否发热,检查瓷质部分有无冻裂现象。大雾时,检查瓷质部分有无闪络放电。

- 5) 极冷极热时,检查油位,油温变化,有无渗漏油。
- 6) 高温季节、高峰负载期间。
- 7) 变压器过负荷运行时。

变压器的维护:

1) 每周对变压器重点巡视检查一次,每月对变压器端子箱清扫一次。

2) 变压器遇有停电作安措时,应对上盖,瓷质套管,气体继电器等进行清擦,并测量绝缘电阻。

3) 每季应对风扇电机停运检查一次,并测量绝缘电阻,不合格者及时处理。

3. 变压器的并列运行

为提高变压器运行的经济性、可靠性,常常采用变压器并列运行的方式。为了不产生环流,降低并列损耗,使负荷分配均衡,并列运行的各变压器必须满足以下条件:①联结组别标号相同;②对应各侧额定电压及变比相等;③短路阻抗标么值及短路阻抗角相等。

4. 变压器调压

电力系统正常运行时,必须控制电压的波动,电压变动范围一般不得超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。为确保电压波动在一定的范围,就必须进行调压,通过变压器高压侧的分接开关改变绕组的匝数进行调压是变压器最常用的一种方法。具有调压功能的变压器分为无载调压变压器和有载调压变压器两种。现行的变电站通常采用有载调压变压器。

(六) 变压器的异常

变压器运行中,通常会发生的异常情况:声音异常;油温异常;油位异常;外观异常;压力释放阀异常;套管闪络放电;渗、漏油;颜色、气味异常;气体继电器中的气体异常。运行值班员在发现以上异常情况时,应按照规定要求及时上报、分析处理,以免事故扩大。

二、高压断路器

高压断路器也是变电站的重要电气设备之一。正常运行时,它用来通断负荷电流、倒换运行方式,将其他设备或线路接入电路或退出运行,起控制作用;在严重过载和短路时,通过继电保护动作自动跳闸,迅速切断过载电流和短路电流,以确保电力系统安全运行;同时,断路器还具有自动重合闸功能,以提高供电可靠性。

(一) 对高压断路器的基本要求

- (1) 在额定参数下应能长期可靠的工作。
- (2) 应具有足够的断流能力。
- (3) 应具有尽可能短的开断时间。
- (4) 能实现自动重合闸,配合自动重合闸装置进行单重、综重的动作。
- (5) 应具有足够的机械强度和有良好的稳定性能。

(二) 高压断路器基本技术参数

- (1) 额定电压:长期工作的标准电压。

(2) 额定电流：长期允许通过的最大工作电流。其大小取决于断路器的标准电压、导电部分和触头的尺寸及结构。

(3) 额定开断电流：在开断操作时，首先起弧的那相电流，就是在额定电压下能保证正常开断的最大短路电流。

(4) 极限开断电流：在低于额定电压下，断路器的开断电流可以提高，但由于灭弧装置机械强度的限制，开断电流有一个极限值，称之为极限开断电流。

(5) 额定开合电流：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。

(6) t_s 热稳定电流：在 t 秒内，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。

(7) 动稳定电流：断路器在合闸位置时，允许通过的短路电流最大峰值。通过这一电流后，断路器不应损坏而能继续正常工作。

(8) 合闸时间：断路器处于分闸位置的断路器，从接到合闸命令瞬时起到各相的触头均接触为止的时间间隔，其大小决定于操动机构及中间传动机构。

(9) 全开断（分闸）时间 t_{kd} ：断路器接到分闸命令瞬时起到各相电弧完全熄灭的时间间隔，是表征断路器开断过程快慢的主要参数，越小越好，高速动作的断路器 $t_{kd} < 0.8s$ ，中速动作的断路器 $t_{kd} = 0.8 \sim 0.12s$ ，低速动作的断路器 $t_{kd} > 0.12s$ 。

（三）种类

高压断路器种类很多，按灭弧介质不同，有以下几种：

- (1) 油断路器：多油、少油。
- (2) 压缩空气断路器。
- (3) 六氟化硫断路器。
- (4) 真空断路器。

（四）SF₆ 断路器

1. SF₆ 气体的特性

SF₆ 气体作为灭弧介质，具有优良的绝缘性能和灭弧性能。SF₆ 气体无色、无臭、无毒、不燃的惰性气体，密度为空气的 5.1 倍。具有很强的电负性，极易吸附自由电子，变成负离子，与正离子复合，灭弧性能特别强，见图 1-1-3。

由于 SF₆ 气体的高绝缘强度，在 3 个大气压下，其绝缘强度与变压器油相同，使得断路器载流部分的距离大大减少，从而使该电气设备的尺寸大大缩小，减少占地面积。

在不均匀的电场条件下，其击穿强度会大大降低，所以在 SF₆ 断路器的绝缘结构中，应避免出现电场不均匀的电晕现象。

2. 主要绝缘结构组成

导电部分对地、相间和断口间等三部分绝缘组成。

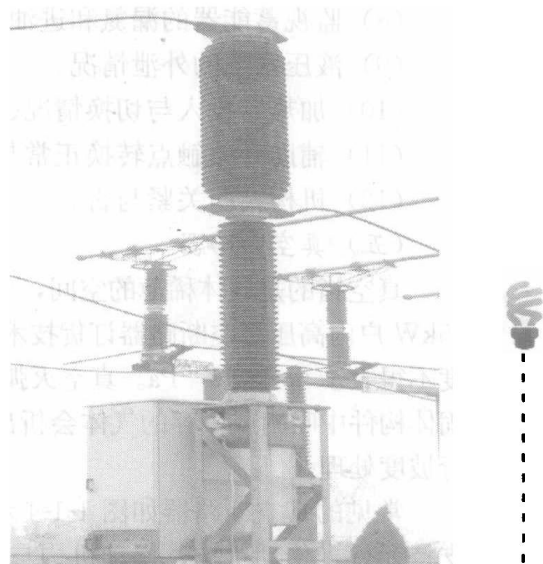


图 1-1-3 SF₆ 断路器

对地绝缘主要由支柱或支持瓷套、绝缘拉杆及相应的气体介质构成。相间绝缘主要由 SF₆ 气体，断口绝缘由 SF₆ 气体及相应的灭弧绝缘筒和瓷套组成。

3. 影响 SF₆ 气体绝缘强度的因素

(1) 电场均匀度的影响：与压力有关系，在较均匀的电场下，绝缘强度随气体压力的增加而增加，但并不成正比。

(2) 电极表面状态的影响：表面越粗糙，击穿电压越低。电极面积越大，则偶然因素出现的概率越大，因而使击穿电压降低。

(3) 电压极性的影响：均匀电场中，没有什么极性效应。在稍不均匀电场中，曲率半径大的电极为负时，其附近的场强较大，容易产生阴极发射，使气隙的击穿电压降低。由于 SF₆ 断路器绝缘结构都是稍不均匀电场形式，所以其绝缘水平往往由负极极性电压来决定。

4. SF₆ 气体的压力

(1) SF₆ 断路器的额定压力一般为 0.4~0.6MPa（表压），这通常是指环境温度为 20℃ 的压力值。温度不同时，SF₆ 气体的压力也不相同。充气或检查时必须查对 SF₆ 气体温度曲线。

(2) SF₆ 断路器气体压力报警、闭锁及信号装置：SF₆ 气体压力低压信号，也叫补气信号，一般比额定工作气体压力低 5%~10% 信号回路就会发信号；当压力降到某数值时，分、合闸闭锁，不允许进行合闸和分闸操作，一般该值比额定工作气压低 8%~15%。

5. SF₆ 断路器在运行中应监视的项目

(1) 检查断路器瓷套、瓷柱有无损伤、裂纹、放电闪络和严重污垢、锈蚀等现象。

(2) 检查断路器实际分、合位置与机械、电气指示位置是否一致。

(3) 检查断路器触点、接头处有无热及变红现象。

(4) 检查断路器与机构之间的传动机构连接是否正常。

(5) 机构油箱的油位正常与否。

(6) 油泵每天的启动次数。

(7) 监视压力表读数及当时环境温度。

(8) 监视蓄能器的漏氮和进油的异常情况。

(9) 液压系统的外泄情况。

(10) 加热器投入与切换情况、照明是否完好。

(11) 辅助开关触点转换正常与否。

(12) 机构箱门关紧与否。

(五) 真空断路器

真空指的是气体稀薄的空间，气压为零的绝对真空是不存在的，根据电力行业标准《10~35kW 户内高压真空断路器订货技术条件》的规定，运行中的真空断路器其真空灭弧室的真空度不得大于 6.6×10^{-2} Pa。真空灭弧室长期存放或使用一段时间后，金属触头或灭弧室的其他固体构件中吸附或残存的气体会析出而使真空度下降。当真空度大于 10^{-2} Pa 时，对真空管施行坡度处理。

常见的真空断路器如图 1-1-4 和图 1-1-5 所示，真空断路器主要由真空灭弧室、绝缘与支持元件、传动机构、操动机构与底座等部件组成。

真空灭弧室由外壳、触头和屏蔽罩三部分组成。

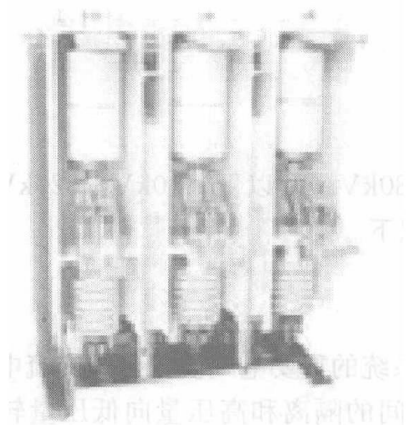


图 1-1-4 真空断路器之一

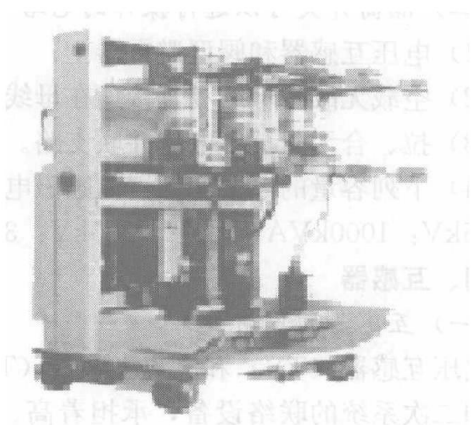


图 1-1-5 真空断路器之二

以 ZN-10 真空断路器为例，作为真空断路器核心部件灭弧室的真空度很高（一般 10^{-6} mm 汞柱）。真空介质中气体稀薄，发生碰撞几率小，真空绝缘强度高。电弧是在触头分离时的炽热点上蒸发出的金属蒸汽中形成的。电弧的熄灭是基于真空的高绝缘强度和电弧中的带电粒子与金属蒸汽具有很高的扩散速度，使电弧电流过零后触头间隙的介质强度恢复很快的原理而达到的。

三、隔离开关

（一）隔离开关的特点和作用

高压隔离开关结构简单，没有专门的灭弧装置，在合闸位置时能承受正常的工作电流及短路电流，不能切除短路电流和过大的工作电流。可在等电位条件下倒闸操作、接通和断开小电流电路。在分闸位置时其触头之间有符合规定的绝缘距离和可见的断口以达到安全隔离、保证检修安全。

应用在有电压无负荷的情况下，分、合电路，在空气中形成明显可见的电气上的断开点，保证检修安全，达到安全隔离的目的。

隔离开关的类型按照支持绝缘子的数量和导电活动臂的开启方式划分有单柱垂直伸缩式、双柱水平旋转式、双柱水平旋转伸缩式和三柱水平旋转式等。有手动和电动两种操纵机构。常见的两种隔离开关如图 1-1-6、1-1-7 所示。

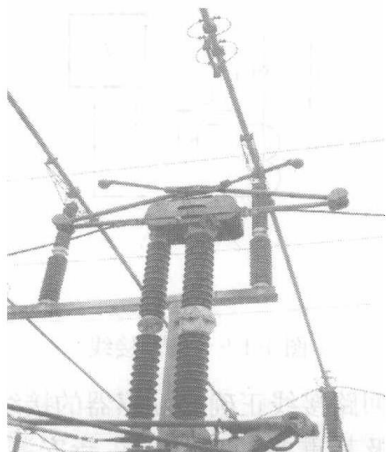


图 1-1-6 隔离开关之一

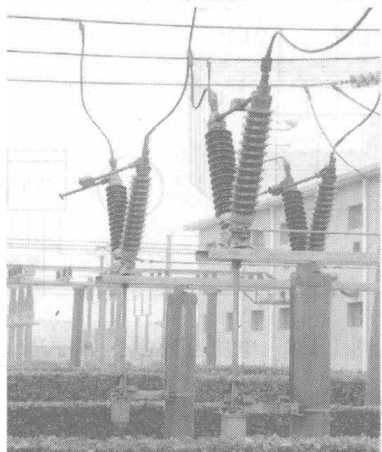


图 1-1-7 隔离开关之二

(二) 隔离开关可以进行操作的电路

- (1) 电压互感器和阀型避雷器。
- (2) 空载无故障母线和直接连在母线上的电容器。
- (3) 拉、合无阻抗等电位并联支路。
- (4) 下列容量的电力变压器的励磁电流：6kV：180kVA 及以下、10kV：320kVA 及以下、35kV：1000kVA 及以下、110kV：3200kVA 及以下。

四、互感器

(一) 互感器的作用

电压互感器 (TV) 和电流互感器 (TA) 是电力系统的重要电气设备，是交流电路一次系统和二次系统的联络设备，承担着高、低压系统之间的隔离和高压量向低压量转换的职能。分别向测量仪表、继电器线圈供电；正确反映电气设备的正常运行和故障情况。将一次回路高电压和大电流变为二次回路的标准值，使测量仪表和保护装置标准化，所有二次设备可用低压、小电流的控制电缆连接，二次回路接线不受一次回路的限制，二次侧设备和工作人员与高电压部分隔离，二次侧必须有一点接地。

(二) 电流互感器

1. 工作原理

如图 1-1-8 所示，一次侧只有 1 到几匝绕组，导线截面积大，串联在被测电路，一次电流取决于被测回路的负载电流，与二次负载无关；二次相当于短路；二次侧绕组匝数多，导线细，与阻抗较小的测量仪表或继电器的电流线圈串联。二次侧额定电流为 5A。(电流表/功率表的电流线圈)；电流互感器的运行情况相当于二次侧短路的变压器，一般选择很低的磁密 (0.08~0.1T)，并忽略励磁电流，则 $I_1/I_2 = N_2/N_1 = K$ 。

2. 类型

- (1) 按安装地点分户内和户外。
 - (2) 按绝缘形式分瓷绝缘和浇注绝缘。
 - (3) 按安装方式分支柱式、穿墙式和母线式。
3. 极性与一、二次电流的正方向 (见图 1-1-9)

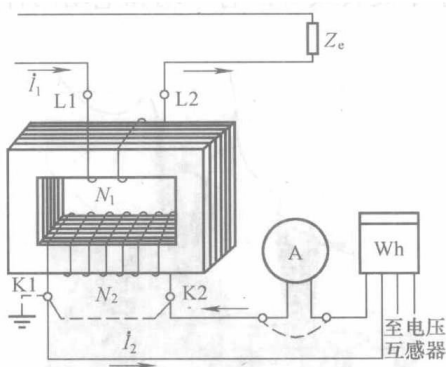


图 1-1-8 电压互感器工作原理

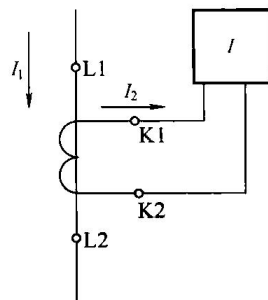


图 1-1-9 极性接线

电流互感器两侧绕组必须有标准极性，以确保二次回路接线正确。互感器的接线正确与否，对系统的保护、测量、监察等设备的正常工作有极其重要的意义。在新安装的 TV、TA 极定或更换 TA、TV 二次电流时，利用极性试验法检验 TA、TV 接线的正确性，已经

是继电保护工作人员必不可少的工作程序。一般极性标准遵循“减极性原则”。如图 1-1-9, L1 和 K1 为同极性端子。

4. 接线方式

对电流互感器接线要求选用合理接线方式, 以达到继电保护装置和测量仪表的要求。保证极性的正确连接, 要有防止二次回路开路措施。二次回路应有可靠的保安接地。

三种接线方式如下 (如图 1-1-10 所示):

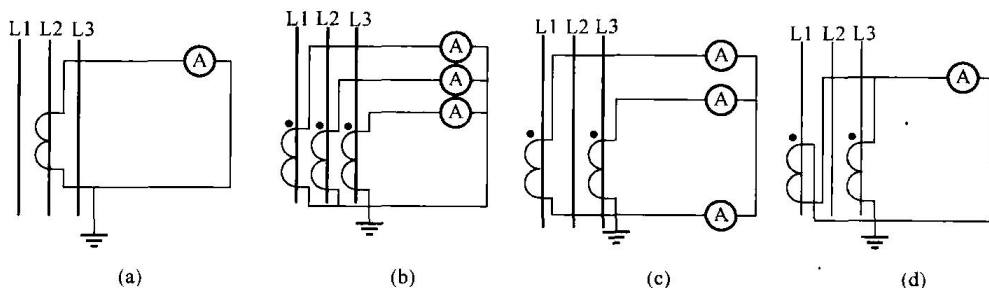


图 1-1-10 电流互感器的接线方式

(a) 单台接线; (b) Y形接线; (c) V形接线一; (d) V形接线二

(1) 单台接线: 用于测量对称三相电路中的电流。

(2) Y形接线: 用于测量对称和不对称三相电路中的线路电流; 也用于三相短路、两接地、单相短路的继电器, 灵敏度高。

(3) V形接线: 不完全星形接线, 电流测量的是未装互感器上的电流, 可用于继电器, 但灵敏性较低。

5. 工作误差和准确度等级

(1) 误差种类:

1) 电流误差: 以电流互感器的一次侧电流测量值 $k_i \times I_2$ 与一次侧电流实际值 I_1 之差, 对一次侧电流实际值 I_1 的百分比表示。

2) 角误差: 以旋转 180° 的二次侧电流相量 $-I_2'$ 与一次电流相量 I_1 的夹角表示, 规定二次电流相量超前于一次电流相量 δ 为正值, 反之为负值, 用分 ($'$) 为计算单位。

(2) 影响电流互感器误差的因素:

1) 铁芯质量和结构尺寸。

2) 一次侧电流。

3) 二次侧负载阻抗。

4) 电流互感器的准确度级。

电流互感器的标准准确设有: 0.1, 0.2, 0.5, 1, 3, 5。即: 电流互感器在二次负荷为额定负荷的 25%~100% 之间变化时, 在额定频率下的电流误差和相位差不超过对应的阻值, 如准确度等级:

0.2 级 $(1 \sim 1.2)I_1$, $(0.25 \sim 1)I_2$, I_2 误差在 $\pm 0.2\%$, 角误差不大于 $10'$ 。

0.5 级 $(1 \sim 1.2)I_1$, $(0.25 \sim 1)I_2$, I_2 误差在 $\pm 0.5\%$, 角误差不大于 $40'$ 。

电流互感器工作时铁芯磁场具有饱和性, 保护用电流互感器与测量用电流互感器在准确度上有不同的要求。为充分利用变电站综合自动化系统数据共享的优势, 减少变电站电流互

传感器的使用量，开发研究同时满足保护、测量精度的电流互感器成为一个新的课题。

(三) 电压互感器的工作原理及技术特性

1. 工作原理

如图 1-1-11，一次侧匝数较多，与被测量回路并联；二次侧匝数少，与阻抗较大的仪表并联（电压表/其他仪表的电压线圈）构成电路。电压互感器的运行情况相当于二次侧开路的变压器，其负载为阻抗较大的测量仪表。二次侧输出电压 100V 或者 $100/\sqrt{3}V$ 。变比：与普通变压器相比：一次电压不受二次负荷的影响；接在二次侧的负荷是仪表或继电器的电压线圈，阻抗大、电流小、工作状态接近于空载。

2. 类型

- (1) 按绝缘形式：油浸式、干式、浇注式。
- (2) 按相数方式：单相、三相。
- (3) 按结构分：五柱三线圈式、接地保护式、带补偿线圈式。
- (4) 按安装地点：户内、户外。

3. 一、二次电压的极性和方向

由于互感器的一、二次绕组同时交链于一次磁通，一、二次绕组中的感应电动势有对应的极性关系，即当二次绕组某一端瞬时中压为正时，二次绕组在该瞬时也有一对应端子为正，如图 1-1-12 所示的 A、a。这两个且有正极性的端点就是同极性端。对于制造定型的互感器，其相对极性就已确定的。在实际应用时，要注意电压互感器的极性和相序必须正确。

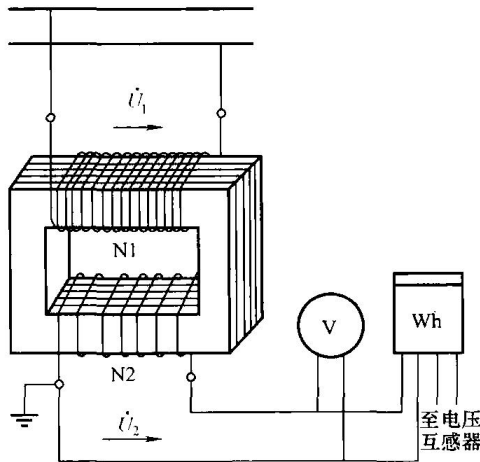


图 1-1-11 电压互感器的工作原理

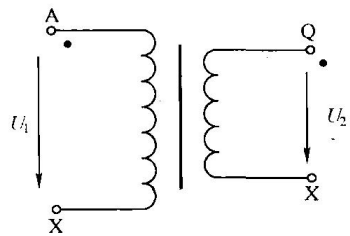


图 1-1-12 极性方向

4. 接线方式（见图 1-1-13）

5. 工作误差和准确度等级

(1) 误差种类：

1) 电压误差：以电压互感器的一次侧电压测量值 $K_U U_2$ 与一次侧电压实际值 U_1 之差，对一次侧电压实际值 U_1 的百分比表示。

2) 角误差：以旋转 180° 的二次侧电压相量 $-U'_2$ 与一次电压相量 U_1 的夹角表示。

(2) 电压互感器的准确度等级：