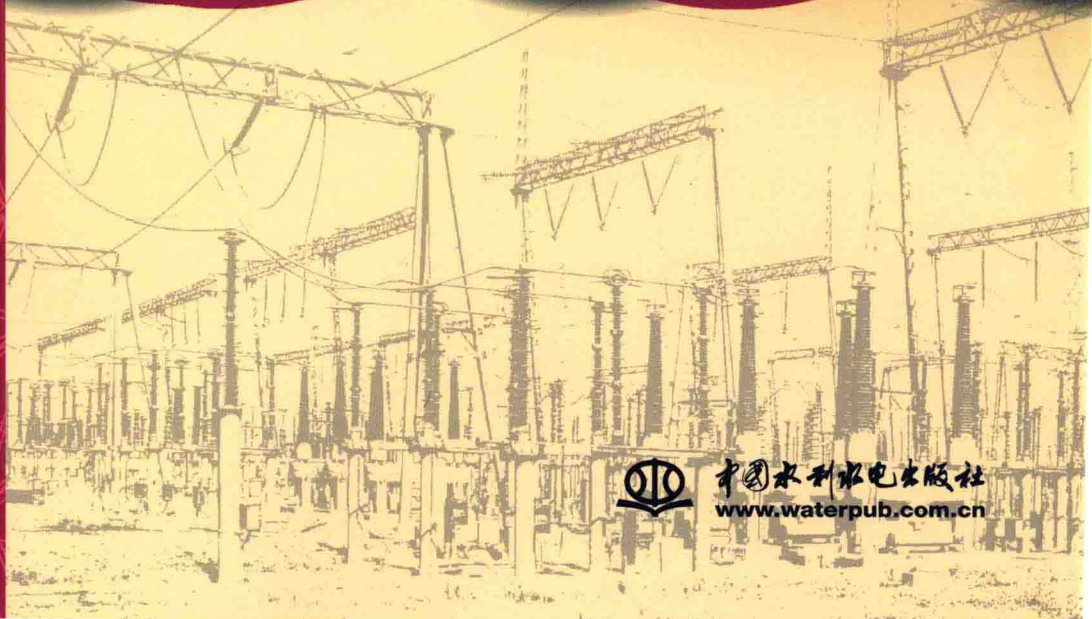


变电站运行与检修技术丛书

110kV 变电站 电气设备检修技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 郝力军 陈文通



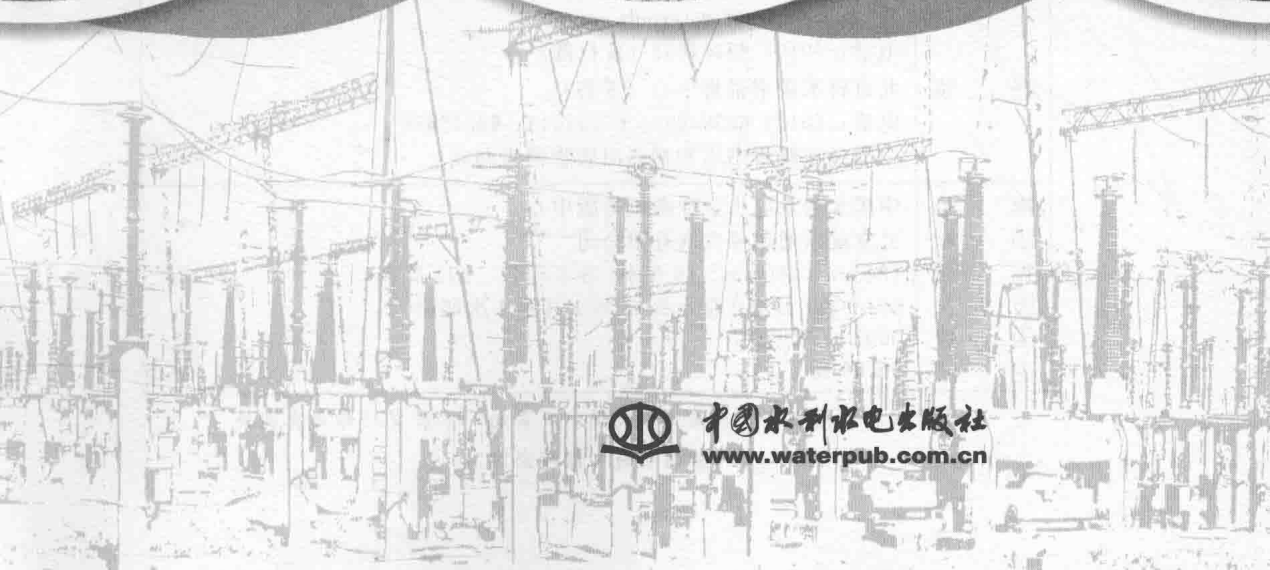
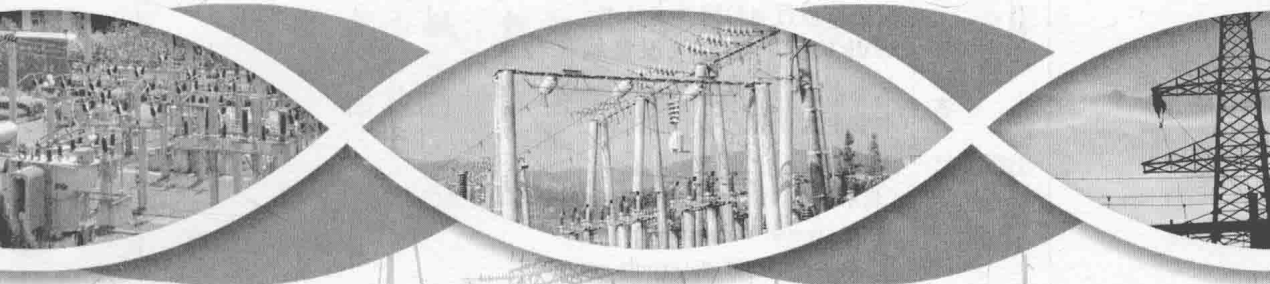
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

变电站运行与检修技术丛书

110kV 变电站 电气设备检修技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 郝力军 陈文通



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是《变电站运行与检修技术丛书》之一。本书结合多年来现场工作的宝贵经验,主要介绍了110kV变电站各电气设备的检修技术。全书共分6章,分别介绍了变电站电气设备检修管理、互感器检修、避雷器检修、电容器检修、直流设备检修、所用电源检修等内容。

本书既可作为从事变电站运行管理、检修调试、设计施工和教学等相关人员的专业参考书和培训教材,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

110kV变电站电气设备检修技术 / 郝力军, 陈文通主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.1
(变电站运行与检修技术丛书 / 杜晓平主编)
ISBN 978-7-5170-3906-8

I. ①1… II. ①郝… ②陈… III. ①变电所—电气设备—设备检修 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第314498号

书 名	变电站运行与检修技术丛书 110kV 变电站电气设备检修技术
作 者	丛书主编 杜晓平 本书主编 郝力军 陈文通
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.5印张 202千字
版 次	2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《变电站运行与检修技术丛书》

编 委 会

丛书主编 杜晓平

丛书副主编 楼其民 李 靖 郝力军 王韩英

委 员 (按姓氏笔画排序)

王瑞平 方旭光 孔晓峰 吕朝晖 杜文佳

李有春 李向军 吴秀松 应高亮 张一军

张 波 陈文胜 陈文通 陈国平 陈 炜

邵 波 范旭明 周露芳 郑文林 赵寿生

郝力飙 钟新罗 施首健 钱 肖 徐军岳

徐街明 郭伯宙 温信强

本书编委会

主 编 郝力军 陈文通

副主编 方旭光 吕朝晖 董 升

参编人员（按姓氏笔画排序）

朱建增 刘松成 李 阳 邱子平 汪卫国

张晓明 陈 亢 周程昱 郑 灵 郑 雷

赵寿生 施首健 姜林波 徐阳建 徐街明

徐耀辉 高 寅 盛 晨

前 言

全球能源互联网战略不仅将加快世界各国能源互联互通的步伐，也势必强有力地促进国内智能电网快速发展，许多电力新设备、新技术应运而生，电网安全稳定运行面临着新形势、新任务、新挑战。这对如何加强专业技术培训，打造一支高素质的电网运行、检修专业队伍提出了新要求。因此我们编写了《变电站运行与检修技术丛书》，以期指导提升变电运行、检修专业人员的理论知识和操作技能水平。

本丛书共有六个分册，分别是《110kV 变电站保护自动化设备检修运维技术》《110kV 变电站电气设备检修技术》《110kV 变电站电气试验技术》《110kV 变电站开关设备检修技术》《110kV 变压器及有载分接开关检修技术》以及《110kV 变电站变电运维技术》。作为从事变电站运维检修工作的员工培训用书，本丛书将基本原理与现场操作相结合、理论讲解与实际案例相结合，立足运维检修，兼顾安装维护，全面阐述了安装、运行维护和检修相关内容，旨在帮助员工快速准确判断、查找、消除故障，提升员工的现场作业、分析问题和解决问题能力，规范现场作业标准化流程。

本丛书编写人员均为从事一线生产技术管理的专家，教材编写力求贴近现场工作实际，具有内容丰富、实用性和针对性强等特点。通过对本丛书的学习，读者可以快速掌握变电站运行与检修技术，提高自己的业务水平和工作能力。

本书是《变电站运行与检修技术丛书》的一本，主要内容包括：变电站电气设备检修管理、互感器检修、避雷器检修、电容器检修、直流设备检修、所用电屏检修等内容。

在本丛书的编写过程中得到过许多领导和同事的支持和帮助，使内容有了较大改进，在此向他们表示衷心的感谢。本丛书的编写参阅了大量的参考文献，在此对其作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2015年11月

目 录

前言

第 1 章 变电站电气设备检修管理	1
1.1 变电站电气设备	1
1.2 检修管理	1
第 2 章 互感器检修	3
2.1 互感器基础知识	3
2.2 电流互感器的基本结构	9
2.3 电压互感器的基本结构	12
2.4 互感器的安装验收标准	15
2.5 互感器的状态检修	17
2.6 互感器的巡检项目及要 求	19
2.7 互感器的 C 级检修	19
2.8 互感器的反事故措施要 求	23
2.9 互感器的常见故障	24
第 3 章 避雷器检修	33
3.1 避雷器的基础知识	33
3.2 避雷器的结构	35
3.3 氧化锌避雷器的安装	39
3.4 氧化锌避雷器投运验收标准	41
3.5 氧化锌避雷器状态检修导 则	43
3.6 氧化锌避雷器巡检项目及 要 求	44
3.7 氧化锌避雷器的检修	45
3.8 氧化锌避雷器反事故技术 措 施要 求	47
3.9 氧化锌避雷器常见故障原 因 分 析、判 断 及 处 理	47
第 4 章 电容器检修	56
4.1 电容器成套装置的基础知 识	56
4.2 电容器成套装置的结构	59
4.3 电容器成套装置的安装	62
4.4 电容器成套装置投运验收 标 准	63
4.5 电容器成套装置状态检修 导 则	65
4.6 电容器成套装置的巡检项 目 及 要 求	66
4.7 电容器成套装置检修	69

4.8	电容器成套装置的反事故技术措施要求	70
4.9	电容器成套装置常见故障原因分析、判断及处理	71
第5章	直流设备检修	76
5.1	直流系统的基础知识	76
5.2	蓄电池充电设备安装	82
5.3	直流系统状态检修导则	85
5.4	直流系统装置反事故技术措施要求	88
5.5	故障处理及要求	89
第6章	所用电屏检修	112
6.1	所用电屏作用、分类、结构	112
6.2	所用电屏检修	115

第1章 变电站电气设备检修管理

1.1 变电站电气设备

变电站的电气设备包括一次系统设备和二次系统设备，其中：一次系统指构成电能生产、输送、分配和使用的系统；二次系统指对一次系统进行保护、监控、测量、控制的系统。

目前，110kV变电站一次设备主要用来生产和转换电能的设备、用来接通或断开的设备、仪用互感器、防御过电压设备、补偿设备、限流设备、载流导体、接地装置等，主要有变压器、断路器、隔离开关、互感器、避雷器、电容器、直流电源、阻波器、电抗器、变压器、母线等，这些都是变电站中必不可缺的设备。

1.2 检修管理

变电站电气设备检修管理目的是科学保养设备，在保障设备安全、经济、可靠的前提下，最大限度地提高供电设备的利用率，降低检修人、财、物的浪费，提高企业经济效益。其基本原则主要有两点：一是以安全生产为基础，坚持对设备按规程进行预防性试验、检修和维护；二是设备检修坚持“应修必修，修必修好”的原则。电力企业的变电检修现场，每一项生产任务有劳动者本身、设备工具、劳动对象、环境作业等多方面。每个项目中危险的程度也有所不同。针对具体项目开展危险点分析，可以科学地研究发生事故的原因，分析检修作业中物与物、物与人、人与人之间存在的的社会安全因素。广泛开展危险点分析活动，可以进一步增强电力系统的安全，确保安全生产。所以，在变电检修的实际工作中，找准危险点是基础，控制危险点是重要环节。

1. 缺陷管理

设备的缺陷管理包括建立并形成对检修设备缺陷的发现、登记、消除的全过程管理。其中，设备缺陷包括紧急缺陷、严重缺陷和一般缺陷。当发现紧急缺陷、严重缺陷后，应立即上报检修工区，及时处理，如不能及时消除应采取有效措施防止缺陷进一步发展；一般缺陷应每周上报，列入月度检修计划安排处理。按照工作性质、内容和工作涉及的范围不同，检修工作可以分为以下几类：

(1) A类：对相关设备进行整体解体性检查、维修、更换和试验，以保持、恢复或提高设备性能。

(2) B类：对相关设备进行局部性的检修，部件解体性检查、维修、更换和试验。

(3) C类：对相关设备进行常规性检查、维修和试验。

(4) D类：在不停电的状态下进行带电测试、外观性检查和试验。

2. 检修工作

检修工作流程包括开工准备、解体检修、组装调试、质量验收、清理现场和工作终结。

运行检修部门应按照反事故措施的要求和安全性评价提出的整改意见，分析设备现状，制定落实计划。大修、技术改造等大型作业，应在开工前一周完成《设备检修标准化作业指导书》、“两措（反事故措施和技术措施）”和施工方案的编制与审批，开工前组织检修人员学习上述内容和设备检修工艺规程。严格按设备检修规程、工艺导则和相关技术文件要求的检修项目、参数标准、工艺水平、质量标准和试验数据等进行检修，保证作业安全，并合理组织检修力量，努力提高检修效率，缩短检修工期，确保检修质量。按季节性特点及时做好防污、防大风雪、防汛、迎峰等各项工作。临时性检修和事故处理时，设立专责指挥人员及监护人员，要求带齐设备、工器具、防护用具，工作中防止误碰、误触、误攀、误登，尽快将设备恢复正常。

变电检修应按计划执行检修任务，按规定执行工作票制度。检修前认真编制《设备检修标准化作业指导书》，准备好工具、仪表、器械。检修过程按标准化作业程序作业。检修后认真执行设备验收制度及工作终结制度，及时填写相关记录和应出具的报告。按计划执行检修任务，按规定执行工作票制度。检修前认真编制《设备检修标准化作业指导书》，准备好工具、仪表、器械。检修过程按标准化作业程序作业。检修后认真执行设备验收制度及工作终结制度，及时填写相关记录和应出具的报告。

检修作业现场应由工作负责人统一负责按《设备检修标准化作业指导书》实施定置管理，各种工器具、分解的设备应放置固定地点，废弃物严禁乱扔乱放，必须集中妥善处理。施工现场做到整齐有序、工完场净、文明施工。参加作业人员应听从工作负责人的指挥，认真履行开工、收工手续，列队进入和撤出作业现场，严格执行各种规程和制度。任何人不得擅自移动、改变现场安全措施。检修人员参加工作时必须按规定穿工作服、绝缘鞋或防静电鞋、戴安全帽，按工作内容携带工具、仪器、仪表及相关器械。

3. 验收工作

为了不断提高设备检修质量，必须做好质量检查和验收工作，验收时应根据需要成立相应的“设备检修质量检验监督小组”，并实行三级验收制度。设备检修质量检验管理必须贯彻“安全第一、预防为主”的方针，树立“质量第一和检修工艺质量没有最好、只有更好”的管理理念，在认真执行《安全规程》检验的基础上，把好质量第一关。变电检修安全管理的内容是对变电站运行、检修中的人、设备、环境因素状态的管理，有效的控制人的不安全行为和设备的的状态，消除和避免事故。安全管理的目的是确保人身重大伤亡事故为零，确保重大变电设备事故为零。

本书主要涉及变电站电气设备检修技术，全书共分为6章：第1章对变电站电气设备检修管理做主要介绍；第2章主要论述互感器检修；第3章主要介绍避雷器检修；第4章主要论述电容器成套装置检修；第5章主要介绍了直流设备检修；最后1章论述所用电源屏检修。

第2章 互感器检修

互感器分为电压互感器 (TV) 和电流互感器 (TA), 是电力系统中一次系统和二次系统之间的联络元件, 用以变换电压或电流, 分别为测量仪表、保护装置和控制装置提供电压或电流信号, 反映电气设备的正常运行和故障情况。

2.1 互感器基础知识

2.1.1 互感器的作用及基本原理

2.1.1.1 互感器的作用

(1) 互感器将一次回路的高电压和大电流变为二次回路标准的低电压和小电流, 通常电压互感器额定二次电压为 100V、电流互感器额定二次电流为 5A 或 1A。通过互感器使低压的二次仪表和保护继电器等设备与高压装置在电气方面能很好地隔离开, 以保证人身和设备安全, 并且使二次仪表和继电器标准化、小型化。同时, 当一次电路中发生短路时, 可以使二次侧仪表的电流线圈免受过大电流的冲击。

(2) 所有二次设备可以采用低电压、小电流的控制电缆连接, 使得二次回路简单、安装方便, 便于集中管理, 易于实现远方控制与测量。

(3) 二次回路的接线可以与一次回路接线采用不同的形式。

(4) 为了保证人身与设备的安全, 互感器的二次侧必须有一点接地, 以免在互感器的一次、二次绕组之间的绝缘损坏时二次设备上出现危险的高电压。

2.1.1.2 电流互感器

1. 基本原理及工作特点

电流互感器是将交流大电流变成小电流 (5A 或 1A), 供电给测量仪表和保护装置的电流线圈。流变接近于二次侧短路运行的变压器, 其工作原理与变压器基本相同。其一次绕组与线路串联如图 2-1 所示。

电流互感器的特点有以下方面:

- (1) 一次匝数少, 二次匝数多。
- (2) 内阻高, 电流源。
- (3) 二次回路不能开路。
- (4) 正常运行时磁密度低, 系统故障时磁密度高。

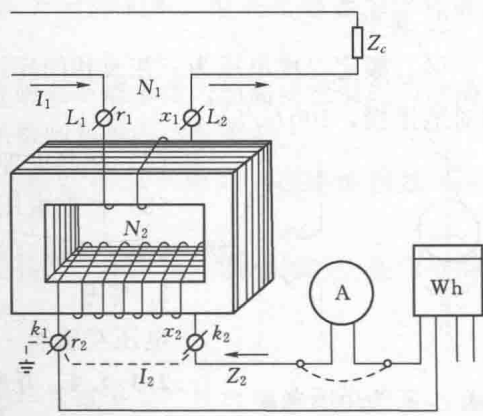


图 2-1 电流互感器原理接线图

2. 参数

- (1) 额定电流有一次额定电流和二次额定电流。二次额定电流有 5A 和 1A。
- (2) 变比一次额定电流与二次额定电流之比，如 2500/1、1250/5、1500/5。
- (3) 电流互感器的准确度为电流变换的精度。分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、5P 级、10P 级等；0.2 级，用于计量回路；0.5 级，用于测量回路；P 级，用于保护装置。

3. 符号

电流互感器一般图形符号如图 2-2 所示。文字符号为“TA”。

2.1.1.3 电压互感器 (TV)

1. 基本原理及工作特点

电压互感器是将交流高电压变成低电压，供电给测量仪表和保护装置的电压线圈。电压互感器的工作原理与降压变压器相似，即利用电磁感应原理制成。其一次绕组与线路并联如图 2-3 所示。

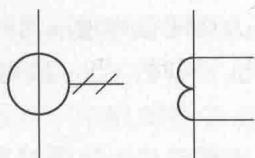


图 2-2 电流互感器一般图形符号

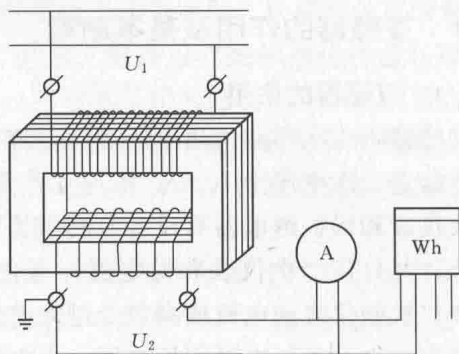


图 2-3 电压互感器原理接线图

电压互感器的特点有以下几方面：

- (1) 一次匝数多，二次匝数少。
- (2) 内阻低，电压源。
- (3) 二次回路不能短路。
- (4) 正常运行时磁密度高，系统故障时磁密度低。

2. 参数

(1) 额定二次电压为三相及相间连接用的电压互感器 (TV)，额定二次电压为 100V；相对地连接， $100/\sqrt{3}\text{V}$ 。

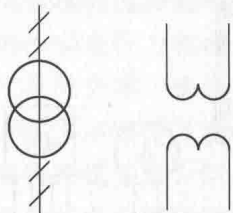


图 2-4 电压互感器一般图形符号

(2) 准确度即互感器的误差，分为比差、角差。

(3) 根据电压互感器的误差大小，常分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1 级、3 级（用于测量）；3P 级、6P 级（用于保护）。

3. 符号

电压互感器一般图形符号如图 2-4 所示。文字符号为“TV”。

2.1.1.4 互感器运行要求的思考

运行中的电压互感器二次回路不允许短路。电压互感器在正常

运行中，二次负载阻抗很大，内阻抗很小，短路阻抗压降很小。当电压互感器二次侧发生短路时，二次侧会产生很大短路电流，电压互感器极易被烧坏。

运行中的电流互感器的二次回路不允许开路。正常运行中，电流互感器阻抗很小，接近短路状态，当二次侧开路时，依据磁势平衡原理，相当于负载阻抗为无穷大，二次电流为零，即二次磁势为零，一次电流完全变成了励磁电流，造成磁场饱和，在二次侧感应出很高的电压，其峰值可达几千伏，危及设备、人身安全，同时铁损增加，造成互感器严重发热老化，甚至烧毁绝缘。

互感器二次侧绕组必须且只能一点接地。电流、电压互感器二次回路一点接地属于保护性接地，防止一次、二次绝缘损坏、击穿，以致高电压窜到二次侧，造成人身触电及设备损坏。如果有两点接地会弄错极性、相位，造成电压互感器二次线圈短路而致烧损，影响保护仪表动作；对电流互感器会造成二次线圈多处短接，使二次电流不能通过保护仪表元件，造成保护拒动，仪表误指示，威胁电力系统安全供电。所以电流、电压互感器二次回路中只能有一点接地。

2.1.2 互感器的技术参数及接线方式

2.1.2.1 电流互感器技术参数

电流互感器技术参数主要有变比、误差、极性、稳定、10%误差曲线，最大二次电流倍数、容量等。

(1) 变比。变比为电流互感器一次绕组与二次绕组之间的电流比。

(2) 误差。

1) 比值差：二次表计测出的一次电流与一次电流的差值，再与一次电流之比的百分数表示。

2) 相角差：一次电流相量与转过 180° 的二次电流相量之间的夹角。

3) 复合误差：指二次电流瞬时值乘以 k 与一次电流瞬时值的差值，再与额定电流之比的百分数。

10P20表示准确级次为10P，准确限制系数20，即在20倍额定电流下，电流互感器复合误差不大于 $\pm 10\%$ 。

(3) 极性。极性是指一次绕组和二次绕组电流方向的关系。电流互感器采取减极性接法。

(4) 稳定。稳定是指系统发生短路时，电流互感器所能承受因短路电流引起的电动力及热力作用而不致受到损坏的能力。用电动稳定倍数和热稳定倍数表示。

(5) 10%误差曲线。10%误差曲线是指当变化误差在10%时，一次电流倍数($m = I_1/I_2$)与二次额定负载 Z_n 的关系曲线。

(6) 最大二次电流倍数。最大二次电流倍数是指当二次电流不断增加时，在带有额定二次负载下，所达到的二次电流值和其额定值的比。

(7) 容量。容量是指允许的负荷功率。

电流互感器的极性：为了准确判别电流互感器一次电流与二次电流的相位关系，必须首先识别一次、二次绕组的极性端。电流互感器极性端标注的方法和符号如图2-5所示。

一次电流 I_1 的正方向从极性端 H_1 流入一次绕组从 H_2 流出；二次电流 I_2 的正方向从二次绕组的极性端 K_1 流出，从 K_2 流入，即“头进头出”。

2.1.2.2 电流互感器接线方式

电流互感器的接线方式根据测量仪表、继电保护及自动装置的要求而定。常见的接线方式有 4 种。

1. 三相星形接线方式

三相星形接线方式的特点有流过负载的电流等于流过二次绕组的电流，因此接线系数（或称电流分配系数） k_{c_0} 等于 1；三相电流 I_{L_1} 、 I_{L_2} 、 I_{L_3} 对称时，在 N' 与 N 的连接线中无电流；能反映各种类型的短路故障。如图 2-6 所示。

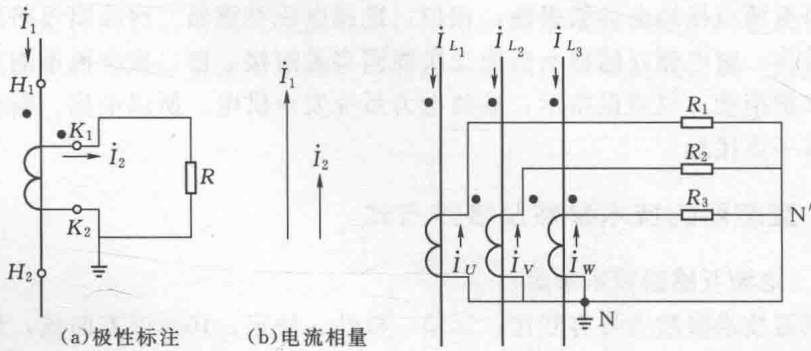


图 2-5 电流互感器极性标注

图 2-6 三相星形接线方式

这种接线方式，既可用于测量回路，又可用于继电保护及自动装置回路，因此广泛应用于电力系统中。

2. 两相 V 形接线方式

两相 V 形接线方式的特点有流过负载的电流等于流过二次绕组的电流，因此接线系数 k_{c_0} 等于 1；三相电流 (I_{L_1} 、 I_{L_2} 、 I_{L_3}) 对称时，在 N' 与 N 的连接线中流过 V 相电流 ($-I_V$)；但在一次系统发生不对称短路时， N' 与 N 连线中流过的电流往往不是真正的 V 相电流；同时不能反映 L_2 相接地故障。这种接线方式广泛应用于 35kV 及以下中性点非直接接地系统中，如图 2-7 所示。

3. 三相三角形接线方式

正常运行时，流过每相负载 (R_1 、 R_2 、 R_3) 的电流是两相电流的相量差，如图 2-8 所示，即

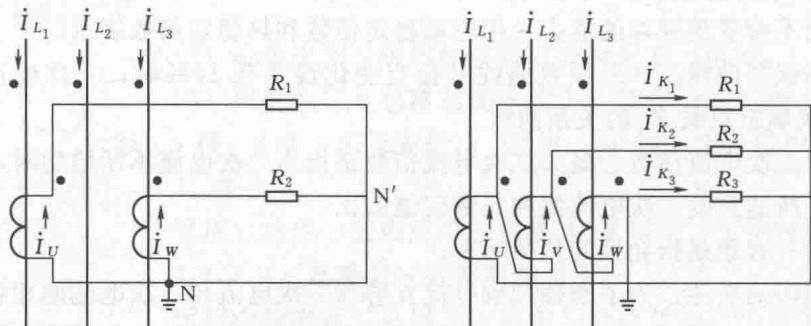


图 2-7 两相 V 形接线方式

图 2-8 三相三角形接线方式

$$I_{R_1} = I_U - I_V \quad (2-1)$$

$$I_{R_2} = I_V - I_W \quad (2-2)$$

$$I_{R_3} = I_W - I_U \quad (2-3)$$

三相三角形接线方式的特点有流过每相负载的电流等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，因此接线系数 k_o 等于 1.732；能反映各种类型的短路故障，但一次系统发生不对称短路故障时，各相负载中的电流变化较大。这种接线方式主要用于继电保护及自动装置中，很少用于测量仪表回路。

4. 三相零序接线方式

这种接线流过负载 K 的电流 I_K 等于 3 个电流互感器二次电流的相量和，即

$$I_K = I_U + I_V + I_W \quad (2-4)$$

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 3I_0 \quad (2-5)$$

正常运行（或对称短路）时，二次负载电流为

$$I_K = 0 \quad (2-6)$$

当一次系统发生接地短路时，二次负载电流为

$$I_K = 3I_0 \quad (2-7)$$

这种接线方式主要用于继电保护及自动装置回路，测量仪表一般不用，接线方式如图 2-9 所示。

2.1.2.3 电压互感器技术参数

(1) 误差。

1) 变比误差：二次测量值与一次电压的差值，再与一次电压之比的百分数。

2) 相位角误差：二次电压相量旋转 180° 后与一次电压的夹角。

(2) 准确等级。准确等级指变比误差的百分数。

(3) 极性。电压互感器的极性端采用减极性接法。

电压互感器一次、二次绕组的极性决定于绕组的绕向，而一次、二次绕组电压的相位决定于绕组的绕向和对绕组始末端的标注方法，我国按一次、二次电压相位相同的方法标注极性端，这种标注方法称为减极性标注法，如图 2-10 所示。

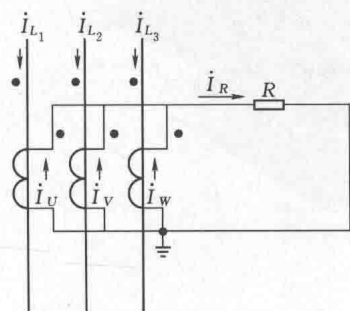


图 2-9 三相零序接线方式

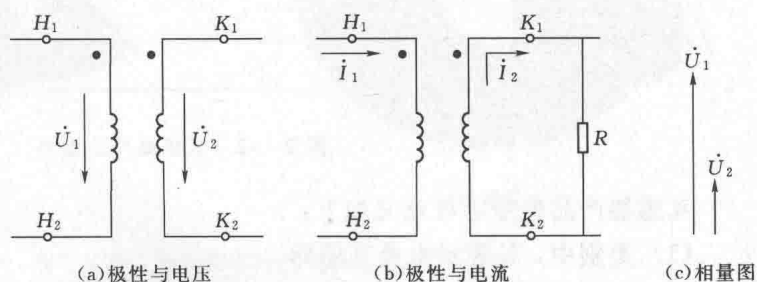


图 2-10 电压互感器的极性标注

2.1.2.4 电压互感器接线方式

电压互感器的接线方式根据二次负载的需要而定。电压互感器在三相系统中要测量的电压有：线电压、相电压、相对地电压和单相接地时出现的零序电压。为了测量这些电压，电压互感器有不同的接线方式，发电厂中应用较广泛的几种接线如图 2-11 所示。

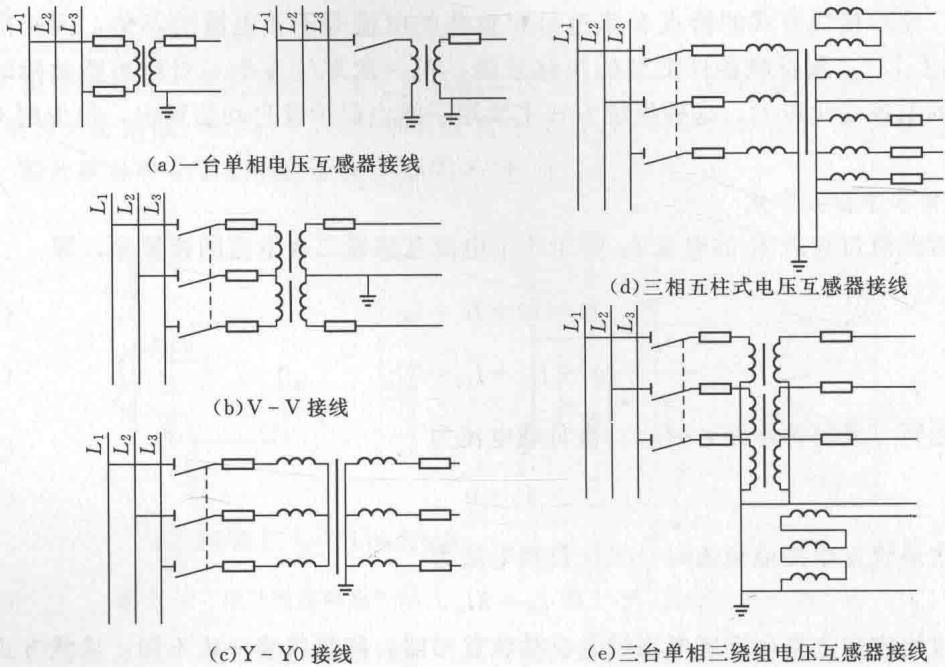


图 2-11 电压互感器的接线方式

2.1.3 互感器的型号

产品型号均以汉语拼音字母表示，字母的代表意义及排列顺序如图 2-12 所示。

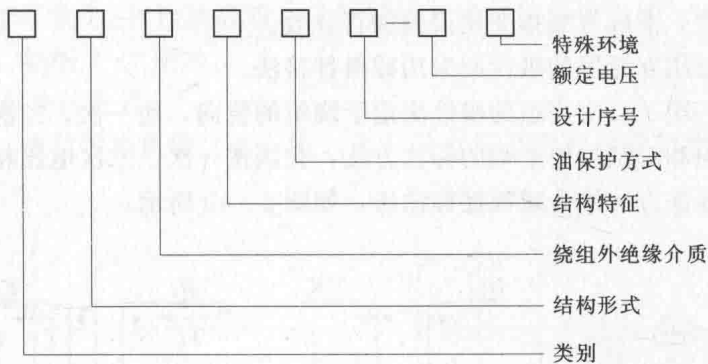


图 2-12 互感器产品型号

互感器产品型号字母意义如下：

- (1) 类别中，L 表示电流互感器。
- (2) 结构形式中，R 表示套管式；Z 表示支柱式；Q 表示绕组式；F 表示复匝式；D