

朱涛 张华 编

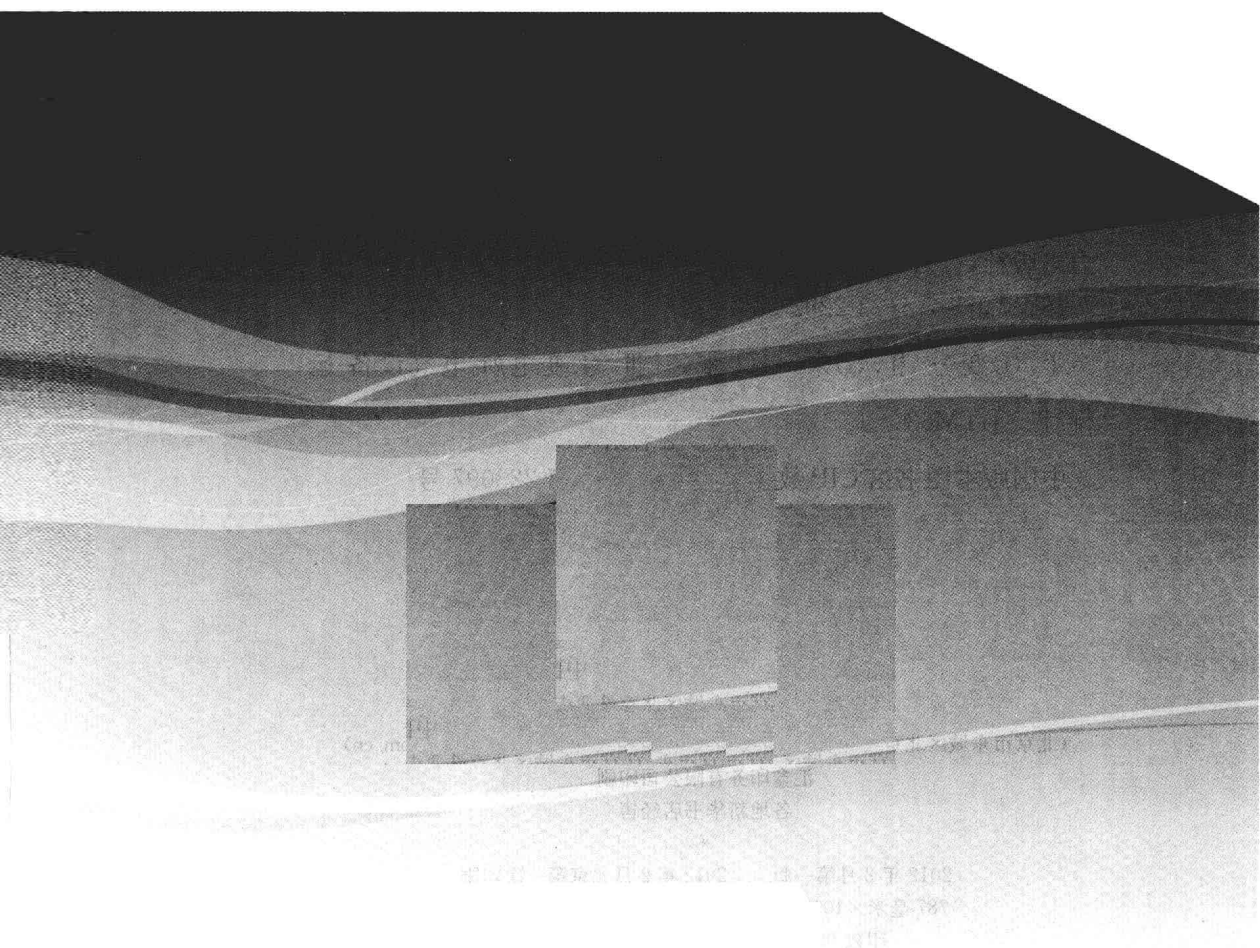
变电站设备运行 实用技术



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

朱涛 张华 编

变电站设备运行 实用技术



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要围绕变电站一次设备及相关二次部分,讲述设备的理论知识、操作技术、事故处理、设备验收等内容。全书共分15章,分别为变电站运行基础、电力变压器、电流互感器、电压互感器、高压断路器、高压隔离开关、SF₆全封闭组合电器、高压开关柜、变电站无功补偿设备、变电站中性点设备、变电站防雷与接地装置、220kV出线间隔二次回路综述、变电站直流系统、变电站交流系统、变电站设备巡视及验收。

本书内容结合实际、实践性强,对现场工作具有一定的指导性,可供从事变电站运行、维护、检修、管理及电气设计的人员学习参考,同时可作为相关工作人员的培训教材和工作手册。

图书在版编目(CIP)数据

变电站设备运行实用技术/朱涛,张华编. —北京:中国电力出版社,2011.11

ISBN 978-7-5123-2292-9

I. ①变… II. ①朱… ②张… III. ①变电所-电气设备-运行 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第223097号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年2月第一版 2012年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18印张 427千字

印数 0001—3000册 定价 48.00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

前 言

为提高变电运行人员的技术素质和业务素质,更好地保证电网设备的安全、可靠运行,特编写《变电站设备运行实用技术》一书,以便为一线职工,尤其是新入职员工提高业务技能提供更好的帮助。

本书共分 15 章,主要围绕变电站一次设备及相关二次部分,讲述设备的理论知识、操作技术、事故处理、设备验收等内容。本书实用性强,侧重讲解变电站现场工作的实际技能,力求解决变电站生产中的实际问题。本书主要面向从事变电站运行、维护、检修、管理及电气设计等工作的一线工作人员。全书内容涵盖了变电站设备的相关运行技术,可作为变电运行人员及其他相关技术人员提高技能的基础培训教材。

本书由北京市电力公司变电公司朱涛、张华共同编写,其中第一、二、六、九、十、十一、十五章由张华编写,第三~五、七、八章及第十二~十四章由朱涛编写。在本书编写过程中,得到了北京市电力公司变电公司众多一线技术工作人员的大力支持和帮助,采纳了许多宝贵意见,在此一并向他们表示深切的谢意。

由于新技术的不断发展,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

前言

第一章 变电站运行基础	1
第一节 电力系统概述.....	1
第二节 电力系统电压等级与中性点运行方式.....	3
第三节 电力系统三相交流系统.....	5
第四节 电力系统故障及继电保护.....	7
第五节 电力系统过电压	15
第六节 变电站及电气设备概述	17
第七节 变电站电气主接线	20
第二章 电力变压器	26
第一节 电力变压器工作原理及分类	26
第二节 电力变压器主要技术参数	28
第三节 电力变压器主体器身结构	36
第四节 电力变压器辅助结构	47
第五节 电力变压器运行方式	56
第六节 电力变压器保护原理	58
第七节 电力变压器运行操作	62
第八节 电力变压器有载调压电动机构组成及其控制原理	66
第九节 电力变压器异常及事故处理	73
第三章 电流互感器	83
第一节 电流互感器概述	83
第二节 电流互感器分类及简介	85
第三节 电流互感器配置情况	88
第四节 电流互感器二次接线	91
第五节 电流互感器运行分析	95
第六节 电流互感器饱和 10%误差校验	99
第七节 电流互感器异常与事故处理.....	101

第四章 电压互感器	104
第一节 电压互感器概述	104
第二节 电压互感器工作原理	106
第三节 电压互感器技术参数	107
第四节 电压互感器接线	109
第五节 变电站电压二次回路	112
第六节 电压互感器谐振过电压	116
第七节 电压互感器常见故障	119
第八节 电压互感器相关理论计算	121
第五章 高压断路器	124
第一节 高压断路器概述	124
第二节 不同灭弧介质的高压断路器	126
第三节 高压断路器操动机构	128
第四节 高压断路器二次回路	131
第五节 高压断路器常见异常处理	136
第六章 高压隔离开关	140
第一节 高压隔离开关概述	140
第二节 高压隔离开关运行操作	142
第三节 高压隔离开关运行异常处理	146
第七章 SF₆ 全封闭组合电器	147
第一节 SF ₆ 全封闭组合电器概述	147
第二节 GIS 设备结构	148
第三节 GIS 设备二次回路	154
第四节 GIS 设备正常运行操作与异常及故障处理	165
第八章 高压开关柜	168
第一节 高压开关柜概述	168
第二节 高压开关柜二次回路	170
第三节 高压开关柜操作	175
第九章 变电站无功补偿设备	177
第一节 电力电容器概述	177
第二节 并联电力电容器组概述	179
第三节 并联电力电容器组技术参数	181
第四节 并联电力电容器组运行操作	184
第五节 电力电容器保护	184
第六节 电力电容器异常及故障处理	186
第七节 电力电抗器概述	188

第八节 各类电力电抗器的作用·····	188
第十章 变电站中性点设备·····	191
第一节 变压器各电压侧系统中性点接地方式·····	191
第二节 接地变压器 ·····	192
第三节 消弧线圈·····	193
第四节 接地小电阻·····	195
第十一章 变电站防雷与接地装置·····	198
第一节 避雷针·····	198
第二节 避雷器·····	200
第三节 ZnO 避雷器 ·····	202
第四节 高压设备的雷电侵入波过电压保护·····	205
第五节 避雷器运行中的异常及事故·····	208
第六节 变电站接地装置·····	208
第十二章 220kV 出线间隔二次回路综述·····	214
第一节 出线间隔模型以及二次设备简介·····	214
第二节 直流电源回路·····	215
第三节 测控屏·····	216
第四节 断路器控制回路·····	219
第五节 操作箱的构成与原理·····	221
第六节 触点联系图·····	226
第十三章 变电站直流系统·····	237
第一节 变电站直流系统概述·····	237
第二节 直流设备简介·····	238
第三节 变电站直流供电回路·····	240
第四节 直流系统运行规定·····	245
第五节 直流接地·····	247
第六节 直流混线·····	250
第十四章 变电站交流系统·····	253
第一节 站用变压器简介·····	253
第二节 变电站交流系统的接线方式·····	254
第三节 变电站交流系统的负荷与供电网络·····	255
第四节 变电站交流系统异常与事故处理·····	258
第十五章 变电站设备巡视及验收·····	259
第一节 变电站设备巡视及验收概述·····	259
第二节 电力变压器巡视及验收·····	261

第三节	互感器巡视及验收·····	267
第四节	断路器巡视及验收·····	269
第五节	隔离开关巡视及验收·····	271
第六节	SF ₆ 封闭式组合电器巡视及验收 ·····	273
第七节	电力电容器组巡视及验收·····	274
第八节	干式电抗器巡视及验收·····	276
第九节	避雷器巡视及验收·····	277
第十节	母线巡视及验收·····	279

第一节 电力系统概述

一、电力系统概念

电力系统指由发电、输电、变电、配电、用电设备、用户及相应的辅助系统组成的电能生产、输送、分配、使用的统一整体。其中电力网是电力系统的一部分，指由变压器、电力线路等变换、输送、分配电能的设备所组成的部分。在电力系统的基础上将发电厂的动力部分包含在内的系统，称为动力系统。动力系统是一个比较大范围的系统概念。电力网、电力系统和动力系统的关系如图 1-1 所示。

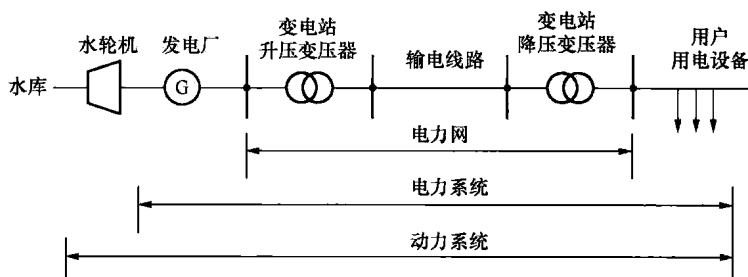


图 1-1 电力网、电力系统和动力系统的关系

二、电力系统基本参量

电力系统基本参量主要有总装机容量、年发电量、最大负荷、额定频率和最高电压等级、接线图（地理 GIS 接线图和电气接线图）、潮流分布等。

(1) 总装机容量。指该系统中实际安装的发电机组额定有功功率的总和，以千瓦 (kW)、兆瓦 (MW)、吉瓦 (GW) 计。

(2) 年发电量。指电力系统中所有发电机组全年实际发出电能的总和，以兆瓦·时 (MWh)、吉瓦·时 (GWh)、太瓦·时 (TWh) 计。

(3) 最大负荷。一般指规定时间，如一天、一月或一年内，电力系统总有功功率负荷的最大值，以千瓦 (kW)、兆瓦 (MW)、吉瓦 (GW) 计。

(4) 额定频率。我国标准规定，我国所有交流电力系统的额定频率均为 50Hz，国外则有额定频率为 60Hz 或 25Hz 的电力系统。

(5) 最高电压等级。指电力系统中的最高电压等级电力线路的额定电压，以千伏 (kV) 计。

(6) 地理 GIS 接线图。主要显示系统中发电厂、变电站等厂站的地理位置、电力线路的路径, 及其相互间的连接。

(7) 电气接线图。即电气主接线图, 主要显示该系统中发电机、变压器、母线、断路器、隔离开关、电力线路等主要电气设备的电气接线。

(8) 潮流分布。指电力系统中功率、电压、电流电气量的分布。

三、电力系统运行基本要求

电力系统运行的基本要求主要涵盖以下三个方面:

1. 保证可靠持续供电

电力系统电网的可靠性, 要求其具有足够的裕度和运行灵活性而不至于发生不允许的运行情况, 如失去稳定、过负荷、电压不合格、故障或用户断电。电力系统电网的可靠性要求主要包含以下三个方面:

(1) 保证电网的连续、稳定、正常运行, 并有一定裕度。母线的短路容量及系统的短路电流水平应满足设备的状况和系统运行要求。设备的最小载流元件(设备间隔中承受电流流量最小的设备元件)、设备耐压值应符合电网运行需求。

(2) 电网的某些元件设备检修时, 仍有必要的灵活性以保证电网的安全运行, 倒闸操作保证运行方式合理化的同时, 将设备停电范围控制在最小。

(3) 电网发生故障或不正常情况时, 不致造成故障扩大化、大面积停电或系统失去同步。

2. 保证良好电能质量

电能质量包含电压质量、频率质量和波形质量三个方面。

(1) 电压质量。理想的供电电压应该是幅值恒为额定值的三相对称正弦电压。由于供电系统用电负荷多样性和多变性的特点, 实际供电电压无论是在幅值上、波形上还是三相对称性上都与理想电压之间存在着偏差。

1) 电压偏差。指某一节点的实际电压与系统标称电压之差与系统标称电压的百分比, 又称电压偏移。一般规定 35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不得超过系统标称电压的 10%; 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为系统标称电压的 $\pm 7\%$ 。

2) 电压波动和闪变。电网电压的均方根值随时间的变化称为电压波动, 由电压波动引起的灯光闪烁对人眼视觉的刺激效应称为电压闪变。当电弧炉等大容量冲击性负荷运行时, 剧烈变化的负荷电流将引起线路压降的变化, 从而导致电网发生电压波动。

3) 三相不对称。三相电压不对称指三个相电压在幅值和相位关系上存在偏差。三相不对称主要由系统运行参数不对称、三相用电负荷不对称等因素引起。供电系统的不对称运行对用电设备及供配电系统都有危害, 低压系统的不对称运行还会导致中性点偏移, 从而危及人身和设备安全。

(2) 频率质量。频率指每秒内电流方向变化的次数。我国规定的电力系统标称频率(俗称工频)为 50Hz。电力系统正常频率偏差允许值为 $\pm 0.2\text{Hz}$, 当系统容量较小时, 偏差值可以放到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

由电力系统供电的交流电气设备的工作频率应与电力系统频率相一致。当电能供需不平衡时, 系统频率会偏离其标称值。频率偏差不仅影响用电设备的工作状态和产品的产量, 更

重要的是会影响到电力系统的稳定运行。

交流电频率高或低，各有利弊。频率高可使电机及变压器的用铜及用铁量减少，使其质量轻、成本低，电灯因电流交变而产生的闪烁也不易为人的肉眼所感觉。然而，频率高会使输电线路和电气设备的电抗压降、能量损耗增大，造成电压调整率及效率变低。频率过低会使电机及变压器质量增加，消耗有色金属增多，成本增加，也会使电灯闪烁明显，影响工作效率和人眼健康。

(3) 波形质量。波形质量以畸变率是否超过整定值来衡量。所谓畸变率，是指各次谐波有效值平方和的方根值与基波有效值的百分比。保证波形质量，就是限制系统中电流、电压的谐波，而关键在于限制各种换流装置、电热电炉等非线性负荷向系统注入的谐波电流，也可增设谐波过滤设备及装置保证系统的波形质量。

3. 保证系统运行经济性

电力生产的规模很大，消耗的一次能源在国民经济一次能源总损耗中约占 1/3，而且电能 在变换、输送、分配时的损耗绝对值也相当可观，因此降低每生产 1kWh 电所消耗的能源和降低变换、输送、分配时的损耗，有极其重要的意义。

考核电力系统运行经济性的重要指标是煤耗率和线（网）损率。所谓煤耗率，是指每生产 1kWh 电能所消耗的标准煤重，以 g/kWh 为单位。所谓线损率或网损率，是指电力网中损耗的电能与向电力网供应的电能的百分比。

第二节 电力系统电压等级与中性点运行方式

一、电力系统电压等级

电力系统电压等级之所以不同，是因三相功率 S 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为 $S = \sqrt{3}UI$ 。当输送功率一定时，输电电压越高，电流越小，导线等载流部分的截面积越小，投资越小；但电压越高，对设备的绝缘要求越高，所需绝缘投资越大。综合考虑这些因素，对应于一定的输送功率和输送距离应有一合理的线路电压。但从设备的制造角度考虑，为保证生产的系列性，又不应任意确定线路电压，为此我国对电力系统额定电压进行了标准化统一，并以线电压作为标准。选择电力线路电压时，只能选用国家规定的电压等级，见表 1-1。

表 1-1		电力系统额定电压等级		kV	
用电设备额定线电压	变压器线电压		用电设备额定线电压	变压器线电压	
	一次绕组	二次绕组 (归算到一次侧)		一次绕组	二次绕组 (归算到一次侧)
10	10	10.5 及 11	220	220	242
35	35	38.5	330	330	345 及 363
60	60	66	500	500	525 及 550
110	110	121			

从表 1-1 可以看出，用电设备及变压器的额定线电压存在不一致性，下面将分析其不一

致性及其与线路额定电压之间的关系。

经线路输送功率时，沿线路的电压分布往往是始端高于末端。例如，图 1-2 中沿线路 ab 段的电压分布可能如直线 U_a-U_b 所示，则图中用电设备 1~设备 7 的端电压将各不相同。所谓线路的额定电压 U_N ，实际上是线路的平均电压 $(U_a + U_b)/2$ ，而各用电设备的额定电压则取与线路额定电压相等，使所有用电设备能在接近其额定电压下运行。

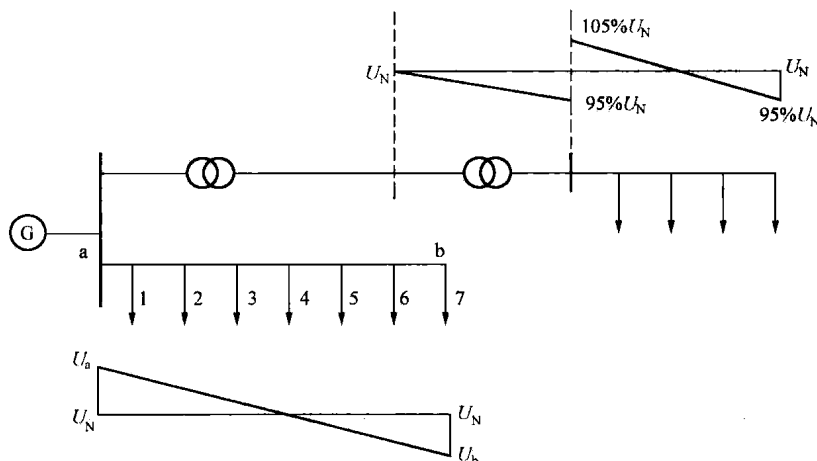


图 1-2 电力网络中的电压分布

由于用电设备的容许电压偏移为 $\pm 5\%$ ，而沿线路的电压降落一般为 10% ，这就要求线路始端电压为额定值的 105% ，以使其末端电压不低于额定值的 95% 。发电机往往接于线路的始端，因此发电机的额定电压为线路额定电压的 105% 。

变压器一次侧接电源，相当于用电设备，二次侧向负荷供电，又相当于发电机。因此变压器一次侧额定电压应等于用电设备额定电压（直接和发电机相连的变压器一次侧额定电压应等于发电机额定电压），二次侧电压应较线路额定电压高 5% 。为使正常运行时变压器二次侧电压较线路额定电压高 5% ，变压器二次侧额定电压应较线路额定电压高 10% 。只有漏抗很小、二次侧直接与用电设备相连且电压特别高的变压器，其二次侧额定电压才可能较线路额定电压仅高 5% 。

根据经验， 110kV 以下的电压等级差应超过三倍，如 110 、 35 、 10kV ； 110kV 以上的电压等级差则以两倍左右为宜，如 110 、 220 、 500kV 。因此一般 500 、 330 、 220kV 大多用于电力系统的主干线； 110kV 既用于中小电力系统的主干线，也用于大电力系统的二次网络； 35kV 既用于大城市或大工业企业内部网络，也广泛用于农村网络； 10kV 则是更低一级的配电电压。这种划分不是绝对的，也不是一成不变的，随着电网向超特高压电网方向发展， 500kV 也可能退为二次网络。

二、电力系统中性点运行方式

电力系统中性点的运行方式指电力变压器或发电机的中性点接地方式。

电力系统中性点接地方式是一个综合性问题，它与电压等级、单相接地短路电流、过电压水平、保护配置等有关，直接影响电网的绝缘水平、系统供电的可靠性和连续性、主变压器的安全运行等。



单相接地短路电流主要考虑电网的电容电流。电容电流应包括电气连接的所有架空线路、电缆线路的电容电流，并计及厂、站母线和设备的影响，该电容电流取最大方式下的电流。

综合考虑上述因素，中性点接地方式分为中性点直接接地与中性点非直接接地两大类。中性点非直接接地又可分为 4 种形式。

1. 中性点直接接地

中性点直接接地方式的单相短路电流很大，线路或设备须立即切除，增加了断路器负担，降低了供电连续性。但由于过电压较低，绝缘水平可下降，减少了设备造价，特别是对于高压和超高压电网，经济效益显著，故适用于 110kV 及以上电网中。

2. 中性点非直接接地

(1) 中性点不接地。中性点不接地方式最简单，单相接地时允许带故障运行 2h，供电连续性好，接地电流仅为线路及设备的电容电流。但由于过电压水平较高，要求有较高的绝缘水平，不宜用于 110kV 及以上电网。在 6~66kV 电网中，宜采用中性点不接地方式，但电容电流不能超过允许值，否则接地电弧不易自熄，易产生较高弧光间歇接地过电压，波及整个电网。

(2) 中性点经消弧线圈接地。当接地电容电流超过允许值时，要采用消弧线圈补偿电容电流，保证接地电弧瞬间熄灭，以消除弧光间歇接地过电压。

(3) 中性点经高电阻接地。当接地电容电流小于规定值时，可以采用中性点经高电阻接地方式。此接地方式和经消弧线圈接地方式相比，改变了接地电流相位，加速泄放回路中的残余负荷，促使接地电弧自熄，从而降低弧光间隙对地过电压，同时可提供足够的电阻电流和零序电压，使接地保护可靠动作，一般用于大型发电机中性点。

(4) 中性点经低电阻接地。当接地电容电流大于规定值时，可以采用低电阻接地方式。

在电压等级较高的系统中，绝缘费用在设备总价中占相当大比重，降低绝缘水平带来的经济效益很显著，所以一般采用中性点接地方式，而以其他措施提高供电可靠性。反之，在电压等级较低的系统中，一般采用中性点不接地方式以提高供电可靠性。在我国，一般 110kV 及以上的系统中性点直接接地，66kV 及以下的系统中性点不接地或经消弧线圈接地，但随着线路多采用电缆线路，流经中性点的电容电流不断增大，随之出现了经低电阻接地方式。

中性点直接接地系统发生单相接地故障时，接地短路电流很大，所以这种系统称为大电流接地系统，它包括中性点直接接地或经低电阻接地的系统。采用中性点不接地、经过消弧线圈或高电阻接地的系统，当某一相发生接地故障时，由于不能构成短路回路，接地故障电流往往比负荷电流小得多，所以这种系统称为小电流接地系统。

大电流接地系统与小电流接地系统的划分标准是依据系统的零序电流电抗 X_0 与正序电抗 X_1 的比值 X_0/X_1 。我国规定，凡是 $X_0/X_1 \leq 4 \sim 5$ 的系统属于大电流接地系统， $X_0/X_1 \geq 4 \sim 5$ 的系统属于小电流接地系统。

第三节 电力系统三相交流系统

目前，世界各国的电力系统中电能的产生、传输和供电方式绝大多数都采用三相交流制。三相交流系统是由三相电源、三相输电线路和三相负载三部分组成的。

对称三相电源是由三个等幅值、同频率、初相角依次相差 120° 的正弦电压源连接成星形 (Y) 或三角形 (Δ) 组成的, 如图 1-3 所示。这三个电源依次称为 A 相、B 相、C 相, 它们的电压分别为

$$u_A = \sqrt{2}U \cos \omega t$$

$$u_B = \sqrt{2}U \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t - 240^\circ)$$

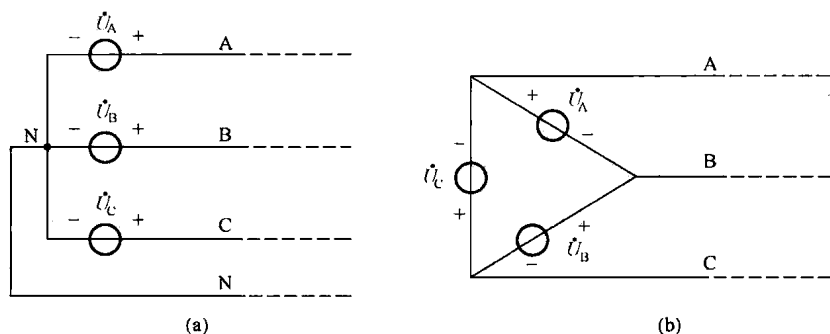


图 1-3 星形、三角形接线电源图

(a) 星形接线; (b) 三角形接线

可以看出, 若以 A 相电压 u_A 为参考正弦量, 则它们的对应相位关系为 B 相落后 A 相 120° , C 相落后 A 相 240° 。上述三相电压的相序 A、B、C 称为正序。与此相反, 如果 B 相超前 A 相 120° , C 相超前 A 相 240° , 这种相序称为反序。电力系统三相交流系统一般采用正序。

对称三相交流电压各相的波形和相量图如图 1-4 所示, 对称三相电压满足

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

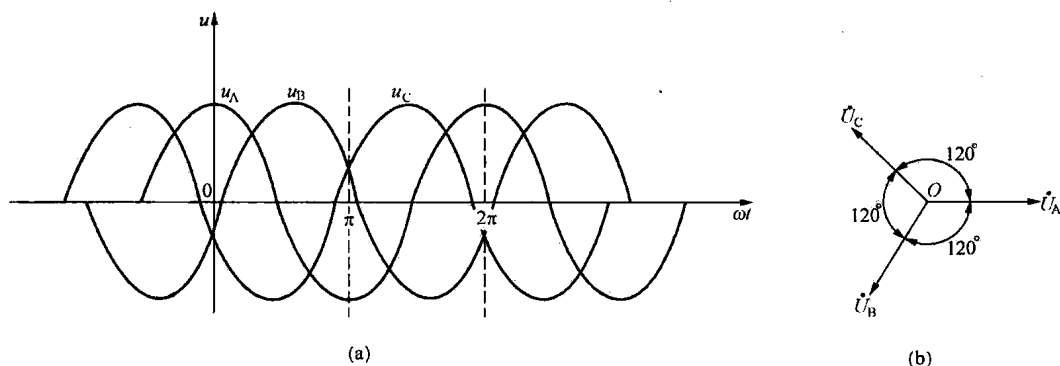


图 1-4 对称三相交流电压及其波形和相量图

(a) 三相电压波形; (b) 三相电压相量图

图 1-3 (a) 所示为三相电压源的星形连接方式, 简称星形或 Y 形电源。从三个电压源正极性端子 A、B、C 向外引出的导线称为相线, 从中性点 N 引出的导线称为中性线。相线 A、B、C 之间的电压称为线电压, 电源每一相的电压称为相电压。相线中的电流称为线电

流，各相电压源中的电流称为相电流。把三相电压源依次连接成一个回路，再从端子 A、B、C 引出相线，如图 1-3（b）所示，就成为三相电源的三角形连接，简称三角形（ Δ ）电源。三角形电源的线电压、相电压、线电流和相电流的概念与星形电源相同。三角形电源不能引出中性线。

在实际三相交流系统中，三相电源是对称的，而负载不一定是对称的。三个阻抗连接成星形（Y）或三角形（ Δ ）负载。三相负载的相电压和相电流是指各阻抗的电压和电流。三相负载的三个端子向外引出的导线中的电流称为负载的线电流，任意两个端子之间的电压则称为负载的线电压。

从对称三相电源的三个端子引出三条相线，把星形（Y）或三角形（ Δ ）负载连接在端线上就形成了三相交流电路系统。

三相交流电路系统线电压（电流）与相电压（电流）之间的关系都与连接方式有关，对于三相负载也是如此。

对于三相星形电源（负载），其三相线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $U_l = \sqrt{3}U_{ph}$ ，线电流等于相电流，即 $I_l = I_{ph}$ ；对于三相三角形电源（负载），其三相线电压等于相电压，即 $U_l = U_{ph}$ ，线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_l = \sqrt{3}I_{ph}$ 。

低压电网中普遍采用三相四线制，因为用星形连接的三相四线制可以同时提供两种电压值，即相电压 220V 和线电压 380V，既可供单相照明使用，又可供三相动力负载使用。

在三相交流系统中，三相负载设备吸收的功率等于各相视在功率之和，根据上述连接方式的线相关系，其计算功率的公式为 $S = 3U_{ph}I_{ph}$ 或 $S = \sqrt{3}U_lI_l$ 。

第四节 电力系统故障及继电保护

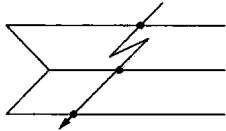
一、电力系统故障概述

在电力系统的运行过程中，时常会发生故障，其中大多数是短路故障（简称短路），还可能存在断相故障。

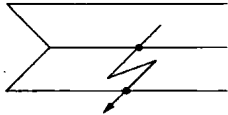
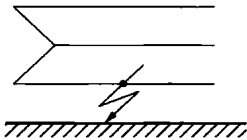
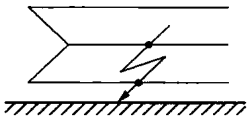
1. 短路故障

所谓短路，是指电力系统正常运行情况以外的相与相之间或相与地（或中性线）之间的连接。在正常运行时，除中性点外，相与相或相与地之间是绝缘的，而产生短路的原因主要是电气设备载流部分的相间绝缘或相对地绝缘被破坏。三相交流系统中主要的短路类型有三相短路、两相短路（相间短路）、单相短路接地和两相短路接地，见表 1-2。

表 1-2 电力系统短路类型

短 路 类 型	示 意 图	符 号
三相短路		$k^{(3)}$

续表

短路类型	示意图	符号
两相短路		$k^{(2)}$
单相短路接地		$k^{(1)}$
两相短路接地		$k^{(1,1)}$

在中性点直接接地的电网中，绝大多数的故障是一相对地短路，一般占全部短路故障的70%~90%，其次是两相对地短路、两相短路和三相短路。在中性点非直接接地的电网中，短路故障主要是各种相间短路，包括不同相两点接地短路。在中性点非直接接地的电网中，一相接地不会造成短路，仅有不大的电容电流流过故障点，使电网的中性点产生位移，而线电压保持不变。

短路故障可分为对称短路故障和非对称短路故障。三相短路时，三相回路依旧是对称的（不考虑暂态起始瞬间），故称为对称短路故障。对称短路故障不存在负序分量，如负序电流、负序电压等。其他几种短路均使三相回路不对称，故称为不对称短路故障。

短路故障又可分为接地短路故障和不接地短路故障。不接地短路故障不存在零序分量，如零序电流、零序电压等。

另外需要说明的是短路与系统振荡的区别，因为系统振荡并不属于故障，在对继电保护进行设置时都应该考虑系统振荡不造成误动作（当振荡使系统失去稳定时通过解列装置解列电网），而故障时应可靠动作，可从电气量上加以区分，方法如下：

- (1) 振荡或失步过程中，电气量由并列运行的发电机之间相位差的变化决定，各点电压和电流均做往复性摆动，一般变化较为平滑，而短路时电气量是突然变化的。
- (2) 振荡或失步过程中，电网上不同地点的电流与电压之间的相位角可以有不同的数值，而短路状态下则是相同的。
- (3) 振荡和失步不破坏三相系统的对称性，所有电气量都是对称的，而短路则伴随出现三相不对称，即使三相短路，在暂态起始瞬间也是不对称的。

电力系统振荡不破坏三相系统的对称性，所有电气量都是对称的，感受振荡线路两侧的电流是相等的，所以从原理上说，反应负序、零序分量的保护及纵联电流差动保护在振荡时不会误动作，而相间电流保护及某些距离保护有可能误动作，此时应采取防止误动作的措施。

电力系统的短路故障有时也称为横向故障，因为它是相对相（或相对地）的故障。还有

一种称为纵向故障，即断相故障。

2. 断相故障

断相故障指一相或两相断线使系统发生非全相运行的情况。这种情况往往发生在当一相上出现短路后，该相的断路器断开，因而形成一相断线。这种一相断线或两相断线故障也属于不对称故障。这里应该注意的是当断路器投运合闸时造成的非全相合闸问题，这样会导致系统缺相运行。为了避免断路器非全相合闸，断路器可装设非全相保护。

二、电力系统继电保护概述

电力系统在运行中，可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也是最危险的故障是发生各种类型的短路。在发生短路时可能产生以下后果：

- (1) 通过故障点的很大的短路电流和所燃起的电弧使故障元件损坏。
- (2) 短路电流通过非故障元件，由于发热和电动力的作用，引起它们的损坏或缩短其寿命。
- (3) 电力系统中部分地区的电压大大降低，特别是靠近短路点处的电压下降得最多，破坏用户工作的稳定性或影响工厂产品的质量。
- (4) 破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使整个电网瓦解。

在电力系统中，除应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性外，故障一旦发生，必须迅速而有选择地切除故障元件，这是保证电力系统安全运行的最有效方法之一，而继电保护装置就是能反映电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

1. 继电保护装置的基本任务

继电保护装置的基本任务如下：

- (1) 自动、迅速、有选择性地故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，保证其他无故障部分迅速恢复正常运行。
- (2) 反映电器元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件动作于发出信号、减负荷或跳闸。此时一般不要求保护迅速动作，而是根据对系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以避免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

继电保护主要是依据设备正常运行与设备故障或不正常运行状态的电气量或非电量等信息量之间的差别实现保护。继电保护装置是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成的，其原理图如图 1-5 所示。

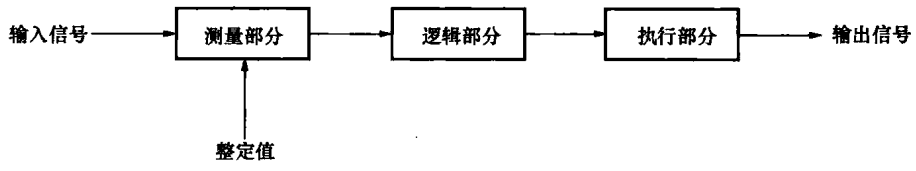


图 1-5 继电保护装置的原理图

- (1) 测量部分。测量部分是测量从被保护对象输入的有关电气量，并与给定的整定值进行比较，根据比较的结果判断保护是否应该动作。
- (2) 逻辑部分。逻辑部分是测量各部分输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合，使保护装置按一定的逻辑关系工作，最后确定是否应该发出信号或