



供电中级工培训教材

电气设备

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社

编 著 者：孙方汉 侯一虹
王勇维 徐春夫

审 稿 者：郭素容

责任编辑：柏 森

责任校对：张宗源

东电供电中级工培训教材编委会

主 任：张凤逸

副 主 任：胡恩喜 刘宗祥

编 委：范克文 郭素容

郭嘉毅 冀升山

高 莉

供电中级工培训教材

电 气 设 备

东北电管局供电中级工培训教材编审委员会

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社 出版（北京安外六铺炕）

沈阳图书服务部发行

济南印刷三厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：12.625 字数：270千字

1986年9月第1版 1986年9月第1次印刷

印数：1—130,170册

统一书号：15007·29 定价：2.30元

前 言

为适应电力工业中级工培训的需要,供电中级工培训教材和读者见面了。这套教材是根据水利电力部指示,由东北电业管理局供电中级工培训教材编审委员会组织东北电管局机关、供电企业、学校的高级工程师、工程师、讲师,编写、校核、审定,由辽宁省职工教育教材编审委员会编辑、发行,工人出版社出版。全套教材包括:《数学》、《无机化学》、《有机化学》、《工程力学》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《电气设备》、《变压器》、《高压技术》、《继电保护自动装置》、《电气仪表》、《分析化学》、《绝缘油及监督》、《送电线路运行与检修》、《送电线路电气及机械计算》、《调相机》、《配电设备》、《高压并联电容器》、《带电作业》等共二十种,供不同专业、工种选用。

这套教材适用于供电系统各主要技术工种、用电单位和企业电工、农村电工;部分教材也适用于水、火电厂、地方热电厂、企业自备电厂以及电力建设单位相应的技术工种;亦可作为有关技工学校、职业学校的参考教材。同时,可供从事电气运行、检修、安装的各级技术工人自学。

《电气设备》由沈阳电业局工程师孙方汉主编,大连电校讲师侯一虹、辽宁电力设计院工程师徐春夫、沈阳电业局工程师王勇维等参编,由东北电管局工程师郭素容审阅、校订。在编写过程中,得到了有关部门的领导和同志们的大力支持,在此致以衷心感谢。由于时间仓促和我们的水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正,以便今后再做修改。

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训

辽宁省职工教育教材编审委员会

一九八六年九月

目 录

第一章 概述

- 第一节 电力系统基本概念..... (1)
- 第二节 电力系统负荷及负荷曲线..... (2)
- 第三节 电力系统电压等级..... (5)
- 第四节 变电站电气设备分类..... (7)

第二章 电力系统中性点运行方式

- 第一节 概述..... (9)
- 第二节 中性点不接地系统..... (10)
- 第三节 中性点经消弧线圈接地系统..... (15)
- 第四节 中性点直接接地系统..... (23)

第三章 电气主接线及运行方式

- 第一节 电气主接线基本要求..... (26)
- 第二节 主接线基本形式..... (27)
- 第三节 双母线接线..... (33)
- 第四节 单元接线..... (44)
- 第五节 桥型接线..... (45)
- 第六节 多角形接线..... (47)
- 第七节 发电厂电气主接线..... (48)
- 第八节 降压变电站主接线..... (50)
- 第九节 电气主接线运行方式编制原则..... (51)

第四章 电弧基本理论和电气触头

- 第一节 气体游离放电现象和电弧形成..... (55)
- 第二节 电弧基本特性..... (57)

第三节	电弧熄弧过程和灭弧方法·····	(60)
第四节	电气触头·····	(69)
第五章	高压断路器及其操动机构	
第一节	概述·····	(77)
第二节	各种高压断路器性能·····	(82)
第三节	操动机构·····	(108)
第六章	短路电流基本知识	
第一节	短路基本概念·····	(123)
第二节	短路电流变化过程·····	(126)
第三节	短路电流计算基本方法·····	(131)
第四节	用运算曲线法计算短路电流·····	(142)
第五节	已知电力系统某些数据时短路电流计 算·····	(148)
第六节	对称分量法简介·····	(149)
第七节	不对称短路时短路电流和电压计算·····	(153)
第八节	短路电流电动力效应和热效应·····	(158)
第七章	电力电缆	
第一节	电缆的用途与分类·····	(163)
第二节	电力电缆型号和结构·····	(166)
第三节	电缆敷设·····	(170)
第四节	电缆截面选择·····	(174)
第八章	互感器	
第一节	互感器的用途·····	(180)
第二节	电流互感器工作原理和特性·····	(181)
第三节	电流互感器的结构和接线方式·····	(189)
第四节	电压互感器工作原理和特性·····	(200)

第五节	电压互感器的结构、型号和接线方式···	(203)
第九章	接地装置	
第一节	接地基本概念·····	(215)
第二节	电气装置中必须接地和不须接地的 部分·····	(224)
第三节	接地电阻的要求值·····	(226)
第四节	接地装置敷设·····	(229)
第十章	电力系统基本知识	
第一节	电力系统的有功功率与频率调整·····	(232)
第二节	电力系统的无功功率与电压调整·····	(239)
第三节	电力系统运行稳定性·····	(245)
第十一章	二次回路基本知识	
第一节	二次回路图·····	(249)
第二节	二次回路编号与设备标志·····	(252)
第十二章	断路器控制回路	
第一节	概述·····	(265)
第二节	控制开关·····	(266)
第三节	断路器控制回路·····	(267)
第四节	闪光装置·····	(283)
第五节	灭磁开关的控制回路·····	(285)
第十三章	信号回路	
第一节	事故信号装置·····	(290)
第二节	预告信号装置·····	(296)
第十四章	同期回路	
第一节	概述·····	(304)
第二节	手动准同期回路及操作·····	(306)

第三节	自同期装置和接线	(316)
第十五章	交流电网绝缘监察	
第一节	低压电网的绝缘监察	(319)
第二节	高压电网的绝缘监察	(320)
第十六章	变压器冷却装置及有载调压装置控制回路	
第一节	冷却装置控制回路	(322)
第二节	变压器有载调压装置控制回路	(329)
第十七章	直流操作电源	
第一节	概述	(346)
第二节	蓄电池组直流系统	(349)
第三节	整流式直流电源	(366)
第四节	操作电源电路	(385)

第一章 概 述

第一节 电力系统基本概念

一、系统集中供电的优点

为了提高供电可靠性和资源综合利用的经济性，有必要把各个分散的发电厂，通过输电线路和变电站互相联系起来，再加上用电设备成为一个有机的整体，称为电力系统。

电力系统加上热能、水能及其它能源动力装置，称为动力系统。

电力系统中，由升压和降压变电站以及各种不同电压等级的输电线路连接在一起的部分，称为电力网。

系统集中供电的优点是：

(1) 由于系统中各用户最大负荷并不是同时出现的，因此可以相对减少系统中的总装机容量。

(2) 采取远距离输电，各种能源形式的发电厂互相配合和调节能够充分地利用动力资源。

(3) 当许多发电厂连接成一个大的电力系统后，由于电力系统容量足够大，负荷波动时不会引起频率和电压的显著变化，因而提高了电能的质量。

(4) 建成电力系统后，在同一系统中，可以根据各发电厂的发电成本高低，经济合理地分配各机组的负荷。

(5) 在电力系统中，由于发电机的数量多，各机组都

并网运行，即使个别机组因发生故障而退出运行，其余机组还可以在容许的范围内多带负荷，对用户正常供电，从而提高了供电的可靠性。

二、电力系统运行应满足的基本要求

1. 保证供电的可靠性

中断供电会给工农业生产和人民生活带来严重影响，因此在任何情况下，都必须防止事故发生。

2. 保证良好的电能质量

要保证电力系统在正常运行情况下的电压和频率的变化不超出容许范围。《全国供用电规则》规定，电压允许变动范围：35千伏及以上 $\pm 5\%$ ，10千伏及以下为 $\pm 7\%$ ，低压照明为 $+5\%$ 、 -10% 。频率允许偏差：电网容量在300万千瓦及以上者为 ± 0.2 周/秒；300万千瓦以下者为 ± 0.5 周/秒。

3. 保证运行的最大经济性

提高运行的经济性，就是要在生产和输配电能时，使煤耗率、厂用电率和线损率达到最小。

第二节 电力系统负荷及负荷曲线

一、电力系统的负荷

电力系统的负荷就是系统中各用电设备消费功率的总和。不同行业中，各类用电设备所占的比例也不同，如表

1—1 所示。

表 1—1 不同行业中各类用电设备所占比例的统计
(按功率计算), %

行业类别 用电设备	综合性 中小工业	棉纺工业	化学工业 —化肥 厂、焦化	化学工业 —电化厂	大型机械 加工工业	钢铁工业
异步电动机	79.1	99.8	56.0	13.0	82.5	20.0
同步电动机	3.2		44.0		1.3	10.0
电 热 电 炉	17.7	0.2			15.0	70.0
整 流 设 备				87.0	1.2	
合 计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

根据对供电持续性,亦即对供电可靠性要求的不同,用电负荷有**重要负荷**和**一般负荷**之分:

重要负荷:这类负荷,如突然停止供电,将会造成人身伤亡,使重要设备遭受损坏;或者对工农业生产、军事设施造成重大影响,使市政生活造成严重混乱。

一般负荷:所有不属于重要负荷的其它负荷。

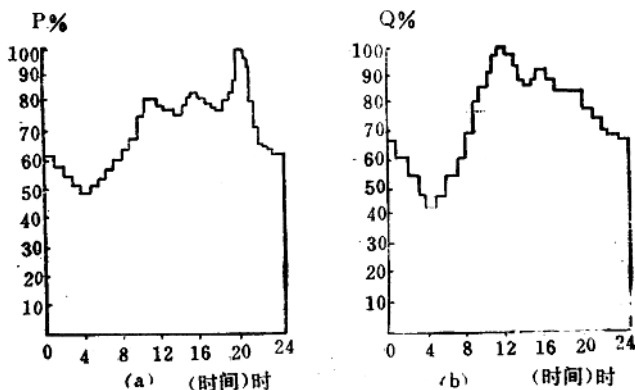
在工厂供电设计时,为了选择供电方案的需要,将负荷分为三级。其中一、二级为重要或较重要的负荷。

二、负荷曲线

用户的用电设备工作状况每时每刻都在变化,发电厂和电力系统的负荷也随之作相应的变化。负荷曲线就是描述负荷随时间变化的曲线。

图 1—1 所示为电力系统日负荷曲线的一般形状，图 (a) 是有功功率日负荷曲线；图 (b) 是无功功率日负荷曲线。

为掌握电力系统运行情况，熟悉负荷曲线很有用处。对于发电厂可根据负荷曲线决定机组起机和停机的时间，以保证不间断地向用户供电；还可以决定发电厂每天或每一个星期的发电量及其所需消耗的燃料数量、确定机组的计划检修时间。



(a) 有功功率负荷；(b) 无功功率负荷

图 1—1 电力系统日负荷曲线

对于供用电部门，可以根据负荷曲线，制订调整负荷的具体措施。例如调整各工业企业的工作时间，限制高峰时间用电，使负荷曲线尽量平稳。这样，不仅可以减少供电系统所需的设备安装容量，而且也可以使发电厂的发电机组保持稳定运行，减少燃料消耗，降低发电成本。

第三节 电力系统电压等级

一、电力系统的额定电压等级

我国目前采用的标准电压（又称额定电压）如表 1—2 所示。对于某些特殊设备，如通过技术经济比较，证明有显著的优越性时，也允许采用非标准电压。

表 1—2 额定电压等级（单位：千伏）

用电设备额定线电压	交流发电机线电压	变压器线电压	
		一次绕组	二次绕组
0.38			0.4
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	15.75	15.75	
35		35	38.5
(63)		(63)	(69)
110		110	121
(154)		(154)	(169)
220		220	242
330		330	363

注：对于 330 千伏以上的电压标准，目前我国已开始选用 500 千伏。

在表 1—2 中，用电设备、发电机和变压器的额定电压互相不一致，这是考虑到经线路输送电能时，沿线的电压分

布是始端高于末端，因此要求发电机的输出电压略高，用电设备的工作电压略低。而变压器的一次侧是接受电能的，相当于用电负荷；二次侧向外输出电能，相当于电源，因此在同一电压等级下，对一、二次电压额定值要求也不一致。在表 1—2 中，变压器一次绕组栏内 3.15、6.3、10.5、15.75 千伏电压适用于与发电机端点直接连接的升、降压变压器。变压器二次侧向负荷供电，其输出电压应较用电设备额定电压高 5 %；额定负荷时，变压器本身还存在 5 % 的电压降，因此在表 1—2 中其二次侧额定电压较用电设备的额定电压高 10 %。但对于漏抗较小（低于 7.5 %）或二次侧与用电设备直接相连的变压器，其二次侧额定电压只须取高出用电设备额定电压 5 %，因此变压器的二次绕组额定电压对应于 3 ~ 10 千伏等级多出一个 3.15、6.3 和 10.5 千伏标准。

二、经济电压的概念

当输送功率一定时，输电电压愈高，电流愈小，导线等载流部分的截面积也就愈小，有色金属的投资愈少；但电压愈高，对电气设备的绝缘要求也愈高，杆塔、变压器、开关等的制造投资也愈大。因此对应于一定的输送功率和输送距离有一最合理的电压（经济电压）。表 1—3 所列为根据经验确定的，与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离。

表 1—3 与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离

额定电压 (千伏)	输送功率 (千瓦)	输送距离 (公里)
3	100~1000	1~3
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20
35	2000~10000	20~50
63	3500~30000	30~100
110	10000~50000	50~150
220	100000~500000	200~300

第四节 变电站电气设备分类

变电站的主要任务是改变系统电压等级、接受和分配电能。根据以上要求，变电站一般装有以下设备：

一、一次设备

直接与生产和输配电能有关的设备称为一次设备，包括：各种高压断路器、隔离刀闸、母线、电力电缆、电压互感器、电流互感器、电抗器、避雷器、消弧线圈、并联电容器以及高压熔断器等。

二、二次设备

对一次电气设备进行监视、测量、操纵控制和起保护作用

用的辅助设备称为二次设备。如：各种继电器、信号装置、测量仪表、录波记录装置，以及遥测、遥信装置、和各种控制电缆、小母线等。

三、直流设备

直流设备是指给继电保护和控制回路供给直流操作电源，以及供给事故照明等的直流电源装置，如整流装置、蓄电池等。变电所的电气设备种类很多，例如还有大量低压设备。本书重点介绍变电所中常见的主要电气设备。但有些设备，如变压器、电容器、避雷器、继电保护和电气仪表等在这套教材的其它书籍中有详细叙述，本书不再介绍。

复 习 题 一

- 1.对电力系统运行有哪些基本要求？
- 2.电力系统负荷曲线有什么用处？
- 3.为什么要调整负荷？怎样调整负荷？
- 4.电力系统中各设备的额定电压是怎样规定的？我国有哪几种电压等级？
- 5.为什么对各种不同额定电压要规定相应的输送功率和输送距离？
- 6.变电所的一、二次设备怎样划分？举例说明。

第二章 电力系统中性点运行方式

第一节 概 述

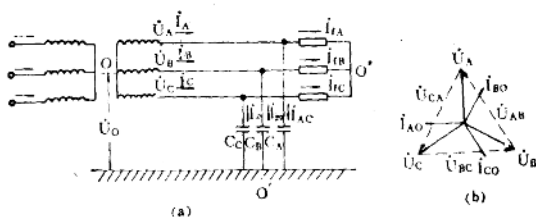
电力系统中性点运行方式分为两大类：一类称为**大接地电流系统**，一类称为**小接地电流系统**。中性点直接接地或经过低阻抗接地的系统称为**大接地电流系统**；中性点绝缘或经过消弧线圈以及其它高阻抗接地的系统称为**小接地电流系统**。目前采用最广泛的有中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地和中性点不接地三种运行方式。中性点直接接地运行方式的主要缺点是供电可靠性低。当系统中发生一相接地故障时，通过故障点和变压器的中性点与大地形成短路回路，出现很大的短路电流，引起线路跳闸。为了减少供电线路事故停电次数，采用中性点不接地的运行方式是有利的。在中性点对地绝缘的系统中，当出现一相接地时，不构成短路回路，故障线路可以继续带病运行。这时其它两个非故障相对地电压将升高为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。因此，中性点不接地系统的电气设备对地绝缘应按线电压考虑。对于电压等级较高的系统，电气设备的绝缘投资对总投资有很大影响，降低对绝缘水平的要求会带来显著的经济效益。在我国，110千伏及以上的系统，一般都采用中性点直接接地的大电流接地方式。对于63千伏及以下的系统，一般采用中性点不接地或经消弧

线圈接地的方式。

对于低压用电系统，为了获得380/220伏两种供电电压，习惯上采用中性点直接接地，构成三相四线制供电方式。

第二节 中性点不接地系统

图2—1画出了简单的中性点不接地系统的等值电路及向量图。网络中各相导线的对地电容用集中电容 C_A 、 C_B 、



(a) 等值电路图； (b) 向量图

图2—1 中性点不接地系统等值电路图和向量图

C_C 来表示。各相导线之间还有相间电容，为了分析问题方便起见，不予考虑。在图中负载电流用 $\dot{I}_{tA}$ 、 $\dot{I}_{tB}$ 、 $\dot{I}_{tC}$ 表示。变压器的二次输出电流为 $\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$ ，分别等于各相负载电流和网络对地电容电流之和。

在向量图2—1(b)中，负载电流等没有画出，只画出了对地电容电流 $\dot{I}_{AO}$ 、 $\dot{I}_{BO}$ 、 $\dot{I}_{CO}$ 。