

供用电技术管理

伍爱莲 崔 雪 编

武汉大学电气工程学院

二〇〇一年六月

供用电技术管理

伍爱莲 崔 雪 编

武汉大学电气工程学院

二〇〇一年六月

目 录

1 概 论	(1)
1.1 供用电的基本知识	(1)
1.2 供用电系统的电压	(5)
1.3 电力系统的中性点运行方式	(12)
1.4 电能是重要的二次能源	(15)
1.5 我国电力工业的发展状况	(16)
1.6 电能生产和电力企业的经营管理	(18)
2 电力负荷及其计算	(21)
2.1 电力负荷	(21)
2.2 用电负荷	(25)
2.3 用电负荷的计算	(27)
2.4 负荷预测	(46)
2.5 调整负荷	(54)
2.6 无功负荷和电压调整	(58)
2.7 有功负荷和频率调整	(62)
3 计划用电管理	(66)
3.1 计划用电的基本概念	(66)
3.2 电力、电量指标的分配与考核	(67)
3.3 计划用电的法律管理手段	(70)
3.4 计划用电的经济管理手段	(75)
3.5 用电分析	(81)
4 安全用电管理	(85)
4.1 概 述	(85)
4.2 电气设备的安全检查	(85)
4.3 用电事故及其调	(89)
4.4 电气安全工作制度	(90)
4.5 保护接地和接零	(113)
4.6 触电急救	(120)
4.7 电工的管理和培训	(124)
5 节约用电管理	(126)
5.1 概 述	(126)
5.2 节约用电的途径	(127)

5.3	产品电耗定额	(131)
5.4	电能平衡	(137)
5.5	主要能耗大的设备节电的基本方法	(140)
6	电能计量管理	(145)
6.1	概 述	(145)
6.2	电能计量装置	(145)
6.3	电能表的正确接线	(181)
6.4	电能计量装置的错误接线及其更正	(184)
6.5	电能表的校验	(198)
6.6	电子式电能表及其它电气仪表	(200)
6.7	电能表标准装置	(228)
6.8	电能计量装置的管理	(230)
7	业务扩管理	(232)
7.1	概 述	(232)
7.2	业务扩充工作内容	(233)
7.3	业扩工作流程	(240)
7.4	用电变更工作	(242)
7.5	业务扩充登记书的运行	(243)
7.6	有关费用的计算、收取与管理	(248)
7.7	日常营业工作	(251)
8	电价和电费管理	(257)
8.1	概 述	(257)
8.2	电价与成本的关系	(257)
8.3	电价的制定	(261)
8.4	合理化电价的标准	(266)
8.5	电价制度和电价分类	(282)
8.6	我国电价发展趋势	(289)
8.7	电费管理	(290)
8.8	电子计算机在电费管理中的应用	(310)
9	电力市场与电力体制改革	(322)
9.1	电力市场概述	(323)
9.2	积极开拓电力市场, 扩大用电需求	(324)
9.3	国外电力市场发展及电力体制改革	(328)
9.4	我国电力市场的培育和电力体制改革	(331)

1 概论

1.1 供用电的基本知识

1.1.1 供用电系统的概况

一般的电源进线电压是 $6\sim 10\text{kV}$ ，电能先经过高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送给各车间变电所。车间变电所内装设有电力变压器，将 $6\sim 10\text{kV}$ 的高压降低成一般用电设备所需的电压（如 $220/380\text{V}$ ），然后由低压配电线路将电能分送给各用电设备使用；而某些高压用电设备，则由高压配电所直接配电。

图 1.1.1 是一个比较典型的供电系统的系统图。图 1.1.2 是上述供电系统的平面布线示意图。为了使图形简单清晰，供电系统的系统图、平面布线图以及后面大量涉及的主电路图，一般都只用一根线来表示三相线路，即绘成单线图的形式。还必须说明，这里绘出的系统图未绘出各种开关电路（除母线和低压联络线上装设的开关外）。

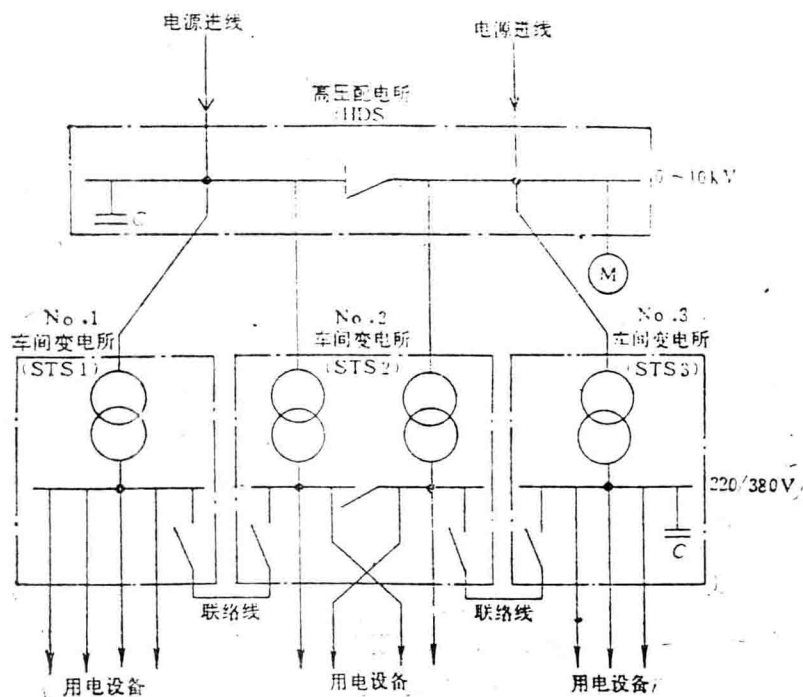


图 1.1.1 供电系统的系统图

绘制各种电气图，应遵循国家 GB4728《电气图用图形符号》和 GB6988《电气制图》等的有关规定。要注意所有电气元件均按无电压、无外力作用的正常状态绘出。

从图 1.1.1 可以看出，该供电系统高压配电所有两条 $6\sim 10\text{kV}$ 的电源进线，分别接在

高压配电所的两段母线上，这两段母线间装有一个分段隔离开关，形成所谓“单母线分段制”。在任一条电源进线发生故障或进行检修而被切除后，可以利用分段隔离开关来恢复对整个配电所（特别是其重要负荷）的供电，即分段隔离开关闭合后由另一条电源进线供电给整个配电所。但最常见的运行方式是：分段隔离开关通常闭合，整个配电所由一条电源进线供电（正常情况下由公共电网来电），而另一条电源进线备用（通常由邻近单位取得备用电源）。

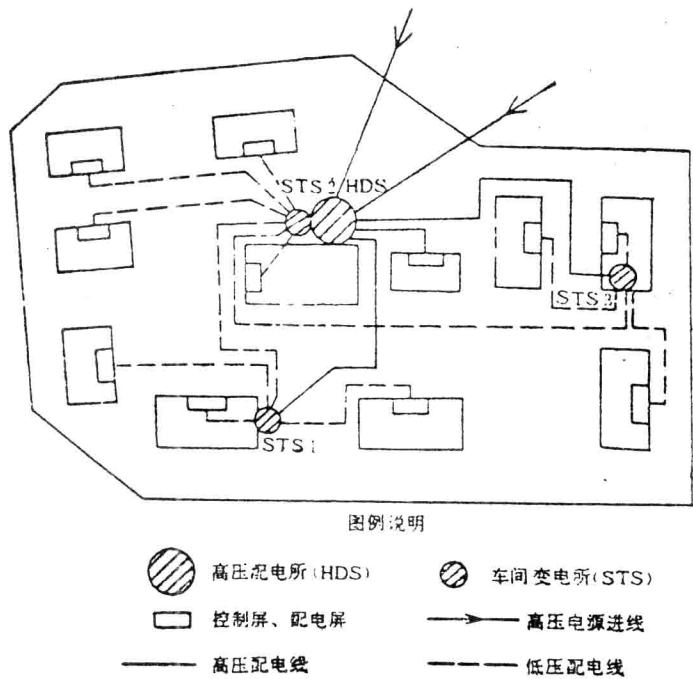


图 1.1.2 供用电系统的平面布线示意图

这个高压配电所有四条高压配电线，供电给三个车间变电所，其中 NO.1 车间变电所和 NO.3 车间变电所都只装有一台电力变压器，而 NO.2 车间变电所装有两台，并分别由两段母线供电，其低压侧又采用单母线分段制，因此对重要的用电设备可由两段母线交叉供电。车间变电所的低压侧，设有低压联络线相互连接，以提高供电系统运行的可行性和灵活性。此外，该配电所有一条高压线，直接供电给一组高压电动机；另有一条高压线，直接与一组并联电容器相连。NO.3 车间变电所低压母线上也连接有并联电容器。这些并联电容器都是用来补偿无功功率，提高功率因数用的。

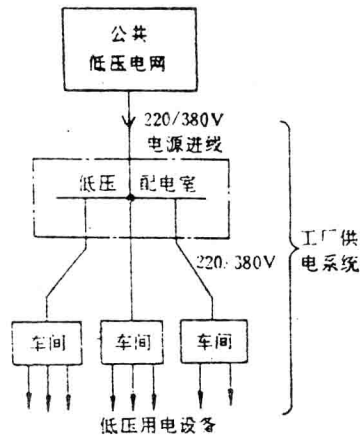


图 1.1.3 低压进线的小型工厂供电系统图

对于小型企业，一般只设一个简单的降压变电所，其容量只相当于图 1.1.1 中的一个车

间变电所。用电设备容量在 250kW 及以下的小型企业，通常采用低压进线，因此只需设置一个低压配电室就行了，其系统图如图 1.1.3 所示。

对于大型企业及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型企业，一般经过两次降压，也就是电源进厂以前，先经总降压变电所，其中装设有较大容量的电力变压器，将 35kV 及以上的电源电压降为 6~10kV 的配电电压，然后通过主压配电线将电能送到各个车间变电所，也有的经高压配电所再送到某些车间变电所，最后降到一低压用电设备所需的电压，其系统图如图 1.1.4 所示。但也有的采用高压深入负荷中心的直降配电方式，即 35kV 进线的企业，只经一次降压，直接降为低压，供用电设备使用。

由以上分析可知，配电所的任务是接受电能和分配电源，变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能，而供用电系统实际上就是变配电系统，包括从电源进厂起到用电设备入端止的整个电路。

1.1.2 发电厂和电力系统简介

由于电能的生产、输送、分配和使用的全过程，实际上是在同一瞬间实现的。这个全过程中的各个环节是一个紧密联系的整体。所以这里除了要简述企业供电系统的概况外，还要简介发电厂和电力系统的基本知识，使大家了解企业供电系统电源方面的情况，有利于更好地作好企业供电工作。

1. 发电厂

发电厂又称发电站，是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂。

发电厂按它所利用的能源不同，可分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。

水力发电厂，简称水电厂或水电站。它利用水流的位能来生产电能。当控制水流的闸门打开时，水流沿进水管进入水轮机蜗壳室，冲动水轮机，带动发电机发电。其能量转换过程是：水流位能→机械能→电能。由于水电站的发电容量与水电站所在地点上下游的水位差（即落差，也称水头）和流过水电站水轮机的水量（即流量）的乘积成正比，所以建设水电站，必须用人工的办法来提高水位。最常用的办法，就是在河流上建筑一个很高的拦河坝，形成水库，提高上游水位，使坝的上下游形成尽可能大的落差。电站就建在堤坝的后面。这种水电站，叫做坝后式水电站。我国一些大型水电站大都属于这种类型。另一

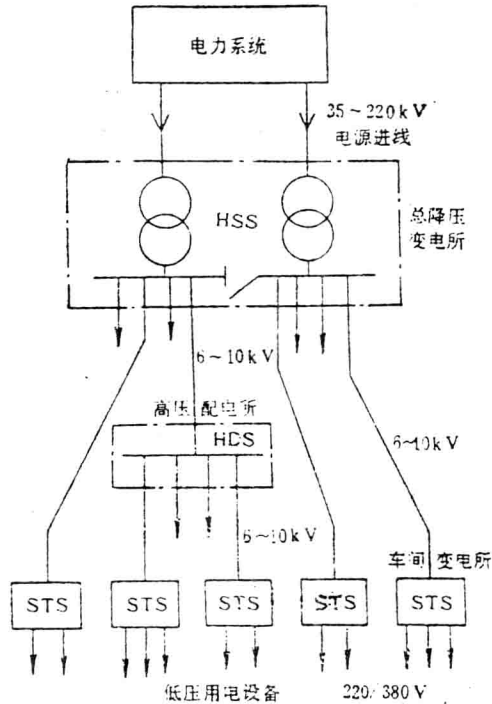


图 1.1.4 具有总降压变电所的供用电系统图

种提高水位的办法，是在具有相当坡度的弯曲河段上游，筑一低坝，拦住河水，然后利用沟渠或隧道，将水直接引至建在河段末端的水电站。这种水电站，叫做引水式水电站。还有一种水电站，是上述两种方式的综合，由高坝和引水渠道分别提高一部分水位。这种水电站，叫做混合式水电站。

火力发电厂，简称火电厂或火电站。它利用燃料的化学能来生产电能。我国的火电厂以燃煤为主。为了提高燃料效率，现代火电厂都把煤块粉碎成煤粉燃烧。煤粉在锅炉的炉膛内充分燃烧，将锅炉内的水烧成高温高压的蒸汽，推动汽轮机转动，使与它联轴的发电机旋转发电。其能量转换过程是：燃料的化学能→热能→机械能→电能。现代火电厂一般都考虑了“三废”（废渣、废水、废汽）的综合利用，并且不仅发电，而且供热。这种兼供热能的火电厂，称为热电厂或热电站。

核能发电厂又称为原子能发电厂，简称为核电厂或核电站。它主要是利用原子核的裂变能来生产电能。它的生产过程与火电厂基本相同，只是以核反应堆（俗称原子锅炉）代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了大量的煤炭。其能量转换过程是：核裂变能→热能→机械能→电能。由于核能是极其巨大的能源，而且核电站的建设具有重要的经济和科研价值，所以世界上很多国家都很重视核电站的建设，核电发电量的比重正在逐年增长。我国也确定要适当发展核电，并已经建成及正在兴建一批大中型核电站。

2. 电力系统

为了充分利用动力资源，减少燃料运输，降低发电成本，因此有必要在有水力资源的地方建筑水电站，而在有燃料资源的地方建造火电厂。但是这些有动力资源的地方，往往离用电中心较远，所以必须用高压输电线路进行远距离输电，如图 1.1.5 所示。

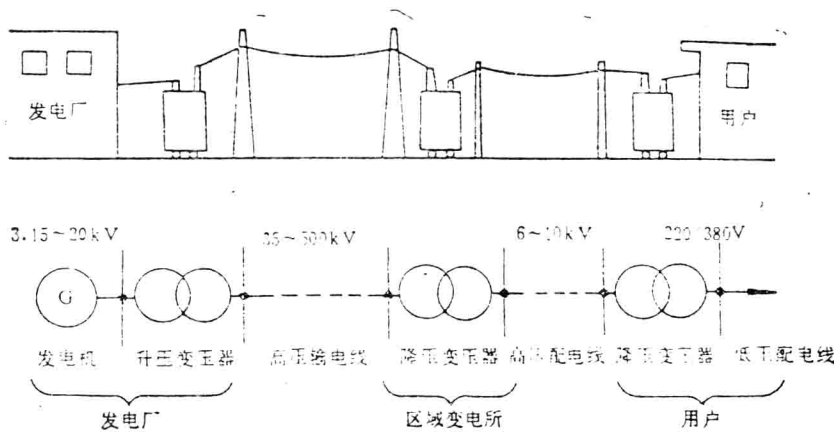


图 1.1.5 从发电厂到用户的送电过程示意图

由各种电压的电力线路将一些发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体，叫做电力系统。图 1.1.6 是一个大型电力系统的系统图。

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所，叫做电力网，简称电网。但习惯上，电网或系统往往按电压等级来区分，如说 10kV 电网或 10kV 系统。这里所说的电网或

系统，实际上是指某一电压的相互连接的整个电力线路。

电网可按电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的范围大，电压一般在 200kV 及以上。地方电网的范围小，电压一般为 35~110kV。企业供电系统就属于地方电网的一种。

建立大型电力系统，可以更经济合理地利用动力资源（首先是充分利用水力资源），减少电能损耗，降低发电成本，保证供电质量（即电压和频率合乎规范要求），并大大提高供电的可靠性，有利于整个国民经济的发展。

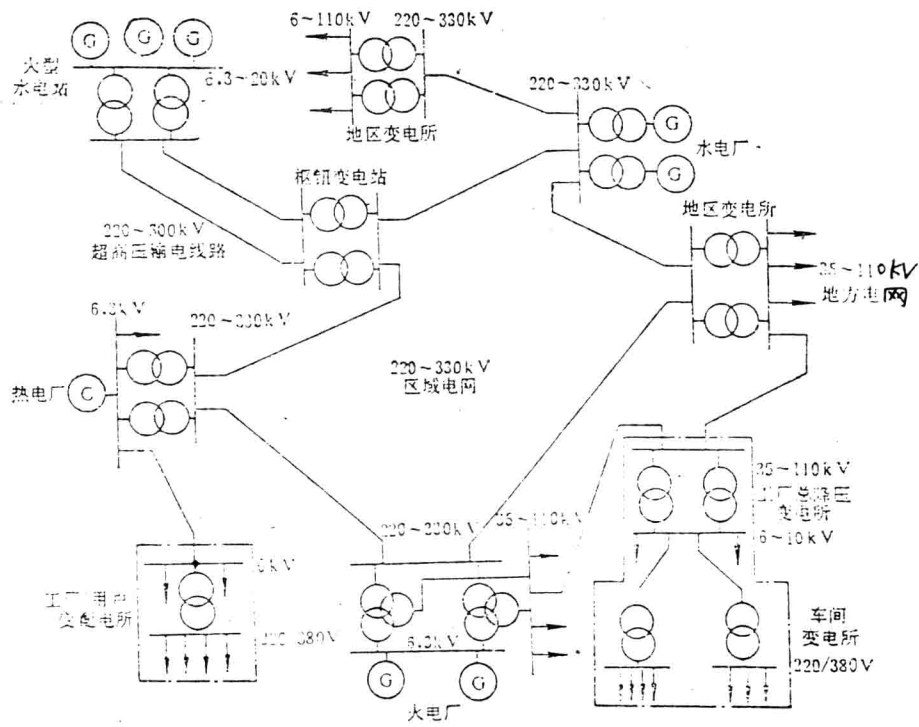


图 1.1.6 大型电力系统的系统图

1.2 供用电系统的电压

1.2.1 概述

供用电系统中的所有电气设备，都是在一定的电压和频率下工作的。电力系统的电压和频率，直接影响电气设备的运行。可以说，电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。《全国供用电规则》规定，一般交流电力设备的额定频率为 50Hz，此频率一般称为“工频”，频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，如电力系统容量达 3000MW 或以上时，频率偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。但是频率的调整主要依靠发电厂，对于企业供电系统来说，提高电能质量主要是提高电压质量的问题，因此这里主要讨论电力系统的电压。

电气设备都是设计在额定电压下工作的。电气设备的额定电压就是保证设备正常运行且能获得最佳经济效果的电压。如果设备的端电压与其额定电压有偏差（即电压偏移，其定义式见后面式（1.2.1））时，则设备的工作性能和使用寿命将受到影响，总的经济效果将会下降。

1. 对感应电动机的影响 当感应电动机的端电压比其额定电压低 10% 时，由于转矩与端电压平方成正比，因此其实际转矩将只有额定转矩的 81%，而负荷电流将增大 5~10% 以上，温升将提高 1~10% 以上，绝缘老化程度将比规定增加一倍以上，从而明显地缩短电机的使用寿命。而且由于转矩减小，转速下降，不仅会降低生产效率，减少产量，而且还会影响产品质量，增加废次品。当其端电压偏高时，负荷电流和温升一般也要增加，绝缘也要受损，对电机也是不利的，但不像电压偏低时那么严重。

2. 对同步电动机的影响 当同步电动机的端电压偏高或偏低时，转矩也要按电压平方成正比变化。因此同步电动机的端电压偏移，除了不会影响其转速，其它如对转矩、电流和温升等的影响，是与感应电动机相同的。

3. 对电光源的影响 电压偏移对白炽灯的影响最为显著。当白炽灯的端电压降低 10% 时，灯泡的使用寿命将延长 2~3 倍，但发光效率将下降 30% 以上，灯光明显变暗，照度降低，严重影响人的视力健康，降低工作效率，还可能增加事故发生率。当其端电压升高 10% 时，发光效率将提高 1/3，但其使用寿命将大大缩短，只有原来的 1/3。电压偏低对荧光灯等气体放电灯的影响不像对白炽灯那么明显，但也有一定的影响。当其端电压偏低时，灯管不易起燃。如果多次反复起燃，则灯管寿命将大受影响。而且电压降低时，照度下降，影响视力工作。当其电压偏高时，灯管寿命又要缩短。

由此可见，电力系统的电压偏移对电气设备的影响很大，因此有必要研究电压调整问题，以使电气设备端电压的偏移在允许范围以内。但是电压质量，又不单指电压偏移，而且包括电压波动以及电压波形是否畸变，即是否含有高次谐波成分，因此也需予以讨论。

下面先介绍我国三相交流电网和电力设备额定电压的国家标准及电压调整问题，然后讲述供用电系统高低压配电电压的选择，最后分别讨论电力系统中的电压波动和高次谐波问题。

1.2.2 额定电压和电压调整

1. 额定电压的国家标准

我国标准规定的三相交流电网和电力设备常用的额定电压，如表 1.2.1 所示。下面结合此表分别对电网和各类电力设备的额定电压作一些说明。

（1）电网（电力线路）的额定电压

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要及电力工业的水平，经全面的技术经济分析研究后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

表 1.2.1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

分 类	电网和用电设备额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压/kV	
	kV	kV	一次绕组	二次绕组
低 压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高 压	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
	—	13.8, 15, 75, 18, 20	13.8, 15, 75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
高 压	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

(2) 用电设备的额定电压

由于用电设备运行时线路上要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1.2.1 中虚线所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。所以用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

(3) 发电机的额定电压

由于同一电压的线路一般允许的电压偏移是 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗值，因此为了维持线路的平均电压在额定值，线路首端（即电源端）的电压应较电网额定电压高 5%，而线路末端则可较电网额定电压低 5%，如图 1.2.1 所示。所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压 5%。

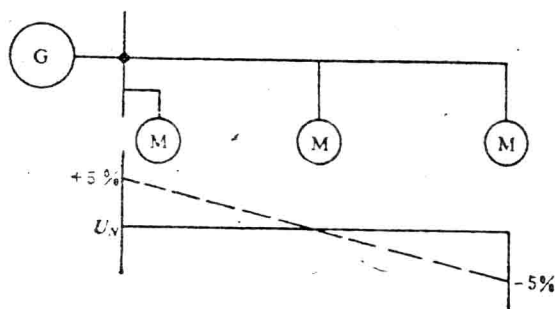


图 1.2.1 用电设备和发电机的额定电压

(4) 电力变压器的额定电压

1) 电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况：当变压器直接与发电机相连时，如图 1.2.2 中的变压器 T_1 ，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5%。当变压器不与发电机相连，而是连接在线路上时，如图 1.2.2 中的变压器 T_2 ，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压与电网额定电压相同。

2) 电力变压器二次绕组的额定电压也分两种情况：但首先要明确，变压器二次绕组的

额定电压，是指变压器一次绕组加上额定电压而二次绕组开路的电压，即为空载电压；而在满载时，二次绕组内约有 5% 的阻抗电压降。因此，如果变压器二次侧供电线路较长（如为较大的高压电网）时，则变压器二次侧额定电压：一方面要考虑补偿变压器满载时内部 5% 的电压降，另一方面要考虑变压器满载时输出的二次电压还要高于电网额定电压 5%，以补偿线路上的电压降，所以它要比电网额定电压高 10%，如图 1.2.2 中变压器 T_1 。如果变压器二次侧供电线路不太长（如为低压电网，或直接供电给高低压用电设备）时，则变压器二次绕组的额定电压，只需高于电网额定电压 5%，仅考虑补偿变压器内部的 5% 的电压降，如图 1.2.2 中变压器 T_2 。

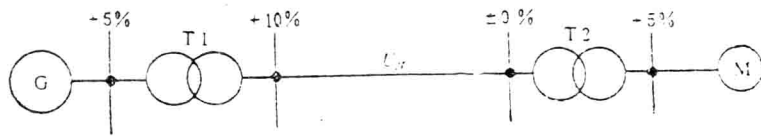


图 1.2.2 电力变压器的额定电压

1.2.3 允许的电压偏移及电压调整的措施

按照《工业与民用供配电系统设计规范》(GBJ52 修订本)规定：正常运行情况下，用电设备端子处电压偏移的允许值为

电动机 $\pm 5\%$ ；

照明灯 在一般工作场所 $\pm 5\%$ ；在视觉要求较高的屋内场所 $+5\%$ 、 -2.5% ；在远离变电所的小面积一般工作场，难以满足上述要求时， $+5\%$ 、 -10% ；

其他用电设备 无特殊规定时 $\pm 5\%$ 。

这里所说的电压偏移值是以额定电压的百分值来表示的，即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100 \quad (1.2.1)$$

式中 ΔU —— 电压偏移；

U —— 设备的端电压；

U_N —— 设备的额定电压。

为了满足用电设备对电压偏移的要求，工厂供电系统必须采取相应的电压调整措施：

1. 正确选择无载调压型变压器的电压分接头或采用有载调压型变压器 我国工厂供电系统中应用的 6~10kV 电力变压器，一般为无载调压型，其高压绕组（即一次绕组）有 $U_N \pm 5\%$ 的电压分接头，并装设有无载调压分接开关，如图 1.2.3 所示。如果设备端电压偏高，则应将分接开关换接到 $+5\%$ 的分接头，以降低设备端电压。如设备端电压偏低，则应将分接开关换接到 -5% 的分接头，以升高设备端电压。但这只是改变了用电设备端的电压水平，使之更接近于设备的额定电压，从而缩小电压偏移的范围。如果用电负荷中有的设备对电压要求严格，采用无载调压型变压器满足不了要求而这些设备单独装设调压装置在技术经济上又不合理时，可采用有载调压型变压器，使之在负荷情况下自动地调节电压，保证设

备端电压的稳定。

2. 合理地减少系统的阻抗 供配电系统中电压损耗是与其中各元件（包括变压器和线路）的阻抗成正比的。因此，可考虑减少系统的变压级数，增大导线或电缆的截面，或以电缆取代架空线供电，这些都可降低系统的阻抗，从而减少电压损耗，缩小电压偏移的范围，达到电压调整的目的。但是增大导线或电缆截面以及采用电缆供电，要增加线路投资，所以应作技术经济的分析比较，合理时才宜于采用。

3. 尽量使系统的三相负荷均衡 在有中性线的低压配电系统中，如三相负荷分布不均衡，则将使负荷端中性点电位偏移，造成有的相电压升高，从而增大了线路电压偏移。为此，应使三相负荷分布尽可能地均衡，以降低电压偏移。

4. 合理地改变系统的运行方式 在生产为一班制或两班制的工厂中，工作班的时间内，负荷重，往往电压偏低，因而需要将变压器高压线圈的分接头调在-5%的位置上。但这样一来，到夜间负荷轻时，电压就会过高。这时如能切除变压器，改用低压联络线供电（参看图 1.1.1），即可减少这台变压器的电能损耗，又可由于投入低压联络线而增加线路的电压损耗，从而降低所出现的过高电压。对于两台变压器并列运行的变电所，在负荷轻时切除一台变压器，同样可起到降低过高电压的作用。

5. 采用无功功率的补偿装置 系统中由于存在大量的感性负荷（如感应电动机、高频炉、荧光灯等等），加上系统中感抗很大的变压器，从而使系统产生大量相位滞后的无功功率，降低功率因数，增加系统的电压损耗。为了提高功率因数，降低系统的电压损耗，可采用并联电容器或同步补偿机，使之产生相位超前的无功功率，以补偿一部分相位滞后的无功功率。这些专用于补偿无功功率的并联电容器和同步补偿机，统称为无功补偿设备。由于采用并联电容器补偿较之采用同步补偿机补偿有更大的优越性，因此并联电容器在工厂供电系统中获得了广泛的应用。不过也必须指出，采用专门的无功补偿设备，虽然电压调整的效果显著，但是毕竟需增加额外投资，因此在进行电压调整时，首先应考虑前面所述的各项措施，以提高供电系统的经济效果。

1.2.4 供电系统配电电压的选择

1. 高压配电电压的选择

供用电系统的高压配电电压，主要取决于当地供电电源电压及高压用电设备的电压和

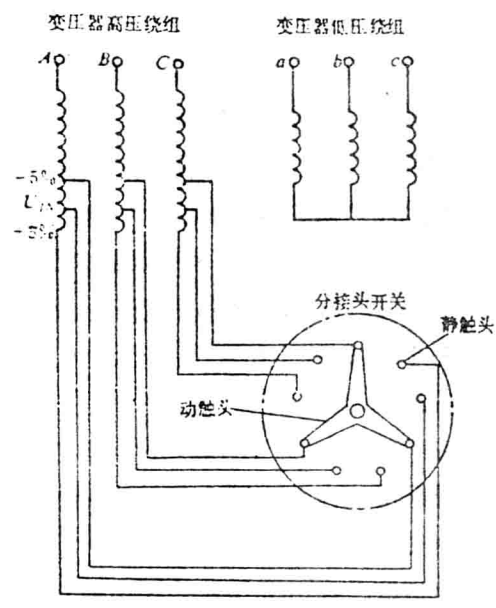


图 1.2.3 电力变压器的分接开关

容量、数量等因素。

企业采用的高压配电电压通常为 6~10kV。从技术经济指标来看，最好采用 10kV。由于电压越高，在同样的输送功率和输送距离条件下，线路电流越小，所以电压越高的线路采用的导线或电缆截面越小，从而可减少线路的初投资和有色金属消耗量，且可减少线路的电能损耗和电压损耗。而实际使用的 6kV 开关设备的型号规格与 10kV 的基本上是相同的，因此采用 10kV 电压级后，在开关设备的投资方面也不会比采用 6kV 电压级有多少增加。另外，从供电的安全性和可靠性来说，6kV 与 10kV 也差不多。而从适应发展来说，10kV 还优于 6kV。由表 1.2.2 所列各级电压线路合理的输送功率和输送距离可以看出，采用 10kV 电压较之采用 6kV 电压更适应于发展，输送功率更大，输送距离更远。至于配电电压级对用电设备配电的适应性问题，则取决于用电设备本身。如果企业拥有相当数量的 6kV 用电设备，或者供电电源的电压就是 6kV（如企业直接从邻近发电厂的 6.3kV 母线取得电源），则可考虑采用 6kV 电压作为工厂的高压配电电压。如果不是这种情况，6kV 用电设备数量不多，则应选择 10kV 作为工厂的高压配电电压，而 6kV 设备则可通过专用的 10/6.3kV 变压器单独供电。3kV 作为高压配电电压的技术经济指标很差，不能采用。如果工厂有 3kV 用电设备时，也可采用 10/3.15kV 的变压器单独供电。

表 1.2.2 各级电压电力线路合理的输送功率和输送距离

线路电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
0.38	架空线	≤100	≤0.25
0.38	电缆线	≤175	≤0.35
6	架空线	≤2000	3~10
6	电缆线	≤3000	≤8
10	架空线	≤3000	5~15
10	电缆线	≤5000	≤10
35	架空线	2000~15000	20~50
63	架空线	3500~30000	30~100
110	架空线	10000~50000	50~150
220	架空线	100000~500000	200~300

如果当地的电源电压为 35kV，而厂区环境条件和设备条件又允许采用 35kV 架空线路和较经济的电气设备时，则可考虑采用 35kV 作为高压配电电压深入工厂各车间负荷中心，并经车间变电所直接降为低压用电设备所需的电压。这种高压深入负荷中心的直降配电方式，可以节省一级中间变压，大大简化供电系统，节约有色金属，降低电能损耗和电压损耗，提高供电质量，因此有一定的推广价值。但是必须考虑厂区要有满足 35kV 架空线路的“安全走廊”，以确保供电安全。

2. 低压配电电压的选择

企业的低压配电电压，一般采用 220/380V，其中线电压 380V 接三相动力设备及 380V 单相设备，相电压 220V 接一般照明灯具及其他 220V 的单相设备。但某些场合宜采用 660V

(甚至更高的 1140V) 作为低压配电电压。例如矿井下, 因负荷中心往往离变电所较远, 所以为保证负荷端的电压水平而采用 660V 或更高电压配电。采用 660V 电压配电, 较之采用 380V 配电, 不仅可以减少线路的电压损耗, 提高负荷端的电压水平, 而且能减少线路的电损耗, 降低线路的有色金属消耗量和初投资, 增加配电半径, 提高供电能力, 减少变电点, 简化企业供配电系统, 还能进一步扩大感应电动机的制造容量。因此提高低压配电电压有其明显的经济效益, 是节电的有效手段之一, 这在世界各国已成为发展趋势。但是将 380V 升高为 660V, 需电器制造部门的全面配合, 我国目前还有困难。我国应有 660V 电压的工业, 现在还只限于采矿、石油和化工等少数部门。至于 220V 电压级, 现一般不作为低压三相配电电压, 而只作为单相配电电压和单相用电设备额定电压。

1.2.5 电压波动及其抑制

电压波动是电网电压的短时快速变动。电压波动的程度用电压波动幅度和波动频率(即单位时间波动次数)来衡量。电压波动幅度以设备端电压的最高值 $U_{\max}$ 与最低值 $U_{\min}$ 之差对其额定电压 U_N 的百分值来表示, 即

$$dU\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100 \quad (1.2.2)$$

1. 电压波动的产生

电压波动都是由于负荷急剧变动引起的。负荷急剧变动, 使电力系统的电压损耗相应变动, 从而使电气设备的端电压出现波动现象。例如电动机的起动, 特别是电动机的满负荷起动, 电焊机的工作, 尤其是大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的工作, 都会引起电力系统电压的波动。

2. 电压波动的危害

电压波动可影响电动机的正常起动, 甚至使电动机无法起动; 对同步电动机还可能引起转子振动; 可使某些电子设备特别是电子计算机无法正常工作; 可使照明灯发生明显的闪烁现象, 等等。其中, 电压波动对照明的影响最为明显, 也就是照明负荷对电压波动最为敏感。由于电压波动引起照度闪变对人眼有刺激作用, 如果电压波动幅度(%)和波动频率(次每秒)引起的照度闪变超出了人的视觉所能承受的范围, 则将使人无法正常生产、工作和学习。这种引起照度闪变的电压波动现象, 也称为电压闪变。从保证电能质量来考虑, 一定要设法抑制可能出现的电压波动和闪变现象。

3. 电压波动的抑制

为了抑制或减小电压波动和闪变, 可采取下列措施:

(1) 对负荷变动剧烈的大型电气设备, 采用专用线或专用变压器单独供电, 这是最简便有效的办法。

(2) 设法增大供电容量, 减小系统阻抗(如将单回路供电改为双回路供电, 或将架空线供电改为电缆线供电等), 以降低系统的电压损耗, 从而减小负荷变动时引起的电压波动。

(3) 在系统出现严重的电压波动时, 减少或切除引起电压波动的负荷。

(4)对于大型电弧炉和炉用变压器的受电电压，如有多种电压可供选择时，则宜选择较高电压，这可有效地减小电压波动。

(5)对大型冲击性负荷，如采取上述措施仍达不到要求时，可装设能“吸收”冲击无功功率的静止型无功补偿装置(static var compensator, 简称 SVC)。SVC 是一种能吸收随机变化的冲击无功功率和动态谐波电流的无功补偿装置，其型式有多种，而以自饱和电抗器型(SR型)的效能最好，其电子元件少，可靠性高，维护方便，且我国一般变压器制造厂都能制造，是最适于在我国推广应用的一种 SVC。

1.3 电力系统的中性点运行方式

在电力系统中，当变压器或发电机的三相绕组为星形联结时，其中性点可有两种运行方式：中性点接地和中性点不接地。中性点直接接地系统常称大电流接地系统，中性点不接地和中性点经消弧线圈（或电阻）接地的系统称小电流接地系统。中性点运行方式的选择主要取决于单相接地时电气设备绝缘要求及供电可靠性。图 1.3.1 列出了常用的中性点运行方式。图中，电容 C 为输电线路对地分布电容。

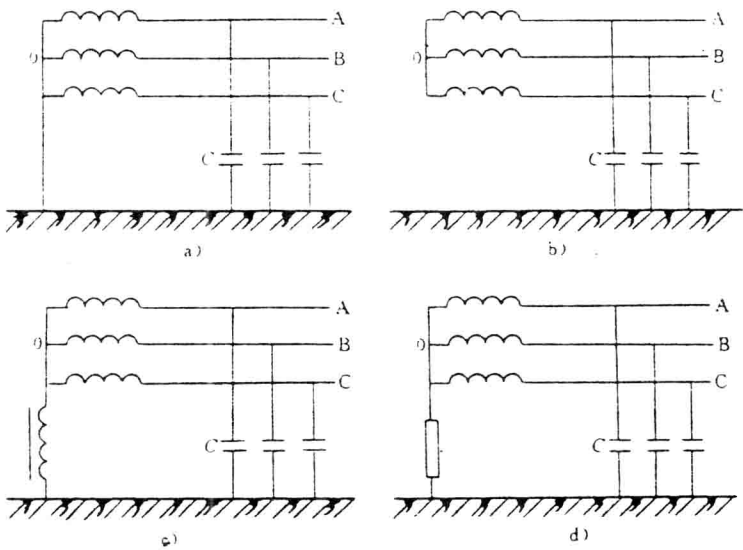


图 1.3.1 电力系统中性点运行方式

a)中性点直接接地 b)中性点不接地 c)中性点经消弧线圈接地 d)中性点经电阻接地

1.3.1 中性点直接接地方式

中性点直接接地方式：当发生一相对地绝缘破坏时，即构成单相短路，供电中断，可靠性降低。但是，该方式下非故障相对地电压不变，电气设备绝缘水平可按相电压考虑。此外，在 380 / 220V 低压供电系统中，线对地电压为相电压，可接入单相负荷。

当发生单相短路时，由于变压器和线路的阻抗都很小，故所产生的单相短路电流比线路中正常的负荷电流大得多，因而保护装置动作使断路器跳闸或线路熔断器熔断，将短路

故障部分切除，其它部分则恢复正常运行。

该类电网在发生单相接地时，其它两相对地电压不会升高，因此电网中供用电设备的绝缘只需按相电压考虑，这对于 110kV 及以上的高压、超高压系统有较大的经济技术价值。高压电器特别是超高压电器，其绝缘是设计和制造的关键，绝缘要求的降低，实际上就降低了造价，同时也改善了高压电器的性能。为此，我国 110kV 及以上的高压、超高压系统均采用中性点直接接地的运行方式。

1.3.2 中性点不接地方式

中性点不接地方式：在正常运行时，各相对地分布电容相同，三相对地电容电流对称且其相量和为零，各相对地电压为相电压。但是，当发生一相（如 C 相）接地故障时（如图 1.3.2 所示），各相对地电压和电容电流的变化分析如下。

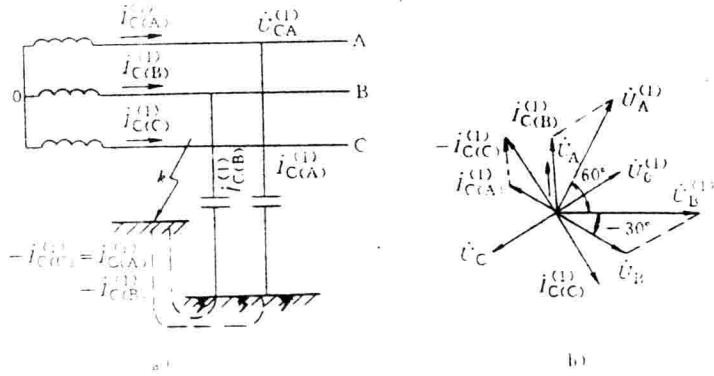


图 1.3.2 中性点不接地系统发生单相接地故障

a) C 相接地故障 b) C 相接地后电压和电流相量图

1. 单相接地故障发生后，线间电压 $\dot{U}_{AB}^{(1)}$ 、 $\dot{U}_{BC}^{(1)}$ 、 $\dot{U}_{CA}^{(1)}$ 均保持不变，但故障相对地电压 $\dot{U}_C^{(1)}$ 、中性点对地电压 $\dot{U}_0^{(1)}$ 、非故障相对地电压 $\dot{U}_A^{(1)}$ 、 $\dot{U}_B^{(1)}$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_C^{(1)} &= 0 & U_C^{(1)} &= 0 \\ \dot{U}_0^{(1)} &= -\dot{U}_C = \dot{U}_A e^{-j60^\circ} & U_0^{(1)} &= U_p \\ \dot{U}_A^{(1)} &= \dot{U}_A + \dot{U}_0^{(1)} = \sqrt{3}\dot{U}_A e^{-j30^\circ} & U_A^{(1)} &= \sqrt{3}U_p \\ \dot{U}_B^{(1)} &= \dot{U}_B + \dot{U}_0^{(1)} = \sqrt{3}\dot{U}_A e^{-j90^\circ} & U_B^{(1)} &= \sqrt{3}U_p \end{aligned} \right\} \quad (1.3.1)$$

式中 U_p ——正常情况下相电压有效值。

2. 故障发生后，故障相对地电容被短接，非故障相对地电容量不变，各相对地电流分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{C(A)}^{(1)} &= \dot{U}_A^{(1)} \omega C e^{j90^\circ} = \sqrt{3} \omega C \dot{U}_A e^{j60^\circ} & I_{C(A)}^{(1)} &= \sqrt{3} I_{C0} \\ \dot{I}_{C(B)}^{(1)} &= \dot{U}_B^{(1)} \omega C e^{j90^\circ} = \sqrt{3} \omega C \dot{U}_A e^{-j30^\circ} & I_{C(B)}^{(1)} &= \sqrt{3} I_{C0} \\ \dot{I}_{C(C)}^{(1)} &= -(\dot{I}_{C(A)}^{(1)} + \dot{I}_{C(B)}^{(1)}) = 3 \omega C \dot{U}_A e^{-j150^\circ} & I_{C(C)}^{(1)} &= 3 I_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (1.3.2)$$

式中 I_{C0} ——正常情况下相线对地电容电流值， $I_{C0} = U_p \omega C$ 。