

机电工程学院

《工厂供电》

授课教案

教学学期： 2019-2020-2

授课教师： _____

授课班级： 2019 级机电一体化班级

日 期： 2020/3/11

项目一：供配电系统概述

课 题	供配电系统的认识			课 次	1
授课班级	19 机电一体化班级	学时	2	上课地点	钉钉直播平台
教学目标	能力目标	知识目标		素质目标	
	1. 了解工厂供电的意义、要求及课程任务。 2. 了解工厂供电系统的组成。 3. 掌握变配电所的任务。	工厂供电系统的组成。		1、培养学生的创新精神与实践能 力； 2、促进学生个性发展，培养学生 分析问题与解决问题的能力； 3、培养学生的团队合作精神； 4、培养学生的学习能力。	
教学重点 与难点	工厂供电系统的组成。				
教学过程	主 要 教 学 内 容				备注
自我介 绍、介绍 课程（15 分钟） 1. 项目引 入 10 min	第一节 工厂供电：工厂所需电能的供应和分配,亦称工厂配电。 意义：电能工业生产中的重要性,并不在于它在产品成本中或投资总额中所占的比重多少,而在于实现电气化后可以大大增加产量,提高产品质量,提高劳动生产率,降低生产成本,减轻工人的劳动强度,改善工人的劳动条件,有利于实现生产过程自动化。 要求：(1) 安全 在电能的供应、分配和使用中,不应发生人身事故和设备事故。 (2) 可靠 应满足电能用户对供电可靠性的要求。 (3) 优质 应满足电能用户对电压和频率等质量的要求。 (4) 经济 供电系统的投资要少,运行费用要低,并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。 (5) 应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系。 课程任务：主要是以企业供配电系统的一次部分为主,讲述一般企业内部的电力供应和分配问题。掌握主要一次电气设备的功能、结构、原理,并初步掌握使用、安装、检修、试验的基本技能。掌握企业的负荷计算、短路电流计算,一次主要电气设备的选择和校验。掌握企业变配电所的				引 入 项 目, 明 确 任 务

结构、所址、布置及安图。掌握一般企业供配电系统的初步设计。同时了解发电厂及电力系统的基本知识，为今后从事企业供配电技术工作奠定基础。

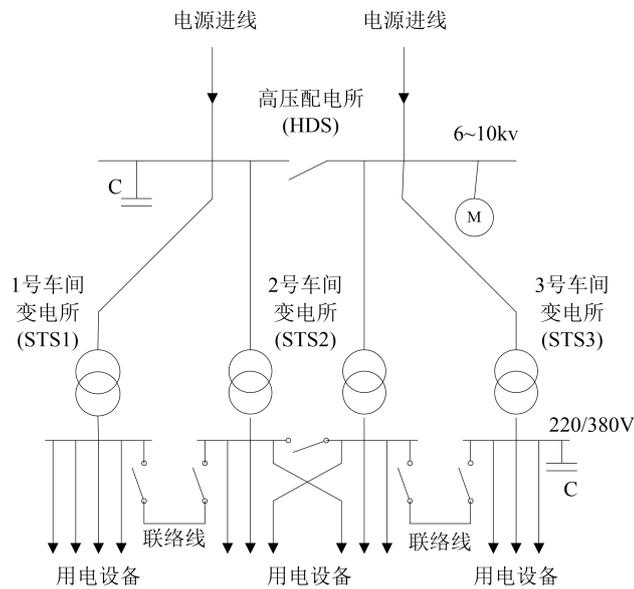
第二节

一. 工厂供电系统概况

工厂供电系统的组成:

一般中型工厂的电源进线是 6~10kV.

讲授
(10 min)



对于大型工厂及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型工厂, 一般经过两次降压。

对于 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所,经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需的电压.这种供电方式,称为高压深入负荷中心的直配方式.是否采用要根据厂区的环境条件是否满足 35kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”要求而定.

对于小型工厂,由于所需容量一般不大于 1000kV·A 或稍多,因此通常只设一个降压变电所,将 6~10kV 电压降为低压用电设备所需的电压。

配电所的任务: 接受电能和分配电能, 不改变电压.

变电所的任务: 接受电能,变换电压和分配电能.

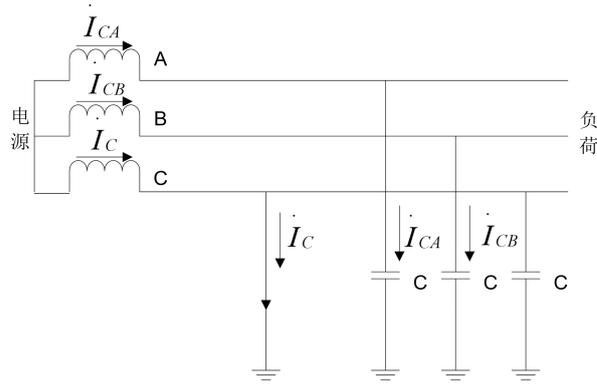
母线的任务: 汇集和分配电能.

工厂供电系统: 是指从电源线路进厂起到高低压用电设备进线端

利用多媒体讲授

重在掌握概念

<p>学生讨论 (15min)</p> <p>学生练习 (15min)</p> <p>教师总结 评价(10)</p> <p>作业 (5min)</p>	<p>止的整个电路系统,包括厂内的变配电所和所有高低压供配电线路.</p> <p>三、小组讨论(计划、决策)</p> <p>每个班分为6个小组,对教师授课内容进行讨论,学生可以当场向教师提问不明之处,再由教师视情况而定,采用集中讲解,还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。</p> <p>四、学生讨论工厂供电系统的组成。(实施)</p> <p>学生练习,老师指导,对部分同学的错误答案予以提示或指正。</p> <p>五、教师总结评价(检查、评价)</p> <p>教师点评或示范:教师根据学生的知识掌握情况,再次补充、讲解理论、集体修改学生在操作或讲述中的错误。</p> <p>六、布置作业(电子作业,课下完成)</p>	
<p>小结</p>		
<p>作业</p>	<p>工厂供电系统的组成</p>	

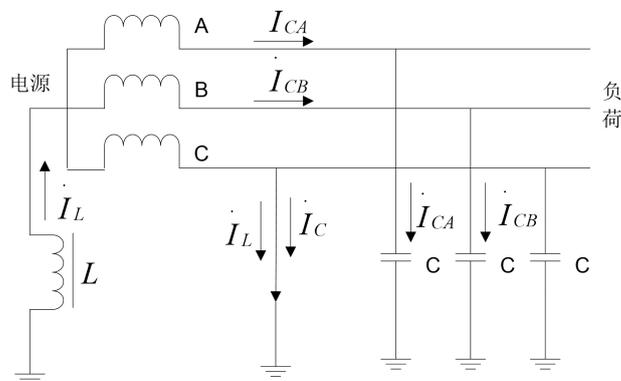


利用多媒体讲授

必须指出：当中性点不接地系统中发生单相接地时，三相用电设备的正常工作并未受到影响，因为线路的线电压无论其相位和量值均未发生变化，因此改系统中的三相用电设备仍能照常运行。但是这种线路不允许在单相接地故障情况下长期运行，以免再有一相发生接地故障时，形成两相接地短路，使故障扩大，这是不能允许的。

(二) 中性点经消弧线圈接地的电力系统

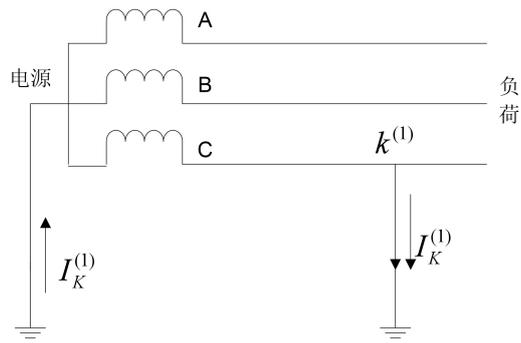
为了防止单相接地时接地点出现断续电弧，引起谐振过电压，在单相接地电容电流大于一定值的电力系统中，电源中性点必须采取消弧线圈接地的运行方式。消弧线圈实际上就是一个可调的铁心电感线圈，其电阻很小，感抗很大。



(三) 中性点直接接地或经低电阻接地的电力系统

下图是电源中性点直接接地的电力系统发生单相接地时的电路图。这种系统的单相接地，即通过接地中性点形成单相短路。单相短路电流比线路的正常负荷电流大得多，因此在此系统发生单相短路时保护装置应动作于跳闸，切除短路故障，使系统的其他部分恢复正常运行。中性点直接接地的系统发生单相接地时，其他两完好相的对地电压不会升高。

重在掌握应用



学生讨论
(15min)

三、小组讨论（计划、决策）

每个班分为 6 个小组，对教师授课内容进行讨论，学生可以当场向教师提问不明之处，再由教师视情况而定，采用集中讲解，还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。

学生练习
(25min)

四、学生练习中性点直接接地或经低电阻接地的电力系统（实施）

学生练习，老师指导，对部分同学的错误予以提示或指正。

教师总结
评价（10）

五、教师总结评价（检查、评价）

教师点评或示范：教师根据学生的知识掌握情况，再次补充、讲解理论、集体修改学生在操作或讲述中的错误。

六、布置作业（电子作业，课下完成）

作业
(5min)

小结

作业

课后习题 1-4

层建筑中的变电所一般都采用干式变压器或充气变压器。充气(SF6)变压器一般用于成套变电所。

电力变压器按结构性能分,有普通变压器、全密封变压器和防雷变压器等。

2.电力变压器的联结组别

电力变压器的联结组别,是指变压器一、二次绕组(或一、二、三次绕组)因采取不同联结(连接)方式而形成变压器一、二次侧(或一、二、三次侧)对应的线电压之间的不同相位关系。

利用多媒体讲授

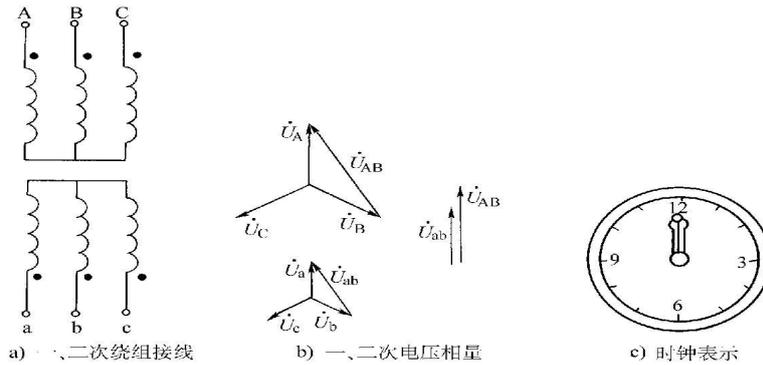


图 2-1 变压器 Yyn0 联结组

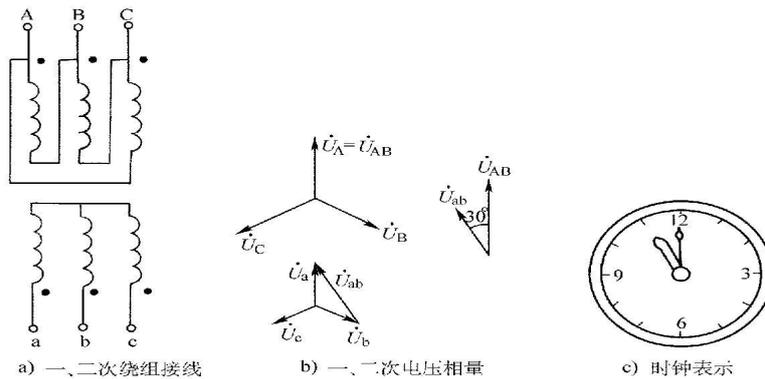


图 2-2 变压器 Dyn11 联结组

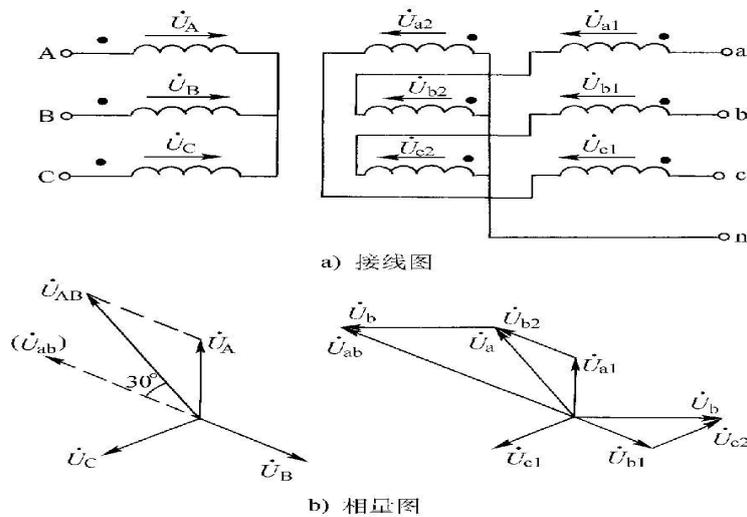


图 2-3 Yzn11 联结的防雷变压器

重在掌握应用

小结:

1) Dyn11 的意义: D:高压侧三角形接法, y: 低压侧星型接法; n: 低压侧中性点引出; 11: 高低压差相位差 30 度。

使用场合: 单相不平衡电流超过额定电流的 25%, 即单相负载多; 系统有较大的谐波存在, 有消谐作用;

2) Yyn0 的意义: Y: 高压侧星型接法, 无中性点引出; y: 低压侧星型接法; n: 中性点引出; 0: 高低压差位差 0 度。

使用场合: 三相负荷基本平衡; 供电系统谐波不严重; 常用于 10KV 系统。

3) Yzn11 的意义: Y: 高压侧星型接法, 无中性点引出; z: 低压侧曲折型接法; n: 中性点引出; 11: 高低压差位差 11 度。

使用场合: 多雷地区。

3.电力变压器的结构和型号

电力变压器的基本结构,包括铁心和一、二次或一、二、三次绕组两大部分。

电力变压器的并列运行条件

两台或多台电力变压器并列运行时,必须满足以下三个基本条件:

(1)所有并列变压器的额定一次电压和二次电压必须对应相等 这也就是所有并列变压器的电压比必须相同,允许差值范围为±5%。

(2)所有并列变压器的阻抗电压必须相等 由于并列变压器二次侧的负荷是按其阻抗电压值成反比分配的(参看下面例 2-2),因此并列变压器的阻抗电压如果不同,将导致阻抗电压较小的变压器过负荷甚至烧毁。所以并列变压器的阻抗电压必须相等,允许差值范围为±10%。

(3)所有并列变压器的联结组别必须相同 这也就是所有并列变压器的一次电压和二次电压的相序和相位都必须对应地相同,否则不允许并列运行。假设两台变压器并列,一台为 Yyn0 联结,另一台为 Dyn11 联结,则它们的二次电压将出现 30° 相位差,从而并列运行时将在两台变压器的二次绕组间产生电位差 ΔU ,如图 2-7 所示。这一电位差 ΔU 将在两台变压器的二次绕组回路内产生一个很大的环流,有可能使变压器绕组烧毁。

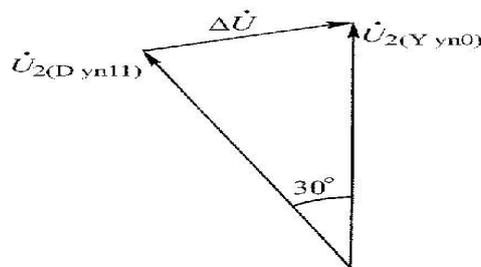


图 2-7 Yyn0 联结变压器与 Dyn11 联结变压器并列运行时二次侧电压相量图

<p>学生讨论 (15min)</p> <p>学生练习 (25min)</p> <p>教师总结 评价(10)</p> <p>作业 (5min)</p>	<p>三、小组讨论（计划、决策）</p> <p>每个班分为 6 个小组，对教师授课内容进行讨论，学生可以当场向教师提问不明之处，再由教师视情况而定，采用集中讲解，还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。</p> <p>四、学生练习总结电力变压器的种类和使用注意事项（实施）</p> <p>学生练习，老师指导，对部分同学的错误答案予以提示或指正。</p> <p>五、教师总结评价（检查、评价）</p> <p>（1）由小组学生代表回答电力变压器的种类和使用注意事项，答不出的再由其它组成员进行补答。</p> <p>（2）教师点评或示范：教师根据学生的知识掌握情况，再次补充、讲解理论、集体修改学生在讲述中的错误。</p> <p>六、布置作业（电子作业，课下完成）</p>	
<p>小结</p>		
<p>作业</p>	<p>课后习题 2-2</p>	

课 题	电力变压器和互感器的认识和使用		课 次	4	
授课班级	19 机电一体化班级	学时	2	上课地点	钉钉直播平台
教学目标	能力目标	知识目标	素质目标		
	1.了解互感器的种类区分。 2.熟练掌握互感器的使用方法。	1.互感器的种类。 2.互感器的使用方法。	1、培养学生的创新精神与实践能 力； 2、促进学生个性发展，培养学生 分析问题与解决问题的能力； 3、培养学生的团队合作精神； 4、培养学生的学习能力。		
教学重点 与难点	互感器的种类。 互感器的使用注意事项。				
教学过程	主要 教 学 内 容			备注	
项目引入	<p>二、电流互感器(Current Transformer,文字符号 TA)</p> <p>(一)电流互感器的功用和接线方案</p> <p>1.电流互感器的功用</p> <p>(1)用来使仪表、继电器等二次设备与主电路绝缘 这既可防止主电路的高电压直接引入仪表、继电器等二次设备,又可防止仪表、继电器等二次设备的故障影响主电路,从而提高整个一、二次电路运行的安全性和可靠性,并有利于保障人身安全。</p> <p>(2)用来扩大仪表、继电器等二次设备应用的电流范围 例如用一只 5A 的电流表,通过不同变流比的电流互感器就可测量任意大的电流。而且由于采用电流互感器,可使仪表、继电器等二次设备的规格统一,有利于这些设备的批量生产。</p> <p>2.电流互感器的结构</p> <p>电流互感器的原理结构和接线如图 2-8 所示。</p>			引 入 项 目, 明 确 任 务	
讲 授 (25 min)	<p>图 2-8 电流互感器的原理结构和接线</p> <p>电流互感器的结构特点是:一次绕组的匝数很少,有的电流互感器还没有一次绕组(参看后面图 2-13),而是利用穿过其铁心的一次电路导体(母线)作为一次绕组(相当于绕组匝数为 1),且一次绕组导</p>				

体相当粗;而二次绕组匝数很多,导体较细。工作时,一次绕组串联在一次电路中,而二次绕组则与仪表、继电器等的电流线圈串联,形成一个闭合回路。

(二)电流互感器的类型和型号

电流互感器的类型很多。

按其一次绕组的匝数分,有单匝式(包括母线式、芯柱式、套管式等)和多匝式(包括线圈式、线环式、串级式等)。

按其一次电压分,有高压和低压两大类。

按其用途分,有测量用和保护用两大类。

按其准确度等级分,测量用电流互感器有 0.1、0.2、0.5、1、3、5 等级,保护用电流互感器有 5P、10P 两级。

按其绝缘和冷却方式分,有油浸式和干式两大类,油浸式主要用于户外装置中。

(三)电流互感器使用注意事项

1. 电流互感器工作时二次侧不得开路
2. 电流互感器的二次侧必须有一端接地
3. 电流互感器连接时必须注意其端子极性

三、电压互感器(Voltage Transformer,文字符号 TV)

(一)电压互感器的功用和接线方案

1. 电压互感器的功用

(1)用来使仪表、继电器等二次设备与主电路绝缘 这与电流互感器的功用完全相同,以提高一、二次电路运行的安全性和可靠性,并有利于保障人身安全。

(2)用来扩大仪表、继电器等二次设备应用的电压范围 例如用一只 100V 的电压表,通过不同变压比的电压互感器就可测量任意高的电压,这也有利于电压表、继电器等二次设备的规格统一和批量生产。

2. 电压互感器的结构

电压互感器的原理结构和接线如图 2-14 所示。

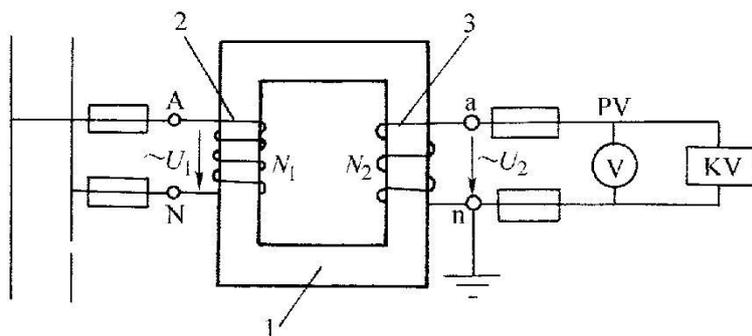


图 2-14 电压互感器的原理结构和接线

电压互感器的结构特点是:一次绕组匝数很多,二次绕组匝数较少,相当于降压变压器。工作时,一次绕组并联在一次电路中,而二次绕组则并联仪表、继电器的电压线圈。由于这些电压线圈的阻抗很

利用多媒体讲授

重在掌握应用

<p>学生讨论 (15min)</p> <p>学生练习 (25min)</p> <p>教师总结 评价(10)</p> <p>作业 (5min)</p>	<p>大,所以电压互感器工作时其二次侧接近于空载状态。二次绕组的额定电压一般为 100V。</p> <p>(二)电压互感器的类型和型号</p> <p>电压互感器按相数分,有单相和三相两大类。按绕组绝缘和冷却方式分,有油浸式和干式(含环氧树脂浇注式)两大类。</p> <p>(三)电压互感器使用注意事项</p> <p>1.电压互感器工作时二次侧不得短路</p> <p>由于电压互感器一、二次绕组都是在并联状态下工作的,如果发生短路,将产生很大的短路电流,有可能烧毁电压互感器,甚至危及一次电路的安全运行。因此电压互感器的一、二次侧都必须装设熔断器进行短路保护。</p> <p>2.电压互感器的二次侧必须有一端接地</p> <p>这与电流互感器二次侧接地的目的相同,也是为了防止一、二次绕组绝缘击穿时,一次侧的高电压窜入二次侧,危及人身和设备的安全。</p> <p>3.电压互感器在连接时也必须注意其极性</p> <p>三、小组讨论(计划、决策)</p> <p>每个班分为 6 个小组,对教师授课内容进行讨论,学生可以当场向教师提问不明之处,再由教师视情况而定,采用集中讲解,还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。</p> <p>四、学生练习总结互感器的种类和使用注意事项(实施)</p> <p>学生练习,老师指导,对部分同学的错误答案予以提示或指正。</p> <p>五、教师总结评价(检查、评价)</p> <p>(1) 由小组学生代表回答互感器的种类和使用注意事项,答不出的再由其它组成员进行补答。</p> <p>(2) 教师点评或示范:教师根据学生的知识掌握情况,再次补充、讲解理论、集体修改学生在讲述中的错误。</p> <p>六、布置作业(电子作业,课下完成)</p>	
<p>小结</p>		
<p>作业</p>	<p>课后习题 2-4</p>	

二、高压隔离开关和负荷开关

(一)高压隔离开关

高压隔离开关(high-voltage disconnector,文字符号为 QS)的功用,主要是用来隔离高压电源,以保证其他设备和线路的安全检修。因此其结构有如下特点,即它断开后有明显可见的断开间隙,而且断开间隙的绝缘及相间绝缘都是足够可靠的,能充分保障人身和设备的安全。但是隔离开关没有专门的灭弧装置,因此它不允许带负荷操作。然而它可用来通断一定的小电流,例如励磁电流不超过 2A 的空载变压器,电容电流不超过 5A 的空载线路以及电压互感器和避雷器电路等。

高压隔离开关按安装地点,分户内式和户外式两大类。图 2-23 是 GN8-10 型户内式高压隔离开关的外形;图 2-24 是 GW2-35 型户外式高压隔离开关的外形。

利用多媒体讲授

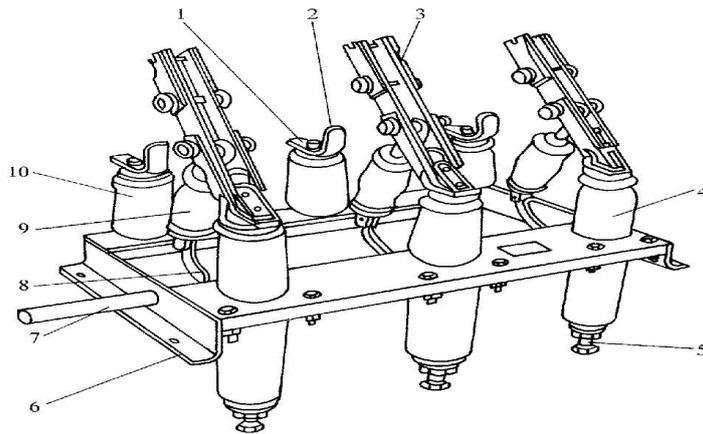


图 2-23 GN8-10 型户内式高压隔离开关

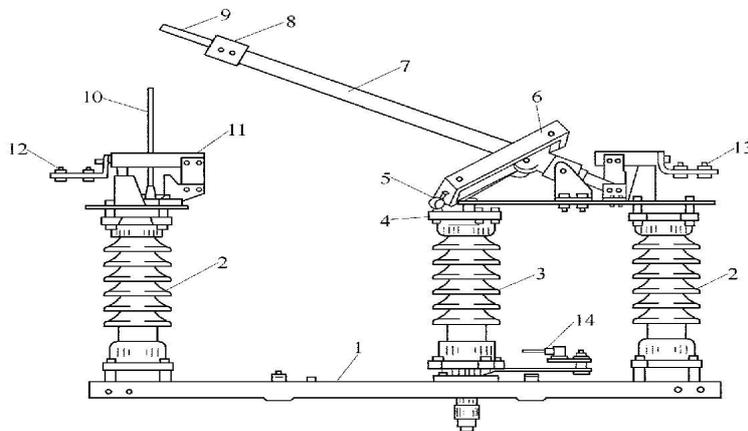
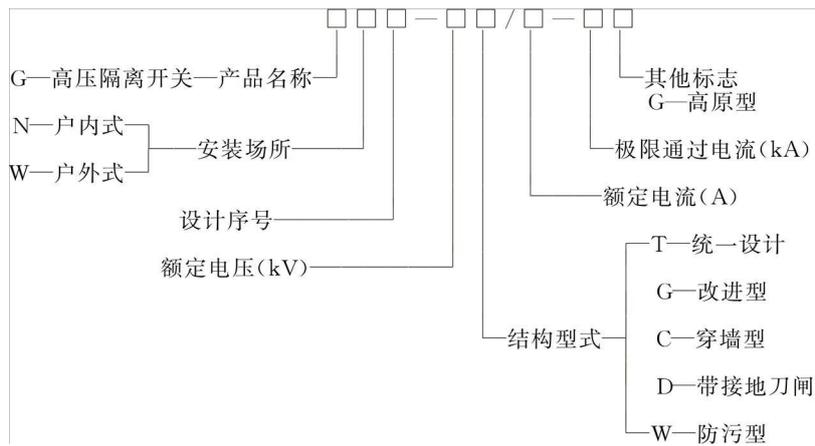


图 2-24 GW2-35 型户外式高压隔离开关

重在掌握应用

高压隔离开关全型号的表示和含义如下:



(二)高压负荷开关

高压负荷开关(high-voltage load-switch,文字符号为 QS),具有简单的灭弧装置,因此能通断一定的负荷电流和过负荷电流,但不能断开短路电流。因此它必须与高压熔断器串联使用,借助熔断器来实现短路保护,切断短路故障。负荷开关断开后,与隔离开关一样,有可见的断开间隙,因此它也具有隔离电源、保证安全检修的功用。

图 2-27 是一种比较常见的 FN3-10RT 型户内压气式高压负荷开关的外形图。上半部为负荷开关本身,很像一般高压隔离开关,实际上也就是在高压隔离开关基础上加一个简单的灭弧装置。

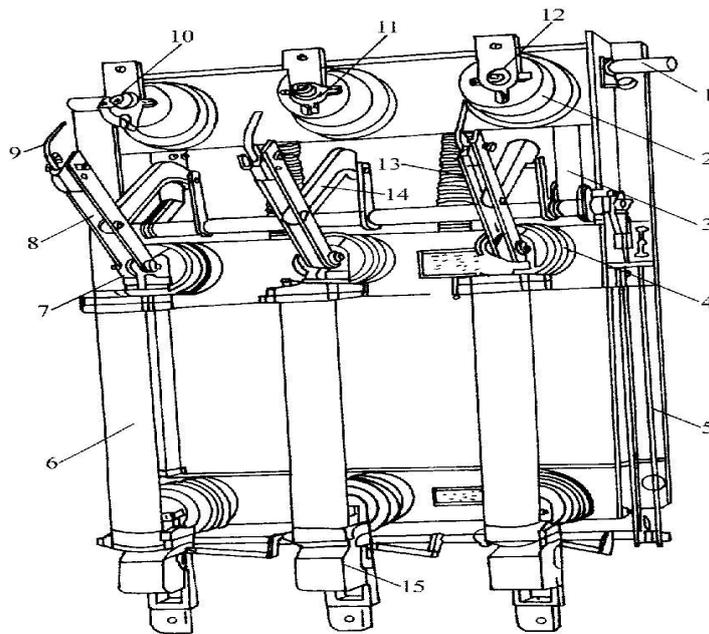
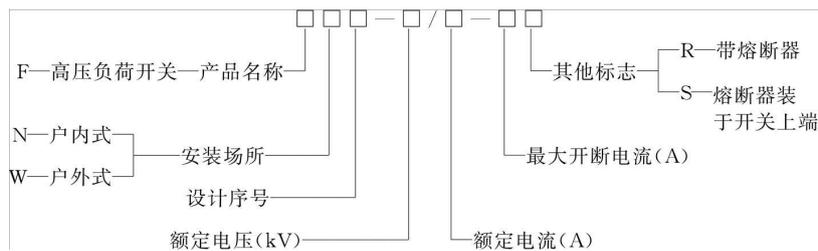


图 2-27 FN3-10RT 型高压负荷开关

高压负荷开关全型号的表示和含义如下:

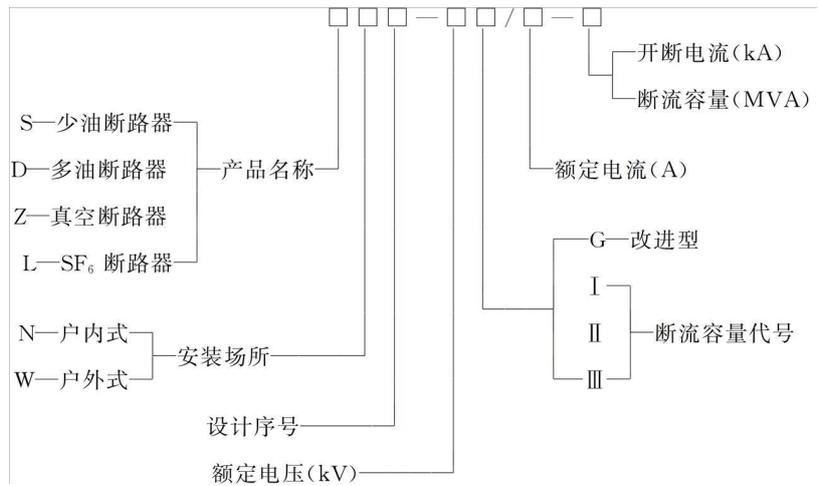


三、高压断路器

高压断路器(high-voltage circuit-breaker,文字符号为 QF)的功用是,不仅能用来通断正常负荷电流,而且能通断一定的短路电流,并能在短路保护的作用下自动跳闸。

高压断路器有相当完善的灭弧结构。按其采用的灭弧介质分,有油断路器、六氟化硫(SF₆)断路器、真空断路器以及压缩空气断路器、磁吹断路器等。油断路器按其油量多少和油的功能,又分多油断路器和少油断路器两类。

高压断路器全型号的表示和含义如下:



三、小组讨论（计划、决策）

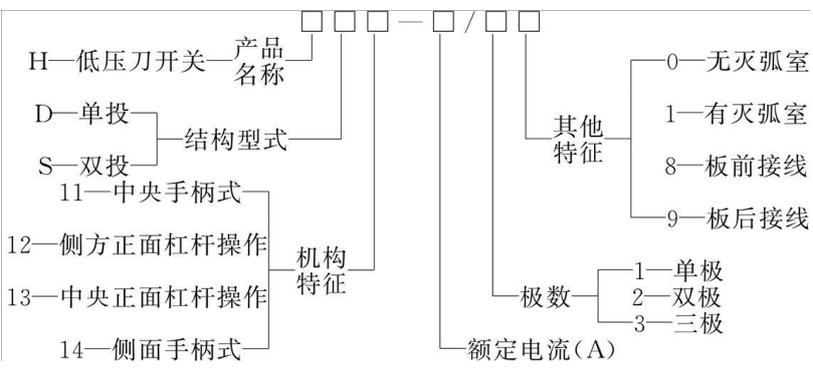
每个班分为 6 个小组,对教师授课内容进行讨论,学生可以当场向教师提问不明之处,再由教师视情况而定,采用集中讲解,还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。

四、学生总结各种常用高低压电器的符号及使用方法（实施）

学生练习,老师指导,对部分同学的错误答案予以提示或指正。

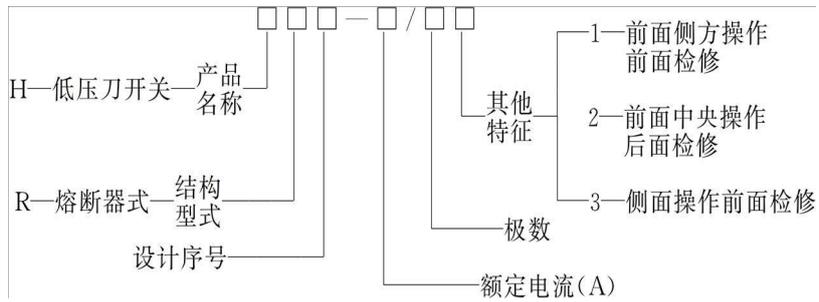
学生讨论
(15min)

学生练习
(25min)

课 题	高低压一次设备运行与维护			课 次	6
授课班级	19 机电一体化班级	学时	2	上课地点	钉钉直播平台
教学目标	能力目标	知识目标	素质目标		
	1. 熟悉常用电气器件的图形符号及字母符号。 2. 熟悉各种常用高低压电器的使用	1. 常用电气器件的图形符号及字母符号。 2. 各种常用高低压电器的使用	1、培养学生的创新精神与实践能 力； 2、促进学生个性发展，培养学生 分析问题与解决问题的能力； 3、培养学生的团队合作精神； 4、培养学生的学习能力。		
教学重点 与难点	常用电气器件的图形符号及字母符号。 各种常用高低压电器的使用				
教学过程	主 要 教 学 内 容				备注
项目引入	四、低压刀开关和负荷开关 (一)低压刀开关 低压刀开关(knife-switch,文字符号为 QK)按操作方式分,有单投和双投两种。按极数分,有单极、双极和三极三种。按灭弧结构分,有不带灭弧罩和带灭弧罩的两种。 不带灭弧罩的刀开关一般只能在无负荷下操作。由于刀开关断开后有明显可见的断开间隙,因此可作隔离开关使用,因此这种刀开关也称为低压隔离开关。 低压刀开关全型号的表示和含义如下:				引入项目,明确任务
讲 授 (25 min)					
	(二)低压熔断器式刀开关 低压熔断器式刀开关(Low-voltage fuse-switch,文字符号为 QFS)又称刀熔开关,是一种由低压刀开关与低压熔断器相组合的开关电				

器。

低压刀熔开关全型号的表示和含义如下：

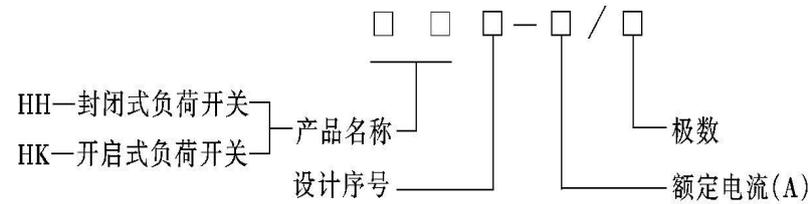


利用多媒体讲授

(三) 低压负荷开关

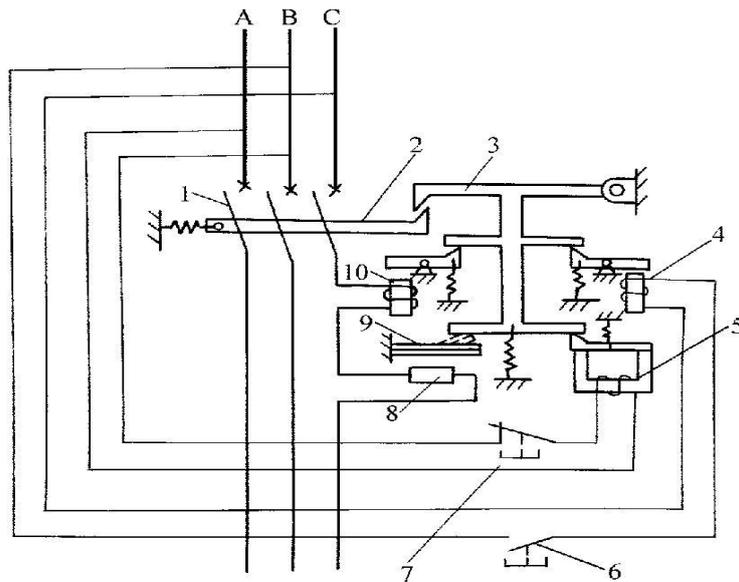
低压负荷开关(Low-voltage load-switch, 文字符号为 QSF)由低压刀开关与低压熔断器组合而成,外装封闭式铁壳或开启式胶盖。

低压负荷开关全型号的表示和含义如下：



五、 低压断路器

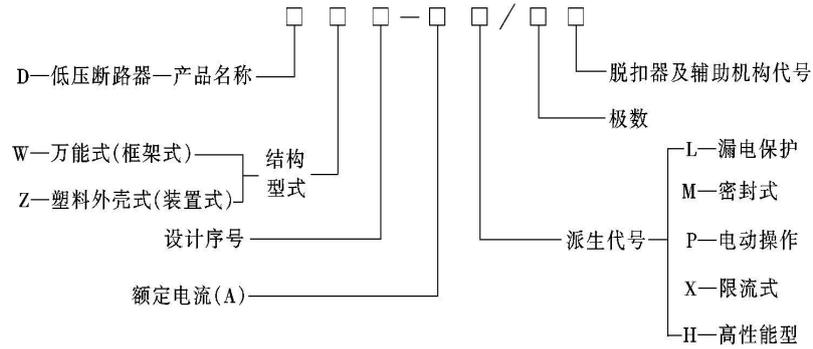
低压断路器(文字符号为 QF),俗称低压自动开关。它既能带负荷通断电路,又能在短路、过负荷和欠电压情况下自动跳闸,切断电路。低压断路器的原理结构和接线如图 2-44 所示。



重在掌握应用

图 2-44 低压断路器的原理结构和接线

国产低压断路器全型号的表示和含义如下：



(一)万能式低压断路器

万能式低压断路器,因其保护方案和操作方式较多,装设地点也较灵活,故有“万能式”之称。又由于它具有框架式结构,因此又称“框架式断路器”或“框架式自动开关”。

万能式有一般型、高性能型和智能型几种结构型式,又有固定式、抽屉式两种安装方式,有手动和电动两种操作方式,一般具有多段式保护特性,主要用于低压配电系统中作为总开关和保护电器。

(二)塑料外壳式低压断路器

塑料外壳式低压断路器,因其全部机构和导电部分均装设在一个塑料外壳内,仅在壳盖中央露出操作手柄,故有“塑料外壳式”或“塑壳式”之名。又由于它通常装设在低压配电装置之内,因此又称“装置式低压断路器”或“装置式自动开关”。

塑料外壳式断路器的操作方式多为手柄扳动式,其保护多为非选择型。它用于低压分支电路中。

三、小组讨论（计划、决策）

学生讨论
(15min)

每个班分为 6 个小组,对教师授课内容进行讨论,学生可以当场向教师提问不明之处,再由教师视情况而定,采用集中讲解,还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。

四、学生总结各种常用高低压电器的符号及使用方法（实施）

学生练习
(25min)

学生练习,老师指导,对部分同学的错误答案予以提示或指正。

而不是指其输出的功率。

2. 负荷持续率

负荷持续率,又称暂载率或相对工作时间,符号为 ε ,其定义为一个工作周期 T 内工作时间 t 与 T 的百分比,即

$$\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中, t_0 为工作周期 T 内的停歇时间。 T 、 t 和 t_0 的单位均为秒(s)。

同一设备,在不同负荷持续率下运行时,其输出的功率是不同的。

3. 用电设备的负荷系数

用电设备的负荷系数(或称负荷率) K_L ,为设备在最大负荷时输出或耗用的功率 P 与设备额定容量 P_N 的比值,即

$$K_L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P}{P_N} \quad (3-3)$$

负荷系数表征了设备容量的利用程度。负荷系数的符号有时也用 β 表示。

四、计算负荷

计算负荷(calculated load),是指通过统计计算求出的、用来按发热条件选择供配电系统中各元件的负荷值。按照计算负荷选择的电气设备和导线电缆,如以计算负荷持续运行,其发热温度不致超出允许值,因而不会影响其使用寿命。

由于导体通过电流达到稳定温升的时间大约需(34) τ , τ 为发热时间常数。而截面积在 16mm^2 以上的导体的 τ 均在 10min 以上,也就是载流导体大约经 30min 后可达到稳定的温升值。因此通常取半小时平均最大负荷 P_{30} (亦即年最大负荷 P_{max})作为“计算负荷”。

我国目前普遍采用的确定用电设备组计算负荷的方法,有需要系数法和二项式法。

五、用户计算负荷

(一) 供配电系统的功率损耗计算

在确定各用电设备组的计算负荷后,如果要确定整个用户如一个企业或一个车间的计算负荷,就需要逐级计入有关线路和变压器

利用多媒体讲授

重在掌握应用

的功率损耗,如图 3-9 所示。例如要确定低压配电线 WL2 首端的有功计算负荷 $P_{30.4}$,就应将其末端有功计算负荷 $P_{30.5}$ 加上该线路的有功损耗 ΔP_{WL2} 。如果要确定高压配电线 WL1 首端的有功计算负荷 $P_{30.2}$,就应将车间变电所低压侧的有功计算负荷 $P_{30.3}$ 加上变压器 T 的有功损耗 ΔP_T ,再加上高压配电线 WL1 的有功损耗 ΔP_{WL1} 。

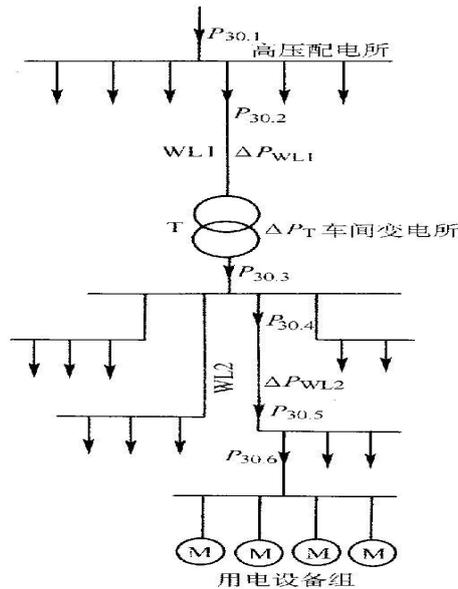


图 3-9 企业供电系统中各部分的计算负荷和功率损耗
(只示出其有功部分)

(二) 用户计算负荷的确定

用户计算负荷是选择用户电源进线及其中一、二次设备的基本依据,也是计算用户功率因数和用户用电容量的基本依据。

(1)按逐级计算法确定用户的计算负荷

如前面图 3-9 所示,用户的计算负荷(这里举有功负荷为例) $P_{30.1}$,应该是高压配电所母线上所有高压配电线计算负荷之和,再乘上一个综合系数(同时系数) K_{Σ} 。而高压配电线的计算负荷 $P_{30.2}$,则是该线路所供车间变电所低压侧的计算负荷 $P_{30.3}$,加上变压器的功率损耗 ΔP_T 和高压配电线的功率损耗 ΔP_{WL1} 。其余依此类推。但是对一般中小用户的供配电系统来说,由于其高低压配电线路一般不长,因此在确定用户计算负荷时往往略去不计。

(2)按需要系数法确定用户的计算负荷

将用户的用电设备总容量 P_e (不含备用设备容量)乘上一个需

	<p>要系数 K_d,即得到用户的有功计算负荷,即</p> $P_{30}=K_d P_e(3-44)$ <p>附表 11 列出了部分企业的需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时值,供参考。</p> <p>用户的无功计算负荷 Q_{30}、视在计算负荷 S_{30} 和计算电流 I_{30},分别按前式(3-13)、式(3-14)和式(3-15)计算。</p> <p>(3)按负荷密度法估算用户的计算负荷</p> <p>将用户的平均负荷密度 $a(W/m^2)$乘以建筑面积 $A(m^2)$,即得到用户的有功计算负荷 (W),即 $P_{30}=aA(3-45)$</p> <p>各类用户的平均负荷密度可由有关设计手册查得,或根据同类用户的实测资料分析确定。</p> <p>(4)按年产量估算用户的计算负荷</p> <p>将用户年产量 B乘以单位产品的耗电量 b,即得到用户全年的耗电量:</p> $W_a=bB(3-46)$ <p>各类生产企业的单位产品耗电量指标可由有关设计手册查得,也可根据类似用户的实测资料分析确定</p>	
<p>学生讨论 (15min)</p>	<p>三、小组讨论（计划、决策）</p> <p>每个班分为 6 个小组,对教师授课内容进行讨论,学生可以当场向教师提问不明之处,再由教师视情况而定,采用集中讲解,还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。</p>	
<p>学生练习 (25min)</p>	<p>四、学生练习计算电力负荷（实施）</p> <p>学生练习,老师指导,对部分同学的错误答案予以提示或指正。</p>	
<p>教师总结 评价（10）</p>	<p>五、教师总结评价（检查、评价）</p> <p>(1) 由小组学生代表回答计算结果,答不出的再由其它组成员进</p>	

<p>作业 (5min)</p>	<p>行补答。</p> <p>(2) 教师点评或示范：教师根据学生的知识掌握情况，再次补充、讲解理论、集体修改学生在讲述中的错误。</p> <p>六、布置作业（电子作业，课下完成）</p>	
<p>小结</p>		
<p>作业</p>	<p>课后习题 2—7</p>	

课 题	无功功率计算及补偿			课 次	8
授课班级	19 机电一体化班级	学时	2	上课地点	钉钉直播平台
教学目标	能力目标	知识目标		素质目标	
	1. 能根据用户需求, 计算无功功率; 2. 掌握无功功率补偿方法。	1. 无功功率计算及补偿		1、培养学生的创新精神与实践能力; 2、促进学生个性发展, 培养学生分析问题与解决问题的能力; 3、培养学生的团队合作精神; 4、培养学生的学习能力。	
教学重点与难点	无功功率计算及补偿				
教学过程	主要教学内容				备注
项目引入	<p>一、供配电系统的功率损耗计算</p> <p>在确定各用电设备组的计算负荷后, 如果要确定整个用户如一个企业或一个车间的计算负荷, 就需要逐级计入有关线路和变压器的功率损耗, 如图 3-9 所示。例如要确定低压配电线 WL2 首端的有功计算负荷 $P_{30.4}$, 就应将其末端有功计算负荷 $P_{30.5}$ 加上该线路的有功损耗 ΔP_{WL2}。如果要确定高压配电线 WL1 首端的有功计算负荷 $P_{30.2}$, 就应将车间变电所低压侧的有功计算负荷 $P_{30.3}$ 加上变压器 T 的有功损耗 ΔP_T, 再加上高压配电线 WL1 的有功损耗 ΔP_{WL1}。</p>				引入项目, 明确任务
讲授 (25 min)	<p>The diagram illustrates a power distribution system. At the top, a high-voltage busbar is labeled $P_{30.1}$ 高压配电所. A vertical line labeled WL1 connects this busbar to a transformer T. The power flow is labeled $P_{30.2}$ at the top of WL1 and ΔP_{WL1} for the loss in WL1. The transformer T is labeled ΔP_T 车间变电所. Below the transformer, a low-voltage busbar is labeled $P_{30.3}$. From this busbar, a vertical line labeled WL2 goes down to another busbar labeled $P_{30.4}$. The power flow is labeled $P_{30.4}$ at the top of WL2 and ΔP_{WL2} for the loss in WL2. From the $P_{30.4}$ busbar, a vertical line goes down to a busbar labeled $P_{30.5}$. From the $P_{30.5}$ busbar, a vertical line goes down to a busbar labeled $P_{30.6}$. From the $P_{30.6}$ busbar, four horizontal lines lead to four motor groups, each represented by a circle with the letter 'M' inside. The label '用电设备组' (Electrical Equipment Group) is centered below these motors.</p>				

图 3-9 企业供电系统中各部分的计算负荷和功率损耗
(只示出其有功部分)

(一)线路的功率损耗计算

线路的功率损耗包括有功和无功两部分。

1.线路的有功功率损耗计算

有功功率损耗是电流通过线路电阻所产生的,按下式计算:

$$\Delta P_{WL}=3I_{30}^2R_{WL} \quad (3-35)$$

式中, I_{30} 为线路的计算电流; R_{WL} 为线路每相的电阻。

电阻 $R_{WL}=R_0l$,其中 l 为线路长度, R_0 为线路单位长度的电阻值,可查有关手册或产品样本。

2.线路的无功功率损耗计算

无功功率损耗是电流通过线路电抗所产生的,按下式计算:

$$\Delta Q_{WL}=3I_{30}^2X_{WL} \quad (3-36)$$

式中, I_{30} 为线路的计算电流; X_{WL} 为线路每相的电抗。

电抗 $X_{WL}=X_0l$,其中 l 为线路长度, X_0 为线路单位长度的电抗值,也可查有关手册或产品样本。

所谓几何均距,是指三相线路各相导线之间距离的几何平均值。如图 3-10a 所示 A、B、C 三相线路,其线间几何均距为

$$a_{av}=\sqrt[3]{a_1a_2a_3} \quad (3-37)$$

如果导线为等边三角形排列(见图 3-10b),则 $a_{av}=a$;如果导线为水平

等距排列(见图 3-10c),则 $a_{av}=\sqrt[3]{2}a=1.26a$ 。

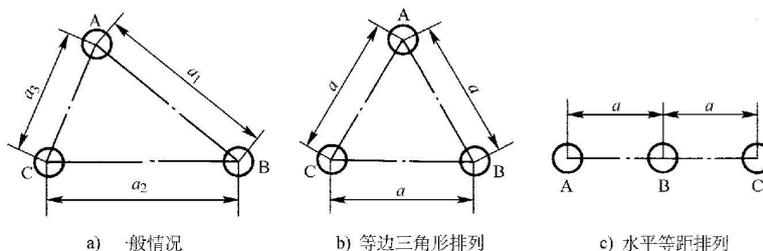


图 3-10 三相架空线路的线间距离

(二)变压器的功率损耗计算

变压器的功率损耗也包括有功和无功两部分。

1.变压器的有功功率损耗计算

变压器的有功功率损耗由两部分组成:

(1)铁心中的有功功率损耗 简称“铁损”。它在变压器一次绕组的外施电压和频率不变的条件下是固定不变的,与负荷无关。铁损可由变压器空载试验测定。变压器的空载损耗 ΔP_0 可认为就是铁损 ΔP_{Fe} ,因为变压器的空载电流 I_0 很小,在一次绕组中产生的有功功率损耗很小,可略去不计。

(2)绕组中的功率损耗 通称“铜损”。它与负荷电流(或功率)的平方成正比。铜损可由变压器短路试验测定。变压器的短路损耗(亦

利用多媒体讲授

重在掌握应用

称负荷损耗) ΔP_k 可认为就是铜损 ΔP_{Cu} , 因为变压器二次侧绕组短路时, 一次绕组的短路电压(亦称阻抗电压) U_k 很小, 其在铁心中引起的有功功率损耗很小, 可略去不计。

因此, 变压器的有功功率损耗为:

$$\Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \left(\frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \approx \Delta P_0 + \Delta P_k \left(\frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \quad (3-38)$$

式中, $S_{N.T}$ 为变压器的额定容量; S_{30} 为变压器的计算负荷。

2. 变压器的无功功率损耗计算

变压器的无功功率损耗也由两部分组成:

(1) 用来在铁心中产生磁通的无功功率

它只与一次绕组电压有关, 与负荷无关。其值与励磁电流或近似地与空载电流成正比, 即

$$\Delta Q_0 \approx \frac{I_0\%}{100} S_{N.T} \quad (3-39)$$

式中, $I_0\%$ 为变压器空载电流占额定一次电流的百分值。

(2) 消耗在变压器绕组电抗上的无功功率 额定负荷下的这部分无功损耗用 ΔQ_N 表示。由于变压器的电抗远大于电阻, 因此 ΔQ_N 近似地与阻抗电压(即短路电压)成正比, 即

$$\Delta Q_N \approx \frac{U_2\%}{100} S_{N.T} \quad (3-40)$$

式中, $U_2\%$ 为变压器阻抗电压占额定一次电压的百分值。

这部分无功损耗与负荷电流(或功率)的平方成正比。

因此, 变压器的无功功率损耗为:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_N \left(\frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \approx S_{N.T} \left[\frac{I_0\%}{100} + \frac{U_2\%}{100} \left(\frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \right] \quad (3-41)$$

以上式(3-38)式(3-41)中的 ΔP_0 、 ΔP_k 、 $I_0\%$ 和 $U_2\%$ (即 $U_k\%$) 等均可从有关手册或产品样本中查得。S9 系列和 SC9 系列变压器的主要技术数据见附表 1。

在供电设计中, 可采用下列简化公式来计算现在应用的各种低损耗电力变压器的功率损耗:

$$\text{有功功率损耗 } \Delta P_T \approx 0.01 S_{30} \quad (3-42)$$

$$\text{无功功率损耗 } \Delta Q_T \approx 0.05 S_{30} \quad (3-43)$$

式中, S_{30} 为变压器的计算负荷

二、用户计算负荷的确定

用户计算负荷是选择用户电源进线及其中一、二次设备的基本依据, 也是计算用户功率因数和用户用电容量的基本依据。

用户的无功补偿及补偿后的用户计算负荷

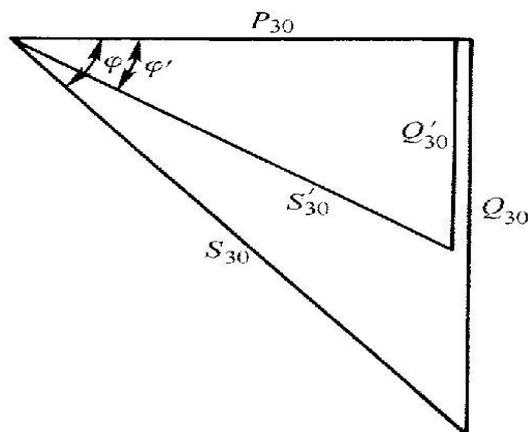


图 3-11 功率因数的提高与无功功率和视在功率的变化

图 3-11 示出功率因数的提高与无功功率和视在功率变化的关系。假设功率因数由 $\cos \phi$ 提高到 $\cos \phi'$, 这时在用户需用的有功功率 P_{30} 固定不变的条件下, 无功功率将由 Q_{30} 减小到 Q'_{30} , 视在功率将由 S_{30} 减小到 S'_{30} 。相应地负荷电流 I_{30} 也得以减小, 这将使系统的电能损耗和电压损耗均相应地降低, 从而达到既节约电能又提高电压质量的效果, 同时可使系统选用较小容量的供电设备和导线、电缆。由此可见, 提高功率因数对电力系统是大有好处的。

三、小组讨论（计划、决策）

学生讨论
(15min)

每个班分为 6 个小组, 对教师授课内容进行讨论, 学生可以当场向教师提问不明之处, 再由教师视情况而定, 采用集中讲解, 还是小部分讲解或课后辅助的形式均可。

四、学生练习计算电力负荷（实施）

学生练习
(25min)

学生练习, 老师指导, 对部分同学的错误答案予以提示或指正。

五、教师总结评价（检查、评价）

教师总结
评价 (10)

(1) 由小组学生代表回答计算结果, 答不出的再由其它组成员进行补答。

<p>作业 (5min)</p>	<p>(2) 教师点评或示范：教师根据学生的知识掌握情况，再次补充、讲解理论、集体修改学生在讲述中的错误。</p> <p>六、布置作业（电子作业，课下完成）</p>	
<p>小结</p>		
<p>作业</p>	<p>课后习题 2—6</p>	