

TM7
2

建材院校试用教材

号81字登海(限)

工业企业供电

TM707.3

印丕勤 主编

17

(鄂)新登字 13 号

图书在版编目(CIP)数据

工业企业供电/印丕勤主编. —武汉:武汉工业大学出版社,1995.12
ISBN 7-5629-1029-4

I. 工… II. 印… III. 工业企业. —供电-配电系统-建材院校-教材 IV. TM72

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞珈路14号 邮编 430070)

沙市市印刷一厂印刷

(如有差页、错页等印装质量问题,可凭书向印刷厂兑换)

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 27.5 字数: 582千字

1995年12月第1版 1995年12月第1次印刷

印数: 1-5000

定价: 27.5元

前 言

本书是为建材行业院校工业企业自动化专业编写的教材,适用于大专、中专、职业大学、业余大学等层次的教学。

本书主要内容包括:负荷计算;短路电流计算;高、低压配电电器;工业企业供(配)电系统;导线;电缆和电气设备的选择;继电保护装置;变电所的测量、控制、信号回路和自动装置;计划用电和功率因数的提高;保护接地和防雷保护;工厂电气照明等10章。本书以讲述基本原理为主,有关实际安装和维护运行方面的知识,建议在实习中加以充实。通过理论教学,使学生在应用理论和专业知识解决工程技术问题的能力方面得到初步训练,最后宜通过课程设计进一步总结和提高,以适应中、小型工厂与车间供配电设计的需要。

书中内容若与今后国家或上级部门正式的规程、规范有不同之处,应以国家或上级部门的规程、规范为准。

本书由上海建筑材料工业学院印丕勤主编。第四章和第八章由福建省建材工业干部学校王宗华提供初稿,印丕勤改写,第十章由湖北省建筑材料工业学校王念洪编写,其余部分均由印丕勤编写。

在编写过程中,华东建筑设计院温伯银副总工程师、上海建筑设计研究院王霓副主任工程师、上海市邮电设计院陈祖巽主任工程师、上海建筑材料工业学院建筑设计院郭端雄、钱雪峰工程师等给予大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误和缺点在所难免,敬请广大师生和读者批评指正。

印丕勤

编 者

1994.12.25.

目 录

711	绪论	1
811	第一章 负荷计算	15
811	第一节 用电设备按工作制的分类	15
101	第二节 负荷曲线的基本概念	16
1001	第三节 按需用系数法确定计算负荷	19
1001	第四节 按二项式法确定计算负荷	27
1001	第五节 单相用电设备组计算负荷的确定	31
1001	第六节 功率损耗和电能损耗的计算	35
1001	第七节 工业企业总计算负荷的确定	38
1001	第八节 尖峰电流的计算	42
1001	习 题	43
1002	第二章 短路电流计算	45
1002	第一节 概述	45
1002	第二节 无限大容量系统三相短路电流的变化过程	47
1002	第三节 无限大容量系统三相短路电流的计算	54
1002	第四节 无限大容量系统两相短路电流的计算	62
1002	第五节 低压配电系统短路电流的计算	63
1002	第六节 短路电流的效应	69
1002	习 题	72
1002	第三章 高、低压配电电器	75
1002	第一节 电弧的形成与灭弧原理	75
1002	第二节 刀开关	78
1002	第三节 熔断器	80
1002	第四节 低压断路器	86
1002	第五节 高压隔离开关	91
1002	第六节 高压负荷开关	93
1002	第七节 高压断路器	94
1002	第八节 互感器	100
1002	第九节 电站绝缘子	109
1002	第十节 高(低)压开关柜	111
1002	习 题	116
181	附录	117
888	参考文献	118

第四章 工业企业供(配)电系统

第一节	电力负荷的分级及其对供电电源的要求	117
第二节	变(配)电所的主接线	118
第三节	厂区高压配电方式	125
第四节	车间低压配电方式	129
第五节	变(配)电所的类型、布置和结构	131
第六节	工厂电力线路的结构和敷设	143
第七节	车间电力系统图和平面图	164
习 题		166
第五章 导线、电缆和电气设备的选择		
第一节	导线和电缆的选择	167
第二节	母线的选择	186
第三节	高压配电电器的选择	190
第四节	低压熔断器的选择	199
第五节	低压断路器的选择	201
习 题		205
第六章 继电保护装置		
第一节	继电保护装置的任务及对它的要求	207
第二节	继电保护装置的常用继电器	209
第三节	变电所的操作电源	216
第四节	单端供电线路的保护	218
第五节	电力变压器的保护	234
第六节	高压电动机和电力电容器的保护	250
习 题		255
第七章 变电所的测量、控制、信号回路和自动装置		
第一节	二次电路接线图	257
第二节	测量系统	263
第三节	断路器的控制回路	265
第四节	事故信号和预告信号	274
第五节	自动重合闸装置	277
第六节	备用电源自动投入装置	280
习 题		283
第八章 计划用电和功率因数的提高		
第一节	计划用电和工业企业合理用电的常用措施	284
第二节	提高功率因数的方法	286

第三节	采用并联电容器提高功率因数	288
第四节	采用同步电动机和进相机提高功率因数	296
第五节	电力变压器的经济运行	300
习题		302
第九章 保护接地和防雷保护		
第一节	概述	304
第二节	接地的类型和基本工作原理	308
第三节	漏电保护器	317
第四节	防雷保护	320
第五节	接地装置的设计	334
习题		345
第十章 工厂电气照明		
第一节	电气照明的基本知识	347
第二节	电光源和照明灯具	349
第三节	照度标准	359
第四节	照明设计	362
第五节	车间照明系统图和平面图	373
习题		375
附 录		
附录 1-1	LJ 型铝绞线每千米电阻和电抗值	附录
附录 1-2	LGJ 型钢芯铝绞线每千米电阻和电抗值	附录
附录 1-3	电力电缆每千米电阻和电抗值	附录
附录 1-4	SL ₇ 系列三相油浸自冷式铝线低损耗电力变压器的主要技术参数	附录
附录 2-1	矩形母线的阻抗	附录
附录 2-2	室内明线及穿管的铜(铝)芯导线的阻抗	附录
附录 3-1	HD、HS 系列刀开关的规格	附录
附录 3-2	RC1A 系列熔断器的技术数据	附录
附录 3-3	RM10 系列熔断器的技术数据	附录
附录 3-4	RT0、RL1 系列熔断器的技术数据	附录
附录 3-5	RN1、RN2 和 RN3 系列户内高压限流熔断器的技术数据	附录
附录 3-6	RW3—10 和 RW4—10 型户外高压跌落式熔断器的技术数据	附录
附录 3-7	DW10 系列万能式低压断路器的技术数据	附录
附录 3-8	DW15 系列万能式低压断路器的技术数据	附录
附录 3-9	DZ15—40 型、DZ15—60 型和 DZ10 系列塑料外壳式低压断路器的技术数据	附录
附录 3-10	户内高压隔离开关的技术数据	附录
附录 3-11	FN3 系列户内压气式高压负荷开关的技术数据	附录
附录 3-12	高压少油断路器的技术数据	附录
附录 3-13	CD10 型直流电磁操动机构的分合闸电磁线圈的技术数据	附录
附录 3-14	电流互感器的技术数据	附录

688	附录 3-15 电压互感器的技术数据	附录 3-15
692	附录 3-16 高压支柱绝缘子的技术数据	附录 3-16
698	附录 3-17 高压穿墙套管的技术数据	附录 3-17
708	附录 3-18 GG-1A(F)-I 型高压开关柜主回路方案(部分)	附录 3-18
	附录 3-19 PGL1 型交流低压配电屏主回路方案(部分)	附录 3-19
	附录 4-1 常用电气图形符号(部分)	附录 4-1
	附录 4-2 电力设备在电力平面上的标注方式	附录 4-2
100	附录 5-1 BLV 型聚氯乙烯绝缘电线穿钢管敷设时允许的长期工作电流(A)	附录 5-1
808	附录 5-2 BLV 型聚氯乙烯绝缘电线穿硬塑料管敷设时允许的长期工作电流(A)	附录 5-2
718	附录 5-3 聚氯乙烯绝缘电线明敷时允许的长期工作电流(A)	附录 5-3
852	附录 5-4 铝芯电力电缆空气中敷设时允许的长期工作电流(A)	附录 5-4
122	附录 5-5 铝芯电力电缆直埋于土壤中敷设时允许的长期工作电流(A)	附录 5-5
218	附录 5-6 LJ、LGJ 型裸铝绞线、钢芯铝绞线允许的长期工作电流(A)	附录 5-6
	附录 5-7 环境温度校正系数	附录 5-7
	附录 5-8 导线穿管、电缆在空气中或在土壤中多根并列敷设的校正系数	附录 5-8
718	附录 5-9 土壤校正系数	附录 5-9
818	附录 5-10 母线在不同环境温度时允许的长期工作电流(A)	附录 5-10
828	附录 6-1 DL-10 系列电流继电器的主要技术数据	附录 6-1
838	附录 6-2 GL-10、GL-20 系列电流继电器的主要技术数据	附录 6-2
848	附录 6-3 DJ-100 系列电压继电器的主要技术数据	附录 6-3
858	附录 6-4 DZ-10 系列中间继电器的主要技术数据	附录 6-4
868	附录 6-5 DS-110、DS-120 系列时间继电器的主要技术数据	附录 6-5
878	附录 6-6 DX-11 系列信号继电器的技术数据	附录 6-6
888	附录 7-1 电气技术中的文字符号(部分)	附录 7-1
	附录 8-1 LPLC 型低压就地补偿装置的技术数据	附录 8-1
	附录 8-2 PZJ 系列低压无功自动补偿屏的技术数据	附录 8-2
	附录 8-3 HPLC 型高压无功就地补偿装置的技术数据	附录 8-3
	附录 8-4 GR-1 型高压电容器柜的一次线路方案	附录 8-4
	附录 8-5 并联电容器的主要技术数据	附录 8-5
	附录 9-1 DZ15L 系列漏电断路器的技术数据	附录 9-1
	附录 9-2 氧化锌避雷器的技术数据	附录 9-2
	附录 10-1 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值	附录 10-1
	附录 10-2 工业企业辅助建筑照度标准值	附录 10-2
	附录 10-3 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值	附录 10-3
	附录 10-4 工业企业室内一般照明灯具的最低悬挂高度	附录 10-4
	附录 10-5 搪瓷配照灯的利用系数及空间等照度曲线	附录 10-5
专业用语中英文对照		
参考文献		

绪论

工业企业都有大量的机械设备。设备要运行，一定要有动力。现代工业几乎都采用电能作为动力。为了保证安全操作、保障工人的身心健康，也需要良好的照明。目前电气照明也是较完善的照明。这是因为电能不仅具有能源丰富、传输简便、容易控制等优点，而且可以为实现生产过程自动化，减轻劳动强度，提高劳动生产率、加快社会主义建设的步伐，提供物质和技术基础。

工业企业的电能一般都来源于电力系统。为了保证用电设备的正常运行，供电部门对用户应当保证一定的电能质量。

下面简要介绍电力系统、额定电压和电能质量等基本知识，并介绍本课程的目的、任务和学习方法。

一、电力系统概述

电能是二次能源，也就是说，它是由其他能源转换而来的。工业企业用的电能主要来源于发电厂。发电厂将煤、水力、核能等动力资源转换为电能。按照发电厂所使用的能源不同，可以分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等等。

现代电力系统中运行的发电厂，主要是火力发电厂和水力发电厂，原子能发电厂也日趋增多。

(1) 火力发电厂。火力发电厂的能源有煤、石油或天然气，我国火电厂的能源是煤。火力发电厂简称火电厂或火电站。火电厂的能源有煤、石油或天然气，我国火电厂的能源是煤。

火电厂的生产过程如图 0-1 所示。为了提高发电效率，现代火电厂都把煤粉后燃烧，将锅炉 1 中的水烧成高温、高压的蒸汽，通过管道将高温、高压蒸汽引入汽轮机 2，使与它同轴的发电机 3 旋转发电。在汽轮机中做功的蒸汽进入凝汽器 4 凝结成水，再由凝结水泵 5 打入除氧器 7，在除氧器中水被汽轮机抽汽 6 加热并除去水中的氧，由给水泵 8 送回锅炉。通过这样的循环过程，在锅炉中将煤的化学能转换为蒸汽的热能，在汽轮机中将蒸汽的热能转换为机械能，又在发电机中将机械能转换为电能，供给电能用户。

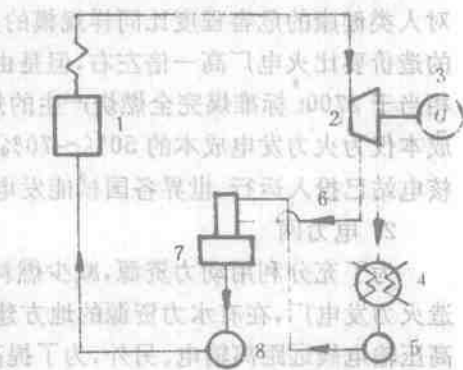


图 0-1 火力发电厂生产过程

有的火电厂除了供应电能外，还向电厂附近的工业企业和居民供应热能。这种兼供热能的火电厂，称为热电厂。

(2) 水力发电厂

水力发电厂简称水电厂或水电站。水电厂的能源是水，它是将水流的位能通过水轮发电机

转换为电能。因为水电站的发电能力与作用于水轮发电机的净水头(即水位差或落差)和流过水轮发电机的水量(即流量)的乘积成正比,所以,为了用水力发电,必须在水电站上、下游集中一定的落差,形成发电水头。按形成集中落差方式的不同,水电站可以分为三类:

堤坝式水电站。它是在河道上建造很高(可达几百米)的坝或闸,形成水库,提高上游水位,使坝的上下游形成尽可能大的水头,用输水管或隧道把水库中的水引入厂房,通过水轮发电机将水能转换为电能,我国很多大型水电站,如新安江水电站和刘家峡水电站属于这种类型的水电站。

引水式水电站。它是在具有相当坡度的河段上游筑一低坝,拦住河水,然后用引水道(渠或隧道),将水直接引到厂房内,通过水轮发电机将水能转换为电能。我国很多中、小型水电站属于这种类型的水电站。

混合式水电站。它是堤坝式和引水式水电站的组合,兼有两种水电站的特点,其一部分落差由拦河坝集中,另一部分落差由引水道集中。

水电站的投资比火电厂大,建设周期也长,但它不需要消耗燃料,并且生产过程简单,检修工作量较少,运行时所需工作人员也少,所以成本较火电厂低得多。再则,兴建水电站不仅可以发电,而且还可以满足其他水利事业(如防洪、灌溉、航运和渔业等)的要求。

(3) 原子能发电厂

原子能发电厂也称为核电厂(站)。核电站的能源是核燃料铀和钍。它的生产过程与火力发电厂的生产过程类似,只不过它是在原子反应堆中,将核燃料裂变产生的大量热能用导热物质传到换热器,使换热器内水管中的水变成高温、高压蒸汽,再通过管道将蒸汽引入汽轮机做功,使与它同轴的发电机旋转发电。

由于核能燃料的储藏量大,在地壳表面5km深的地层内可以开采得到的铀和钍提供的能量,相当于地球上储藏的煤、石油和天然气能量总和的几十倍,而且海水中也可提取能够长期满足核能发电所需要的核燃料。核电站是安全的,按照目前的技术水平,完善的设计和严格遵守安全操作规程,完全能够保证核电站在正常运行情况下,无论是运行人员所接受的放射性剂量,或向周围环境排放的放射性废物,都可以做到远低于安全标准规定的限度。实际上,核电站对人类健康的危害程度比同样规模的火电厂小得多。核电站的经济性比火电厂好,虽然核电站的造价要比火电厂高一倍左右,但是由于核燃料的能量很大,1kg铀-235全部裂变释放的热量相当于2700t标准煤完全燃烧产生的热量,可以大大节约燃料的运输和储存费用,使核发电的成本仅为火力发电成本的50%~70%。因此,从60年代开始,核能发电迅速发展,我国的秦山核电站已投入运行。世界各国核能发电的比重将逐步增大,预计最终将会超过总发电量的1/3。

2. 电力网

为了充分利用动力资源,减少燃料运输费用,降低发电成本,所以在有燃料资源的地方建造火力发电厂,在有水力资源的地方建造水电站,但是,电能用户往往远离发电厂,所以必须用高压输电线远距离输电。另外,为了提高系统运行的可靠性和经济性,保证供电质量,减少备用机组的总容量,也需要用高压输电线将各发电厂连接起来。

输送和分配电能设备的综合,称为电力网,其中包括各种电压的输电线和变电所,它的任务是将电能从发电厂输送到电能用户。各级电压电力网的经济输送容量、输送距离和适用范围如表0-1所示。

表 0-1 各级电压电力网的经济输送容量、输送距离和适用范围

额定电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)	适用范围
0.22/0.38	0.1 以下	0.6 以下	低压动力,三相照明
3	0.1~1.0	1~3	高压电动机
6	0.1~1.2	4~15	发电机,高压电动机
10	0.2~2.0	6~20	配电线路,高压电动机
35	2.0~10	20~50	县级输电网,用户配电网
110	10~50	50~150	地区级输电网,用户配电网
220	100~500	100~300	省、区级输电网
330	200~1000	200~600	省、区级输电网,联合系统输电网
500	1000~1500	150~850	省、区级输电网,联合系统输电网
750	2000~2500	500 以上	联合系统输电网

3. 电力系统

电力网将发电厂(指发电机和配电装置)与电能用户连接起来的整体,称为电力系统,如图 0-2 所示。

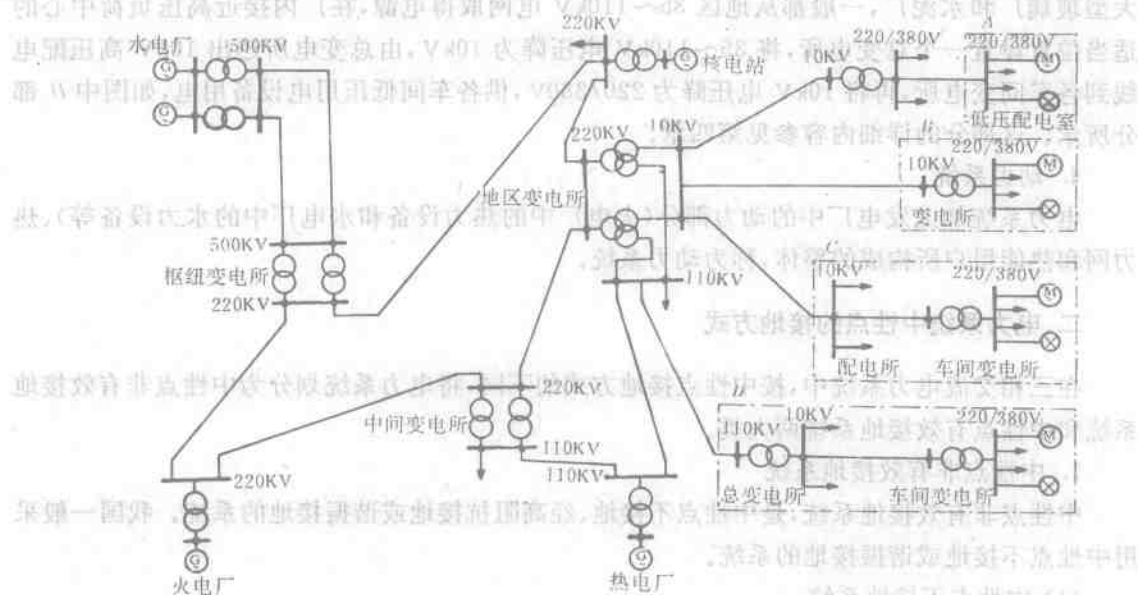


图 0-2 电力系统示意图

变电所由电力变压器和配电装置组成,它的任务是接受电能、变换电源电压和分配电能。根据变电所在电力系统中的地位 and 作用,可以分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所、终端

变电所和企业变电所等。枢纽变电所在电力系统中处于强力枢纽的地位,它汇集多个发电厂和大容量的联络线,并有多路出线,其一次电压为 220~500kV,全所停电,将会引起系统解列,造成大面积停电。中间变电所一般设置于高压或超高压主要环形线路或电力系统主要干线的接口处,它的高压侧有电力系统功率穿越通过,此外还降压供给附近地区用电,一般出线不多。地区变电所一般供给一个地区或中等城市用电,一次电压一般为 220kV,二次电压一般为 35~110kV。终端变电所位于用电负荷附近,供给附近的用户用电,一次电压一般为 35~110kV,二次电压为 10kV。企业变电所是企业的专用变电所,用以供给本企业用电设备用电。事实上,大型企业的总变电所就是终端变电所。

图 0-2 中的点划线框内部分都属工业企业供配电系统。对于用电负荷小的企业,当用电设备容量在 250kW 或需要变压器容量在 160kVA 及以下时,应直接以 220/380V 三相交流电供电,在接近负荷中心的适当位置设立低压配电室,将电能分配到各个小车间供低压用电设备用电,如图中的 A 部分所示。对于用电负荷较小(供电容量不超过 1250kVA)的企业,如小型玻纤厂和水泥厂,可以从地区 10kV 电网取得电源,在厂内接近负荷中心的适当地方设置一个变电所,将 10kV 电压降为 220/380V,供全厂各车间低压用电设备用电,如图中 B 部分所示。对于用电负荷较大(供电容量大于 1250kVA)的企业,当需要设立多个车间变电所时,一般可以从地区 10kV 电网取得电源,在厂内接近高压负荷中心的适当地方建造一个 10kV 高压配电所,由配电所送出 10kV 高压配电线到各个车间变电所,将 10kV 电压降为 220/380V,供各个车间低压用电设备用电,如图中 C 部分所示。对于用电负荷大(供电容量大于 3150kVA)的企业,如大型玻璃厂和水泥厂,一般都从地区 35~110kV 电网取得电源,在厂内接近高压负荷中心的适当位置设置一个总变电所,将 35~110kV 电压降为 10kV,由总变电所送出 10kV 高压配电线到各车间变电所,再将 10kV 电压降为 220/380V,供各车间低压用电设备用电,如图中 D 部分所示。这部分的详细内容参见第四章。

4. 动力系统

电力系统加上发电厂中的动力部分(火电厂中的热力设备和水电厂中的水力设备等)、热电厂和热能用户所构成的整体,称为动力系统。

二、电力系统中性点的接地方式

在三相交流电力系统中,按中性点接地方式的不同,将电力系统划分为中性点非有效接地系统和中性点有效接地系统两大类。

1. 中性点非有效接地系统

中性点非有效接地系统,是中性点不接地、经高阻抗接地或谐振接地的系统。我国一般采用中性点不接地或谐振接地的系统。

(1) 中性点不接地系统

三相交流系统中,中性点不直接与大地相接者,称为中性点不接地系统,如图 0-3(a)所示。它在正常运行时,每相导线对地的电压均为相电压,这是因为每相导线对地均有分布电容存在,相当于一个三相对称电容负载接于三相电路的缘故。

电源供给的电流 I_s , 等于负载电流 I_L 与电网分布电容电流 I_c 的相量和。图 0-3(b)中给出了 A 相中两个电流 I_{L_A} 与 I_{c_A} 的相量和 I_{s_A} 。因为三相电流的大小和相位仍是对称的,所以三相电流的相量和等于零。

这种系统 在发生单相接地(如一相导线对地绝缘破坏)故障时,另外两个非故障相对地的电压升高为原来正常时的 $\sqrt{3}$ 倍,即线电压,如图 0-4 所示。这时,虽然存在单相接地故障,但是没有破坏三相交流线电压的平衡对称关系,所以用电设备仍然可以继续运行。可是,这种单相接地故障长期存在而未被觉察是危险的,因为未接地相对地电压的升高,可能损坏它们的绝缘,导致两相接地故障,所以规定中性点不接地系统发生单相接地故障时,允许暂时继续运行两小时,值班人员应当在两小时内查出接地故障,并予以排除,否则应当切除该线路的运行。

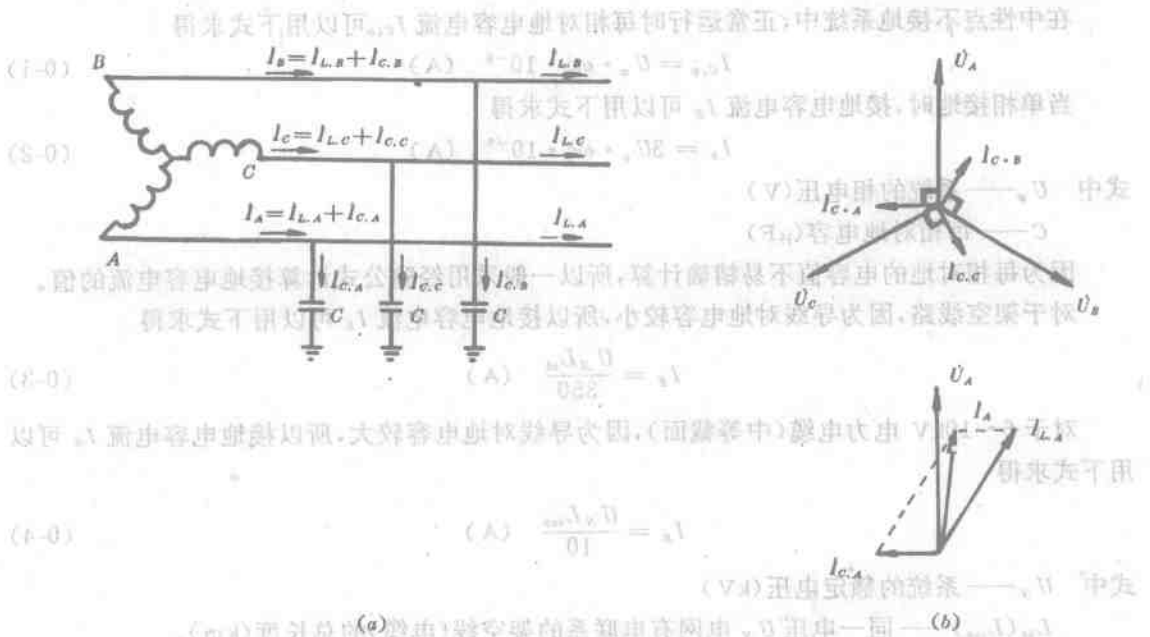


图 0-3 中性点不接地系统正常运行时导线对地电容电流示意图

(a) 正常运行时系统示意图; (b) 相量图

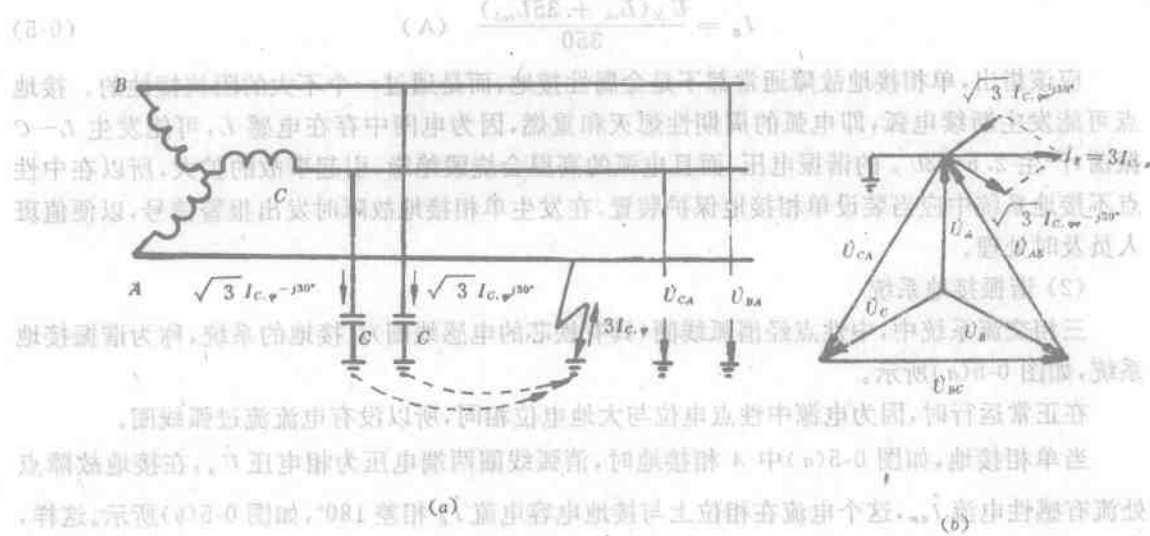


图 0-4 A 相接地时的中性点不接地系统

(a) 系统示意图; (b) 相量图

现在,根据图 0-4 分析接地点的电流情况。例如, A 相导线接地时,三相导线对地电压的平衡关系被破坏了, A 相对地电压等于零, B 相及 C 相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,于是 B 相与 C 相的对地电容电流也分别增大为原来正常运行时电容电流 I_{c_0} 的 $\sqrt{3}$ 倍,并在相位上分别超前于 B 相与 C 相的对地电压(即 \dot{U}_{bA} 与 \dot{U}_{cA}) 90° ,如图 0-4(b) 所示。不难看出,通过接地点的电流(称为接地电容电流) I_g 应为 B 相与 C 相的对地电容电流的相量和,其值是正常运行时每相对地电容电流 I_{c_0} 的三倍。

在中性点不接地系统中,正常运行时每相对地电容电流 I_{c_0} 可以用下式求得

$$I_{c_0} = U_\varphi \cdot \omega C \cdot 10^{-6} \quad (\text{A}) \quad (0-1)$$

当单相接地时,接地电容电流 I_g 可以用下式求得

$$I_g = 3U_\varphi \cdot \omega C \cdot 10^{-6} \quad (\text{A}) \quad (0-2)$$

式中 U_φ ——系统的相电压(V)

C ——每相对地电容(μF)

因为每相对地的电容值不易精确计算,所以一般采用经验公式计算接地电容电流的值。

对于架空线路,因为导线对地电容较小,所以接地电容电流 I_g 可以用下式求得

$$I_g = \frac{U_N I_{g0k}}{350} \quad (\text{A}) \quad (0-3)$$

对于 6~10kV 电力电缆(中等截面),因为导线对地电容较大,所以接地电容电流 I_g 可以用下式求得

$$I_g = \frac{U_N I_{g0c}}{10} \quad (\text{A}) \quad (0-4)$$

式中 U_N ——系统的额定电压(kV)

$L_{0k}(L_{0c})$ ——同一电压 U_N 电网有电联系的架空线(电缆)的总长度(km)。

当同一电压 U_N 电网中既有架空线又有电缆时,总接地电容电流 I_g 应是上两式求得的接地电容电流之和,即

$$I_g = \frac{U_N (L_{0k} + 35L_{0c})}{350} \quad (\text{A}) \quad (0-5)$$

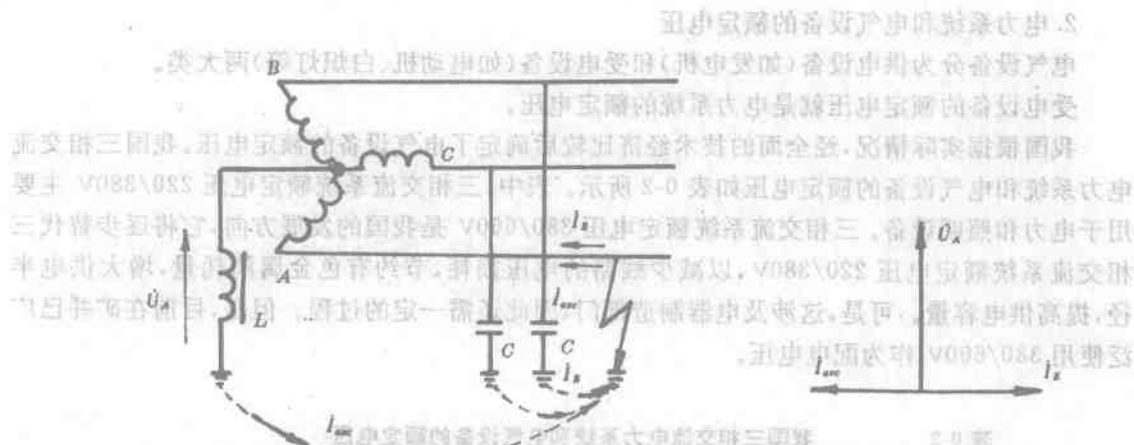
应该指出,单相接地故障通常都不是金属性接地,而是通过一个不大的阻抗接地的。接地点可能发生断续电弧,即电弧的周期性熄灭和重燃,因为电网中存在电感 L ,可能发生 $L-C$ 振荡,产生 $2.5 \sim 3U_N$ 的谐振电压,而且电弧的高温会烧毁绝缘,引起事故的扩大,所以在中性点不接地系统中应当装设单相接地保护装置,在发生单相接地故障时发出报警信号,以便值班人员及时处理。

(2) 谐振接地系统

三相交流系统中,中性点经消弧线圈(具有铁芯的电感线圈) L 接地的系统,称为谐振接地系统,如图 0-5(a) 所示。

在正常运行时,因为电源中性点电位与大地电位相同,所以没有电流流过弧线圈。

当单相接地,如图 0-5(a) 中 A 相接地时,消弧线圈两端电压为相电压 \dot{U}_A ,在接地故障点处流有感性电流 \dot{I}_{g0} ,这个电流在相位上与接地电容电流 \dot{I}_g 相差 180° ,如图 0-5(b) 所示。这样,如果装置的消弧线圈的电感合适,可以使 $\dot{I}_{g0} = -\dot{I}_g$,流经接地故障点的电流为零,从而消除了因接地故障点产生断续电弧而引起的危险后果。



项目	数值	项目	数值
电压	10kV	电压	10kV
电流	100A	电流	100A
功率	1000W	功率	1000W
频率	50Hz	频率	50Hz

图 0-5 A 相接地时的谐振接地系统

(a) 系统示意图; (b) 相量图

在谐振接地系统中,当发生单相接地故障时也没有破坏三相交流线电压的平衡对称关系,因此如同中性点不接地系统,允许谐振接地系统在发生单相接地故障时继续运行两小时。

中性点不接地系统适用于接地电容电流 I_c 小于 30A 的 3~10kV 和小于 5A 的 35kV 电网,当接地电容电流 I_c 超过上述数值时,宜采用谐振接地系统。

因为在中性点非有效接地系统中发生单相接地故障时,接地电容电流是不大的,所以中性点非有效接地系统也称为小电流接地系统。

2. 中性点有效接地系统

中性点直接接地或经一低值阻抗接地的系统,称为中性点有效接地系统。

在中性点有效接地系统中发生单相接地故障时,形成单相短路。被短路的相,其电压严重下降,并且电流很大(数千安或以上),所以中性点有效接地系统也称为大电流接地系统。

中性点直接接地系统在发生单相短路时,虽然不致使线路对地电压升高,但是会产生巨大的短路电流,不得通过保护装置迅速切除故障电路。在供电要求较高的场合,可以采用自动重合闸装置以提高供电的可靠性,因为许多情况下故障是非永久性的,没有必要长时间切断电源。

我国在 110kV 及以上的系统采用中性点直接接地系统,以降低线路和高压电器设备对地绝缘的要求,从而降低线路和高压电器设备的成本。另外,在 220/380V 低压配电系统中一般也采用中性点直接接地的运行方式。

三、电力系统和电气设备的额定频率和额定电压

1. 电力系统和电气设备的额定频率
我国规定,单相和三相交流电力系统及设备的额定频率为 50Hz,所涉及的全部电气设备都按此额定频率设计。

2. 电力系统和电气设备的额定电压

电气设备分为供电设备(如发电机)和受电设备(如电动机、白炽灯等)两大类。

受电设备的额定电压就是电力系统的额定电压。

我国根据实际情况,经全面的技术经济比较后确定了电气设备的额定电压。我国三相交流电力系统和电气设备的额定电压如表 0-2 所示。表中,三相交流系统额定电压 220/380V 主要用于电力和照明设备。三相交流系统额定电压 380/660V 是我国的发展方向,它将逐步替代三相交流系统额定电压 220/380V,以减少线路的电压损耗,节约有色金属消耗量,增大供电半径,提高供电容量。可是,这涉及电器制造部门,因此还需一定的过程。但是,目前在矿井已广泛使用 380/660V 作为配电电压。

表 0-2 我国三相交流电力系统和电气设备的额定电压

类别	受电设备与系统 额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压 (V)	127/220	230	127/220	133/230
	220/380	400	220/380	230/400
	380/660	690	380/660	400/690
高压 (kV)	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
	63	—	63	69
超高压 (kV)	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
—	750	—	750	—

注:斜线"/"之上为相电压,斜线之下为线电压,无斜线者均为线电压。

下面,对发电机和电力变压器的额定电压作简要说明。

(1) 发电机额定电压。

由表 0-2 可知,供电设备(发电机)的额定电压要比同级系统额定电压高 5%。因为受电设备(电动机)额定工况的允许电压偏差为±5%,整条线路允许的电压损耗设定为 10%,所以规定供电设备(发电机)的额定电压比同级系统的额定电压高 5%,以满足受电设备(电动机)额定工况的允许电压偏差要求,如图 0-6 所示。例如,系统的额定电压为 6kV 时,供给同级系统用电的发电机的额定电压应为 6.3kV。

(2) 电力变压器额定电压。

电力变压器具有受电设备和供电设备的双重地位。它的一次绕组是接受电能的,相当于受电设备;它的二次绕组是发送电能的,相当于供电设备。因此,变压器一次绕组的额定电压应当等于受电设备的额定电压。但是,当变压器直接接于供电设备(发电机)的输出端时,变压器一次绕组的额定电压应当等于供电设备(发电机)的额定电压。变压器二次绕组的输出电压应当比受电设备的额定电压高 5%。但是,由于变压器二次绕组的额定电压定义为空载时的电压,而变压器在额定负荷时其绕组内大约有 5%的阻抗压降。因此,如果变压器二次侧的供电线路不太长(如直接供电给受电设备),则变压器二次绕组的额定电压只需比受电设备额定电压高

5%，以补偿其内部压降；如果变压器二次侧的供电线路比较长，则变压器二次绕组额定电压应当高于受电设备额定电压 10%，除补偿变压器内部的 5% 阻抗压降外，还补偿线路的电压损耗。选择变压器额定电压的示例如图 0-7 所示。因为变压器 T1 的一次绕组直接与发电机的输出端相连，而它的二次侧供电线路较长，所以其一次绕组的额定电压 $U_{1N,T1}$ 应等于发电机的额定电压 $U_{N,G}$ ，为 10.5kV；其二次绕组的额定电压 $U_{2N,T1}$ 应当比系统的额定电压 $U_{N,WL}$

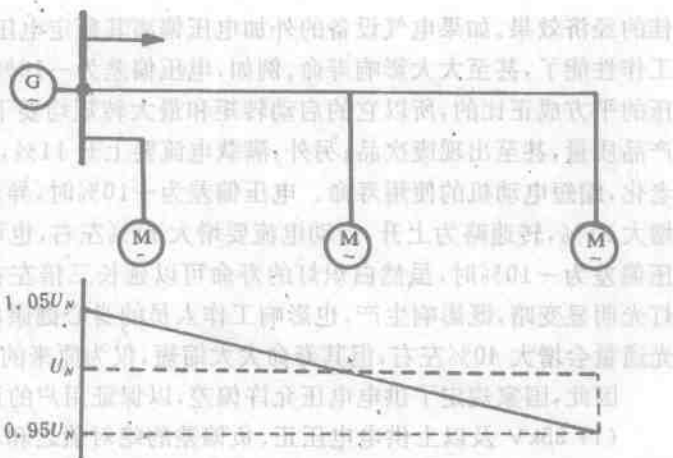


图 0-6 发电机供电线路上电压变化的示意图

高 10%，为 38.5kV。因为变压器 T2 的一次绕组经高压输电线受电，而它的二次侧供电线路较短，直接供高压电动机用电，所以其一次绕组的额定电压 $U_{1N,T2}$ 就是系统额定电压，为 35kV；其二次绕组的额定电压 $U_{2N,T2}$ 应当比受电设备额定电压 $U_{N,M}$ 高 5%，为 6.3kV。

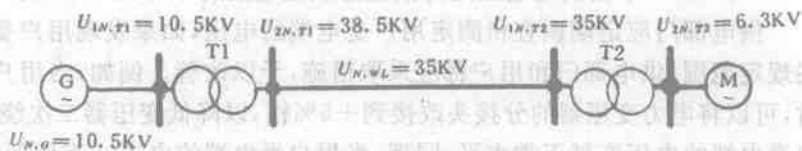


图 0-7 选择变压器额定电压示例

高 10%，为 38.5kV。因为变压器 T2 的一次绕组经高压输电线受电，而它的二次侧供电线路较短，直接供高压电动机用电，所以其一次绕组的额定电压 $U_{1N,T2}$ 就是系统额定电压，为 35kV；其二次绕组的额定电压 $U_{2N,T2}$ 应当比受电设备额定电压 $U_{N,M}$ 高 5%，为 6.3kV。

四、电能质量

为了保证电力系统中电气设备的正常运行，获得良好的社会效益，国家规定了供电给用户的电能质量指标。衡量电力系统电能质量的指标有：频率允许偏差、供电电压允许偏差、电压允许波动和闪变、电压正弦波形畸变率等有关参数。

1. 频率允许偏差

我国规定电力系统及设备的额定频率为 50Hz。当频率变化时，同步电动机转速随频率线性变化，异步电动机的转速也会随频率的增大或减小而略有上升或下降。另外，频率的变化对电气设备其他有关性能也有一定的影响。

因此，规定当电力系统容量为 300 万千瓦以上时，供电频率的允许偏差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；当电力系统容量为 300 万千瓦以下时，供电频率的允许偏差为 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，以免影响电气设备的正常运行。但是，用户不能自行调整频率，只能依靠发电厂调整供电频率。

2. 供电电压允许偏差

电压偏差 ΔU 定义为实测电压 U 与其相应的额定电压 U_N 之差，即

$$\Delta U = U - U_N \quad (0-6)$$

电压偏差百分数 $\Delta U(\%)$ 可用下式求得

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (0-7)$$

电气设备是按规定的额定电压设计的。当在额定电压下正常运行时，电气设备可以获得最

佳的经济效果。如果电气设备的外加电压偏离其额定电压运行,那么就不能获得设计所要求的工作性能了,甚至大大影响寿命。例如,电压偏差为-10%时,因为异步电动机的转矩是与端电压的平方成正比的,所以它的启动转矩和最大转矩均要下降19%,引起转速下降,可能会影响产品质量,甚至出现废品;另外,满载电流要上升11%,满载温升提高6%~7%,会加速绝缘老化,缩短电动机的使用寿命。电压偏差为+10%时,异步电动机的启动转矩和最大转矩均要增大21%,转速略为上升,启动电流要增大11%左右,也可能会影响设备的正常运行。又如,电压偏差为-10%时,虽然白炽灯的寿命可以延长三倍左右,但是它的光通量要下降1/3,致使灯光明显变暗,既影响生产,也影响工作人员的身心健康;电压偏差为+10%时,虽然白炽灯的光通量会增大40%左右,但其寿命大大缩短,仅为原来的1/4。

因此,国家规定了供电电压允许偏差,以保证用户的正常用电。规定如下:

- (1) 35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的10%;如果供电电压上、下偏差同号(同为正或负)时,按较大的偏差绝对值作为衡量依据。
- (2) 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ 。
- (3) 220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的+7%、-10%。

供电部门应定期调查和测定用户受电端的电压,如果发现用户受电端的电压变动超过上述规定范围,供电部门和用户都应采取措施,予以改善。例如,当用户受电端的电压一直偏高时,可以将电力变压器的分接头改接到+5%档,以降低变压器二次绕组的输出电压,从而使用户受电端的电压恢复正常水平;同理,当用户受电端的电压一直偏低时,可以将电力变压器的分接头改接到-5%档,以增高变压器二次绕组的输出电压。当用户受电端的电压既偏高又偏低时,若原来的供电变压器为无载调压变压器,则在有条件时可调换为有载调压变压器,使之能在有负荷情况下自动调整变压器二次绕组的输出电压,保证用户受电端电压在规定的允许偏差范围内。其他一些措施,例如增大导线或电缆的截面,将架空线改为电缆供电,合理调整负荷,采用无功功率补偿装置提高功率因数,都可以在一定程度上降低电压损耗,避免用户受电端电压偏低的弊病。

3. 电压允许波动和闪变

工业企业中有些负荷,如电弧炉、起重设备、弧焊设备等属于冲击性负荷,它们在生产(或运行)过程中周期性地从供电网取用快速变化的电流,会使公共供电点(电力系统中一个用户以上的连接处)的电压频繁变化,白炽灯的光通量随之发生频繁变化,产生闪烁的现象,人眼感到不舒服,也会使电动机转速不均匀,电子设备、自控设备和某些仪器工作不正常,影响生产。

因此,国家规定了电力系统公共供电点,由冲击性功率负荷产生的电压波动 U ,允许值、闪变电压 ΔU ,允许值和等效闪变值 ΔU_{10} 允许值等指标。

电压波动值是工频50Hz电压幅值包络线的波形(称为电压调幅波)中相邻两个极值电压均方根值之差,以额定电压的百分数表示的值。

电压波动 U ,允许值如表0-3所示。

表 0-3 电压波动 U ,允许值

额定电压 (kV)	电压波动 U ,允许值 (%)
10 及以下	2.5
35~110	2
220 及以上	1.6