

全国普通高校电子信息与电气学科规划教材



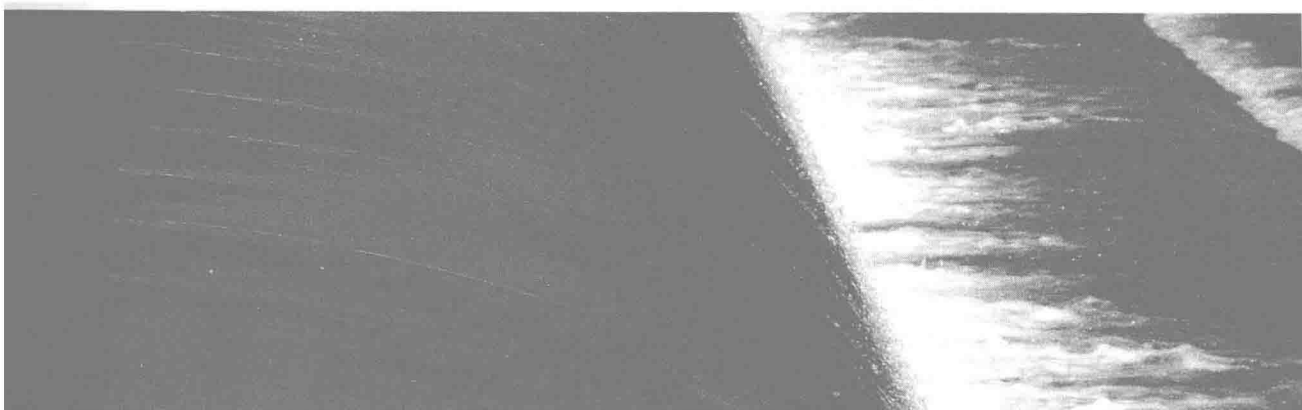
Electrical Technology 电气技术教程

吴大中 主编
Wu Dazhong

清华大学出版社

全国普通高等院校电子信息与电气学科规划教材

Electrical Technology 电气技术教程



吴大中 ©主 编
Wu Dazhong

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书着重介绍低压电气的应用技术,涉及建筑电气和工厂电气两个方面,使学生能更好地适应未来工作的要求;为更好地适应工程设计和施工的需要,本书安排了电气制图和识图方面的内容。

本书共有13章。首先是概论,介绍电力系统的概念和电气的基本知识,为本课程的学习奠定初步的基础。接着依次是变配电所常用电气设备、电气计算负荷、电气主接线、短路电流计算、电气照明、电气线路、电气识图、电气控制、电气防雷减灾、电气安全和电气制图软件,最后讲述的是建筑智能化。

本书适合高等学校电类(强、弱电)及相关专业师生使用,也可供电气行业工程技术人员和其他读者参考。

本书附有电子课件,有需要的可到清华大学出版社网址下载。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电气技术教程/吴大中主编. —北京:清华大学出版社,2017

(全国普通高校电子信息与电气学科规划教材)

ISBN 978-7-302-45677-3

I. ①电… II. ①吴… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274081 号

责任编辑:梁 颖 柴文强

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20

字 数:487千字

版 次:2017年5月第1版

印 次:2017年5月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00元

产品编号:071711-01

前言

电气技术是电类专业相关课程的重要内容,非电类也可作为选修。本书的内容以低压电气应用技术为主,涉及建筑电气和工厂电气两个方面。一般同类教材,或者是建筑电气,或者是工厂电气,通常都是单独成书的。本书的思路是在建筑电气的基础上,适当融进常用的工厂电气技术,以开拓学生的知识面。为更好地适应工程设计和施工的需要,本书中安排了电气制图和识图方面的内容。

本书叙述尽量做到深入浅出,结合电气应用工程实际,在低压电气范围,有更好的适应性。本书可供电气行业工程技术人员和相关专业高校师生使用。

本书共有 13 章。第 1 章是概论,介绍电力系统的概念和电气的基本知识,为本课程的学习奠定基础。第 2 章是变配电所主要电气设备,第 3 章是电气计算负荷,第 4 章是电气主接线,第 5 章是短路电流计算,第 6 章是电气照明,第 7 章是电气线路,第 8 章是电气识图,第 9 章是电气控制,第 10 章是电气防雷减灾,第 11 章是电气安全,第 12 章是电气制图软件,第 13 章是建筑智能化。

本书由吴大中主编,负责整体构思和具体编著安排,并负责审阅。参编的有张云、朱铝芬、陈美玲、吴琴、吴昕芸等老师。张云编写了第 9 章的内容,朱铝芬编写了第 12 章的内容,陈美玲编写了第 6 章的内容,其余章节的内容均由吴大中编写。本书的电子教案由吴琴和吴昕芸负责制作。

彭昀昊、胡江浪、李晓曼、吴庆波等做了大量的材料整理工作,吴琴、吴昕芸做了绘图、文字录入及校对方面的工作,在此一并表示感谢。

本书为南京信息工程大学教材建设基金资助项目。

限于编者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 2 月

第 1 章 概论	1
1.1 电力系统的基本概念	1
1.1.1 发电厂	1
1.1.2 变电所	2
1.1.3 电力网	3
1.2 用户供配电系统	4
1.2.1 小型用户供电系统	4
1.2.2 中型用户供电系统	5
1.2.3 大型企业供电系统	6
1.3 电能质量与电网电压	7
1.3.1 电能质量	7
1.3.2 电网和电力设备的额定电压	9
1.3.3 电压调整	11
1.3.4 电压等级的选择	13
1.4 电源中性点运行方式	14
1.4.1 中性点不接地系统	14
1.4.2 中性点经消弧线圈接地	16
1.4.3 中性点直接接地	18
1.4.4 中性点经低电阻接地	18
1.5 低压配电系统的接地形式	19
1.5.1 TN 系统	19
1.5.2 TT 系统	20
1.5.3 IT 系统	21
思考题与习题	21
第 2 章 变配电所及其主要设备	23
2.1 用户变配电所	23
2.1.1 变电所的作用与设备类型	23
2.1.2 变电所的设置	24
2.2 电力变压器	26
2.2.1 电力变压器及其分类	26
2.2.2 电力变压器的结构及型号	26
2.2.3 电力变压器的联结组别	28
2.2.4 变电所主变压器台数和容量的选择	29

2.2.5	电力变压器并列运行条件	31
2.3	高压开关设备	31
2.3.1	高压断路器	31
2.3.2	高压熔断器	35
2.3.3	高压隔离开关	38
2.3.4	高压负荷开关	39
2.3.5	高压开关柜	40
2.3.6	高压一次设备的选择与校验	43
2.4	互感器	43
2.4.1	电流互感器	43
2.4.2	电压互感器	47
2.5	电力电容器	50
2.5.1	电力电容器分类和用途	50
2.5.2	电力电容器参数和性能指标	52
2.5.3	并联电力电容器	52
2.5.4	其他电容器	53
2.6	低压开关设备	54
2.6.1	低压断路器	54
2.6.2	低压熔断器	58
2.6.3	低压刀开关和负荷开关	60
2.6.4	低压配电屏和配电箱	61
	思考题与习题	63
第3章	电气计算负荷	65
3.1	电力负荷与负荷曲线	65
3.1.1	电力负荷概念	65
3.1.2	负荷分级	65
3.1.3	用电设备工作制	66
3.1.4	设备容量计算	67
3.1.5	负荷曲线及有关物理量	67
3.2	负荷估算	69
3.2.1	年最大负荷和年最大负荷利用小时数	69
3.2.2	单位产品耗电量法	70
3.2.3	负荷密度法	71
3.2.4	形状系数法	71
3.3	负荷计算	72
3.3.1	需要系数法	72
3.3.2	二项式法	76
3.4	无功补偿后的工厂计算负荷	78

思考题与习题	81
第4章 电气主接线	83
4.1 变电所主接线	83
4.1.1 电气主接线及其要求	83
4.1.2 母线制	84
4.1.3 总降压变电所的主接线	85
4.2 10kV 变配电所主接线示例	86
4.2.1 电源进线	86
4.2.2 母线	88
4.2.3 高压配电出线	88
4.2.4 低压配电系统	89
4.3 变电所二次接线	89
4.3.1 二次接线的基本概念	89
4.3.2 电气测量仪表及测量回路	90
4.3.3 断路器的操作控制与信号回路	90
4.3.4 操作电源	92
4.4 高低压配电网	95
4.4.1 放射式	95
4.4.2 树干式	95
4.4.3 环式	96
思考题与习题	97
第5章 短路电流计算	99
5.1 概述	99
5.1.1 短路的原因	99
5.1.2 短路的后果	99
5.1.3 短路的类型	100
5.2 无限大容量供电系统短路过程分析	101
5.2.1 无限大容量电源供电系统的概念	101
5.2.2 三相短路等效电路	101
5.2.3 短路过程的简单分析	102
5.2.4 有关短路的物理量	102
5.3 低压配电网中短路电流的计算	103
5.3.1 低压电网短路计算的特点	103
5.3.2 低压配电网中各主要元件的阻抗计算	104
5.3.3 低压配电网的短路电流计算	105
5.3.4 单相短路电流计算	107
5.4 电气设备的选择与校验	108

5.4.1	短路电流的力效应和热效应	108
5.4.2	电气设备的选择和校验	109
	思考题与习题	113
第6章	电气照明	114
6.1	照明技术的基本概念	114
6.1.1	光学知识和照明参数	114
6.1.2	光照性能和显色性能	116
6.1.3	照明方式和种类	117
6.2	常用照明光源和灯具	118
6.2.1	常用照明光源	118
6.2.2	各种照明光源的主要技术特性	120
6.2.3	新型照明电光源	121
6.2.4	光源的选择	121
6.2.5	灯具	121
6.3	照度计算	125
6.3.1	照度标准	125
6.3.2	照度计算	126
6.4	照明供电系统	127
6.4.1	照明供电方式	127
6.4.2	照明供电系统图	128
6.4.3	电气照明平面布置	129
6.4.4	照明供电系统的控制保护设备及其选择	130
	思考题与习题	131
第7章	电气线路	132
7.1	电气线路结构	132
7.1.1	架空线路	132
7.1.2	电缆线路	134
7.1.3	低压配电线路	137
7.2	电气线路敷设	138
7.2.1	架空线路的敷设	138
7.2.2	电缆的敷设	139
7.2.3	低压配电线路的敷设	142
7.3	导线截面选择	143
7.3.1	导线截面选择要求	143
7.3.2	按发热条件选择导线截面	144
7.3.3	按经济电流密度选择导线截面	146
7.3.4	线路电压损耗的计算	147

7.4 电气线路安装图	149
思考题与习题	153
第8章 电气识图	154
8.1 电气识图要点	154
8.1.1 读图注意要点	154
8.1.2 建筑电气图的特点	154
8.1.3 阅读电气工程图的一般程序	155
8.2 某实验楼照明工程图识读	156
8.2.1 某会议室简单照明案例	156
8.2.2 某实验楼照明工程图的阅读	156
8.2.3 设备布置及负荷分配	157
8.2.4 实验楼照明图工程量分析	161
8.3 某住宅照明工程图识读	163
8.3.1 某住宅照明平面图的基本情况	164
8.3.2 住宅照明平面图配管配线分析	165
8.4 车间动力工程电气平面图识	166
8.4.1 动力工程电气平面图分析	166
8.4.2 支架配线方式	166
8.4.3 车间灯具布置平面	168
8.5 常用符号标注及图例	170
8.5.1 电气设计常用文字符号标注	170
8.5.2 灯具安装方式的标注	172
8.5.3 常用图形符号的文字标注	172
8.5.4 常用电气图例及含义	173
思考题与习题	174
第9章 电气控制	175
9.1 常用低压电器元件	175
9.1.1 低压电器的定义、分类	175
9.1.2 低压电器的基本结构	175
9.1.3 接触器	177
9.1.4 继电器	180
9.1.5 主令电器	183
9.2 交流电动机的基本控制电路	184
9.2.1 三相笼型异步电动机直接启动控制电路	184
9.2.2 三相笼型异步电动机减压启动控制电路	191
9.2.3 三相笼型异步电动机制动控制电路	193
9.3 电气控制线路图的绘制及分析	194

9.3.1	电气原理图的绘制原则	195
9.3.2	电气安装接线图	196
9.3.3	电器元件布置图	196
9.4	电气控制电路分析与设计	197
9.4.1	电气控制电路分析	198
9.4.2	电气控制线路的设计方法	199
	思考题与习题	200
第 10 章	电气防雷减灾	202
10.1	雷电概念	202
10.1.1	雷电过电压形式	202
10.1.2	雷电的形成	202
10.1.3	雷电的有关名词概念	204
10.2	防雷设备	205
10.2.1	接闪器	205
10.2.2	避雷器	209
10.3	供配电系统的防雷	211
10.3.1	架空线的防雷保护	211
10.3.2	变配电所的防雷保护	212
10.4	建筑物防雷	214
10.4.1	建筑物防雷分类及防雷要求	214
10.4.2	建筑物防雷措施	215
	思考题与习题	215
第 11 章	电气安全	217
11.1	电流通过人体的效应	217
11.2	电气的接地	220
11.2.1	接地的有关概念	220
11.2.2	接地装置的测试	222
11.3	设备及装置的电击防护措施	223
11.3.1	用电设备按电击防护方式的分类	224
11.3.2	电气设备外壳防护等级	225
11.3.3	屏护	225
11.3.4	间距	226
11.4	低压系统自身的电击防护性能分析	226
11.4.1	低压系统接地故障	226
11.4.2	TT 系统的电击防护分析	227
11.4.3	TN 系统的电击防护分析	229
11.4.4	IT 系统间接电击防护性能分析	230

11.5 特低电压	233
11.5.1 特低电压分类	233
11.5.2 特低电压的量值	233
11.5.3 特低电压的安全条件	234
思考题与习题	236
第 12 章 电气制图软件	237
12.1 用户界面	238
12.1.1 屏幕菜单	238
12.1.2 快捷菜单	238
12.1.3 命令行	239
12.1.4 热键	239
12.1.5 快捷工具条	240
12.1.6 在位编辑	240
12.2 平面图	240
12.2.1 设备布置	241
12.2.2 设备编辑	241
12.2.3 导线	243
12.2.4 编辑导线	245
12.2.5 接地防雷	246
12.2.6 变配电室	248
12.3 系统图	249
12.3.1 系统元件	249
12.3.2 强电系统	249
12.3.3 弱电系统	253
12.3.4 消防系统	254
12.3.5 原理图	255
12.4 电气计算	256
12.4.1 照度计算	256
12.4.2 负荷计算(FHJS)	256
12.4.3 线路电压损失计算	258
12.4.4 短路电流计算	258
12.4.5 无功补偿计算	259
12.4.6 年雷击数计算	259
12.4.7 低压短路计算	260
12.4.8 逐点照度计算	260
12.4.9 高压短路电流计算	261
12.5 文字与表格	261
12.5.1 文字相关命令	261

12.5.2	表格的绘制与编辑	264
12.6	文件布图	265
12.6.1	文件接口	265
12.6.2	布图概述	266
12.6.3	布图命令	267
	思考题与习题	269
第 13 章	建筑智能化	271
13.1	智能建筑概念	271
13.1.1	智能建筑的内容	271
13.1.2	智能建筑几个方面的关系	272
13.2	火灾自动报警及消防设备联动控制系统	272
13.2.1	火灾自动报警系统	272
13.2.2	消防设备联动控制系统(见图 13-8)	274
13.2.3	火灾事故广播与消防专用电话系统	275
13.2.4	火灾自动报警与消防设备联动控制系统原理	275
13.3	通信及广播系统	277
13.3.1	通信系统	277
13.3.2	广播系统	277
13.4	共用电视天线及安防系统	278
13.4.1	共用电视天线系统(简称 CATV 系统)	278
13.4.2	安防系统	278
13.4.3	巡更管理系统	279
13.4.4	家庭内综合安防系统	279
13.5	综合布线系统	279
13.5.1	工作区	280
13.5.2	配线子系统	280
13.5.3	干线子系统	281
13.5.4	设备间(电信间)	282
13.5.5	建筑群子系统	283
13.5.6	进线间	284
13.5.7	管理	284
13.6	建筑设备管理系统(BMS)	285
	思考题与习题	287
附录 A		289
参考文献		307

第1章 概 论

内容提要：本章概述了用户供配电系统有关的一些基本知识和基本问题，为学习本课程奠定基础。在介绍了用户供配电系统基础上，重点讲述电力系统的电压和电能质量问题，最后讲述电力系统的中性点运行方式和低压配电系统的接地形式。

1.1 电力系统的基本概念

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，彼此相互影响，因此需要了解电力系统的一些知识。

由各级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、配电和用电的统一整体，称为电力系统。包含着电能的生产、输送、分配和使用。电力系统加上发电厂的动力部分，如汽轮机、水轮机、锅炉、水库、反应堆等，称之为动力系统。图 1-1 为电力网、电力系统和动力系统示意图。

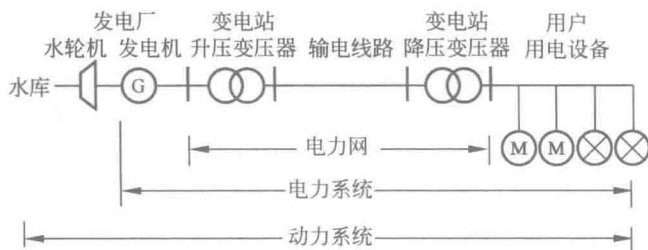


图 1-1 电力网、电力系统和动力系统示意图

1.1.1 发电厂

电力用户可由多种电源供电，以满足不同设备对电力和供电可靠性的需要。直接来自电力系统的电源是绝大多数电力用户的主要电能来源，它为用户提供了满足长期稳定持续供电需要的大宗电能，属于正常电源。除正常电源外，用户根据需要可以设置一些应急电源，以备正常电源故障中断时的急需之用。例如，独立于正常电源的备用发电机组、独立于正常电源的备用馈电线路、蓄电池组、不间断电源(UPS)等。

发电厂是生产电能的工厂，把不同形式的一次能源转换成电能。根据所利用能源的种类不同，可将发电厂分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂和潮汐发电厂等。

图 1-2 为火力发电厂，图 1-3 为水力发电厂，图 1-4 为核能发电厂，图 1-5 为风力发电厂。

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造水电站，而在有燃料资源的地方建造火电厂。但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。

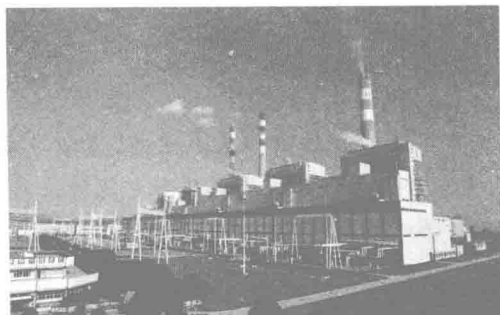


图 1-2 火力发电厂



图 1-3 三峡水电站



图 1-4 秦山核电站

1.1.2 变电所

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,起着变换和分配电能的作用。根据变电所在电力系统中的地位,可分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所和终端变电所。

枢纽变电所联系电力系统各部分的中枢,由大电网供电,电压等级较高,变压器容量大,进出线回路数多。其高压侧电压为 $330 \sim 550\text{kV}$,全所一旦停电,将引起整个系统解列,甚至使部分系统瘫痪。

中间变电所将发电厂、枢纽变电所及负荷中心联系起来,处于电源与负荷的中间位置。主要用以交换潮流或使长距离输电线路分段,同时降低电压给所在区域供电。电压为 $220 \sim 330\text{kV}$ 。全所一旦停电,将引起区域电力系统解列。

地区变电所是一个地区或城市的主要变电所,高压侧电压一般为 $110 \sim 220\text{kV}$ 。全所一旦停电,将使该地区中断供电。

终端变电所是电网的末端变电所,一般为降压变电所,由地区变电所供电,高压侧电压为 $10 \sim 110\text{kV}$ 。全所一旦停电,将使用户中断供电。



图 1-5 风力发电厂

1.1.3 电力网

电力网是电力系统的重要组成部分,包含不同电压等级的变电站和输电线路,用于输送和分配电能。一般按其供电范围的大小和电压等级的高低分为地方电力网、区域电力网和超高压远距离输电网络三类。各类电力网的特点如表 1-1 所示。

表 1-1 各类电力网的特点

类 型	地方电力网	区域电力网	超高压远距离输电网络
输电范围(km)	50 以内	50 以外	300 以上
典型电压等级(kV)	10、35	110、220	330、500、750
主要功能	分配电能	发电厂之间的互联	将远区电能输送到负荷中心
适用地区	农村、城市、工矿区的配电网	各省、各区内的互联网络	跨省区、跨国家的大型电力网

1. 送电网

送电网是城市电网中电压等级最高的电网,大城市多已达到 500kV,一般城市为 220kV。送电网要求成环状网,一般要求成双环。送电网上功率(潮流)可双向输送,有调度作用。

2. 高中压输电网

枢纽变电所二次出线至区域变电所之间的电网,称为高压输电网。从区域变电所二次出线,到公用或专用变配电所间的电网,叫中压输电网。500kV 送电电压的城网中,高压输电网电压一般为 220kV 和 110kV;中压输电网电压一般为 10kV,也有少数为 35kV(电压等级划分属于高压,但从网络中作用来说属于中压),现部分地区试运行 20kV。中压输电网中通常设置有较多的 10kV 开闭所,起分级配电作用。

3. 低压配电网

公用变电所二次出线至低压用户电表之间的电网,称为低压配电网。专用变电所二次出线后的电网,以及低压用户电表后的电网,技术上也属于低压配电网,但不属于供电企业运行管理的范围。

城网、农网、电气化铁路网等都是负荷中心电网,具有受端网的特征。供配电系统是受端网的最末部分。城市电网的电源由生产电能的城市发电厂或通过输电线路经变电所提供,一些用户的自备发电站也可以成为城市电网电源。

城市电网(见图 1-6 所示)是城市送电和配电的各级电网的总称,它服务于一座城市的市区及所属(部分)郊区,简称城网。

本课程的任务,主要是讲述中小型企业用户的电能供应和分配问题,以及动力负荷和照明负荷的应用技术,对应的电压范围主要是高压 10kV 和低压 380/220V,使学生初步掌握中小型企业用户的供配电系统的运行维护和简单设计计算所必需的基本理论和基本知识,为今后从事相关技术工作奠定一定的基础。

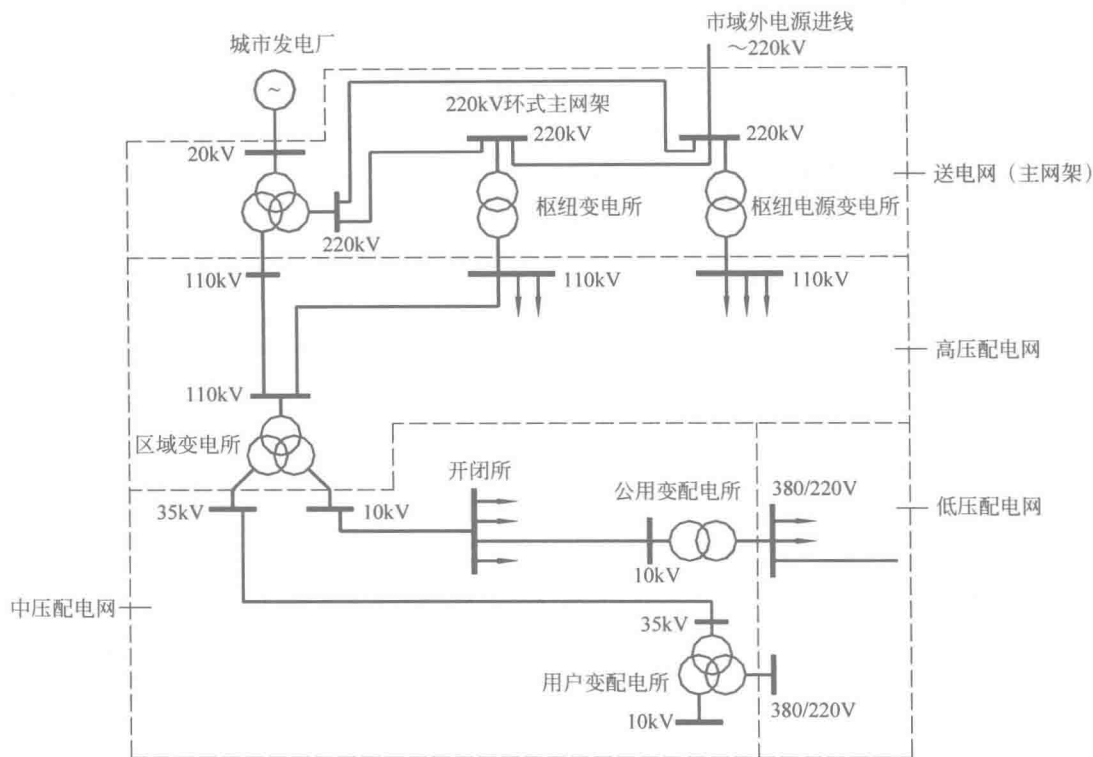


图 1-6 城市电网

1.2 用户供配电系统

用户供配电系统通常处于电力系统的末端，以使用电能为主要任务，功率单向流动，不参与电网潮流调度。

低压配电系统的电网电压为 220/380V，或 380/660V。电源来自公用或专用变配电所、自备发电站，负荷是一般用电设备，通常以单线图或多线图，以后者居多，参见图 1-6 所示。

变电所的任务是接收电能、变换电压和分配电能，而配电所的任务是接收电能和分配电能，不改变电压。而供电系统中的母线，又称汇流排，其任务是汇集和分配电能。而工厂供电系统，是指从电源线路进厂起到高低压用电设备进线端止的整个电路系统，包括工厂内的变配电所和所有的高低电压供电线路。

1.2.1 小型用户供电系统

对于小型工厂，由于其容量一般不大于 1000kVA 或稍多，因此通常只设一个降压变电所，将 6~10kV 降为低压用电设备所需的电压，如图 1-7 所示。

如果工厂所需容量不大于 160kVA 时，一般采用低压电源进线，直接由公共低压电网供电。因此工厂只需设一个低压配电间，如图 1-8 所示。

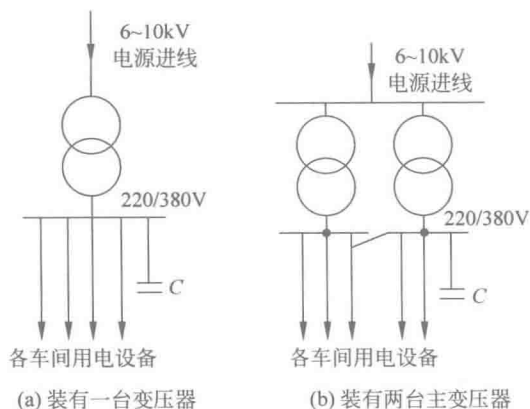


图 1-7 只设一个降压变电所的小型工厂
供电系统简图

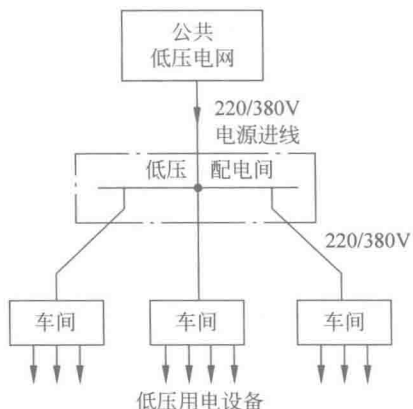


图 1-8 低压进线的小型工厂供电系统简图

1.2.2 中型用户供电系统

一般中型工厂的电源进线电压是 6~10kV。电能先经高压配电所(简写 HDS)集中,再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所(简写 STS),或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有配电变压器,将 6~10kV 的高压降为一般低压用电设备所需的电压如 220/380V(220V 为相电压,380V 为线电压),然后由低压配电线路将电能分送给低压用电设备使用。

图 1-9 是一个比较典型的中型工厂供电系统简图。该图未绘出各种开关电器(除母线和低压联络线上装设的联络开关外),而且只用一根线来表示三相线路,即绘成单线图的形式。

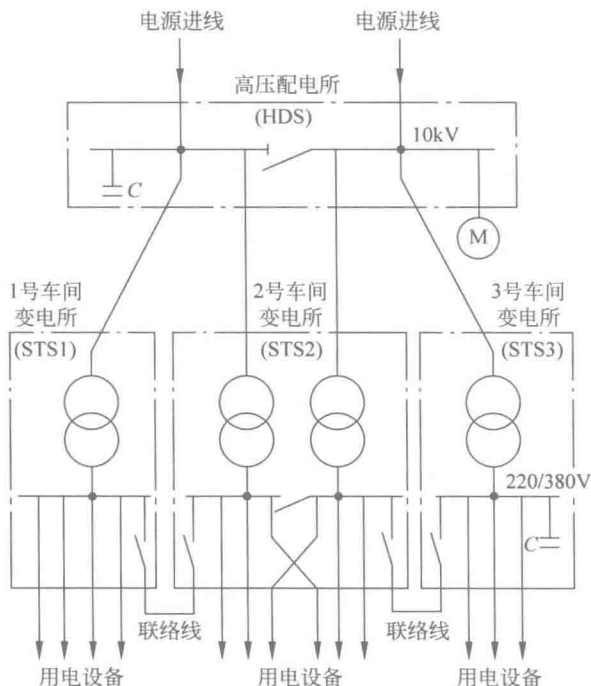


图 1-9 中型工厂供电系统简图