

工矿企业 电气工程师手册

王士政 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

工矿企业 电气工程师手册

王士政 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

序

刚刚过去的 20 世纪是人类历史上取得空前伟大进步、科学技术得到迅猛发展的一个世纪。作为科学技术的一个重要领域，电气工程技术更是突飞猛进，不仅本身取得了许多令人瞩目的成就，而且还“渗透”到其它科学技术领域和人类生产、生活的每一个“角落”，成为推动时代车轮的强大动力，在由石器文明、铁器文明……蒸汽文明构成的人类文明史上，浓重地写下了“电气文明”的醒目篇章。

刚刚开始 的 21 世纪将引导人类进入信息文明的新时代。各个领域都将涌现出更多的高新技术，电气工程技术更不会例外。作为电气工程师及各类电气技术岗位的从业人员，必须不断地充实提高，进行知识更新，才能跟上时代的前进步伐。

现在摆在大家面前的这本《工矿企业电气工程师手册》，是由十几位在电气工程领域长期从事教学、科研和生产实践的教授、专家，广泛参阅了大量最新的相关书刊，汲取了国内、外电气工程技术的最新成果，并结合他们各自的工作经验精心编撰而成的。可以说，是在新世纪之初贡献给广大电气工程界同行们的一件有意义的礼物。阅读之后，感到本书内容比较系统而精炼，叙述上深入浅出，物理概念清楚而简明，既密切结合生产实践，涵盖了设计选择、安装运行、维护检修等各个环节，同时又反映了电气工程技术的最新进展，如现代电力电子技术的应用、可编程控制器(PLC)的应用和电网调度自动化等。更值得称道的是，与其丰富的内容相比，篇幅却并不过于庞大，足见编者在材料取舍安排上的功力和匠心。

众所周知，电气技术岗位是一种知识含量高且责任十分重大的岗位，要求它的从业人员必须经过严格的培训考核并不断地学习才能胜任，否则，“以其昏昏，使人昭昭”是要出事故的。相信这本手册不仅会成为工矿企业和供用电部门电气工程师的必备藏书，也将对电气技术培训和继续教育起到良好的推动作用，成为刚刚或即将走上电气技术岗位的电气工程类大专院校学生和广大青年工人的良师益友。为此，我愿意在这里向广大电气工程界的朋友们郑重推荐。

中国电力企业联合会



前 言

电气工程技术是现代工业、现代农业、现代科技和现代国防的重要支撑技术，更与人民生活息息相关密不可分。它是推动生产力发展的动力源，又是各领域高新技术的催化剂。

近年来，电气工程技术领域日新月异，涌现出许多新器件、新产品、新技术、新理论。作为在电气技术岗位担负重要责任的电气工程师们，都感到原有的知识不够了，原有的专业书籍陈旧了，需要重新学习；许多刚刚走上电气技术岗位的大专院校毕业生，更感到在学校里学到知识十分有限，远不能满足工作的需要；还有更多的电气技术岗位上的青年职工，面临着新形势下前所未有的压力和竞争。他们都迫切需要系统地进行知识更新、补充和提高。为此，我们广泛参阅了各种版本的电气工程类书刊，各种电气产品厂家资料，汲取国内外电气工程技术的最新进展，并结合我们教学、科研和生产实践的经验，编写了这本《工矿企业电气工程师手册》，贡献给广大电气工程界的同行们。

这本手册比较全面地介绍了工矿企业供电、配电和用电等方面的知识及相关产品数据，涵盖了设计选择、安装运行、维护检修等各个环节，基本上可以满足电气技术岗位的工作需要。为照顾不同层次的读者，本手册在叙述上努力做到深入浅出，将一些较深奥的概念解释得通俗易懂，并用适当的图和算例与之配合。同时，尽量反映电气工程技术的最新进展，如现代电力电子技术及应用、可编程控制器（PLC）在工矿企业的应用以及电网调度自动化等。在手册的最后一章，给出了两个比较详细的设计计算工程实例：某工矿企业供电系统设计和某工厂可编程控制器自动控制系统设计。我们相信，这本手册会成为广大从事电气技术工作读者的有力助手，帮助他们胜任工作并得到进一步的充实和提高。

当然，工矿企业电气工程的内涵十分丰富，外延则更为广泛。这本手册不可能包罗万象，面面俱到。而只能从工作实用的角度出发，精心取舍。有的部分介绍较详，而有的部分则大刀阔斧，删繁就简。这样既能形成一个比较完整的体系，又能够突出重点，简明实用，同时篇幅也不致太厚，形成有别于其它各种手册的鲜明特色。

虽然我们做了不少努力，但电气工程这一领域实在太过广阔，我们知识和能力毕竟有限，书中定有不少疏漏甚至错误之处，敬请读者发现后能予指出，以使再版时更正。通信地址为：210098 江苏省南京市西康路1号 河海大学电气工程学院 王士政 收。

本手册由王士政主编，各章作者如下：

第1、2、3、4、5、6、7章：王士政

第8章：周玲

第9章：刘震

第10、15章：杨文保

第11章：吕国芳、杨文保

第12章：杨文保、王士政

第 13 章：王士超、王士政

第 14 章：戴元志

第 16 章：马宏忠

第 17、18 章：潘文霞

第 19 章：王士超、杨晓东、王士政

第 20 章：严慧敏

第 21 章：王士政、吕国芳

最后，向提供最新产品资料的厂家以及所列各参考文献作者表示感谢。

承蒙中国电力企业联合会副秘书长王永干先生拨冗审阅了本书并惠赐作序，在此表示衷心感谢。

编 者

2001 年 6 月

目 录

序 前言

第一章 工矿企业供电系统	1
第一节 电力系统概述	1
一、电力系统的构成	1
二、电力系统联网运行的优越性	4
三、电能的质量标准	4
四、电力系统的电压等级	5
五、电力系统的中性点接地方式	6
六、一次系统与二次系统	7
第二节 电力系统有功功率及频率的调整	11
一、电力系统中有功功率与频率的关系	11
二、电力系统的频率特性	11
三、电力系统的频率调整	12
第三节 电力系统无功功率及电压的调整	13
一、电力系统无功功率与电压的关系	13
二、电力网络中的电压降落	14
三、电力系统的无功电源	14
四、电力系统的调压方法	15
第四节 电力系统中的功率损耗与电能损耗	18
一、在阻抗元件上的功率损耗	18
二、在阻抗元件上的电能损耗	18
三、电力网的网损率或线损率	19
四、降低网损的意义和方法	19
第五节 电力系统运行控制与电网调度自动化	19
一、电力系统运行控制的任务及其复杂性	19
二、电网调度自动化系统的作用	19
三、电网调度自动化系统的构成	20
四、电网调度自动化系统具体功能	21
五、厂站计算机监控系统	22
第六节 工矿企业供配电系统	22
一、工厂供配电的一次系统接线	23
二、工厂变配电所的设备及其布置	31

第二章 工矿企业电力负荷计算	49
第一节 概述	49
一、电力负荷曲线	49
二、电力负荷的一些特性参数	49
三、计算负荷 P_{30}	51
四、尖峰电流	51
五、负荷计算的各种方法	51
第二节 用电设备的设备容量换算	51
一、不同工作制时的容量换算	51
二、不对称单相负荷的容量换算	52
第三节 需要系数法求计算负荷	53
一、需要系数的定义	53
二、同类用电设备组的计算负荷	62
三、配电干线或车间变电所的总负荷	62
四、配电所或总降压变电所的计算负荷	62
第四节 二项式法求计算负荷	64
一、性质相同的用电设备组的负荷计算	64
二、性质不相同的多个用电设备组的负荷计算	65
三、当用电组设备总台数 n 较少时的负荷计算	65
四、使用二项式法的注意事项	65
第五节 利用系数法求计算负荷	66
一、利用系数 K_d 的定义	66
二、利用系数法负荷计算步骤	67
第六节 用计算系数求计算负荷	69
第七节 建筑物内照明及一般设施负荷的简便估算方法	69
第八节 按产品单耗值估算负荷	70
一、估计全年电能需量 W_a	70
二、估算企业的计算负荷	70
第九节 尖峰电流的计算方法	71
一、单台电动机线路(包括单台电焊变压器或电弧炉)	71
二、多台电动机线路	71
三、多台电动机同时自起动的供电线路	71

四、起重机滑触线的尖峰电流	71	第一节 概述	113
第三章 工矿电网短路电流的计算	73	一、变压器的作用	113
第一节 概述	73	二、电力变压器的分类	113
一、形成短路的原因	73	三、电力变压器型号表示法	113
二、短路的危害	73	四、变压器的结构和部件	114
三、短路的类型	73	五、变压器的技术参数	116
四、短路电流计算的目的	74	六、变压器的容量规范	119
五、典型的短路电流波形曲线	74	七、工矿企业中常见的国产 变压器主要型式	120
第二节 电网的等值电路	75	第二节 变压器的运行	120
一、电网中各元件的等值电路	75	一、变压器的运行温度与寿命	120
二、采用有名值的电力网等值电路	76	二、变压器的过负荷运行能力	121
三、采用标么值的电力网等值电路	78	三、变压器的并列运行	122
四、电力网络等值电路 有关公式和数据	79	四、变压器的经济运行	123
第三节 短路计算中的网络化简	80	五、变压器油的运行	126
一、高压电网的网络化简	80	六、变压器的运行操作和日常维护	133
二、低压电网的网络化简	80	七、变压器运行异常和事故处理	138
第四节 三相短路的计算方法	81	第三节 变压器的检修	141
一、无穷大电源系统供给的短路电流	81	一、变压器的检修周期和检修项目	141
二、有限容量电源供给的短路电流	81	二、变压器检修前的准备工作	141
三、短路电流计算中的几个问题	90	三、变压器检修的操作及要求	142
第五节 不对称短路的计算方法	94	四、变压器的干燥处理	145
一、对称分量法	94	第四节 变压器的安装	147
二、短路回路中各元件的序电抗	95	一、电力变压器的运输与保管	147
三、不对称短路时的序网图	99	二、变压器安装前的检查	148
四、序网络的化简和各序的综合电抗	99	三、变压器安装工作程序和内容	148
五、利用正序增广网络求 解不对称短路	99	四、变压器的安装方式及要求	150
第六节 低压配电网短路电流的计算	102	第五节 变压器的试验	156
一、与高压电网短路计算的不同点	102	一、电力变压器的试验项目、周期和 标准	156
二、有关计算公式	103	二、变压器试验方法	156
第七节 中性点不接地系统单相接地的 电容电流	108	第五章 电容器、电抗器及静止 补偿器	176
一、架空线路单相接地的电容电流	109	第一节 并联电容器	176
二、电缆线路的单相接地的电容电流	109	一、并联电力电容器的作用	176
第八节 短路电流的电动力效应计算	109	二、并联电力电容器的结构及特点	176
一、两平行导体通过电流时的电动力	109	三、并联电容器型号标示方法	176
二、三相母线在短路时的电动力	109	四、常用并联电容器技术数据	177
第九节 短路电流热效应的计算	110	五、并联电力电容器的安装 地点及接线	179
一、短路电流存在时间的计算	110	六、电力电容器容量及放电电阻的 选择计算	180
二、短路电流流经导体时产生的热量	111	七、电力电容器的安装要点	182
三、短路时导体温度的升高	111	八、电容器的运行要点和注意事项	182
四、满足短路发热要求的导体最小 截面 $S_{\min}$	112	九、电容器常见故障及其处理	182
第四章 电力变压器	113		

第二节 耦合电容器	184	一、成套配电装置的作用和特点	270
一、耦合电容器的作用	184	二、成套配电装置的分类	270
二、耦合电容器的型号标示方法	184	三、成套配电装置的型号标示方法	275
三、耦合电容器的主要技术数据	184	四、高、低压开关柜技术数据	275
第三节 电抗器	185	五、成套配电装置的运行维护	284
一、电抗器的种类及作用	185	六、成套(箱式)变电站	285
二、电抗器的型号标示方法	185	第七章 架空线路和电缆线路	288
三、电抗器的技术数据	186	第一节 架空线路	288
四、电抗器的接线及安装要求	190	一、架空线路的结构	288
第四节 消弧线圈	190	二、架空线路的一些技术要求	310
一、消弧线圈的作用	190	三、架空线路的路径选择	316
二、消弧线圈的结构	190	四、架空线路导线截面的选择	317
三、消弧线圈的技术数据	191	五、架空绝缘导线束的选用	321
四、消弧线圈的运行	191	六、架空线路的施工	321
第五节 静止补偿器	192	七、架空线路的运行维护	326
一、TSC型静止补偿器	192	第二节 电缆线路	328
二、FC—TCR型静止补偿器	192	一、电力电缆结构及分类	328
三、TSC—TCR型静止补偿器	192	二、电缆的型号标示方法	329
四、TSC—FC—TCR型静止补偿器	192	三、各种电缆的特点和应用范围	329
第六章 高压电气设备	194	四、电缆线路的特点和适用地区	333
第一节 高压断路器	194	五、电缆的选择要点	333
一、高压断路器的作用、分类和型号 表示法	194	六、电缆的敷设	333
二、高压断路器的主要技术指标	195	七、电缆线路的运行维护	339
三、高压断路器的操动机构	196	八、电缆线路的故障及故障测寻	341
四、常用高压断路器的技术数据	204	九、电缆线路的试验项目及标准	345
五、高压断路器的选择方法	208	十、电缆中间接头及终端头制做	347
六、高压断路器的运行与操作	208	第八章 工矿供电设备控制与保护	352
七、高压断路器的维护检修	211	第一节 供电系统二次回路的基本知识	352
第二节 隔离开关、负荷开关和高压 熔断器	242	一、二次回路的分类	352
一、高压隔离开关	242	二、二次回路图	352
二、高压负荷开关	248	第二节 断路器的控制、信号回路	355
三、高压熔断器	251	一、断路器的控制、信号回路的基本 要求	355
第三节 电压互感器和电流互感器	258	二、灯光监视的断路器控制、信号回路 接线	356
一、互感器的作用	258	三、断路器控制二次接线全图举例	359
二、互感器的基本原理	258	第三节 中央信号装置	362
三、互感器的误差与准确级别	259	一、中央信号装置应具备的功能	362
四、互感器的型号标示方法	260	二、中央信号装置的种类和接线	363
五、互感器的技术数据	262	三、闪光装置	365
六、互感器的接线	265	第四节 自动重合闸装置	367
七、互感器的选择与校验	268	一、自动重合闸装置的装设规则及 分类	367
八、互感器的运行与维护	268	二、对自动重合闸装置的基本要求	368
九、互感器的极性及其测定	269	三、自动重合闸装置的动作原理	368
第四节 成套配电装置	270		

第五节 备用电源自动投入装置	372	四、举例	413
一、备用电源自动投入装置的基本 要求	372	第十三节 新型微机型成套保护 控制装置	414
二、备用电源自动投入装置的装设 方式	372	一、微机型继电保护的发展	414
三、直流操作的备用电源自动投入 装置接线	373	二、微机型继电保护及其成套保护控制 装置的基本原理	414
四、交流操作的备用电源自动投入 装置接线	373	三、新型微机型成套保护 控制装置简介	415
第六节 低压备用电源自动投入装置	376	第九章 直流电源与逆变电源	419
一、电磁合闸接线	376	第一节 铅酸蓄电池	419
二、交流接触器自动投入装置接线	377	一、固定式铅酸蓄电池的型式和 技术参数	419
第七节 自动按频率减负荷装置	377	二、固定式铅酸蓄电池的基本结构	422
一、自动按频率减负荷装置的原理 接线	377	三、固定式铅酸蓄电池的基本工作 原理	423
二、自动按频率减负荷装置的整定 计算原则	377	四、固定式铅酸蓄电池的主要特性	423
三、自动按频率减负荷装置运行中的 几个问题及解决办法	378	五、固定式铅酸蓄电池的安装与检修	425
第八节 继电保护基本知识	380	六、固定式铅酸蓄电池的运行与维护	430
一、继电保护装置的任务	380	七、固定式铅酸蓄电池的故障处理	433
二、继电保护的基本原理和保护装置 的组成	381	第二节 碱性蓄电池	436
三、对继电保护装置的基本要求	381	一、碱性蓄电池的型号与构造	436
四、电流保护的接线方式及接线 系数 K_w	383	二、碱性蓄电池的基本原理	439
第九节 变压器保护	384	三、碱性电解液的配制	439
一、保护配置	384	四、碱性蓄电池的特性	440
二、整定计算	384	五、碱性蓄电池的安装及初充电	441
三、举例	387	六、碱性蓄电池的运行和维护	441
第十节 6~35kV 线路保护	394	第三节 可控硅整流装置	441
一、保护配置	394	一、GCA 系列充电用整流装置	442
二、常用的线路保护方式	394	二、KGCA 系列充电用可控硅整流 装置	444
三、整定计算	395	三、KGCQA、KGCQF 系列可控硅快速 充电装置	447
四、举例	401	四、KGCFA 系列蓄电池充放电可控硅 装置	448
第十一节 3~10kV 电动机保护	402	五、GVA 系列浮充电用硅整流器	449
一、保护配置	402	六、KGVA 系列浮充电用可控硅整流 装置	449
二、整定计算	403	七、GKA 系列直流合闸电源用硅整流 装置	449
三、举例	406	八、ZD 和 GD 系列电镀用硅整流 装置	451
第十二节 高压并联电力电容器组的 保护	408	九、KDS、KGDS、KGDAJ—F 系列电 镀用可控硅整流装置	452
一、保护配置	408	十、GGAJ、KGGAJ、GGJ 系列高压硅 整流装置	453
二、电力电容器组常用的继电保护 方式	409		
三、整定计算	411		

十一、KGS 系列传动用硅整流设备	453
十二、KGYA、GYA 系列特殊用途可控硅 整流设备	454
第四节 直流稳定电源	455
一、参数型稳定电源	455
二、串联反馈调整型直流稳压电源	456
三、开关直流稳压电源	457
四、集成稳压器电源	459
第五节 不停电电源 (UPS) 及可控硅逆变 电源	466
一、UPS 电源工作原理	466
二、UPS 电源的选择	467
三、UPS 电源的使用和维护	468
四、常见可控硅逆变装置介绍	468
第十章 电动机和电力拖动	470
第一节 直流电动机	470
一、直流电动机的性能和分类	470
二、直流电动机的运行与维护	472
三、直流电动机的起动与制动	474
四、直流电动机的调速	475
五、直流电动机的故障与处理	476
六、直流电动机的检修	478
第二节 异步电动机	481
一、异步电动机的用途和分类	481
二、异步电动机的运行与维护	482
三、异步电动机的起动与制动	484
四、异步电动机的调速	485
五、异步电动机的故障与处理	486
六、三相异步电动机绕组的故障检修	489
第三节 同步电动机	492
一、同步电动机的特点和用途	492
二、同步电动机的结构	492
三、同步电动机的起动	493
四、同步电动机的故障与处理	494
五、同步调相机	496
第四节 微电机	496
一、驱动微电机	496
二、控制微电机	506
第五节 电动机的选择和安装	512
一、电动机的选择	512
二、电动机的安装	521
第六节 电力拖动常用控制线路	523
一、点动控制线路	523
二、单向起动控制线路	523
三、可逆起动控制线路	524
四、Y— Δ 起动控制线路	524
五、串联电阻 (或电抗器) 起动控制 线路	525
六、自耦变压器起动 (补偿器起动) 控制线路	525
七、延边三角形 (Δ) 起动控制线路	526
八、自动往返的控制线路 (行程开关控 制正反转线路)	527
九、不可逆笼型异步电动机带能耗制动的 控制线路	527
十、可逆笼型异步电动机带能耗制动直流 操作的控制线路	527
十一、绕线式异步电动机控制线路	528
十二、直流电动机 (他励) 起动控制 线路	529
十三、直流电动机能耗制动控制线路	530
十四、直流电动机反接制动控制线路	530
十五、直流电动机可逆控制线路	530
第十一章 可编程控制器及其应用	532
第一节 概述	532
一、可编程控制器 (PLC) 的产生	532
二、PLC 的定义及其术语	532
三、PLC 的特点	533
四、PLC 的发展趋势和应用状况	534
第二节 PLC 的组成及工作原理	535
一、PLC 的组成	535
二、PLC 主要部件的功能	536
三、PLC 的工作原理	540
四、OMRON C200H 数据通道	543
第三节 PLC 的基本指令	545
一、编程语言简介	545
二、梯形图使用的符号、概念及注意 事项	547
三、OMRON C200H 指令系统	548
第四节 PLC 应用实例	567
第五节 PLC 程序设计的功能 表图方法	573
一、概述	573
二、功能表图的基本概念	574
三、用梯形图实现功能表图的程 序设计	576
四、程序设计举例	576
第六节 PLC 应用中的若干问题	579
一、PLC 的使用及其型号选择	579
二、降低 PLC 系统费用的方法	580

第十二章 现代电力电子技术	
及其应用	582
第一节 概述	582
一、电力电子技术按功能的分类	582
二、现代电力电子技术的主要应用领域	582
三、电力电子器件的种类及其性能	582
第二节 基本的电力电子开关器件	583
一、不控开关器件	583
二、半控型器件——晶闸管	584
三、全控型可自关断器件	587
第三节 整流电路	594
一、单相可控整流电路	594
二、三相可控整流电路	594
第四节 逆变电路	599
一、有源逆变电路	599
二、无源逆变电路	602
第五节 交流调压电路	603
一、单相交流调压电路	604
二、三相交流调压电路	605
第六节 直流斩波电路	607
一、斩波电路的控制原理	607
二、斩波电路的控制方式	608
三、降压型斩波器	608
四、升压型斩波器	611
五、升、降压斩波器	611
六、库克变换器	611
第七节 晶闸管触发电路	612
一、晶闸管对触发电路的要求	612
二、单结晶体管触发电路	613
三、晶体管触发电路	613
四、集成电路触发器	615
五、数字触发器	615
第八节 电力电子技术在电力拖动系统中的应用	617
一、直流调速系统	617
二、交流调速系统	625
第十三章 工矿企业其它各种用电设备	630
第一节 电加热设备	630
一、概述	630
二、电阻加热炉	638
三、电弧加热炉	649
四、感应加热炉	658
五、电子束熔炼炉	666
六、离子氮化炉	667
七、等离子熔炼炉	668
八、红外线加热设备	669
九、介质加热与微波加热设备	671
十、电焊机	672
第二节 工业电解设备	682
一、电解的设备组成	683
二、水电解设备	683
三、金属精炼提纯	684
四、电解提取金属	684
五、食盐电解	685
六、电解设备的供电	685
七、电镀及其电源	685
第三节 静电设备	687
一、静电除尘	687
二、静电涂漆与粉末涂层	688
三、静电植绒	689
四、静电选择分类	689
第十四章 低压电器	690
第一节 概述	690
一、低压电器的分类	690
二、低压电器产品的型号标示方法	691
第二节 刀开关和熔断器	692
一、刀开关	692
二、熔断器	695
第三节 接触器	711
一、交流接触器	711
二、直流接触器	717
第四节 低压断路器	721
一、低压断路器用途和分类	721
二、低压断路器结构和工作原理	721
三、低压断路器技术规格及数据	722
四、低压断路器选用方法	729
五、低压断路器安装使用和维修	729
第五节 继电器	730
一、概述	730
二、继电器分类	730
三、热继电器	731
四、中间继电器	735
五、电子式时间继电器	735
六、电动机过载保护器	738
第六节 起动器	739
一、起动器用途和分类	739
二、起动器结构和工作原理	739

三、起动机基本性能和技术参数	741	五、静电式仪表	803
四、起动方式和起动器的选择	744	六、流比计(比率计)	803
第七节 主令电器	747	七、整流系仪表、热电式仪表、 电子管式仪表	803
一、按钮开关	747	第三节 电流表、电压表	804
二、位置开关	749	一、电流电压表的选择	804
三、接近开关	751	二、使用电流表、电压表的注意事项	804
四、信号灯	752	三、特殊电流电压的测量	805
第八节 电磁铁	753	四、电流表电压表接线	805
一、牵引电磁铁	754	五、部分常用电流表、电压表的 型号、规格	807
二、制动电磁铁	755	第四节 功率表	811
三、起重电磁铁	759	一、单相功率的测量与单相功率表	811
第九节 低压电器维护修理和试验	760	二、低功率因数功率表	812
一、低压成套装置的维护	760	三、三相功率的测量	813
二、低压电器的修理	763	四、部分常用功率表的型号和规格	815
三、低压电器修理后的试验	765	第五节 功率因数表	816
第十五章 照明	770	第六节 电度表	817
第一节 照明的基本概念	770	一、单相电度表	817
一、照明技术中常用的基本术语	770	二、三相有功电度表	818
二、照明的方式和照明的种类	771	三、三相无功电度表	819
三、照度标准	772	四、电度表的接线	819
第二节 照明电光源和灯具	774	五、常用电度表的型号、规格	820
一、电光源的种类	774	六、电度表的常见故障分析	823
二、电光源的主要性能及比较	774	第七节 万用电表	824
三、电光源工作原理、线路图、技术 数据、特点和使用	775	一、结构原理	824
四、灯具	781	二、万用表的使用	824
第三节 照明电气系统	784	三、常用万用表的型号、规格	825
一、照明供电	784	四、万用表常见故障分析	828
二、照明控制	785	五、典型万用表的电路图及主要参数	828
第四节 照明装置的安装	787	第八节 钳形电流表	833
一、灯具安装	787	一、结构原理	833
二、照明线路安装	791	二、使用方法	833
三、照明箱(板)及开关的安装	794	三、常用钳形电流表的型号、规格	833
第十六章 电工仪表与测量	796	第九节 兆欧表	834
第一节 电工仪表基本知识	796	一、兆欧表的结构原理	834
一、电工仪表的分类	796	二、兆欧表的使用	834
二、仪表的准确度等级及误差	796	三、常用兆欧表的型号、规格	835
三、电工测量指示仪表和附件的符号	796	四、兆欧表的常见故障及排除	835
四、对电工指示仪表的主要技术要求	799	第十节 电桥	836
第二节 常用电工仪表的结构形式、工作 原理、特点和主要用途	800	一、概述	836
一、磁电系(永磁动圈式)仪表	800	二、直流单臂电桥	836
二、电磁系测量机构	801	三、直流双臂电桥	838
三、电动式仪表	802	四、交流电桥	838
四、感应式仪表	802	五、部分常用电桥的型号、规格	840

第十一节 频率表	841	第四节 其它设备接地	898
第十二节 接地电阻测试仪	841	一、电子设备接地	898
一、接地电阻	841	二、电子计算机接地	899
二、ZC—8 型接地电阻测试仪的结 构原理	841	三、屏蔽接地	900
三、ZC—8 型接地电阻测试仪的 使用方法	842	四、高频电炉接地	900
四、常用接地电阻测试仪的规格参数 ..	843	五、X 光设备接地	901
第十三节 数字万用表	843	六、电气试验设备接地	901
一、数字万用表的组成与特点	843	第五节 防静电接地	901
二、数字万用表的性能与使用	844	一、静电的产生及特点	901
三、数字万用表使用的注意事项 及维修	849	二、防止静电危害的主要方法 ——接地	901
第十四节 智能仪表及自动测试系统	853	三、防静电接地的范围和实施	901
一、智能仪表的结构特点	853	四、防静电接地的接地电阻	901
二、智能仪表的典型功能	853	五、防静电接地线及其连接	901
三、智能仪表的主要单元	855	第六节 高阻区降低接地电阻的措施	902
四、自动测试系统	865	一、换土	902
第十七章 防雷技术	872	二、利用降阻剂	902
第一节 雷电活动规律概述	872	三、深埋接地极	902
第二节 防雷设备	873	四、利用水及与水接触的钢筋混凝土 ..	902
一、避雷针和避雷线	873	第七节 接地电阻的计算	903
二、避雷器	873	一、土壤电阻率	903
第三节 电气装置的防雷保护	878	二、土壤电阻率的实测方法 ——四极法	904
一、变、配电所的防雷保护	878	三、接地电阻的计算	904
二、各种电力设备的防雷保护	883	第八节 工频接地电阻的测量方法	908
三、电力线路的防雷保护	885	一、发电厂和变电所接地网接地 电阻的测量方法	908
四、直配发电机的防雷保护	886	二、电力线路杆塔接地电阻的测量方法 ..	908
第十八章 接地技术与装置	889	三、测量工频接地电阻的注意事项	908
第一节 接地的一般概念	889	第十九章 电气安全技术	909
一、工作接地	889	第一节 有关电气安全的一些规定	909
二、保护接地	889	一、安全电压	909
三、防雷接地	889	二、防电磁波辐射的安全标准	910
四、防静电接地	889	三、安全色和安全标志	910
第二节 电气设备的接地	889	四、识别标志	911
一、电气设备接地的设置	889	五、电气设备外壳防护等级	914
二、对接地电阻的要求	890	六、电工安全用具试验标准	915
三、接地装置	893	第二节 漏电保护器	916
第三节 低压配电系统接地	895	一、电压型漏电保护装置	916
一、低压配电系统的接地方式	895	二、零序电流型漏电保护装置	916
二、配电系统各种接地 方式的适用范围	895	三、泄漏电流型漏电保护装置	917
三、配电系统接地要求	896	四、漏电保护开关动作定值的整定及 分级配合	918
四、保护线及保护中性线	897	五、漏电保护装置的安裝及运行	918
五、等电位联结	897	六、漏电保护器的选择方法	919

七、漏电保护器的常见故障 及排除方法	920	三、提高负荷率和设备利用率	951
第三节 工厂电气安全工作制度	922	四、调整电力高峰负荷	952
一、组织管理方面的安全制度	922	五、确定工矿企业的经济运行电压	952
二、电气维修工作的安全技术措施	924	六、确定工矿企业电力网的附加线损	953
三、运行操作中的安全技术措施	925	七、工厂供电系统经济运行技术管理 方法	953
第二十章 电气节能技术	927	第九节 综合资源规划方法与需求方管理 技术	954
第一节 电气节能的基本概念	927	一、综合资源规划	954
一、概述	927	二、需求方管理的概念	954
二、电能平衡及其测试	927	三、综合资源规划和需求方管理供需 双方资源	955
第二节 供配电网络的降损措施	929	四、综合资源规划及需求方管理的成本 效益分析	955
一、降低供配电线路损耗的措施	929	五、综合资源规划方法在深圳市的试点 研究举例	956
二、降低变压器损耗的措施	931	第二十一章 厂矿供电与厂矿用电系统 举例	959
第三节 电动机的节能	933	第一节 某工厂供电系统实例	959
一、合理选择电动机	933	一、全厂负荷计算	959
二、电动机的降压运行	936	二、全厂全年电能需要量估算	960
三、电动机的调速运行	937	三、工厂供电线路导线截面选择	960
四、电动机的全压启动与节电	937	四、工厂总降压变电所主变压器 的选择	960
五、异步电动机节电器的应用	937	五、各车间变电所变压器的选择	960
六、推广使用高效电动机	938	六、工厂内部 10kV 配电线路及与邻厂 联络线的导线截面选择	960
七、低效电动机的节电技术改造	938	七、工厂供配电系统短路电流计算	961
八、电动机检修与节能的关系	939	八、工厂供电系统主接线	961
第四节 电加热设备的节能	939	九、总降压变电所主要设备的选择	961
一、电加热设备降损节能途径	939	十、继电保护的配置	963
二、远红外加热技术	940	十一、防雷与接地	963
三、新型保温材料——硅酸铝纤维	941	十二、总降压变电所设备材料表	963
四、电炉短网的改造	941	第二节 金陵石化热电厂负压除灰自动 控制系统实例	964
第五节 照明节能	942	一、负压除灰系统简介	964
一、合理选用电光源	942	二、可编程序控制器组成的自动控制 系统	965
二、合理选定照度	942	三、自动控制系统的功能和特点	966
三、大力推广使用照明节电装置	942	四、自动系统控制原理	969
四、加强照明设备的管理	943	五、自动控制系统的调试	981
第六节 水泵和风机的节能	943	附录	983
一、水泵的节能途径	943	附录 A 常用电气图形符号	983
二、风机的节能途径	946	附录 B 电气设备常用基本文字符号	992
第七节 空调系统节能	947	附录 C 常用辅助文字符号	996
一、选用合适的空调系统	947		
二、减少负荷量	948		
三、严格执行空调室的温度和 湿度标准	948		
四、改善控制方法	948		
五、定期维护管理	949		
第八节 工矿企业的电能管理与节能	949		
一、加强单位产品电耗定额管理	949		
二、提高功率因数	949		

附录 D 电气设备补充文字符号	997	附录 G 常用法定计量单位名称、符号及	
附录 E 常用物理量下角标的文字符号 ...	998	换算	1002
附录 F 常用电力工程名词术语中		附录 H 电工用安全标示牌式样	1007
英对照	1000	参考文献	1008

第一章 工矿企业供电系统

第一节 电力系统概述

一、电力系统的构成

电能具有输送方便、控制灵活、转换容易、利用率高、清洁经济、便于自动化等诸多优点，是厂矿企业最主要的动力。

电能从生产到供给用户使用，一般要经过发电、输电、变电、配电和用电几个环节。由发电机、输配电线路、变配电所以及各种用户用电设备连结起来所构成的整体，被称为电力系统。

在电力系统中，由各种不同电压等级的电力线路和变配电所构成的网络，称为电力网，简称电网。

图 1-1 为从发电厂到用户的送电过程示意图。

图 1-2 为大型电力系统的系统图。

1. 发电厂

生产电力的工厂称为发电厂。按使用能源种类的不同，发电厂有许多种。

(1) 火力发电厂。以煤或石油为燃料，发电厂的大型锅炉将水加热成高温高压蒸汽，驱动汽轮机带动发电机高速旋转发出电力，这样的发电厂称为火力发

电厂。我国目前电力生产大部分是靠火力发电厂。

(2) 热电厂。如果在发电的同时，将一部分做过功的蒸汽从汽轮机抽出用管道输给附近需要热蒸汽的工厂（如纺织厂等）使用，这样的火力发电厂称为热电厂。普通火力发电厂（也称凝汽式火电厂）热能利用率约为 40% 左右，而热电厂的热能利用率则可提高到 60%~70% 以上。这种热—电联产的综合效益可节约燃料 20%~25% 左右，因此应在具备条件的地方优先采用。

(3) 燃气轮机发电厂。它也属于火力发电厂的一种，但它不是以水蒸汽作为推动汽轮发电机组的工质，而是燃料（油或天然气）燃烧所产生的高温气体直接冲动燃气轮机的转子旋转。燃气轮机发电厂建设工期短，开停机灵活方便，便于电网调度控制，宜于承担高峰负荷而作为电力系统中的调峰电厂。

(4) 核电厂。利用原子核裂变产生的高热将水加热为水蒸汽驱动汽轮发电机组发电的电厂称为核电厂（或原子能发电厂）。核电厂造价较高，但运行费用低，每年消耗的核燃料可能仅为几吨，而相同容量的燃煤火电厂却要消耗煤几百万吨。因此，核电厂特别适于建在工业发达而能源（煤、石油）缺乏的地区。

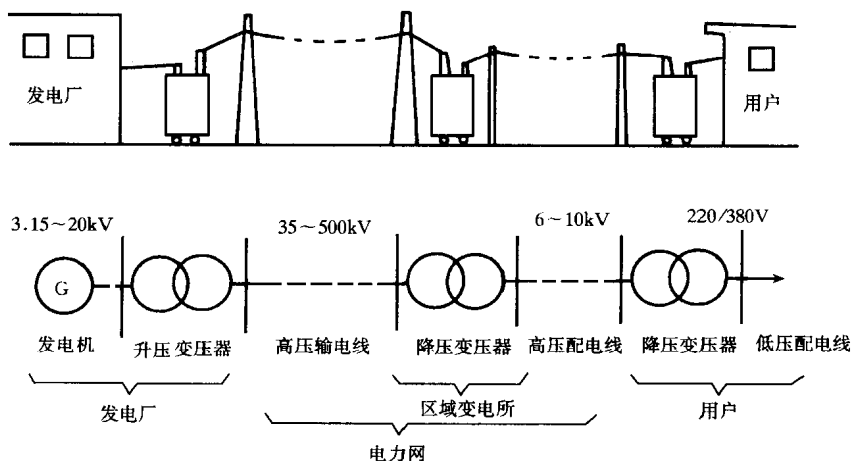


图 1-1 从发电厂到用户送电过程示意图（单线图）

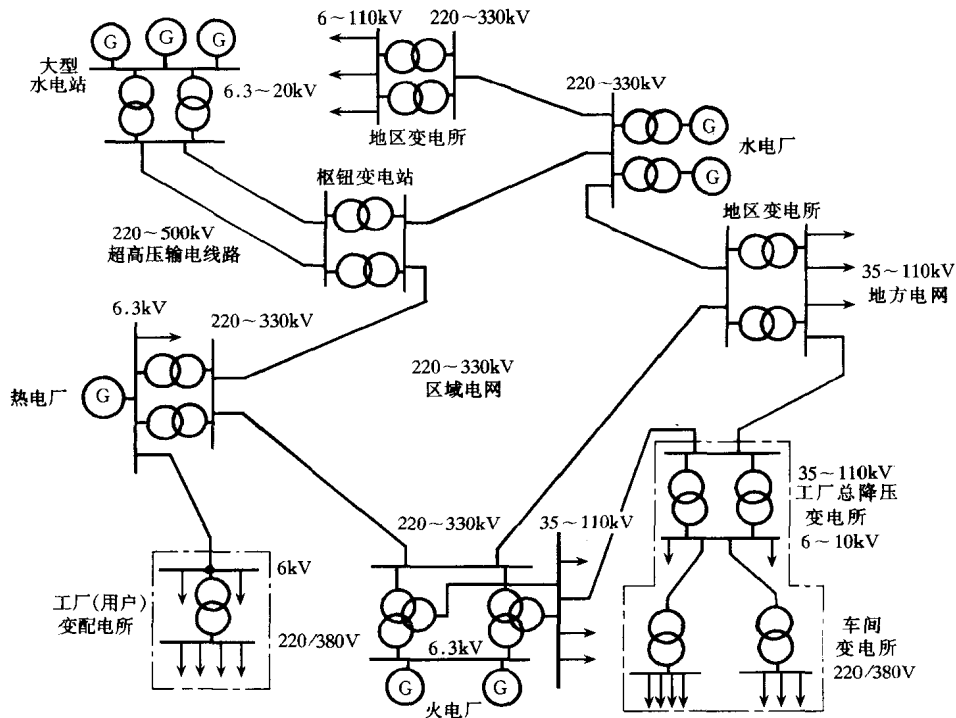


图 1-2 大型电力系统的系统图（单线图）

(5) 水力发电厂。利用自然界江河水流的落差，通过筑坝等方法提高水位，使水的位能释放驱动水轮发电机组发电的电厂，称为水力发电厂。水电厂一般只能建在远离负荷中心的江河峡谷，建设周期长，投资也较大。但它不需燃料，发电成本低（仅为火电厂的 $1/4 \sim 1/3$ ），能量转换效率高，又没有污染，开机停机都十分灵活方便，特别宜于担任系统的调频调峰及事故备用。

(6) 其它能源的发电厂。利用风力、地热、太阳能、潮汐和海洋能发电的发电厂也在研究和发展。一般容量都不大，多为试验性质。但新能源的利用是一项重要的战略性课题，在未来的社会发展中会起到重要的作用。

2. 电力网

电力网是连接发电厂和用户的中间环节。一般分成输电网和配电网两部分。

输电网一般是由 220kV 及以上电压等级的输电线路和与之相连的变电所组成，是电力系统的主干部分。它的作用是将电能输送到距离较远的各地区配电网或直接送给大型工厂企业。

配电网是由 110kV 及以下电压等级的配电线路（目前最普遍的是 10kV 线路）和配电变压器组成。它的作用是将电力分配到各类用户。

(1) 电力网的接线方式。可分为无备用方式和有备用方式两大类。

1) 无备用方式。仅有一条电源线向用户供电的电力网属于无备用方式。其特点是电网结构简单，运行方便，投资较少，但供电可靠性较低。广泛使用的断路器自动重合闸装置和线路故障带电作业检修，对这种接线供电可靠性较低的缺点有所弥补。无备用接线适宜向一般用户供电。

2) 有备用方式。凡用户能从两条或两条以上线路得到供电的电网属于有备用方式。这种接线供电可靠性高，但运行控制较复杂，适用于对重要用户的供电。

图 1-3 为无备用接线方式，图 1-4 为有备用接线方式，图 1-5 为某主干电力系统的地理接线图。

(2) 变（配）电所的类型和作用。变（配）电所

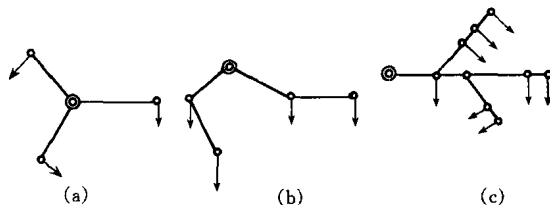


图 1-3 无备用接线

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 树枝式