

171234

714727.3
1013

工企电气设备及其运行 变、配电部分

第 二 版

王霁宗 主编

中国电力出版社

图书在版编目(CIP)数据

工企电气设备及其运行：变、配电部分/王霁宗主编.
2版. -北京：中国电力出版社，1998

ISBN 7-80125-649-2

I. 工… II. 王… III. ①工业企业-电气设备
②工业企业-电力系统运行③配电系统-基本知识
N. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 02223 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1983 年 10 月第一版

1998 年 7 月第二版 1998 年 7 月北京第六次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 17.625 印张 384 千字

印数 70041—74610 册 定价 20.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

目 录

第一章 电力系统的概述	1
第一节 电力系统的组成	3
一、发电厂	3
二、电力网	5
三、用户和用电负荷分类	5
第二节 电力系统的运行	7
一、电力系统运行的统一调度	7
二、供电电能质量	8
三、供电可靠性	11
四、电力系统的经济运行	12
五、电力系统中性点的运行方式	13
小结	17
第二章 工企变、配电站	19
第一节 概述	19
一、工企变、配电站的作用和分类	19
二、工企变、配电站的供电方式	20
三、对工企供电电压等级的确定	21
四、负荷曲线及负荷率	22
第二节 工企变电站的电气主接线	24
一、对电气主接线的基本要求	24
二、常用电气主接线的形式	25
第三节 电气设备的调度编号	28
一、设备调度编号的意义	28
二、设备调度编号的原则和方法	28
第四节 计算负荷的确定	33
一、计算负荷 P_C 的概念	33
二、确定计算负荷的方法	34

三、工厂总计算负荷的确定	38
第五节 变压器容量和台数的选择原则	41
小结	42
第三章 电力变压器	44
第一节 概述	44
一、变压器的作用	44
二、变压器的工作原理	44
三、变压器的构造	46
四、变压器的铭牌及额定数据	49
五、三相变压器的连接组	52
六、变压器油	56
第二节 变压器的运行和故障分析	57
一、变压器的允许运行方式	58
二、变压器的并列运行	65
三、变压器的经济运行	70
四、变压器油的运行	74
五、变压器运行中的检查和维护	78
六、变压器异常运行和常见故障分析	80
第三节 变压器的检修和试验	85
一、变压器大修	85
二、变压器小修	87
三、变压器试验	88
第四节 环氧树脂干式变压器	90
一、环氧树脂干式变压器的结构特点	91
二、环氧树脂干式变压器的性能参数及运行要求	92
第五节 低损耗变压器	93
一、铁芯	93
二、绕组	94
三、其他方面的改进	94
小结	94
第四章 高、低压成套配电装置	96
第一节 概述	96

一、对配电装置的基本要求	97
二、对用户内、外配电装置各部距离的要求	97
三、对配电装置的安全技术要求	100
第二节 成套配电装置	101
一、成套配电装置的特点	102
二、成套配电装置的分类	102
三、高压开关柜	103
四、低压开关柜	118
第三节 成套配电装置的运行	128
一、固定式高压开关柜的使用和维护	129
二、手车式高压开关柜的使用和维护	130
三、固定式低压开关柜的使用和维护	131
四、抽屉式低压开关柜的使用和维护	131
小结	132
第五章 高、低压开关和保护电器	133
第一节 高压开关和高压保护电器	133
一、高压断路器	133
二、高压负荷开关	148
三、高压隔离开关	151
四、高压熔断器	154
第二节 低压开关和低压保护电器	157
一、低压空气断路器	157
二、低压刀开关	166
三、交流接触器	168
四、磁力起动器	172
五、热继电器	176
六、低压熔断器	180
小结	186
第六章 电流互感器和电压互感器	188
第一节 概述	188
一、互感器的作用	188
二、互感器的原理和构造	188

三、互感器的误差	190
四、互感器的准确度等级和容量	192
五、常用互感器的种类和型号	194
六、电流互感器的10%误差曲线	195
七、电压互感器的保护	197
第二节 互感器的极性及其测定	199
一、电流互感器的极性	199
二、电压互感器的极性	200
三、互感器极性的测定	200
第三节 互感器的接线	202
一、电流互感器二次侧绕组的串联或并联接线	202
二、10kV单相电压互感器的常用接线及适用范围	203
第四节 电流互感器的运行和维护	205
一、电流互感器的巡视和检查	205
二、电流互感器的过负荷运行	205
三、电流互感器的二次回路开路及其处理	206
四、在运行中的电流互感器二次回路上工作时的注意事项	206
五、电流互感器及其二次线的更换	207
第五节 电压互感器的运行和维护	208
一、电压互感器的巡视和检查	208
二、电压互感器的停用及其二次线的更换	208
三、电压互感器一次侧熔丝熔断的原因和处理	209
四、电压互感器一相熔丝熔断后电压表的指示	210
五、防止铁磁谐振过电压的措施	211
小结	212
第七章 移相电容器	215
第一节 概述	215
一、移相电容器的特点	215
二、电容器的种类和型号	215
三、电容器的电容值 C 与无功容量 Q	219
四、电容器的接线和电流计算	220
五、电容器保护熔丝的选择	221

第二节 电容器的放电装置	224
一、电容器放电装置的作用	224
二、放电电阻的选择	225
第三节 运行温度和电压对电容器的影响	228
一、运行温度对电容器的影响	228
二、运行电压对电容器的影响	230
第四节 电容器组的过电压及合闸涌流	232
一、电容器组投、切过程中的过电压	232
二、电容器组的合闸涌流	233
第五节 电容器的运行、试验和检修	235
一、电容器组的操作	235
二、运行中电容器组的巡视和检查	236
三、电容器运行中的异常现象和故障处理	237
四、电容器的电气试验项目和标准	239
五、电容器绝缘电阻的摇测	240
六、电容器的检修	241
小结	242
第八章 电力线路	245
第一节 概述	245
一、架空线路的结构	245
二、电力电缆的结构和种类	252
第二节 电力线路导线截面的选择	257
一、按经济电流密度选择导线和电缆的截面	257
二、按发热条件选择导线和电缆的截面	258
三、按电压损失选择导线和电缆的截面	260
四、按机械强度选择架空电力线路的导线截面	260
第三节 电力线路的经济指标	261
一、电力线路的电压损失	261
二、电力线路的功率损失	262
三、电力线路的电能损失	264
四、电力线路的线损率计算	266
第四节 电力线路的运行和维护	267

一、架空线路的运行和维护	267
二、电缆线路的运行和维护	269
第五节 电力线路的故障	272
一、架空线路的故障	272
二、电缆故障	274
小结	278
第九章 电气测量和仪表	280
第一节 概述	280
一、电气测量仪表的分类	280
二、对电气测量仪表的基本要求	280
三、测量误差	281
第二节 磁电式、电磁式仪表和电流、电压的测量	283
一、磁电式仪表的工作原理及特性	283
二、电磁式仪表的工作原理及特性	285
三、电流表的接线	286
四、电压表的接线	288
五、磁电式和电磁式仪表的使用和维修	289
第三节 电动式仪表和功率的测量	292
一、电动式仪表的工作原理和特性	292
二、功率表的接线和使用	294
三、单相功率表测量无功功率的原理	295
四、用两只功率表测量三相有功功率与无功功率	296
五、电动式功率表的使用和维修	298
第四节 电桥和直流电阻的测量	301
一、电桥的工作原理	301
二、电桥的使用	302
三、电流表、电压表法测量直流电阻	303
第五节 兆欧表和绝缘电阻、接地电阻的测量	304
一、兆欧表的工作原理	304
二、兆欧表的使用	305
三、接地电阻测定仪（接地摇表）的组成和使用	306
第六节 感应式电度表和电度计量	308

一、感应式电度表的构造和工作原理	308
二、电度表倍率及其计算	311
三、电度计量方式和接线	313
四、运行中电度表的接线检查	322
五、电度表错误接线时电度数的更正	324
小结	329
第十章 继电保护和二次回路	331
第一节 概述	331
一、继电保护装置的任务	331
二、对继电保护装置的基本要求	331
三、继电保护的基本原理和分类	333
四、电流保护的接线方式及接线系数 K_X	335
五、继电器的型号含义	338
六、交流操作的反时限电流保护	340
第二节 变压器的保护	350
一、变压器的主要故障及保护装置	350
二、变压器的瓦斯保护	351
三、变压器的纵联差动保护	354
四、变压器的电流速断保护	355
五、变压器的过电流保护	356
第三节 3~10kV 高压电动机的保护	357
一、高压电动机的主要故障及有关的保护装置	357
二、高压电动机的电流速断及过负荷保护	358
三、电动机的失压保护	359
第四节 6~10kV 移相电容器的保护	360
一、移相电容器的主要故障及有关的保护装置	360
二、电容器组的相横差保护	361
第五节 变、配电站的自动装置	362
一、备用电源自动投入装置	362
二、自动重合闸装置	367
第六节 继电保护装置的运行和试验	371
一、继电保护装置的校验周期和内容	371

二、对继电保护装置及二次线巡视检查的主要内容	372
三、继电保护装置的运行维护工作	372
四、GL型电流继电器的电气特性试验及差动保护相量图的绘制	373
第七节 二次回路	376
一、概述	376
二、二次回路的标号	376
三、断路器的控制回路	378
四、信号装置	381
五、操作电源	383
小结	387
第十一章 过电压保护和接地装置	390
第一节 概述	390
一、过电压的种类和危害	390
二、内部过电压的产生和防护	390
三、大气过电压的产生和防护	393
第二节 过电压保护设备	396
一、避雷针、避雷线	396
二、阀型避雷器	403
三、保护间隙	416
四、排气式避雷器	418
第三节 变、配电站的过电压保护	423
一、变、配电站的直击雷保护	423
二、变、配电站的进线段保护	425
三、旋转电机的过电压保护	429
四、变、配电站的绝缘配合	433
第四节 10kV及以下架空线路和变压器的过电压保护	434
一、3~10kV架空线路的过电压保护	434
二、低压(380/220V)架空线路的过电压保护	435
三、10kV及以下变压器的过电压保护	436
第五节 建筑物的过电压保护	437
一、建筑物的过电压保护分类	437
二、建筑物的过电压保护措施	438

三、对建筑物过电压保护接地装置的要求	439
四、建筑物年预计雷击次数的计算方法	439
第六节 过电压保护的技术管理工作	440
第七节 接地装置	441
一、跨步电压和接触电压	442
二、接地体的埋设	444
三、接地装置的连接	445
四、接地装置导线截面的选择	445
五、接地电阻值的要求	446
六、土壤电阻率的测量	449
七、接地装置的运行与维护	450
小结	452
第十二章 工企用电的无功功率补偿	454
第一节 概述	454
一、无功功率就地补偿的意义	454
二、提高用户的功率因数	456
第二节 提高工企的自然功率因数	461
一、更换轻负荷感应电动机	461
二、将轻负荷电动机改变接线	464
三、限制感应电动机和电焊机的空载运行	465
四、提高感应电动机的检修质量	465
五、更换轻负荷电力变压器和消除空载现象	466
第三节 利用移相电容器进行无功补偿	467
一、移相电容器并联补偿的工作原理	467
二、移相电容器的补偿方式	468
三、移相电容器补偿容量的确定	470
第四节 无功补偿的经济当量	474
小结	480
第十三章 工企变、配电站的运行及其管理机构	481
第一节 变、配电站的倒闸操作	481
一、倒闸操作的基本要求	481
二、操作命令和操作程序	482

三、操作模拟图板	484
第二节 电源核相工作	485
一、核相工作的重要性	485
二、核相的方法和注意事项	486
第三节 电气运行管理机构及其工作	489
一、运行管理机构的作用和组织形式	489
二、电气运行管理人员的职责	489
三、对电气工作人员的培训与考核	492
四、制定电气设备检修、改进与发展计划	492
五、技术管理和资料	493
小结	495
第十四章 工企车间布线和照明设备	496
第一节 车间布线及其运行和维护	496
一、车间布线方式	496
二、车间布线的运行和维护	498
第二节 工企照明设备及其运行维护	499
一、照明设备的分类	499
二、常用照明器的工作原理	500
三、照明设备的运行和维护	508
小结	515
第十五章 电气安全技术	517
第一节 电流对人体的危害	517
一、危害程度与电流（强度）大小的关系	517
二、危害程度与电流频率的关系	517
三、危害程度与通电时间的关系	518
四、危害程度与电流途径的关系	518
第二节 触电事故的原因和规律性	519
第三节 电气设备的接地保护与接零保护	521
一、电气设备的工作接地	521
二、电气设备的接地保护	521
三、电气设备的接零保护	522
四、中性线的重复接地	523

五、同一供电系统中不允许同时采用两种保护	524
第四节 静电的产生和防护	526
一、静电的产生及特点	526
二、静电的危害	527
三、防止静电危害的措施	528
第五节 变、配电站的安全工作	528
一、变、配电站的值班、巡视和倒闸操作	529
二、变、配电站的安全工作制度	532
第六节 电气安全用具	539
一、安全用具的分类	539
二、安全用具的结构和用途	540
三、安全用具的检查和保管	542
第七节 电气火灾的扑救	543
小结	546

第一章 电力系统的概述

在电力生产中，发电厂往往建设在距负荷中心较远的地方。因此，必须通过输电线路和变电站这一中间环节，将生产的电能供给用户使用。同时，为了提高供电的可靠性和实现经济运行，往往将许多发电厂和电力网连接在一起并列运行。这样，我们把由发电厂、电力网和用户组成的统一整体称为电力系统，如图 1-1 所示。

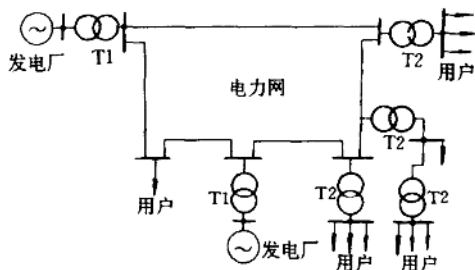


图 1-1 电力系统示意图

T1—升压变压器；T2—降压变压器

随着国民经济的发展，发电厂数量的增加，电网供电范围的逐步扩大，电力系统的规模也越来越大。电力系统之间通过联络线实现并网运行，则形成了所谓联合电力系统。

电力系统和联合电力系统较地区电厂单独供电有以下几点好处。

（一）减少电力系统的总装机容量和备用容量

由于电力系统各地区的负荷组成及特点不同，当形成电

力系统或联合电力系统后，整个系统的日最高负荷或季最高负荷都比各地区的日最高负荷或季最高负荷之和要少，因此可以减少总装机容量。

此外，系统中各发电厂可按照统一制定的检修计划轮流检修，错开检修时间。当机组发生故障时，各地区也可通过电力网相互支援。因此，整个电力系统需要准备的备用容量将比各个地区的检修或事故备用容量之和要小。

（二）提高供电可靠性

由于系统容量大，个别环节故障对整个系统的影响较小，而且多个环节同时发生故障的概率也减小。此外，当任一电厂发生事故停电时，系统中的其它电厂可以继续供电，因而使供电的可靠性大大提高。

（三）提高运行的经济性

在电力系统的运行过程中，可以充分发挥各类电厂的特点和作用，合理的利用动力资源。例如，在丰水期间，可让水电厂多发电，以节省火电厂的燃料；在枯水期间，可让水电厂少发电而只承担尖峰负荷。

电力系统中各个发电厂和机组的发电成本不同，并列运行，可按最少燃料消耗和最低发电成本的原则实现经济调度，从而获得系统运行的最大经济效益。

（四）提高电能质量

电力系统负荷的波动会引起电网频率的变化。但由于电力系统供电范围的扩大和供电能力的加强，总的负荷波动就比各地区负荷波动之和要小，引起的频率变化也相对较小。此外，冲击负荷在容量较大的系统中引起的频率变化也同样减小。

（五）便于安装大容量机组

安装大容量机组是降低发电成本、减少燃料消耗、加快电力建设的重要措施之一。但是对于较小容量的电力系统，大机组的采用却会造成系统运行和检修方面的困难。一般认为，100 万 kW 以上的电力系统，机组单台容量不宜超过系统容量的 10%。所以系统容量越大，按此比例可装设的机组容量也越大，收到的经济效益也就越大。

由于电能不能大量储存，所以发电、供电、用电实际上是同时进行的，三者之间是一个密切相关的有机整体，这也是电力生产的突出特点。因此，发电厂和供电网络的故障直接会影响用户的正常用电。同时也可能由于用户事故影响电力系统，造成系统大面积停电，从而影响更多的用户正常用电。为了使用户电工和电气技术人员更好的了解和掌握用户和电力系统的关系，下面概略的介绍与用户有关的电力系统的基础知识。

第一节 电力系统的组成

一、发电厂

根据利用的能源的不同发电厂可分为以下几种类型：火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂以及利用其它能源（如地热、风力、太阳能等）做为动力的发电厂。

在现代的电力系统中，以火力发电厂和水力发电厂为主，原子能发电厂也开始占有一定的比重。至于地热发电厂、风力发电厂和太阳能发电厂，由于技术要求复杂以及受地理、气候和开发等条件的限制，容量尚不能做得很大，目前在电力系统中的数量还很少。

(1) 火力发电厂。利用煤、石油或天然气等燃料发电的

电厂，称为火力发电厂。在火力发电厂中，一般利用锅炉产生水蒸气，用水蒸气冲击汽轮机的叶片使其转动，由汽轮机带动发电机发电。

采用燃气轮机的发电厂也是火力发电厂中的一种。燃气轮机的结构和汽轮机相似，但它的转子是由燃料（油或天然气）燃烧产生的高温气体直接冲动的。

此外，有些火电厂中装有供热式机组，它除了发电之外，还向周围的工业企业和住宅区供应生产用汽和采暖用热水，通常称为热电厂。

我国由于煤的资源丰富，分布也较广，所以目前的火电厂仍以烧煤为主。

(2) 水力发电厂。利用自然界的江河水流在高低处之间存在的位能进行发电的电厂，称为水力发电厂。在水力发电厂中，一般从河流较高处或水库内引水，利用水的压力或流速冲动水轮机旋转，通过水轮机再带动发电机发电。

构成水的位能的基本条件是水的流量和落差。水电厂所发电力(kW)，约为利用流量(m^3/s)与利用水头(m)乘积的8倍。

与火力发电厂相比，水力发电具有节省燃料、没有污染、能量转换效率高、发电成本低(约为火电的 $1/3 \sim 1/4$)等优点。此外，机组起动快，适宜担任调峰和事故备用，也是它的一个特点。但是，水电的不足之处是，一次投资较大，建设工期较长，同时受气候条件的影响较大。所以在电力系统中水、火电要配合供电，以取长补短，充分发挥各自的特点。

(3) 原子能发电厂。利用原子核裂变产生的原子能转变为热能来发电的电厂，称为原子能发电厂。原子能在反应堆中转变为热能，将水加热为蒸汽，然后蒸汽冲动汽轮机，带