



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

发电厂变电站电气设备

电厂及变电站电气运行专业

主编 卢文鹏



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

发电厂变电站电气设备

电厂及变电站电气运行专业

主 编 卢文鹏
责任主审 孙保民
审 稿 徐丽杰 文 俊



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为“电厂及变电站电气运行”专业以及相关专业的专业教材，共有十七个单元的内容。主要讲述：发电厂、变电站以及电力系统的基本概念，中性点的接地方式和短路电流计算，发电厂和变电站的主要一次设备，电气主接线和配电装置、接地装置，二次回路及接线，以及发电厂、变电站的过电压及防护等内容。书中还介绍了一些新技术和新设备。

本书主要作为“电厂及变电站电气运行”专业的教材，也可作为电力类其他专业的参考书，并可供电力系统中工人和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂变电站电气设备/卢文鹏主编. —北京：中国电力出版社，2001

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-0777-1

I. 发... II. 卢... III. ①发电厂-电气设备-专业学校-教材②变电所-电气设备-专业学校-教材

IV. TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 068575 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

*

2002 年 1 月第一版 2005 年 8 月北京第十一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 388 千字

印数 42001—45000 册 定价 21.00 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)

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

《发电厂变电站电气设备》是中等职业学校“电厂及变电站电气运行”专业的主干专业课，具有实践性强、应用性广的特点。学习本课程的任务：使学生成为具备高素质劳动者，培养发电厂和变电站一、二次系统所需中、初级专门人才的专门知识和基本技能，为后续专业课的学习、强化职业技能、增强工作能力，打下坚实的基础。

本课程是实践性较强的课程，教学中应结合实习基地、一体化教学以及多媒体教学手段，加强学生对电气设备的感性认识，学生也可以根据实习条件适当动手练习。本教材采用了单元一课题的编写方式，便于进行模块教学。书中删除了一些理论性强和计算复杂的章节。增加了中性点经低阻抗接地运行方式，自动重合器、自动分段器新设备，以及二次设备新产品的使用等。增加了“过电压及其保护设备”一个单元内容。本书的编写过程中，充分体现了“宽、浅、用、新、能、活”的六字原则。

本书的第一、五、十、十四单元由武汉电力学校的章运鹏编写，第二、六、九、十五、十六、十七单元由上海电力工业学校的陈珏编写，第三、四、七、八、十一、十二、十三单元由保定电力学校的卢文鹏编写。全书由卢文鹏统稿，上海电力工业学校邵子刚副教授主审。

在编写过程中，得到了河北保定中汇电气公司杨润武工程师、保定热电厂李长盛高级工程师的帮助，并提供了部分资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，时间十分仓促，书中难免有些缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

2001年8月

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一单元 发电厂、变电站及电力系统概述	1
课题一 电力系统概述	1
课题二 发电厂、变电站概述	3
课题三 发电厂、变电站电气设备概述	6
课题四 电气设备的主要参数	9
小结	12
习题	13
第二单元 电力系统中性点运行方式	14
课题一 中性点不接地的三相系统	14
课题二 中性点经消弧线圈接地的三相系统	17
课题三 中性点直接接地的三相系统	19
课题四 中性点经阻抗接地的三相系统	20
小结	21
习题	22
第三单元 电力系统短路及短路电流计算	23
课题一 概述	23
课题二 电力系统短路电流计算的方法	26
课题三 无限大容量电源供电电路内短路	35
小结	41
习题	41
第四单元 开关电器	43
课题一 开关电器中电弧的产生和熄灭	43
课题二 高压断路器	47
课题三 隔离开关	55
课题四 高压熔断器	57
课题五 高压负荷开关	61
课题六 自动重合器与自动分段器	64
小结	68

习题	69
第五单元 互感器	70
课题一 互感器的作用	70
课题二 电流互感器	71
课题三 电压互感器	78
小结	86
习题	86
第六单元 母线、绝缘子、电力电缆	87
课题一 母线	87
课题二 绝缘子	92
课题三 电力电缆	95
小结	98
习题	99
第七单元 电气主接线	100
课题一 电气主接线的一般知识	100
课题二 电气主接线的基本形式	102
课题三 发电厂、变电站电气主接线	112
课题四 限制短路电流的方法	116
小结	120
习题	121
第八单元 自用电	122
课题一 厂用电及厂用负荷	122
课题二 厂用电接线原则	124
课题三 发电厂、变电站自用电接线	129
小结	134
习题	134
第九单元 配电装置	135
课题一 配电装置一般知识	135
课题二 屋内配电装置	138
课题三 屋外配电装置	145
课题四 成套配电装置	153
小结	156
习题	157
第十单元 保护接地	158
课题一 接地的概念与人身安全	158

课题二 保护接地	160
课题三 电气装置的接地	165
课题四 接地装置	166
小结	167
习题	168
第十一单元 过电压及过电压保护设备	169
课题一 发电厂、变电站的过电压	169
课题二 防雷设备	172
课题三 发电厂、变电站防止过电压的基本措施	177
小结	180
习题	181
第十二单元 操作电源	182
课题一 直流负荷及操作电源	182
课题二 蓄电池组直流系统	183
小结	192
习题	192
第十三单元 测量监察回路	194
课题一 二次回路图的基本知识	194
课题二 测量监察回路	200
小结	208
习题	208
第十四单元 控制回路	210
课题一 控制回路的类型组成及要求	210
课题二 断路器的控制回路	214
课题三 联锁和操作闭锁回路	222
小结	228
习题	228
第十五单元 信号回路	229
课题一 发电厂和变电站的信号	229
课题二 事故信号	230
课题三 预告信号	237
课题四 新型中央信号装置介绍	240
小结	241
习题	242

第十六单元 同期回路	243
课题一 同期方式和同期点的选择	243
课题二 同期交流回路	244
课题三 准同期装置	248
小结	254
习题	255
第十七单元 二次回路接线图	256
课题一 屏面布置图	256
课题二 端子排图及屏背面接线图	259
小结	266
习题	266
参考文献	267

发电厂、变电站及电力系统概述

电能是联系整个社会的特殊商品，已经广泛应用于现代工农业、交通运输、科学技术、国防建设及人民生活中；电能又是能量的一种形式，它易于生产和输送，便于集中和分散，容易转变成其他形式的各种能量；并且对电能的控制易实现自动化和远动化。电气设备是电能流通各个环节的重要组成部分，它实现了电能的生产、输送、分配以及控制等。本单元从电能生产的特点出发，对发电厂、变电站、电力系统进行简要的介绍，熟悉主要电气设备，了解电压等级、额定电流、额定容量等，并树立电力安全生产的思想。

课题一 电力系统概述

一、中国电力工业的发展概述

国民经济要发展，电力工业必须先行，电力工业已成为衡量一个国家综合国力和现代化水平的标志之一。我国电力工业发展的起点很低，但近年来得到了迅速的发展，见表 1-1 所示。

可见，我国电力工业的装机容量和年发电量以平均年增长百分之十几的速度发展，由解放时的世界第 25 位跃居到现在的第 2 位。目前，我国最大的火力发电机组单机容量已达 80 万 kW，最大的水电机组单机容量为 32 万 kW（即将建成的三峡水电站单机容量为 70 万 kW）。电力系统的建设同时取得了显著的成就，已形成以 500kV 电压等级为

表 1-1 我国电力工业发展的几个基本数据表

时间	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kWh)	时期
1949 年	184.86	43.1	解放初
1978 年	5712	2566	改革开放初
2000 年	30000 多	13000 多	20 世纪末

主干网架的东北、华北、华中、华东、华南、西北、西南等 7 个跨省区域性的电力系统。由葛州坝到上海 500kV 超高压直流输电已将华中与华东电网联系起来，2001 年 5 月东北与华北也由 500kV 超高压实现了联网。

二、电力系统与电力网

1. 电力系统的概念

发电厂将一次能源转变成电能（又称二次能源），发电厂生产的电能需要输送给电力用户。在由发电厂向用户供电过程中，为了提高供电的可靠性和经济性，广泛通过升、降压变电站，输电线路将多个发电厂用电力网连接起来并联工作，向用户送电。这种由发电厂，升、降压变电站，输配电线路和用户在电气上连成的整体称为电力系统。电力系统的骨架部分是电力网，它是电力系统除去各种类型的发电厂、用户外，由各级电压的输配电

线路和变电站在电气上连成的整体，如图 1-1 所示。

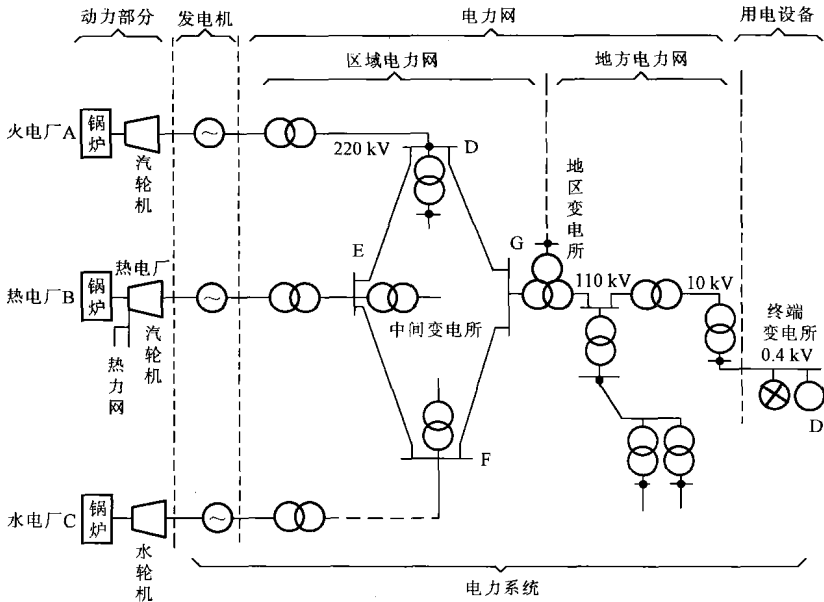


图 1-1 电力系统与电力网示意图

2. 电力系统的优越性

随着电力工业的不断发展，电力系统的容量不断增加、电压等级不断提高、所跨的区域不断扩大，形成强大的联合电力系统。因为联合电力系统具有以下优越性：

- (1) 可以提高电力网运行的可靠性。
- (2) 可以保证供电的电能质量。
- (3) 可以提高电气设备的利用率，减少系统的备用总容量。
- (4) 便于采用技术经济性能好的大机组。
- (5) 可以充分利用各种自然能源，发挥各类发电厂的特点，提高电力系统的整体经济性。

3. 电力生产的特点

- (1) 电能生产、输送、分配、使用的同时性。
- (2) 运行方式改变引起电磁暂态和机电暂态的短暂性。
- (3) 对国民经济发展和人民生活的重要性。

4. 电力系统的运行要求

为了保证为用户提供电能，电力系统的运行必须满足以下基本要求：

- (1) 必须满足用户的最大要求。
- (2) 保证供电的可靠性。
- (3) 保证电能质量。
- (4) 保证电力系统运行的经济性。
- (5) 保证运行人员和设备的安全。

5. 电力安全生产

人身安全、设备安全是电力系统运行的最高宗旨，发电厂和变电站的一切工作必须以发供电的安全为出发点。为此国家颁发了“电力系统法规”及一系列规程。

(1) 安全技术措施。对设备是否停电工作进行分类：设备检修时，应完成停电（或不停电和部分停电）、验电、装设接地线、悬挂指示牌和装设遮栏等；进行测量时认真执行安全测量规程。

(2) 安全组织措施。严格执行工作票制度、工作许可制度、工作监护制度，以及工作间断、转移和终结制度。

(3) 电气安全与防火。健全安全制度，有章必行。经常进行安全教育，树立安全生产的观念。正确使用安全工具，对安全工具按规定进行管理和试验。电气设备着火应先切断电源，使用合适的灭火工具。

(4) 触电急救。发生触电，首先脱离电源，对伤者进行处理和判定，正确运用“心肺复苏法”进行急救。

课题二 发电厂、变电站概述

发电厂是将各种天然的一次能源转换成电能的工厂，变电站是变换电能电压和分配电能的场所。下面简要叙述发电厂、变电站的类型及生产过程。

一、发电厂

发电厂是电力系统的中心环节，根据一次能源形式的不同，可以分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂及其他类型的发电厂；根据电厂的装机容量及在电力系统内地位的不同，又可以分为区域性发电厂、地方性发电厂及自备专用电厂等。

(一) 火力发电厂

火力发电厂是将燃料的化学能转换成电能的工厂，常见的燃料是煤、重油和天然气。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机，现在柴油机和燃气轮机都得到了应用。火力发电厂又可以分为：

1. 凝汽式火力发电厂（通常称火电厂）

燃料在炉膛内燃烧发出热量，被锅炉本体内的水吸收后产生蒸汽，送到汽轮机，带动发电机发出电能。已作过功的蒸汽进入汽轮机末端的凝汽器被冷却水还原为水后再送回锅炉。凝汽式电厂中的工质在发电过程中经历了水→汽→水的反复循环，从而实现将燃料的化学能→热能→机械能→电能的过程。在凝汽器中，大量的热量被冷却水带走，所以效率较低，只有 30%~40%。典型火电厂的布置如图 1-2 所示。

2. 供热式火力发电厂（通常称热电厂）

与火电厂不同的是热电厂中将部分作了功的蒸汽从汽轮机中段抽出供给电厂附近的热用户，减少了凝汽器中的热量损失，使电厂的效率提高到 60%~70%。

(二) 水力发电厂（通常称水电厂）

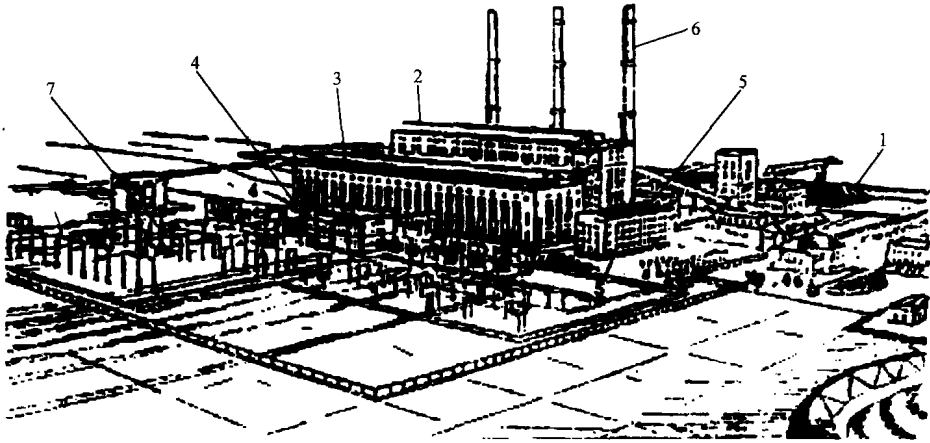


图 1-2 火力发电厂布置图

1—煤场；2—锅炉房；3—汽机房；4—主控制室；5—办公楼；6—烟囱；7—室外高压配电装置

水电厂是将水的位能和动能转换为电能的工厂。水电厂中发电机的原动机是水轮机，水流冲击水轮机旋转，带动发电机发电，按取水方式的不同，水电厂可以分为：

1. 堤坝式水电厂

在河流上的适当位置上修建水坝，形成水库，利用坝的上下游水位较大的落差，引水发电。堤坝式水电厂可以分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂厂房建筑在大坝的后面，不承受水的压力，适用于高、中水头的水电厂；河床式水电厂的厂房与大坝联合成一体，厂房是大坝的一个组成部分，要承受水的压力，故适用于中、低水头的水电厂。

2. 径流式水电厂

利用有较高水位落差的急流江河建坝，但不形成水库直接将水引入水轮机发电。这种水电厂只能按天然江河的水流量及水头落差来发电，受季节的影响较大，如长江中游的葛洲坝水电厂。

3. 抽水蓄能电厂

这是一种特殊形式的水力发电厂，由高落差的上下水库和水轮机—发电机—抽水机的可逆机组构成。抽水蓄能电厂可以实现对电能的调节。当系统处于低负荷运行时，电厂利用系统富余的有功将下水库的水抽到上水库中储存能量，此时机组按电动机—水泵方式工作；待电力系统处于高负荷、电力不足时，上水库放水释放能量发电，此时机组按水轮机—发电机的方式工作。抽水蓄能电厂可以作调频、调相和作系统的备用容量，一般可与发电出力较稳定的核电厂配合设置。

(三) 核电厂

核电机组与普通火力发电机组中的汽轮机、发电机部分基本相同，不同的是以核反应堆和蒸汽发生器代替了锅炉设备，如图 1-3 所示。在核反应堆中，铀—235 在慢中子的撞击下产生链式反应，使原子核分裂，放出巨大的能量。为了带走热量、控制核反应的速度，常利用轻水（压水）和重水作冷却剂，利用重水和石墨作慢化剂，故反应堆可分为重

水堆和石墨堆。

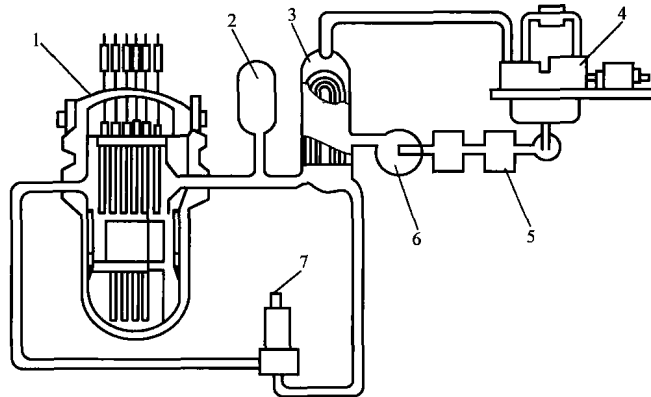


图 1-3 核电厂生产过程示意图

1—核反应堆；2—稳压器；3—蒸汽发生器；4—汽轮发电机组；5—给水加热器；6—给水泵；7—主循环泵

核电厂的汽水循环分成两个独立的回路。第一回路由核反应堆、蒸汽发生器、主循环水泵构成，高压水在反应堆内吸热后经蒸汽发生器再注入反应堆。第二个回路由蒸汽发生器、汽轮机、给水泵构成，水在蒸汽发生器内吸热变成蒸汽，经汽轮机做功被凝结成水后，再由给水泵注入蒸汽发生器。

核电厂能取得较大的经济效益，所需原料极少，1kg 铀—235 相当于 3000t 普通煤，折合成 2700t 标准煤；一个百万千瓦电厂，普通火电厂一年约需 300 万 t 燃料、核电厂仅需 30t。

(四) 其他类型发电厂

除了以上三种主要能源的利用外，其他各种形式的一次能源都应得到充分地利用，如风力发电、沼气发电、地热发电、太阳能发电等，生物发电、海水的波浪发电，特别是卫星电站正在开发之中。此外，还有直接将热能转变成电能的磁流体发电、电气体发电等。

二、变电站

变电站是电力系统的中间环节。根据其在电力系统中的地位和作用，可以分成以下几类。

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站位于电力系统的枢纽点，电压等级一般为 330kV 及以上，联系多个电源，出线回路多，变电容量大；全站停电后将造成大面积停电，或系统瓦解，枢纽变电站对电力系统运行的稳定和可靠性起着重要作用。

(2) 中间变电站。中间变电站位于系统主干环行线路或系统主要干线的接口处，电压等级一般为 330~220kV，汇集 2~3 个电源和若干线路，高压侧以穿越功率为主，同时降压向地区用户供电，如图 1-1 所示。全站停电后，将引起区域电网的解列。

(3) 地区变电站。地区变电站是一个地区和一个中、小城市的主要变电站，电压等级一般为 220kV，全站停电后将造成该地区或城市供电的紊乱。

(4) 企业变电站。企业变电站是大、中型企业的专用变电站，电压等级 35~220kV，

1~2 回进线。

(5) 终端变电站。终端变电站位于配电线路的终端，接近负荷处，高压侧 10~110kV 引入线，经降压后向用户供电。

课题三 发电厂、变电站电气设备概述

一、主要电气设备

为了满足用户对电力的要求和保证电力系统运行的安全稳定和经济性，发电厂电气部分的主要工作，是起、停机组，调整负荷，切换设备和线路，不断监视主要设备的运行，发生异常和故障时及时处理等。以上所有的工作都是靠操作主要电气设备来完成的。按主要电气设备作用的不同，可分成二大类型。

1. 一次设备

直接产生、输送、分配和使用电能的设备。包括以下几个方面：

(1) 生产和转换电能的设备。如将机械能转换成电能的发电机，变换电压、传输电能的变压器，将电能变成机械能的电动机等。

(2) 接通和断开电路的开关设备。如高低压断路器、负荷开关、熔断器、隔离开关、接触器、磁力启动器等。






(3) 保护电器。如限制短路电流的电抗器、防御过电压的避雷器等。

(4) 载流导体。如传输电能的软、硬导体及电缆等。




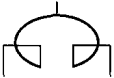
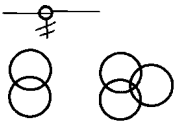


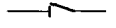
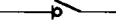
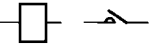


(5) 接地装置

通常一次设备用规定的图形和文字符号表示，见表 1-2 所示。




表 1-2 常用一次设备图形与用途

设备名称	图形符号	文字符号	用途
直流发电机		GD	将机械能转变成电能
交流发电机		GS	将机械能转变成电能
直流电动机		MD	将电能转变成机械能
交流电动机		MS	将电能转变成机械能
双绕组变压器		TM	变换电能电压

续表

设备名称	图形符号	文字符号	用途
三绕组变压器		TM	变换电能电压
自耦变压器		TM	变换电能电压
电抗器		L	限制短路电流
分裂电抗器		L	限制短路电流
电流互感器 电压互感器		TA TV	测量电流 测量电压
高压断路器		QF	投、切高压电路
低压断路器		QF	投、切低压电路
隔离开关		QS	隔离电源
负荷开关		QL	投、切电路
接触器		KM	投、切低压电路
熔断器		FU	短路保护
避雷器		F	过电压保护

续表

设备名称	图形符号	文字符号	用途
终端电缆头		X	电缆接头
接地		E	安全保护
保护接地		PE	保护人身安全

2. 二次设备

对一次设备和系统的运行状况进行测量、控制、保护和监察的设备。二次设备包括：

(1) 测量互感器。如电流互感器、电压互感器等，将一次系统的高电压、大电流转换成低电压、小电流，向测量仪表和继电保护装置供电。

(2) 测量表计。如电压表、电流表、功率表、电能表等，用于测量电路中的电气参数。

(3) 继电保护和自动装置。如各种继电器、自动装置等，用于监视一次系统的运行状况，迅速反应异常和事故，作用于断路器，进行保护控制。

(4) 操作电器。如各类型的操作把手、按钮等实现对电路的操作控制。

(5) 直流电源设备。如蓄电池组、直流发电机、硅整流装置等，供给控制、保护用的直流电源及厂用直流负荷和事故照明用电等。

二、电气接线和装置

在发电厂变电站中，各个电气设备必须用导体按一定的要求连成一个整体，并与必要的辅助设备一起实行安装，才能发供电，这即是电气接线和电气装置。

1. 电气接线

在发电厂变电站中，根据各种电气设备的作用及要求，按一定的方式用导体连接起来所形成的电路称为电气接线。其中一次设备所连

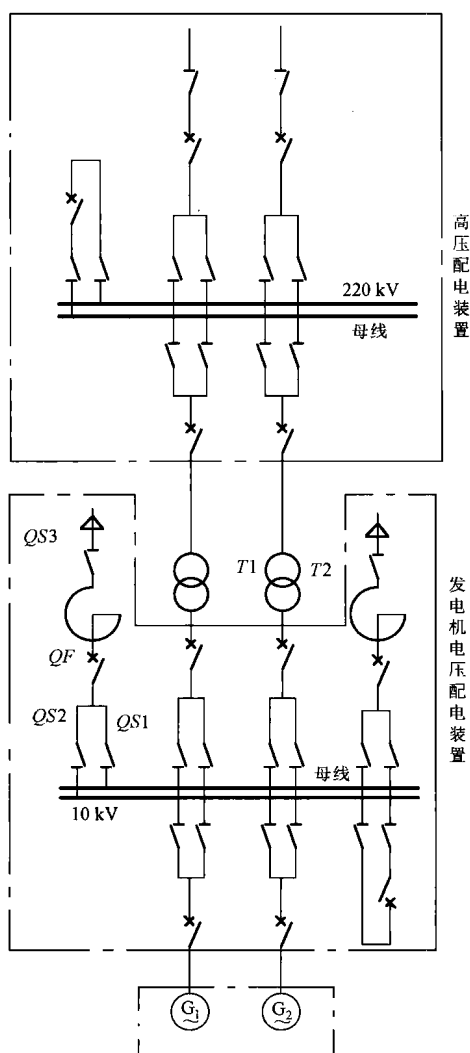


图 1-4 火电厂电气主接线图