

高等学校交流讲义

发电厂电气部分

西安交通大学发输配电教研组编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校交流讲义



发电厂电气部分

西安交通大学发输配电教研组编

中国工业出版社

本书从设计和运行的角度论述和分析了发电厂和变电所电气部分下列四个方面的问题：(1)有关电气设备设计和运行的理论基础，如发热、电动力和电弧熄灭的原理；(2)各种配电设备如开关电器和互感器的用途、原理、构造和选择计算方法；(3)发电厂和变电所中分配电能的电气系统(主结线和配电装置)及其附属设备的构成、实现和设计方法，以及运行中测量、监察、操纵、信号等二次系统的原理和结构；(4)主要电气设备如发电机、变压器和自用电动机的运行问题。

本书供高等学校“发电厂电力网及电力系统”专业作为教学用书。

发电厂电气部分

西安交通大学发输配电教研组编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南街)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $22^{3/8}$ ·插页1·字数545,000

1961年8月北京第一版·1963年3月北京第四次印刷

印数6,624—9,193·定价(10-5)2.75元

*

统一书号：K15165·603(水电-84)

序 言

本书是受水利电力部委托，作为高等工业学校“发电厂电力网及电力系统”专业的教材而编写的。

本书根据1959年教育部公布的该专业全国指导性教育计划草案，1959年西安交通大学拟订的“发电厂和变电所电气部分”课程的教学大纲，以1959年西安交大自编讲义为基础，并参考其他学校讲义进行编写。

书中第八章“电气主接线”和第十二章“配电装置”作了较大的改编，其他各章也都添入了新内容和本国材料。

编写中采用了苏联教材A.A.格拉茹诺夫主编的“发电厂和变电所的电气部分”，和Л.Н.巴普季丹诺夫和B.И.塔腊索夫所著“发电厂和配电站的电气设备”（包括1960年新版）的大量材料。

由于编写工作仓促，未能及时普遍收集各校讲义和意见，因此本书未能充分反映各校丰富的教学经验，而且内容难免有片面和错误之处，请读者提出宝贵的批评和建议，供再版时修改和充实内容的参考。

参加编审工作会议的学校有重庆大学，华中工学院，南京工学院，陕西工业大学，西安交通大学。编写工作由西安交通大学担任。

西安交通大学发输配电教研组

目 录

序言

第一章 緒 論	5
§1-1 电力工业在国民經济中的作用	5
§1-2 我国电力工业发展概况	5
§1-3 发电厂和变电所的类型	6
§1-4 发电厂和变电所电气设备的簡述	9
§1-5 本課程目的和要求	12
第二章 电气设备的发热和电动力	13
§2-1 概說	13
§2-2 电器及載流部分的发热容許溫度	13
§2-3 均匀导体的連續发热	16
§2-4 均匀导体的短时发热	19
§2-5 載流系統間的电动力	23
§2-6 三相系統导体間的电动力	25
§2-7 电气触头的发热和电动力	27
§2-8 机械共振	28
第三章 开关电器中的灭弧原理	29
§3-1 电弧的形成和熄灭	29
§3-2 交流电弧的熄灭	34
§3-3 切断交流电路时电压的恢复过程	36
第四章 高压断路器和低压开关	42
§4-1 高压断路器的一般問題	42
§4-2 多油断路器	46
§4-3 少油断路器	53
§4-4 空气断路器	57
§4-5 各种高压断路器的比較	64
§4-6 断路器的伸張机构和操动机构	65
§4-7 低压开关	68
第五章 熔断器、隔离开关和負荷开关	71
§5-1 熔断器	71
§5-2 隔离开关和其操动机构	76
§5-3 負荷开关	81
第六章 互感器	83
§6-1 概說	83
§6-2 电压互感器	83
§6-3 电容分压器	91
§6-4 电流互感器	93
第七章 电气设备的選擇	108

§7-1	选择电器和载流部分的一般条件	108
§7-2	母线、电缆和绝缘子的选择	111
§7-3	高压断路器的选择	119
§7-4	熔断器、隔离开关及负荷开关的选择	121
§7-5	互感器的选择	122
§7-6	电抗器的作用和选择	127
第八章	电气主结线	132
§8-1	概说	132
§8-2	发电厂和变电所电气主结线的基本形式	133
§8-3	以发电机电压供电为主的发电厂结线	141
§8-4	区域发电厂的主结线	151
§8-5	降压变电所的主结线	161
§8-6	选择电气主结线的技术经济计算	166
第九章	自用电	169
§9-1	概说	169
§9-2	自用电动机的类型与自用机械的特性	169
§9-3	机组的起动和惰行以及电动机的选择	172
§9-4	电动机的自起动	177
§9-5	节约自用电的措施	179
§9-6	发电厂的自用电结线	181
§9-7	变电所的自用电	190
§9-8	发电厂和变电所的照明	191
第十章	操作电源	192
§10-1	概说	192
§10-2	直流操作电源装置和直流系统	192
§10-3	交流操作电源	207
第十一章	发电厂和变电所的监察、测量、操纵和信号装置	212
§11-1	二次结线的基本概念	212
§11-2	监察测量系统的概述	214
§11-3	电工测量仪表	215
§11-4	绝缘状况的监察	218
§11-5	电压互感器和电流互感器的配置	221
§11-6	同期接线	223
§11-7	距离操纵概述	224
§11-8	操纵装置	226
§11-9	信号装置	230
§11-10	控制板	233
§11-11	控制测量系统的弱电化与选线化	235
第十二章	配电装置	239
§12-1	配电装置的类型和对它的要求	239
§12-2	屋内配电装置	239
§12-3	成套配电装置	256

§12-4	发电机电压配电装置与发电机及变压器間的联結	258
§12-5	屋外配电装置	262
§12-6	对配电装置建筑部分的要求	276
§12-7	发电厂和变电所主要建筑的总体布置	277
第十三章	接地装置	282
§13-1	接地装置的用途和基本概念	282
§13-2	接地电阻的計算值	284
§13-3	接地装置的施工	286
§13-4	接地的計算	288
第十四章	发电机和变压器的运行	293
§14-1	发电机的容許溫度	293
§14-2	发电机的冷却系統	293
§14-3	冷却气体溫度变化时发电机的运行	300
§14-4	发电机的短时过負荷	302
§14-5	发电机在电压变动时的运行	303
§14-6	发电机在功率因数变动时的运行	307
§14-7	发电机的不对称运行	309
§14-8	发电机失去励磁后的运行	313
§14-9	发电机軸和軸承中的电流	314
§14-10	变压器的負荷能力	317
§14-11	变压器的冷却方式与其改进	328
§14-12	自耦变压器綫卷功率的分配	330
附录		334

第一章 緒 論

§1-1 电力工业在国民經济中的作用

电力工业为一切現代化生产提供动力。鋼鉄、机械、化学、国防和其他現代化工业，如果没有电，生产就很难进行。因此，整个国民經济的发展，都与电力工业的发展有密切关系。列宁說过：“只有当国家实现了电气化，为工业、农业和运输业打下了現代大工业的技术基础的时候，我們才能彻底取得胜利”^①。

实现电气化可以利用一切能源，把它們变成統一的、大量而机动的电力。这种电力可以在数量上方便地分散和集中，既便于輸送，又能保証工艺过程可以做到准确性最精密、速变最快、强度最大。由于电力具有这些特点而且比較便宜，因此电气化也是生产过程全盘机械化和自动化的技术基础。实现农业的电气化将大大提高农业劳动生产率、促进农业技术的发展、帮助农业收获量的增长。所以，国民經济各个部門的电气化，是现代技术进步最重要的环节。

偉大的中国共产党从来就重視我国电力工业的发展。开国以来，党在电力工业发展方面制定了各項方針政策，积极采取了各种有效措施，使我国电力工业得到了突飞猛进的发展。

§1-2 我国电力工业发展概况

解放前，我国电力工业和其他工业一样是非常落后的，并且带有显明的半殖民地的性质。从1882年帝国主义者在上海开办第一个发电厂起到1949年全国解放为止，全国发电厂装机总容量只有185万瓩；年发电量只有43亿度，占世界第25位，亚洲第4位。在分布上，发电設備几乎全部集中在东北和沿海大城市。

新中国成立后，电力工业获得了突飞猛进的发展。这种发展使我国电力工业发生了巨大的变化。到1959年我国的发电量已跃居世界第9位和亚洲第2位。

电力工业的布局，随着整个工业布局的改变也已經有了极大的改变。水力发电和农村用电的比重也有了很大的增长。这样，不仅改变了解放前我国电力工业那种支离破碎，生产、分配不能互相調济的分散局面，而且也改变了原来在地区分布上偏集于东北及沿海各大城市的极不合理的布局，保証了工业生产和建設用电。現在，全国各大、中城市和部分专区、县以及不少农村，都有了規模不同的发电厂。这个巨大的变化，具有重大的政治意义和經济意义，为合理地开发和利用我国的各种資源，促进国民經济的全面跃进起着重要的作用。

解放后，在設計、施工和生产技术方面也取得了很大成就。我国从沒有設計經驗而发展到能够独立設計大型水火电厂；施工方面从不能独立安装而发展到能够同时进行多

① 見“列宁全集”，1958年人民出版社版31卷469頁。

个水火电厂的施工；在电力生产方面，经济效率和安全状况也有了根本的改善。在群众性的技术革新和技术革命运动中，也创造了不少先进的经验。在挖掘设备潜力、增产节约方面，例如输配电设备升压运行，变电所采用自动远动技术，配电网实行供用电合作化，合理调整电动机，实行用电合理化等等，这些已成为整套发、送、变、配和用之间增产与节约电力的经验，为多供电、多生产、降低电力损耗、节约电力设备和促进生产的持续跃进创造了良好的条件。在设计施工方面，如简化电气主接线设计，修改线间距离公式，采用新型配电装置结构，二次线系统中采用弱电选线和远动技术，推行 220 千伏高压输电线路上的带电作业，不停电检修等等，对促进我国电力事业的发展，提高电力技术水平起了很大的作用。

我国在电力工业上取得的伟大胜利，是在党中央和毛主席的正确领导下，贯彻执行党的社会主义建设总路线和一整套两条腿走路方针的结果；同时，也是和苏联及其他社会主义兄弟国家的援助分不开的。

§1-3 发电厂和变电所的类型

发电厂是生产电能的一种特殊工厂。在发电厂中各种形式的能量（燃料的化学能、水能、风能、原子能等）被转换为电能。发电厂所生产的电能沿输电线路输送给各种不同的用户，以满足工业、农业、城市公用事业和居民用电的需要。

发电厂常根据所利用的能量形态的不同而分为以下几类：（1）火力发电厂；（2）水力发电厂；（3）原子能发电厂；（4）风力发电厂；（5）其他（如太阳能发电厂、地热发电厂等）。

在现代动力系统中工作的发电厂，主要为火力发电厂与水力发电厂；此外，原子能发电厂近年来也在若干国家内开始逐步兴建。至于风力、太阳能、地热等发电厂，由于建设条件的独特，容量限制和技术复杂等原因，至今在动力系统中还很少见到。

下面拟就上述三种主要电厂的特点及其在动力系统中的工作情况，以及变电所的类型作一简单介绍。

一、火力发电厂

在火力发电厂中主要用以发电的原料是煤，此外也有用液体和气体燃料的。液体燃料是最珍贵和发热量最高的燃料，因此只有在不可能应用别种燃料的特殊情况下，才容许采用它来发电。气体燃料主要为天然气，冶金工厂中的发电厂还有用鼓风机煤气和焦炭气的。

煤是工业的食粮，许多工业部门都需要它，特别是优质煤更是一些重工业工厂（冶金、化工等）所必需。因此从整个国民经济中燃料的经济利用出发，应尽量用低质煤来发电，同时还应大力开展燃煤的综合利用工作。

根据热力原动机种类的不同，火力发电厂又可分为：

1. 汽轮机发电厂

汽轮机发电厂包括凝汽式和兼供热式两种。

1) 凝汽式火电厂：在凝汽式火电厂中，装有凝汽式汽轮发电机组，由于这种机组在发电过程中热损失较大，故一般凝汽式火电厂的效率都较低。即使是现代的高温高压或超高温高压的凝汽式火电厂，也只有 30~40% 的燃料含热量变成电能，其余的 70~60%

燃料的热量在发电过程中未加利用而损耗掉了。

凝汽式火电厂不宜建在远离燃料产区的地方，因为将电能输送到远距离用户处所，较之经由铁道运输发热量不大的、含有大量灰和水分的远地燃料，在经济上较为合算。因此，凝汽式火电厂主要应建设在靠近燃料的产地，特别应建设在靠近低质煤（洗煤、炼焦付产物等）的产地，这样的电厂常称为“区域发电厂”。

凝汽式火电厂可以较方便地建设在任何地方（如果水源可以解决）。它既可以是区域发电厂，也可以是城市发电厂、工业发电厂或农村发电厂等。此外，凝汽式火电厂的建设期限和基建投资也都较小（相对于水电厂和热电厂而言），故目前在世界各国的火电厂中都以凝汽式为主。

在动力系统中，凝汽式火电厂可以在日负荷曲线的任何位置工作。既可以担任峰荷、腰荷或基荷，也可以担任系统事故备用、负载备用（调节频率）或检修备用等。在世界各国和我国的大部分系统中，凝汽式火电厂都是系统的“主力”。

2)兼供热式发电厂（或称热电厂）：某些部门（如化工、纺织、造纸等）在生产产品时，不仅需要消耗电能，而且也要消耗热能；此外，城市公用事业和居民取暖也需消耗热能。因此，在这些部门中以往多自备有锅炉设备。

为了提高燃料利用的经济性和改善凝汽式火电厂的效率，现在往往考虑在用户附近修建热电厂。这种电厂不仅对用户供给电能，也供给热能，这样，在各个耗热部门中就可不必再自备锅炉设备了。

现代热电厂在供给用户的两种能量（电能和热能）后，可使总效率提高到60~70%，有的甚至更高。当热电厂综合供电和供热时，较之分别供应，即从凝汽式火电厂供电而从专门的锅炉装置供热，可节省燃料20~25%。

热电厂最经济的运行方式是按照热负荷曲线工作，即是按照供给热力用户的蒸汽来适当调节进入汽轮机的蒸汽。由于热能用户与电能用户的工作情况各不相同，因而要实现上述经济运行方式只有当热电厂与动力系统中其他电厂（凝汽式火电厂、水电厂等）协同工作时才有可能。此时按照热力用户所需热量调节进入汽轮机的蒸汽便得到某一确定的电能生产量。如果发电厂所发电能超过本地用户需要，则将一部分电能送入电力系统，同时其他并列工作的发电厂的负荷则相应减少；相反地，如果发电厂所发电能不能满足本地用户需要，便由电力系统补给电能，同时其他发电厂的负荷则相应增大。

热电厂通常都建在用户附近，因此主要用发电机电压（6~10千伏）配电。为了送电给远地用户及与电网相联，热电厂中通常有升压变电设备。

2.蒸汽机发电厂

蒸汽机发电厂的建设一般都是为了供给农业、林业、地质勘探、土建施工等用电的需要。它的容量一般都不大。在我国农村中，锅驼机用得最广，它是由锅炉和蒸汽机所组成的。从锅炉出来的蒸汽进入蒸汽机，利用皮带带动发电机旋转。它除了可以带动发电机发电外，常常用来直接带动水泵及其他农业机械。这种电厂很少加入动力系统工作。

3.内燃机发电厂

内燃机发电厂的建设一般也是为了供给土建施工、地质勘探、农业和林业等用电需要。它的容量较小，通常为几百瓩，最大为几千瓩，只有当用户不可能由大型区域电厂

供电，且根据当地情况又不可能修建蒸汽机发电厂或水电厂时，才宜于建设这种电厂。同样，这种电厂也很少加入动力系统工作。

内燃机发电厂可以用任何一种内燃机作为原动机，但最常用的是柴油机。如果有本地固体燃料，则可以建设煤气机发电厂，煤气由煤气发生炉产生。煤气发生炉可利用任何本地燃料和农、林业与生产上的任何有机废料。此外，沼气发电也是属于内燃机发电厂的一种。

4. 燃气轮机发电厂

燃气轮机是一种新型热力发动机，它的技术尚处于发展和不断完善的阶段。在国外燃气轮机已广泛用于交通运输部门，并已开始电力工业部门中采用。

燃气轮机可以用重油、煤粉等作为燃料。这种发电厂的特点是：建筑紧凑、运转灵活、起动迅速、并能节省运行人员等。但由于燃气轮机造价高，对燃料的要求亦严，因此它不如汽轮机发电厂经济，其发展也就受到一定限制。

但是燃气轮机发电厂可用于没有水电厂的电力系统中以承担系统的尖峰负荷。由于它在担任系统峰荷时每天运行时间不长，因而所消耗的贵重燃料也不会太多。这样，依靠一般的汽轮机发电厂担任基荷而由燃气轮机发电厂担任峰荷往往可使整个系统运行的经济性提高；此外，由于燃气轮机起动迅速，故担任系统的事故备用也很合适。

由于我国水力资源丰富，并为了使贵重的石油用于其他更重要的部门，因此在最近期间我国将不会大规模地建设燃气轮机发电厂。

二、水力发电厂

水电厂的原料是水。水电厂的容量与水头、流量和水库容积大小等有关。根据水力枢纽布置的不同，水电厂又可分为拦河坝式、引水道式、混合式及地下式等。

在社会主义计划经济的条件下，水电厂的建设不仅为了发电，而且还要满足其他综合利用水利事业（如防洪、灌溉、航运和渔业等）的要求，这种综合利用的水电厂在整个国民经济中所起的作用是很大的。

与火电厂相比，水电厂的生产过程较为简单，易于实现全盘自动化；检修工作量也较少，因此所需运行人员较火电厂少得多。水电厂在运行中不消耗燃料，其他运行支出也少，因此年运行费用也较火电厂少得多，并可每年为国家节省大量燃料。但是水电厂的造价较贵，建设期也较长。我国由于地形地质条件较好，因此建设水电厂的条件较为优越。

当水电厂在系统中与其他电厂并列工作时，由于水轮机的特性能很好适应负荷的变化，因此很宜于担任系统尖峰负荷和调整频率。这样，就可相对地提高火电厂的效率以减少燃料消耗。此外，还由于水轮发电机组起动迅速、运转灵活、故水电厂担任系统的事故备用也是很恰当的。

利用潮汐能发电的潮汐发电厂，也是水力发电厂中的一种。在某些国家，潮汐发电已有较大发展。但是，由于潮汐发电厂的水力机组制造复杂、耗钢材较多，故在最近期间它的发展还将受到一定的限制。

三、原子能发电厂

1954年6月，世界第一个原子能发电厂在苏联投入运行，从而开辟了将原子能用于和平事业的新纪元。

图 1-1 表示原子能发电厂生产过程简况。原子能发电厂与一般的火电厂在基本原理上是一致的，不同的是在原子能发电厂中用原子核反应堆 1 和蒸汽发生器 4 来代替了一般火电厂中的锅炉设备。原子能发电厂中的发电设备仍为普通的汽轮机 8 和发电机 14。

原子能发电厂的能源是原子核反应堆。在反应堆内，铀(U^{235})在缓慢的中子的撞击下(用石墨作为减速剂)，产生链式反应而使原子核分裂。原子核在分裂过程中产生了巨大的能量。

从图 1-1 中可以看出，在原子能发电厂中水的循环有两个独立回路。第一个回路由反应堆 1、蒸汽发生器 4 内的水管 5 和循环水泵 6 所组成。在循环水泵的作用下，回路内不断循环着压力为 100 大气压而容积不变的蒸馏水。水管经过原子核反应堆的内部，蒸馏水被核能加热到 270°C 然后进入蒸汽发生器。在蒸汽发生器内水将自身的热量传给第二回路的蒸汽。过滤器 7 是为了防止偶然的悬移固体质点落到反应堆内而装设的。水箱 13 和水泵 12 则是为了补充和更换第一回路内的水而装设的。

第二回路由蒸汽发生器 4、汽轮机 8、凝汽器 9 和给水泵 11 所组成。在蒸汽发生器内产生了 12.5 大气压、 260°C 的蒸汽，随后蒸汽进入汽轮机内做功。作完功后的蒸汽再进入凝汽器。在凝汽器内蒸汽被由循环水泵 10 所供给的循环水所冷却而凝结，最后由给水泵将凝汽器内的凝结水打回蒸汽发生器。

原子能发电厂所需要的原料极少。例如：一个 5000 瓩的原子能发电厂在一昼夜间仅消耗 30 克的铀；而与它同容量的凝汽式火电厂却要消耗 100~110 吨的煤。

原子能发电厂可以建造为凝汽式的或兼供热式的。

四、变电所的分类

在电力系统中变电所是发电厂和用户联系的中間环节。它起着变换和分配电能的作用。变电所可按用途分为：(1) 升压变电所；(2) 降压变电所；(3) 联络变电所；(4) 工业企业变电所；(5) 农村变电所；(6) 整流变电所；(7) 电车变电所。

变电所也可按它在电力系统中的地位而分为(1) 枢纽变电所；(2) 穿越变电所；(3) 终端变电所。或按供电的范围而分为区域变电所与地区变电所两种。

§1-4 发电厂和变电所电气设备的简述

动力系统中电能的生产具有与其他工业部门生产不同的特点。

电能的生产、分配和消费过程实际上是在同一时间进行的。电能不能储藏，没有消费电能的用户就无法生产它。发电量严格地决定于用户的用电量和输送的损耗。因此，电力系统不仅要完成发电量计划，而且在任何时间要保证承担最大负荷。电力系统中必须有足够容量的发、送电设备以保证在正常情况下对用户的供电和电能的质量。运行方式随负荷变化、设备的退出和投入而改变。在发电厂和变电所中设备的正常运行方式，

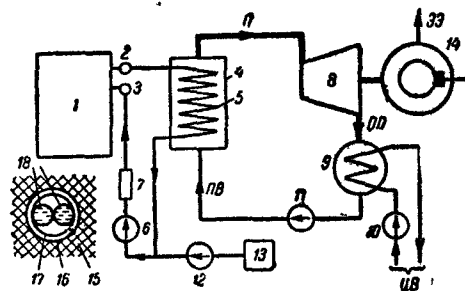


图 1-1 原子能发电厂生产过程简图
IIA—循环水；IIB—给水；II—蒸汽；OII—排汽。

服从系统的调度。

电力系统经常发生暂态过程，产生原因是正常的切换操作如用断路器投入设备或设备的损坏，如短路及其他雷击等。在电力系统任何地点发生故障影响及于整个系统，而且暂态过程进行极为迅速。因此在发电厂和变电所中必须装设专门的自动装置。一切设备的制造、设计、选用不仅要考虑它们在正常情况，也要考虑在事故情况下的运行。

电气部分运行的主要内容是：(1)根据一定的运行方式，起动或停止机组，并完成所有必须的电路切换；(2)不间断地监视主要电气设备的工作；(3)周期检查和维持主要电气设备；(4)消除运行中发生的错误及事故；(5)定期检修设备。

根据电气运行工作的要求，发电厂设有以下几种主要电气设备：

1)生产和变换电能的设备：发电机生产电能；同期调相机生产无功功率和调节电网电压；电力变压器用以取得必须的高压或低压电能；电动机用以拖动各种辅助机械。这些都是发电厂内最重要的设备。

2)开关电器：用以在各种运行条件(正常、事故)下开闭和切换电路，因此也是重要的电器。如断路器、隔离开关，自动空气开关、熔断器、接触器、闸刀开关，磁力起动器等；

3)限流和限压电器：用以在故障时限制故障电流的如电抗器，限制故障时过电压的如避雷器；

4)保护电器：用以反映电气故障，作用于信号或作用于开关电器的操动机构以切除事故，如各种继电器；

5)互感器——是测量电路中的电流、电压和功率的辅助设备，也用作供电给继电器和调整器的电源，包括电流互感器和电压互感器。

同时发电厂变电所电气设备又可分为一次设备和二次设备两大类：

一次设备：有发电机、变压器、开关电器、电力电缆等，经此设备电能可由发电厂内的发电机传送到用户。

二次设备：是对一次设备的工作进行监察测量和操纵控制的设备，如仪表、继电器、自动操作及信号设备、控制电缆等。

一次设备依一定次序连成的电路称为电力电气主结线。主结线图能说明电能的输送分配关系和各种运行方式，所以它是运行中操作切换电路的依据。主结线图常被画成单线图的形式。下面以一个大型火电厂的主结线图为例来说明各种主要电器的作用及配置。

图1-2是用两种电压(发电机电压和升高电压)配电的大容量火电厂主结线图。电能从发电机先送到6~10千伏母线。母线也汇集和分配电能的作用。电能的一部分由母线分配到各引出电缆，送至6~10千伏电网；另一部分通过升压变压器送到35~110千伏的升高电压母线上，再送至高压架空线。架空线用来向远距离的用户送电，并将发电厂与系统并列。

断路器(B-1、B-2等等)在正常时用来接入或断开电路；在故障情况下由于继电器的作用，而能自动断开电路。

隔离开关(P-1、P-2等等)的作用是当各种一次设备需停电来检修、更换时，用它来实现与带电的工作元件可靠地隔离，以保证检修人员工作的安全，也使检修不影响运行部分的工作。由于隔离开关没有特殊的灭弧设备，所以不能在带负荷(电流)的情况下接

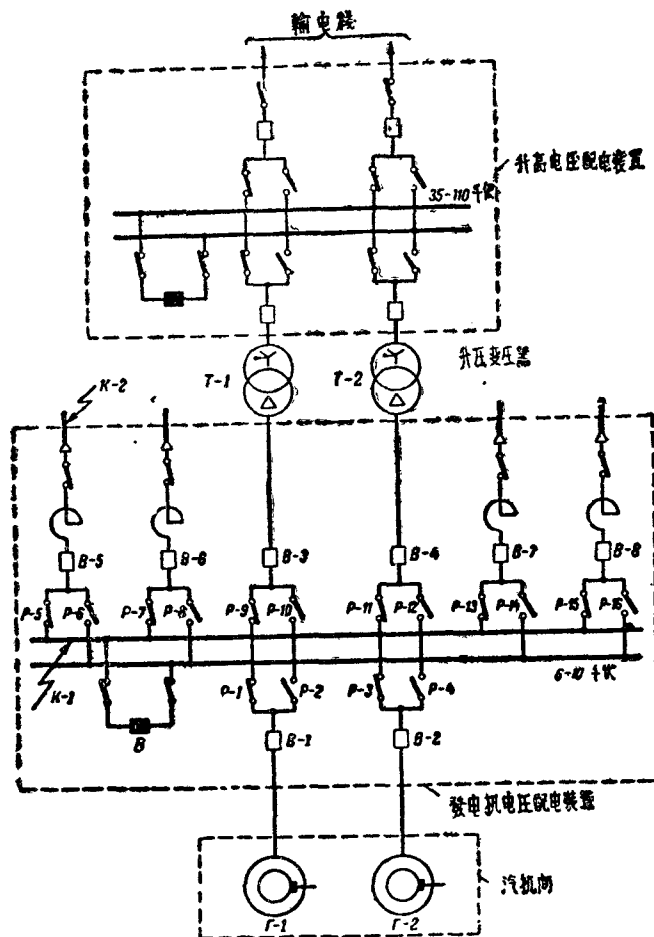


图 1-2 大型火电厂的主結綫

入或断开电路，而只能将已由断路器切断、没有电流流过的元件的接入或断开。例如只有先断开断路器 B-6，才能打开隔离开关 P-7。

发电机电压与升高电压的母线都各有两套，称为双母线；在正常情况下只有一套母线工作，另一套作为备用。有了两套母线，就可以使一套母线故障或检修时，经过一些切换操作，利用另一套母线，使电厂能继续工作。

在发电机电压的引出线上，串联有电抗器。它是感抗很大的线卷，用来限制短路电流，以使发电厂和电网内所有降压变电所能避免装设断流容量很大而笨重昂贵的断路器。

图中只表示出发电厂主要的高压电器。除此以外，发电厂还装有电流互感器、电压互感器，和各种仪表，继电器及信号装置等。

发电机及其附属设备在汽(水)轮机车间内，发电机电压的所有电器一般设在称为屋内配电装置的专门建筑内；升压变压器和升高电压的所有电器通常露天置放，后者并被称为屋外配电装置(配电装置部分在图中以虚线勾出)。

测量、监察、保护和信号等二次设备都装在主控制室中。

§1-5 本課程目的和要求

本課程是“发电厂、电力网电力系统”专业的主要专业课程之一。通过課堂讲授、实验、实习和課程設計等环节使同学能較系統地初步掌握发电厂变电所的設計、运行、施工的基本知識和实践能力。本課程主要内容有：

- (1) 电气设备設計、运行的基本理論知識。如发热、电动力的理論与計算。
- (2) 发电厂变电所各种主要設備的用途，原理，构造和選擇計算方法。
- (3) 发电厂变电所輸送和分配电能的一次电气系統(主結綫与配电装置)及运行中測量、監察、操纵、信号等二次系統的构成及其实现。
- (4) 主要电气设备(发电机、变压器、厂用电动机)的基本运行問題。

第二章 电气设备的发热和电力

§2-1 概 說

发电厂和变电所中的发电机、变压器、电动机和其他用电元件，借各种电器和载流导体按一定的結綫图連接成一个系統，这些电气設備由于其用途和应用条件的不同，对它們的要求也不一样；但是有下列共同的基本要求：

(1) 正常工作电流連續通过电器或载流部分时，发热温度不应超过某一連續发热容許温度。

(2) 短路电流短时期通过电器和载流导体时，除发热不应超过短时发热容許温度外，由短路电流磁場所产生的机械作用力不应超过电器和载流部分的容許应力。电器和载流导体应具有足够的电动力稳定度。

(3) 电器和载流导体应具有一定的絕緣水平，能經受运行时可能发生的过电压；絕緣材料受导体加热的影响，将会有損于其絕緣性能。

为了在設計中正确地选择和校驗电气設備，必須对导体和电气設備的发热和电动力进行計算。

本章所討論的对象虽然只涉及一般电器和载流导体，但是这些基本原理对于一般的电机也是适用的。

§2-2 电器及载流部分的发热容許温度

电流通过电器及载流部分时，由于能量損耗而引起发热。当邻近置有鉄磁性物体时，如未采取特殊措施，由于渦流及磁滯，也会使該物体发热，发热温度超过某一数值后，会显著地引起金属导体机械强度降低以致变形，引起絕緣体的絕緣强度降低，引起导电接触部分的联接状态恶化。因此，发热是影响电器寿命和工作状态的主要因素。

为了限制发热的有害影响，在电器和导体的設計及运行时，必須規定一容許温度。对电器和载流导体的所有热的計算，就是为了檢驗各部分的发热温度是否会超过这个容許温度。

有两种发热情况：第一种是正常情况下因工作电流而发生的連續发热。特点是热量平衡；即导内部发出的热量与散失到周圍介质的热量相等；因此导体的温度保持稳定不变。第二种情况是大电流短时流过导体时的短时发热；短路就是其中最突出的例子。在短路过程中，由于短路电流很大，所生热量多；其次，由于時間很短，新的热的平衡状态来不及建立，因此导体温度将不断升高。

两种发热情况对电器和载流部分的影响不同，因此对于連續发热和短时发热的容許温度也有不同的标准。

导体和电器不同部分的发热容許温度各不相同，这主要是由载流部分的机械强度、接触連接的工作可靠度和所用絕緣材料的性质而定。下面簡單討論一下发热对这三种情况的影响。

1. 对机械强度的影响

由試驗可知：金属导体当加热温度超过某一限度时，机械强度剧烈下降。图2-1(a)

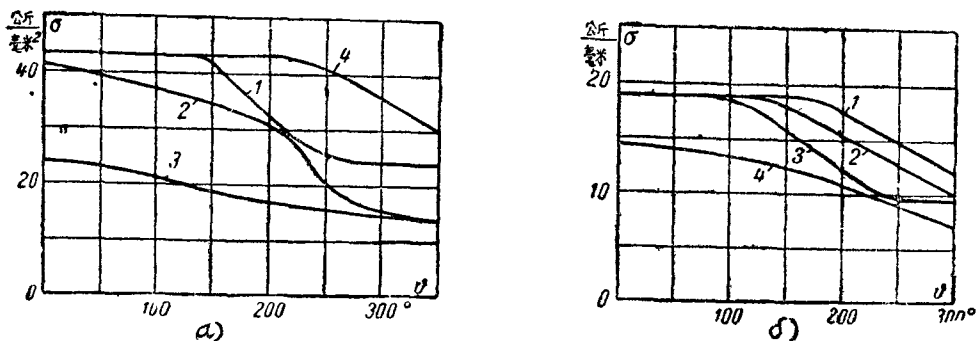


图 2-1 銅和鋁的机械强度与其发热温度的关系

a) 銅:

1— $\phi 1 \sim 3$ 毫米，加热 2 小时；2— $\phi 50$ 毫米，硬拉銅，加热 1 小时；3— $\phi 50$ 毫米軟銅，加热 1 小时；4— $\phi 1$ 毫米，加热 10 秒。

b) 鋁:

1— $\phi 1 \sim 3.5$ 毫米，加热 0.3 秒；2—同前，加热 10 秒；3—同前，加热 2 小时；4—鋁母綫，加热 10 分钟。

和(6)分别表示在連續和短时发热时，銅和鋁的抗拉强度与温度的关系。由图可見：連續发热温度超过 100°C (鋁) 和 150°C (銅)，或短时发热超过 200°C (鋁) 和 250°C (銅) 时，抗拉极限强度迅速下降。此外，长期发热的高温使金属慢性退火，也会丧失其机械强度。机械强度丧失后的导体将不能承受短路时产生的极大电动力作用，以致变形或破坏。

2. 对接触状态的影响

接触連接处发热时，接触面上生成氧化层薄膜，增加了接触电阻（有关接触电阻的問題，在§2-7节中还要討論），从而又加大了发热。当发热温度超过某一临界温度时，这过程就会加速进行，破坏連接状态。这个临界温度的大小，視接触面积的材料和接触方式而异。詳細規定可參閱表2-2。

3. 对絕緣强度的影响

发热温度对絕緣导体的影响，視絕緣材料而异。某类絕緣材料的耐热温度，就是該类材料所能承受而不致使其机械特性和电气特性降低的最大温度。超过这个温度以后，由于絕緣体加速氧化，降低了机械强度和电介质强度，往往易被电压击穿，絕緣材料可分七級：

Y級—未浸漬的棉、絲、电工絕緣紙板及其他經過試驗能用此温度範圍內的各種材料。

A級—浸漬或在液体电介质(如油)中浸漬过的棉、絲、电工絕緣紙板，皮革及其他經過試驗能用在此温度範圍內的各種材料。

B級—云母、玻璃纖維、石棉等的粘合材料以及其他經過試驗能用在此温度範圍內的各種有机材料。

C級—云母、陶瓷、玻璃及石英质或不用无机粘台材料以及其他一切經過試驗能用高于H級絕緣温度範圍的各種材料。

E級—耐热温度高于A級絕緣 15°C 的各種材料。