

本书叙述了有关水电厂各种电气设备的构造、运用和选择。并对水电厂主结线、厂用电、各种配电装置和电气布置，也作了较详细的介绍。此外，对电能的生产与分配，以及水电厂的测量监视系统和继电保护等，也作了简要的叙述。

本书可作为高等学校河川枢纽及水电站建筑专业的试用教材，也可作为从事水电厂工作的工程技术人员参考。

水电厂电气设备

武汉水利电力学院电工学教研组编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南街房)

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787×1092¹/₁₆·印张11·字数260,000

1961年7月北京第一版·1962年4月北京第三次印刷

印数2,794—5,394·定价(10-6)1.35元

*

统一书号: K15165·448(水电-67)

前 言

本书是为高等学校“河川枢纽及水电站建筑专业”编写的教材。全书分为十一章，对水电厂中电气设备的构造、运用和选择，水电厂的主结线，厂用电，各种配电装置和电气布置，作了比较详细的介绍。对电能的生产和分配、电力网和电力系统、水电厂的测量监视系统、继电保护等也作了简要的叙述。

本课程是在电工学课程之后学习，由于过去各院校“电工学”课程所讲授内容不尽一致，书中某些内容可能与已学过的“电工学”有重复或脱节现象，在实际教学时可根据具体情况加以适当的删减或补充。此外，关于短路电流计算及电气设备校验，本书未作介绍，若有需要时，可根据具体情况自行补充。

本书是按五年制专业的要求编写的，对于四年制专业，可根据教育计划的要求，作适当的删减或补充。

本书在编写过程中，承蒙清华大学、西安交通大学、华东水利学院、成都工学院等兄弟院校的有关系和教研组提出许多宝贵意见，谨此致谢。

本书在编写时曾参考下列书籍：

1. 发电厂和配电站的电气设备

И.Н.巴普季诺夫，В.И.塔腊索夫合著，原本及中译本第一、二卷；

2. 发电厂和变电所的电气部分

阿·阿·格拉茹诺夫著，中译本下册；

3. 继电保护装置原理和运行

М.А.貝可维奇，В.А.謝米諾夫合著。

由于编者学术水平有限，加以编辑时间比较仓促，本书必然存在不少问题和缺点，我们热忱地希望各方面对本书提出批评和意见。

武汉水利电力学院

电工学教研组

1961年5月

目 录

前言

緒論	3
第一章 发电厂及电能用戶的一般情况	5
§1-1 发电厂及其生产过程	5
§1-2 电能用戶及其工作情况	9
§1-3 发电厂的运行情况	11
第二章 电力网及电力系统	13
§2-1 电力网及电力系统的一般概念	13
§2-2 电力系统的技术特点及其优越性	16
§2-3 水电厂在电力系统中的工作情况	19
第三章 主要电气设备的一般問題	20
§3-1 水电厂的主要电气设备及其应用	20
§3-2 额定状态下电气设备的工作情况	25
§3-3 短路状态下电气设备的工作情况	26
第四章 水輪发电机及变压器	30
§4-1 水輪发电机	30
§4-2 发电机的激磁系统及激磁調整	34
§4-3 同步发电机的并列运行	40
§4-4 电力变压器	43
§4-5 仪用互感器	48
第五章 开关设备	55
§5-1 概述	55
§5-2 隔离开关	57
§5-3 高压开关	62
第六章 載流导綫、絕緣子、杆塔及其它設備	78
§6-1 載流导綫	78
§6-2 絕緣子	81
§6-3 杆塔	83
§6-4 电抗器及消弧綫圈	85
§6-5 避雷装置	87
第七章 水电厂的主电路結綫图	90
§7-1 概述	90
§7-2 水电厂主結綫的基本結綫方式	93
§7-3 水电厂主結綫选择	106

第八章 水电厂的厂用电	107
§8-1 概述	107
§8-2 厂用负荷分析	108
§8-3 厂用电的电源	109
§8-4 厂用电动机的供电电路	112
§8-5 厂用直流电	113
§8-6 水电厂的照明	116
第九章 配电装置	119
§9-1 概述	119
§9-2 屋内配电装置	121
§9-3 屋外配电装置	129
§9-4 成套配电装置	137
第十章 继电保护、测量监视系统及自动化	139
§10-1 继电保护的一般概念	139
§10-2 常用继电器	140
§10-3 几种基本的保护装置	144
§10-4 绝缘监视及测量仪表配置	147
§10-5 控制盘及中央控制室	148
§10-6 水电厂的自动化	151
第十一章 水电厂厂房的电气布置	153
§11-1 水电厂电气设备的总体布置	153
§11-2 水电厂主厂房电气设备的一般布置	157
§11-3 水电厂副厂房电气设备的一般布置	158
附录	161
参考文献	176

緒 論

(一)

現在電能已廣泛地应用到一切生產部門和日常生活方面。如各生產部門中，主要以電動機作為動力來拖動各種機械；各種金屬和合金的冶煉、焊接、電熱和電氣金屬切削也都普遍地利用電能。農村人民公社的社辦工業、農業機械、排灌機械等也將或已經開始使用電能。除此之外，人民在日常生活中的電話、電報、無線電、電燈、電爐等也離不開電的利用。現代一切新的科學技術發展無不同電能有著密切的聯繫。隨著原子能和半導體的利用等現代技術的發展，電能還將發揮更大的作用。

電能之所以成為現實生活中最良好的能源，並且应用如此廣泛，是因為電能具有其它能量所不及的獨特優點。電能的主要優點是它可以較方便地作遠距離輸送，可以較方便地与其它能量互相轉換，同時也可以很方便地將它分成任意細小的部分，並加以靈活的控制和調整等。

電能在國民經濟各個部門中的应用，使許多工作過程實現自動化、半自動化和遠距離控制，提高了勞動生產率，同時也改善了勞動條件和生產情況。

(二)

發展電力工業，實現全國電氣化是把我國國民經濟轉到現代化技術基礎上的一項重要措施。在建設我國的現代工業和現代農業的過程中，電力事業必須得到相應的發展。

解放前，舊中國長期在帝國主義、封建主義、官僚資本主義的壓迫和統治之下，國家的經濟狀況極端落后。電力工業与其它工業一樣，基礎是十分薄弱的。從1882年起，到1949年止，經過67年的建設，全國發電設備容量只有185萬瓩。而且電力工業一開始就成為帝國主義經濟侵略的附庸。全國90%以上的發電設備都集中在帝國主義國家直接控制的東北和沿海少數大城市。不僅設備陳舊，型號複雜，往往在同一城市內也不能由一個中心發電廠或統一的電力網供電。

解放後，我國電力工業，根本扭轉了舊中國的那種極端落后的面貌，在社會主義建設中以高速度向前發展。

建國後，電力工業經過三年經濟恢復時期，和發展國民經濟的第一個五年計劃，全國的發電設備容量有了很大增長。

我國電力工業在第一個五年計劃中所取得的偉大成就，為今後電力工業更大規模的發展打下了鞏固的基礎。

1958年，我國人民在中國共產黨的領導下，又開始了發展國民經濟的第二個五年計劃。

在黨的社會主義建設總路綫、大躍進、人民公社三面紅旗照耀下，我國電力工業貫徹執行了一整套“兩條腿走路”的方針，以及水火并舉、因地制宜的電力建設方針，形成了全黨全民辦電的羣眾運動，保證了電力工業高速度地發展。

1958年大跃进以来，我国发电设备的制造能力有了很大跃进，大部分设备已能自己制造，而且在制造技术水平上也大大提高。许多大型发电厂也开始建设和投入生产。

由于党的正确领导，我国电力工业和其他建设事业一样，发展是非常迅速的，在1959年电力生产已提前三年完成了第二个五年计划的生产指标。1949年年发电量占世界第二十四位，到1959年跃居到第九位；在装机速度上，已跃居到第三位。这样快的发展速度是任何资本主义国家所望尘莫及的。

(三)

现代化工业，特别是钢铁、化工、有色金属冶炼、原子能工业等高耗电量的工业，以及需要大量的电力的现代化农业，都需要廉价的电力的发展，而在水力发电、火力发电当中，水力发电虽然有时造价高，但是运行费用低。我国水力资源极其丰富，开发条件优越。同时水力发电枢纽可以具有巨大的防洪、发电、灌溉、航运等综合利用的效益，使水力发电的电能成本降低。水电站的水力发电设备的制造，在技术上一般没有火力发电设备的要求那样高，便于制造；水电站建成后，它的电能生产过程比火电厂简单，维护管理方便，易于实现自动化和远距离控制。这些都是在发展水电方向的有利条件。我国水电在整个电力工业中所占的比重在逐渐增长中，今后，积极开发水力资源，迅速建设水电站，对于加速实现全国电气化，有着巨大的意义。

水电站的建设是整个水利工程中的一个重要组成部分。在我们进行水电建设当中，在水电厂及水工建筑物的设计和施工当中，对于水电站在电力系统中的地位、水电站运行方式、水电站电气设备的选择和布置都必须有足够的知识，学习水电站电气设备这门课程正是为了正确地进行水利枢纽规划、水能动能经济规划以及水电站枢纽和水电厂厂房设计，并且也为了掌握关于水电站运行方面的必要知识。

第一章 发电厂及电能用户的一般情况

§1-1 发电厂及其生产过程

发电厂是生产电能的工厂，它是将其它形式能量，如燃料的化学能，水能，风能，原子能等转换为电能。发电厂是由某种形式原动机(如汽轮机、水轮机等)带动发电机转动而生产电能的。因此，发电厂要生产电能，就必然要消耗其它形式的能量，至于消耗那种形式的能量，由发电厂所采用的原动机来决定。

利用水能及风能生产电能的发电厂，是利用水力或风力直接使原动机(水轮机、风力机等)转动，带动发电机发出电能。这种发电厂能量的转换是经过两次：首先由水能或风能通过原动机转换为机械能，然后由原动机带动发电机转动，将机械能变为电能。结果发电厂消耗的是水能或风能，而发出的则是电能。

在利用燃料的化学能以及原子能生产电能的发电厂，能量是经过三次转换；首先，这些能量转换为热能、再经过原动机将热能转换为机械能，最后通过发电机将机械能变为电能。结果发电厂消耗的是燃料或原子能，而发出的则是电能。这样，从一种能量转换成另一种能量的每次转换，都不可避免地要有损失，这个损失与不同能量的转换及设备有关。能量转换时的损失愈小，发电厂的效率愈高。

至于发电厂的种类，根据发电厂所利用的能量的形式可分为：火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、柴油发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂等。现就火力发电厂、水力发电厂两个主要发电厂分别来谈：

一、火力发电厂

火力发电厂是利用固体、液体、汽体燃料来发电的。发电厂所使用的原动机有：汽轮机、蒸汽机、内燃机等。在城市、工业区设立的发电厂其原动机为汽轮机，在农村和施工工地上比较广泛地应用内燃机或蒸汽机(锅驼机)作为原动机来带动发电机发电。

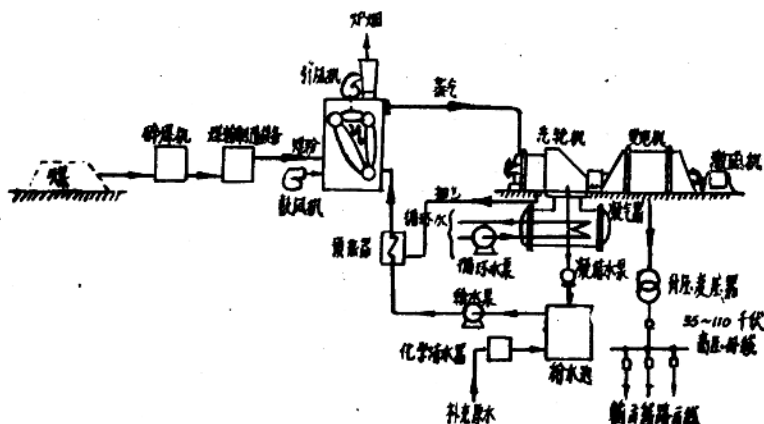


图 1-1 蒸汽式火力发电厂生产过程简图

图 1-1 表示火力发电厂生产过程的简图。此种发电厂是燃烧煤粉的。将煤自煤场经碎煤机碎成小块后送入煤粉制造设备。煤制成煤粉后经喷燃器喷入锅炉炉膛燃烧。并由鼓风机供给煤粉燃烧所需要的空气，空气经过喷燃器吹入锅炉的炉膛，与煤粉混合而燃烧。进入炉膛之前，空气预先经过空气预热器，接受锅炉烟气的加热。这样便减少了排烟的热量损耗，并增高了锅炉炉膛的温度结果使锅炉经济性提高。引风机把烟气从锅炉的烟道里吸出，并经过烟囱排入大气。

锅炉中的水受热变成蒸汽，进入汽轮机中膨胀做功，使汽轮机转动，并驱动发电机转动，发电机所发出的电能经过变压器送到用户。

蒸汽做功后，进入凝汽器，被低温的循环水冷却成凝结水，由凝结水泵打入给水箱，再由给水泵送入锅炉。在蒸汽循环过程中所损失的水量由专门制备的化学处理水来补充。

这种具有凝汽器而且只生产电能的发电厂称为凝汽式发电厂。在这种发电厂里，当蒸汽凝结成水时，有大量的热被循环水带走而损失了，因此效率较低。在蒸汽为中等汽压和温度(40 大气压和 450°C)之下，发电厂的效率约为 $27\sim 28\%$ ，采用高参数大容量时新型热力发电设备，则发电厂的效率可达 $30\sim 32\%$ 。

当然，靠外地运来燃料的凝汽式发电厂，在经济上是不宜建造的。因此在我国，按照上述方式发电的发电厂，大多设在燃料产地，主要是利用本地燃料的区域发电厂，因为将电能输送到远距离的用户处所，比经由铁道运输发热量不大的、含有大量灰分和水份的本地燃料，在经济上较为合算。

因为区域发电厂通常离用户很远，发电厂发出的电能用35千伏以上的高压输电线路送出去。在图上，电能从发电机到升压变压器，再到高压总母线，然后由输电线路将电能供给高压区域电力网。

为了不让循环水带走大量的热，以提高发电厂效率，将汽轮机所排出的蒸汽，送给其它工厂，供低压蒸汽动力机器利用，或用它使水加热，供我们日常生活之用。这种不仅供给用户电能，而且兼供热能的热电厂，称为热电厂。

热电厂输送出去的热能可以是蒸汽，也可以是热水，视用户种类而定。热电厂由于要供给用户以热能，故其建厂地点取决于输送热能条件，因此总是设在热能用户的附近，其燃料由外地运来。

图 1-2 表示热电厂生产过程简图。它与凝汽式发电厂所不同的是发电厂中装有供热设备，包括给水加热器和抽气装置。进入汽轮机的蒸汽经过汽轮机前部的分级，逐渐膨胀，作出机械功，然后将一部分蒸汽从汽轮机后部几个分级中抽出来，直接供给工业用户或用以使水加热，不再进入凝汽器，因而减少了这部分冷却损失。从不同分级中抽出的蒸汽分成三路：一路直接通过蒸汽管道输出蒸汽给用户；一路进入热水加热器，将热水供给用户；另一路进入给水预热器，使送进锅炉的给水预热；剩下的蒸汽经过汽轮机的其余分级，继续膨胀作出机械功，再排入凝汽器中去。

从汽轮机中间分级抽出来的蒸汽量，决定于热能用户对于热水和蒸汽的需要量。当抽出来的蒸汽很多，而进入凝汽器的蒸汽量不多时，循环水的热量损耗就减少。如果从中间分级抽出来的蒸汽不多，则汽轮机的工作差不多与凝汽式一样。因此当供热设备工作时，循环水的热量损耗剧减，使发电厂的效率大大提高。为了使热电厂在最高效率下

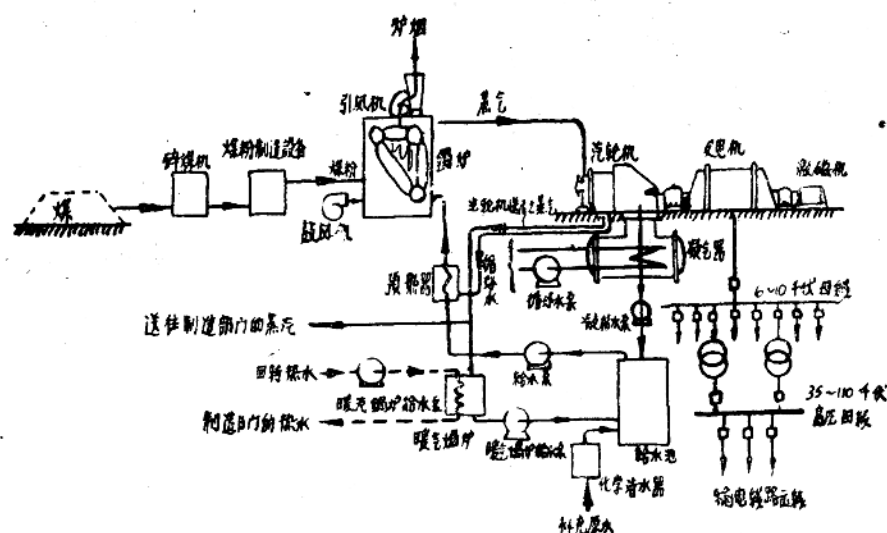


图 1-2 热电厂生产过程简图

运行，必须按照各类热能用户所需蒸汽量来调整汽轮机的进汽量及中间各级的抽气量，以保证进入凝汽器的蒸汽达到最少，从而使循环水的热量损耗达到最小。也就是说，热电厂一个很大特点是需要按照热能用户的情况来发电。现代热电厂供给用户两种能量（电能和热能）的总效率达60~70%，甚至更高。

热电厂直接建造在用户附近，所以主要用发电机电压（10千伏以下）供电，如图1-2所示。为了供电给远地用户以及与动力系统的电力网相联，通常还设有35千伏以上的升压变电所。

在农村和施工工地上还采用内燃机发电厂，最常用的是以柴油机作原动机的柴油机电厂，此外还有以蒸汽机作为原动机的列车发电厂。

在我国，为了更充分发挥火电厂的潜力，使燃料得到综合利用的目的，建立了一种综合利用的试验电厂，它不仅能发电、供热，还能生产水泥、化肥等许多副产品，供工业和农业使用。

二、水力发电厂

水力发电厂是将水能用来产生电能的场所，水电厂发电机的原动机是水轮机，通过它将水的势能和动能转换为转动的机械能，来推动发电机转动。

水轮机发出的功率（其轴上输出的有效功率）与通过水轮机的流量和水头大小有关：

$$P_T = 1000QH\eta_c\eta_T \text{ (公斤-米/秒)}$$

式中 Q ——通过水轮机的流量(米³/秒)；

H ——水头(米)；

η_c ——水通过建筑物的效率，考虑在引水建筑物中（例如水流进水轮机和从水轮机流出的管道等）的水头损失。

η_T ——水轮机效率(对中等容量和大容量水轮机为0.88~0.94)。

已知1瓩=102公斤·米/秒，因此发电机发出电功率

$$P_s = \frac{1000QH}{102} \eta_g \eta_r \eta_r = 9.81QH\eta_g$$

式中 η_g ——发电机效率(对现代中等容量和大容量的水轮发电机为0.95~0.98)。

$\eta_r = \eta_g \eta_r$ ——水电厂的效率(对现代大中型水电厂达到0.85~0.86)

从上式可以得出结论：水电站的功率由消耗的流量 Q 及水头 H 来决定，消耗水量愈多和水头愈高，那末机组发出的功率愈大。

图1-3表示坝后式水电厂的截面图，厂房12位于坝堤3后面，靠上游侧。水从上游

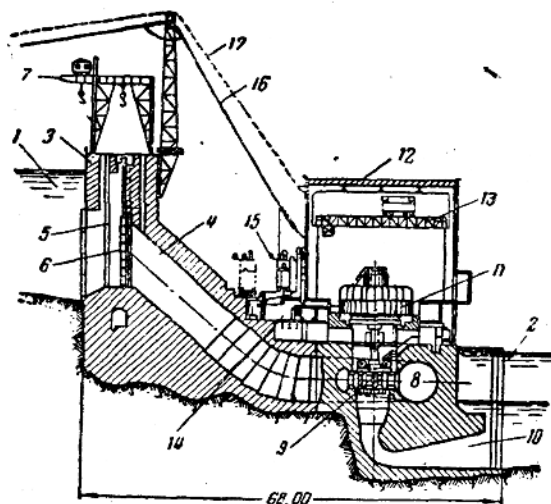


图1-3 坝后式水力发电厂断面图

1—上游；2—下游；3—坝堤；4—压力管道；5—闸门槽；6—闸门；7—起重机；8—水轮机蜗壳；
9—水轮机转轮；10—尾水管；11—发电机；12—厂房；13—桥式起重机；14—屋内配电装置；
15—变压器；16—输电线；17—架空地线。

1沿压力管道进入金属蜗壳，从蜗壳出来的水流入水轮机转轮翼片，然后经尾水管10流入下游。

水轮机垂轴与上面发电机轴相接，固定在机座上。

发电机发出的电能送到发电机电压的屋内配电设备装置，经屋内配电装置送到户外升压变压器。电能再从变压器沿输电线送到屋外高压配电装置(图中未画出)，然后由此送往电力系统。架空地线是防止架空线受直接电击。

进水口的闸门是用来截断压力管道中的水流。当闸门槽内需要检修时，可放下闸门进行检修。坝上起重机是用来吊起和放下闸门用的。主厂房内设有桥式起重机，是安装和检修机组时所需要的。

从以上来看，水电厂比电厂的生产过程简单得多。同时水电厂不需要烧煤，避免了燃料运输，工作人员少，电厂维护费较小，水电厂发出的电能的价格比较低廉，加以我国水力资源非常丰富，因此必须迅速开发水力资源，建立大型、中型、小型水电厂。水电厂一般说来投资较大，建立时间较长。而火力发电厂初期投资少，建筑速度快。

§1-2 电能用户及其工作情况

发电厂发出的电能是通过输电线路分配给各个用户。图1-4表示以发电厂10千伏电压向用户供电的单线图。在单线图上只表示出一相的线路，因为在三相交流电气设备中三相的连接是相同的。

发电厂由三个发电机并列运行，以五条输电线路通过变电所把电能分别送到各个用户。

电能用户有：照明用电灯，日用和工业用加热器，传动各种生产机构用的电动机，工业电炉，电解装置、电气化铁道等。

按供电可靠性的要求，电能用户分为三类：

第一类用户：是特别重要的用户。其停电会造成人身危险，设备损坏，为生产恢复过程而造成企业生产长时间的停顿及大量废品，使通讯陷于中断等，给国民经济带来很大损失，以及严重影响市政生活。属于这类用户的如冶炼厂的熔矿炉或马丁炉，瓦斯矿井及某些化学工厂的车间等。

第二类用户：是重要用户。其停电仅使生产暂时停顿，造成减产，以及使市镇的大量居民的正常生活受到影响，属于这类用户的如木工厂，金工厂、纺织厂、农业排灌机械及电力牵引机等。

第三类用户：是非重要用户。其停电不致引起生产上的损失或其他严重后果。属于这类用户的如工厂的辅助车间，以及某些市镇用负荷等。

所有电气装置必须可靠地运行，不发生事故，同时对于供电给第一类用户（有时对第二类用户）的电气装置必须保证最可靠的运行。

为此，必须采用有足够数量的主要备用元件的装置和可靠的电气接图，使得某个元件发生故障或者取出来检修时，不致破坏重要用户的供电。如图1-4中的配电中心PII（配电点）就用双回路II-4和II-5供电，以保证用户的供应。若有一回路故障时可由另一回路得到供电。

电能用户的工作情况不是一成不变的，而是每时、每日、每月都在改变，这种用户负荷的变化可以很方便地用直角坐标负荷曲线图来表示。在绘曲线图时，从纵坐标表示电能用户的负荷，以横坐标表示时间。

电能用户的负荷曲线分为有功负荷和无功负荷曲线。对于有功负荷曲线，从纵坐标表示有功负荷，单位为瓩。而对于无功负荷曲线，纵座标表示无功负荷，单位为千乏。

从电工学课程中知道，电能用户的三相有功负荷（功率） P 为：

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi = S \cos \varphi \quad (1-1)$$

式中 I ——线电流（安培）；

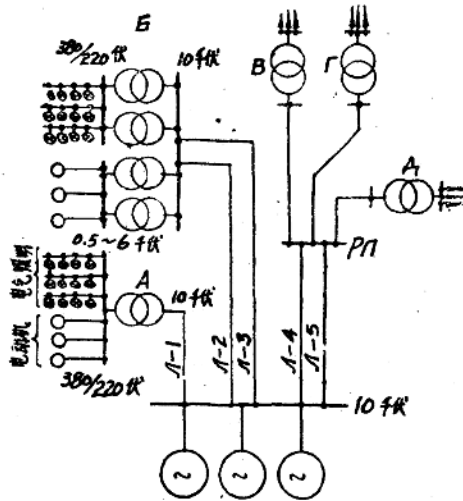


图 1-4 以发电厂10千伏电压供电的单线图

U ——线电压(千伏);

$\cos\varphi$ ——电能用户的功率因数;

S ——视在功率(千伏安)。

电能用户的三相无功负荷 Q 为

$$Q = \sqrt{3} UI \sin\varphi = S \sin\varphi \quad (1-2)$$

从公式(1-1)和(1-2)得知:

$$Q = P \tan\varphi \quad (1-3)$$

因此,知道有功负荷和 $\cos\varphi$,就不难求出无功负荷。根据电能用户用电持续时间,分为日负荷曲线与年负荷曲线。

一、日负荷曲线

图1-5表示电能用户的冬天和夏天的日有功负荷曲线的示例。

对于一天中各小时的有功负荷的数值,在设计时是靠一定的计算决定,在运行时,是根据测量仪表的读数决定。同时两个相邻数据之间的负荷认为是不变的。

日负荷曲线的形状与电能用户的工作情况有关,譬如对于城市或市镇的电气照明,日负荷曲线是非常不均匀的,因为晚上的照明负荷比白天、深夜、早晨的负荷大得多。对于工业电力负荷特别是三班制的企业,日负荷曲线是十分均匀的。

对于大多数用户来说,最有代表性的日负荷曲线是最大负荷时的冬天日负荷曲线与最小负荷的夏天日负荷曲线。

图1-5中的最大负荷 P_{max} 是指一年中用户的最大日负荷。

日负荷曲线的面积按照一定比例代表一昼夜内用户所取用的电能 A_{cym} ,单位为千瓦时。知道了 A_{cym} ,可以决定一昼夜内的平均负荷(图1-5中用虚线表示的为冬天的平均负荷):

$$P_{cp} = \frac{A_{cym}}{24} \quad (1-4)$$

二、年负荷曲线

用户的全年工作情況,可用年负荷曲线表示。在实用上,最常用的有全年的最大日负荷变动曲线和年负荷持续曲线两种。

图1-6表示照明负荷的全年最大日负荷曲线。纵座标代表日最大负荷。图中12月31日

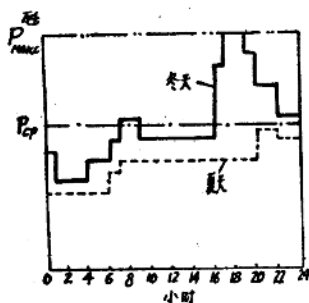


图 1-5 日有功负荷曲线

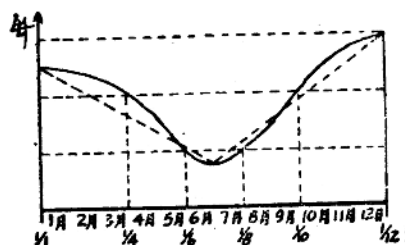


图 1-6 全年最大日负荷变动曲线

的最大負荷大于1月1日的最大負荷，因为一年內負荷增大了。最小的日最大負荷在7月1日。这种曲綫可近似地作成折綫形狀，如图1-6中粗虛綫所示。利用这种曲綫来决定在一年內的不同时期应有多少台机組工作。以便安排机組檢修計劃（同时檢修台数和檢修期限）。

图1-7表示用戶在一年內以不同負荷工作的時間。横座标表示一年內以0~8760的时数。纵座标是負荷的瓩数。

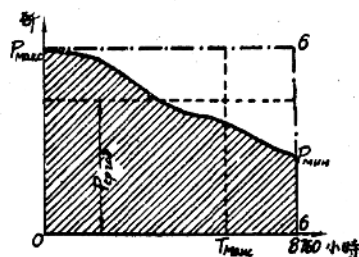


图 1-7 年負荷持續曲綫

年負荷持續曲綫的面积(在图1-7上用斜綫划出)按照一定比例代表用戶在一年內所取用的电能 $A_{\text{год}}$ ，单位为瓩小时。

用戶的全年平均負荷

$$P_{\text{ср.год}} = \frac{A_{\text{год}}}{8760} \quad (1-5)$$

式中 8760是年小时数(24×365)。

用戶的工作情况，除了随時間的变化而变化外，各个用戶之間的工作情况也不相同。有的不是所有电气设备都接入电网运行；有的即使接入也不会是全部滿負荷运行。同时各个用戶的最大負荷也不是同时出現。譬如，对一組用戶來說，它的最大負荷往往小于各个用戶額定容量之和。

一組用戶的最大負荷 $P_{\text{макс}}$ 可由下式决定

$$P_{\text{макс}} = k_c p_y \quad (1-6)$$

式中 p_y ——用戶用电设备的額定容量之和。

k_c ——用戶需用系数，通常 $k_c \leq 1$ 。

例如，对于城市居民的屋內照明， $k_c = 0.4 \sim 0.8$ ，而对于工厂企业的电力用戶， $k_c = 0.2 \sim 0.7$ ，它視工业部門和其他特殊企业而定。

§1-3 发电厂的运行情况

发电厂的运行情况实质上不同于任何一个工业企业的运行情况。它与接在它的电网上的用戶紧密联系。发电厂发出的发电量在任何时刻都应当等于接在它电网上的电能用戶所用的用电量。因此，发电厂負荷的大小是决定于同一时刻接在它电网上的用戶所需要的負荷数值。

在生产电能的发电厂中，有厂用照明和主机附属机构的电动机等电能用戶，需要有一部分功率消耗在厂用电上。发电厂发出的电能輸送和分配时要引起电力网內的导綫、变压器的繞組和鉄心发热的功率損失，这些亦必須考虑。

因此发电厂发电机在每一时刻发出的功率都要足够的供給用戶，抵偿电网、变压器的損失以及厂用电的消耗。

如上所述，用戶工作情况一改变，相应地，傳輸和分配給各組負荷的电能也发生改变。因此，发电厂发出的电能也跟着改变。发电厂負荷的这种改变用負荷曲綫表示是比较方便的。

例如，我們所研究的发电厂是孤立运行的(不和其他发电厂的电网相联)。那末，发电厂的日负荷曲线可以用各組电能用户的负荷曲线加电网、变压器和厂用电所消耗的附加损失功率(发电厂在公共动力系统电网上运行情况可見第二章§2-1)。

各組用户的最大负荷在一天內出现时刻不同，所以发电厂的最大负荷小于各用户的最大负荷的算术和。此外，由于各組用户日负荷曲线的形状不同，使得发电厂日负荷曲线不均匀。主要供电給照明负荷以及工厂企业一班制负荷时，发电厂的负荷曲线比供电給工厂企业三班制负荷来说要更不均匀。

增加发电厂负荷曲线的均匀度，可以使发电厂机组更均匀地接上满负荷，使机组在高效率下运行。此外，还可减少燃料的消耗，从而降低电能的成本。

发电厂(变电所)负荷曲线的不均匀程度用负荷率表示：

$$k_n = \frac{A}{TP_{\text{max}}} = \frac{P_{cp}}{P_{\text{max}}} \quad (1-7)$$

式中 T ——电气装置在一天內(24小时)或一年內(8760小时)工作的小时数；

A ——在同一時間內发出的电能数量(瓩小时)；

P_{cp} ——在同一時間內电气装置的平均功率(瓩)；

P_{max} ——在同一時間內(一天或一年)电气装置的最大负荷(瓩)。

通常 $k_n < 1$ 。假如 $k_n = 1$ ，那末，负荷曲线变成了和横坐标平行的直线。

负荷率 k_n 是发电厂发出的平均功率和最大功率的比值。因此负荷率 k_n 表示：发电厂在一个時間內发出的发电量为在相同時間內全都接上最大负荷(即 P_{max})时所发出的电量的百分数。比較各个发电厂的负荷率 k_n (在同一个時間內計算)，就可以知道那些发电厂是在更均匀的负荷曲线下运行，因为负荷曲线愈均匀， k_n 愈接近于 1。

同样，负荷的不均匀程度可以用最大负荷利用時間来表示：

$$T_{\text{max}} = \frac{A}{P_{\text{max}}} \quad (1-8)$$

假如发电厂的运行以一年来考虑，那末，发电厂负荷曲线愈均匀， T_{max} 愈接近于 8760 小时。

对于带有很多照明负荷的发电厂(或变电所)， $k_n = 0.23 \sim 0.45$ 及 $T_{\text{max}} = 2000 \sim 4000$ 小时；对于主要是大容量的电力负荷的发电厂， $k_n = 0.45 \sim 0.8$ 及 $T_{\text{max}} = 4000 \sim 7000$ 小时。

发电厂装机容量利用情况用装机容量利用系数来表示：

$$k_u = \frac{A}{TP_{ycm}} = \frac{P_{cp}}{P_{ycm}} \quad (1-9)$$

或用装机容量利用時間 T_{ycm} 来表示：

$$T_{ycm} = \frac{A}{P_{ycm}} \quad (1-10)$$

式中 P_{ycm} ——发电厂安装的全部发电机容量之和(瓩)。

发电厂(变电所)在按日负荷曲线运行中，需要考虑机组起动和停机的時間(变压器投入与切除)以及并列运行的发电机的负荷調整。

有些发电厂为了发电机得到最好的利用和使发电厂及机组达到最好的經濟运行的目的，各个不同机组带上不同负荷。在这种情况下必須編制并列运行发电机之間的有功負

荷及无功负荷分配曲线，由值班人员管理和调整机组的负荷。对于并列运行的发电机，有功负荷可用改变机组转速的办法来调整，无功负荷可用改变发电机励磁电流来调整。

第二章 电力网及电力系统

§2-1 电力网及电力系统的一般概念

目前广泛地将不同类型的发电厂并联在公共的电力网上运行。这样将各发电厂联成的整体，称为动力系统。

动力系统是由发电厂、输电线、变电所、电能用户以及热力网和热能用户组成，并把它联成一个电能与热能运行的总体，构成一个生产与消费电能及热能的连续过程。

动力系统的一部分，即由发电机、变电所、输电线、电能用户组成的部分称为电力系统。电力系统与动力系统的区别，在于电力系统不包括热力和水力机械部分。

电力系统的一部分，即由变电所和不同电压的输电线组成的部分称为电力网。

动力系统、电力系统、电力网三者的区别如图2-1所示。

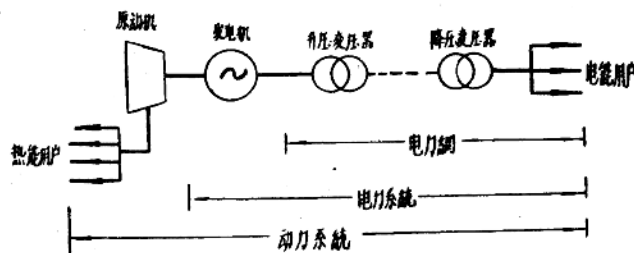


图2-1 动力系统、电力系统、电力网三者的关系

电力系统中的发电厂按照供电范围主要可分为：1)区域发电厂；2)地方发电厂；3)工业企业自备发电厂。区域发电厂供电范围较大；地方发电厂供电范围较小，主要供给当地用户；工业企业自备发电厂主要供给本企业单位使用。

电力网按照供电范围分为区域电力网和地方电力网。

电压不超过35千伏，供电范围较小（一般不超过15~35公里）的电力网称为地方电力网。35千伏以上的电力网，供电范围较大，则称为区域电力网。35千伏电力网，可以属于地方电力网，也可以属于区域电力网。

电力网还可以按照供电作用分为两类：1.配电网，用来分配电能的，各用户可以接在电力网的任一点。一般低压电力网属配电网。当高压电力网中任一点都可接上变压器、电动机等时，这种高压电力网就称为高压配电网。2.供电网，由发电厂（或变电所）把电能直接送到配电中心（又称配电点），电网上不连接用户，这种高压电力网称为高压供电网。如图2-2所示，发电厂(90)发出电能经过高压

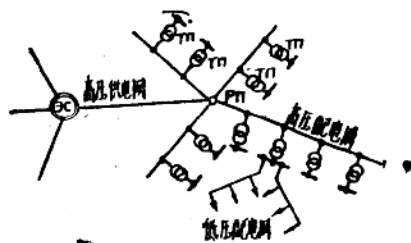


图2-2 供电网和配电网

供电网，输送到配电点(PII)，再由配电点辐射出好几条高压配电网路。

变电所可依电压的变化分为升压变电所和降压变电所。

变电所也可依其在电力网中的接线可分中间变电所和终点变电所。

变电所还可依其与网路中最高电压线路的关系分为一次变电所和二次变电所。前者与最高电压线路直接连接，后者通过线路与一次变电所连接。

电力系统根据中性点情况分为中性点直接接地系统与中性点经过电阻或电抗接地的小接地电流系统。

图2-3表示动力系统的接线图。

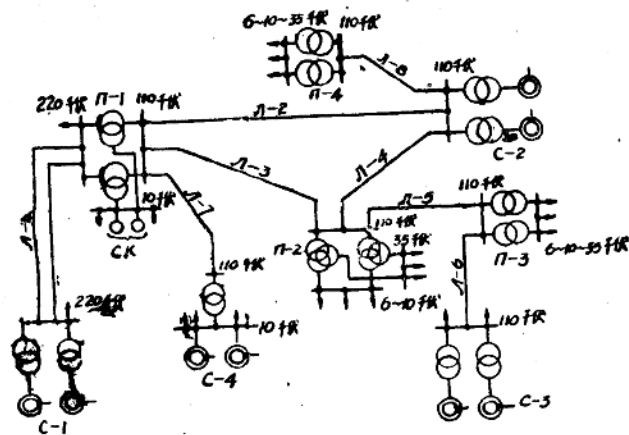


图 2-3 动力系统的单线接线图

图2-3所示的动力系统中联接有大容量的区域水电厂C-1，两个区域火电厂C-2和C-3以及热电厂C-4。所有发电厂均与电压110千伏电力网相连。110千伏的输电线路 $\pi-2$ 、 $\pi-3$ 、 $\pi-4$ 形成高压环形电力网；这些输电线路中的任一条输电线路被切断，都不会破坏系统中主要部分之间的联系。

对于区域发电厂是用发电机升压变压器组的接线图，这些发电厂无发电机电压母线。

水电厂离动力系统110千伏的主要电力网很远，所以它要用电压220千伏的双回路线路通过大容量变电所II-1与系统相连。

发电厂C-2直接接在110千伏环形电力网上，而发电厂C-3则用线路 $\pi-5$ 和 $\pi-6$ 通过变电所II-2与II-3母线接到系统的主要电力网上。

热电厂C-4用线路 $\pi-7$ 通过变电所II-1母线与系统相连。需要注意的是，热电厂不一定需要与110千伏电压系统相连；这与热电厂在系统中所在位置、连在系统上的输电线路的传输容量、离开附近区域变电所的距离有关。譬如，假若热电厂位于区域变电所II-2附近，则可用110、35、10千伏三个电压中的任一个电压与系统相连。在这种情况下只有用技术经济比较方案的办法找到合理的解决。

变电所II-1和II-2是系统大容量的枢纽变电所。在变电所II-1中装设有降压三绕组

自耦变压器，它的220千伏与110千伏绕组之间为自耦变压器联系，这两个绕组与低压绕组之间为变压器联系。这个变电所以10千伏母线供给直接靠近本所的电能用户：单独的工业企业、大城市、农业用户等。此外，在变电所10千伏电压上设有两台同步补偿器CK，用来发出无功功率。

变电所II-2设有三绕组降压变压器。变电所35千伏电压供给分布在相当广泛的区域内的工业、市政、农业用户。变电所的6~10千伏电压供给分布在变电所附近的用户。

变电所II-3和II-4设有双绕组变压器，变压器的副路电压可以是图上三个副路电压中的任一个。

变电所II-3是通过式变电所，而变电所II-4是终点变电所。

从上述动力系统图中可以看出，电力网的电压有许多电压等级，在我国，电力网额定电压的等级为220、380伏，3、6、10、35、60、110、154、220千伏等。电力网中所使用的各种电气设备的额定电压是与电力网的额定电压相等的。这样，所有一切电气设备都能按照统一的额定电压大量成批地生产，对国民经济有很大益处。表2-1列出我国电气设备所采用的标准额定电压。

表 2-1 三相交流电的额定电压(频率50赫)

受电器的额定电压 (线间)	额 定 端 电 压 (线间)		
	发 电 机	变 压 器	
		原 绕 组	副 绕 组
	单 位 为 伏		
(127)	(133)	(127)	(133)
220	230	220	230
380	400	380	400
	单 位 为 千 伏		
3	3.15	3及3.15*	3.15及3.3*
6	6.30	6及6.30*	6.3及6.6*
10	10.50	10及10.50*	10.5及11.0*
—	15.75	15.75	—
35	—	35	38.5
60	—	60	66.0
110	—	110	121.0
154	—	154	169.0
220	—	220	242.0

本表列入()内的电压只用于矿井下或其他保安条件要求较高处所。

受电器(电动机、电灯等)、发电机和变压器的额定电压是指正常工作情况下所规定的电压。

发电机的额定电压比相应的电力网的额定电压大5%，以补偿在额定负荷下电力网内的电压损失。直接接在发电机引出端上的升压和降压变压器的原绕组采用与发电机电压一样的电压。

降压变压器原绕组的额定电压等于相应的电力网(或受电器)的额定电压。表2-1中用星号(*)表示的电压是指直接接在发电机母线或引出端上的升压和降压变压器的电压。