

发电厂和变电所 电气设备的运行

上册

苏州电力技工学校 华田生

水利电力出版社



内 容 提 要

《发电厂和变电所电气设备的运行》分为上下两册，本书是上册，共分十章。书中主要是介绍发电厂电气设备的运行，即火力发电厂的电气接线系统、运行方式及汽轮发电机、变压器、电动机等主要电气设备在运行中的操作、监护和事故处理等；对运行的组织工作和倒闸操作方法，本书也作了一定的介绍。

本书可供发电厂和变电所电气运行工人的培训用，也可供电力中技学校的教学和从事电气运行技术人员参考用。

发电厂和变电所 电气设备的运行

上 册

苏州电力技工学校 华田生

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 12 $\frac{1}{2}$ 印张 279千字

1979年8月第一版 1979年8月北京第一次印刷

印数 00001—76160册 每册 1.00元

书号 15143·3476

目 录

前 言

第一章	电力系统和发电厂概述	1
1-1	电力系统的额定电压与接线	1
1-2	电力系统的负荷概述	8
1-3	电气运行的一般知识	12
1-4	火力发电厂生产过程的基本知识	19
第二章	发电厂主接线和厂用电接线	25
2-1	概述	25
2-2	发电厂主接线	27
2-3	发电厂厂用电	52
第三章	发电厂电气主接线运行方式	72
3-1	概述	72
3-2	运行方式的编制原则	76
3-3	发电厂电气运行方式的实例分析	81
第四章	电气设备的倒闸操作	93
4-1	概述	93
4-2	拟写和传送操作命令及操作程序	94
4-3	倒闸操作的基本原则和要求	99
4-4	倒闸操作的实例分析	106
第五章	电动机的运行及事故处理	114
5-1	概述	114
5-2	异步电动机的工作原理及其特性	116
5-3	电动机的允许运行方式	127

5-4	异步电动机的起动和停止	134
5-5	电动机运行中的检查和维护	147
5-6	电动机的事故处理	149
第六章	变压器的运行及事故处理	161
6-1	变压器的作用和基本原理	161
6-2	变压器的允许运行方式	164
6-3	变压器的负荷能力	175
6-4	变压器的冷却方式	179
6-5	变压器的操作和并列运行	189
6-6	变压器运行中的维护及检查	198
6-7	变压器油的运行	201
6-8	变压器的事故处理	223
第七章	同步发电机的运行	235
7-1	同步发电机的基本原理	235
7-2	发电机的允许温度和温升	237
7-3	发电机在冷却气体温度变动时的运行	239
7-4	发电机在电压、周波变动时的运行	241
7-5	发电机在功率因数变动时的运行	245
7-6	发电机的不对称运行	247
7-7	发电机的负荷增长速度和短时过负荷	252
7-8	发电机绕组绝缘电阻的测量及允许值	259
7-9	发电机轴和轴承中的电流	261
7-10	发电机起动前的准备工作	271
7-11	发电机的起动及转子预热	272
7-12	发电机的升压和并列	275
7-13	发电机接带负荷与调整负荷	283
7-14	发电机运行中的监视	286
7-15	发电机的解列和停机	292
第八章	同步发电机的事故处理	293

8-1	概述	293
8-2	发电机的非同期并列	294
8-3	发电机的断路器自动跳闸	295
8-4	发电机的振荡和失步	299
8-5	同步发电机变为电动机运行	305
8-6	同步发电机的无励磁异步运行	309
8-7	同步发电机的励磁方式及励磁系统的故障	318
8-8	发电机着火	330
第九章 氢冷及双水内冷发电机的运行		331
9-1	氢冷发电机的运行	331
9-2	双水内冷发电机的运行	352
第十章 发电厂及变电所的事故处理		370
10-1	概述	370
10-2	周波降低的事故处理	372
10-3	电压降低的事故处理	377
10-4	发电厂解列或母线电压消失的事故处理	383
10-5	电力系统非同期振荡的事故处理	385
10-6	单相接地故障的寻找	390
10-7	厂用电源中断的事故处理	393
10-8	送电线路跳闸的事故处理	394
10-9	变电所母线故障的处理	395
10-10	变电所全部停电的事故处理	396

第一章 电力系统和发电厂概述

1-1 电力系统的额定电压与接线

为了提高供电的可靠性和经济性，目前，都尽量将许多发电厂用电力网联接起来并列运行。

一、电力系统的概念

电力主要来自火力和水力发电厂。为了使工业的布局更加合理，常需要将发电厂建造在动力资源如水、煤、石油丰富的地区。但由于用电的分散性，或者受地理及历史条件的限制，可能会使负荷中心与动力资源相隔很远，这样就必须将电能经变压器升高电压后，由输电线路输送到遥远的用户处，因此便有必要在发电厂与用户之间建立升压和降压变电所。此外，为了提高供电的可靠性和经济性，还须将各发电厂用电力网联接起来并列运行。

电力网是电力系统的一部分，它是由各类变电所和各种不同电压等级的线路联接起来组成的统一网络。电力网的作用是将电能从发电厂输送并分配到用户处。

电力系统是动力系统的一部分，它由发电厂的发电机及配电装置、升压及降压变电所、输配电线路及用户的用电设备所组成。电力系统的作用是使各发电厂、变电所并列运行，从而提高整个系统运行的可靠性和经济性。

发电厂、变电所及用户的用电用热设备，其相互间以电力网及热力网连接起来的总体，叫做动力系统，如图1-1所示。

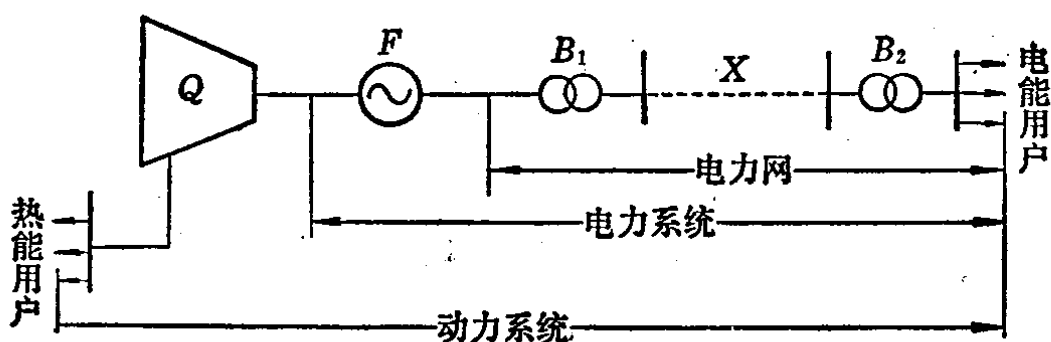


图 1-1 动力系统示意图

Q —汽轮机； F —发电机； B_1 —升压变压器； B_2 —降压变压器； X —输电线路

二、电力网的额定电压

电力系统中有各种不同等级的电压。当发电机发出来的电能需要输送到相当远的距离时，先用升压变压器变成35千伏或110千伏、220千伏、330千伏等的高压。因为输送同样容量的电能时，提高电压，输电线路中的电流便会减小，这样便可将电能损失降低。然后再将高压电送到地区变电所，经降压变压器再变成3千伏或6~10千伏等，以供给用户用电。

电气设备如果采用任意电压，势必使得制造厂家不可能进行标准化的大量生产。因此，电气设备须按标准化电压进行制造。

受电器（如电动机、白炽灯等）、发电机和变压器等正常运行并具有最经济的效果时的电压，称为它们的额定电压。

关于电力网的额定电压等级，1956年我国已规定了统一的标准（对三相工频交流额定电压，此电压一律指线电压），如表1-1所示。

受电器的额定电压等于电力网的额定电压。

如图1-2所示，设发电机 F 是在额定电压下运行的。由于线路中有电压降落，所以受电器1~4将受到不同的电压，

表 1-1 电力网额定电压等级 (千伏)

网络额定电压	发电机电压	变 压 器	
		原 边	副 边
0.22	0.230	0.220	0.230
0.38	0.400	0.380	0.400
3	3.15	3~3.15	3.15~3.3
6	6.3	6~6.3	6.3~6.6
10	10.5	10~10.5	10.5~11
35	13.8	35	38.5
110	15.75	110	121
220	18.00	220	242

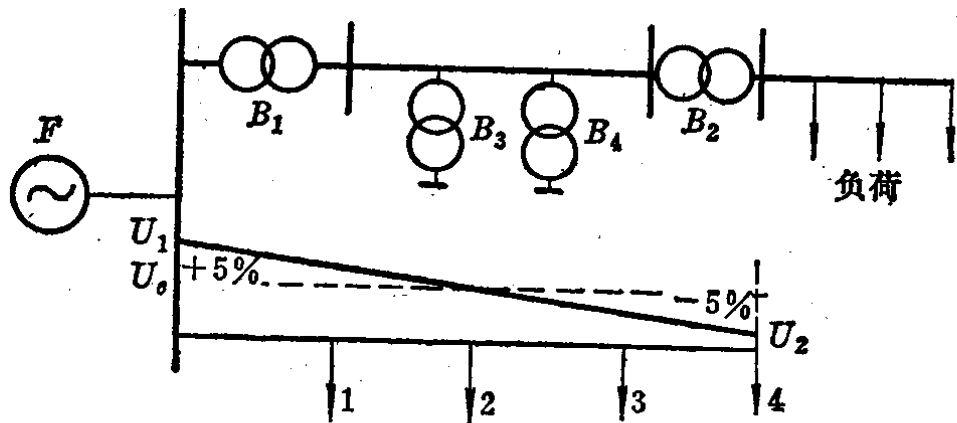


图 1-2 电力网中电压的变化

F —发电机; B_1 —升压变压器; B_2 、 B_3 、 B_4 —降压变压器; 1、2、3、4—受电器

线路始端的电压 U_1 比末端电压 U_2 要高些。设直线 U_1 、 U_2 代表电压的变化规律。由于生产的标准化, 不可能按照上述直线所示的所有电压来制造受电器。此外, 电力网中各点的电压, 也并不是恒定的, 它随着日夜寒暑的不同而变化。那么究竟受电器应按 U_1 与 U_2 间的哪一个电压制造才会运行得最好呢? 由于所有的受电器的端电压与额定电压之差愈小时, 它们就会运行得愈好, 因此显然应该采取线路始端电压

U_1 与末端电压 U_2 的算术平均值 $U_0 = \frac{U_1 + U_2}{2}$ 作为受电器

的额定电压，这个电压也就是电力网的额定电压。

电力网中的电压降落一般约为10%，用电设备一般允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内变化，所以线路始端的电压一般比电力网的额定电压高5%，而线路末端的电压则比电力网的额定电压低5%，从而可以保证在线路电压降落10%时，各受电器得到正常的运行。

发电机额定电压比它接入的电力网的额定电压要高5%，因需考虑到网络中电压降落的影响。例如10千伏电网中，发电机的额定电压为10.5千伏。

如图1-2所示，变压器 B_2 在空载情况下副边的额定电压，应比电力网的额定电压高10%。这是因为变压器副边的额定电压是在空载下测定的，当满载时，由于变压器本身的电压降落，副边的端电压将比空载时约降低5%，再加上供电线路的电压损失5%，故变压器副边的额定电压应比电力网的额定电压高10%。

如35千伏电网中，变压器副边的额定电压应采用38.5千伏。但当变压器副边供电线路很短时，由于线路的电压损失比较小，则变压器副边的额定电压比电力网的额定电压高5%即可，如在6千伏电网中，可采用6.3千伏作为变压器副边的额定电压。

变压器原边的电压与电力网的额定电压相等。因为接到电力网的变压器 $B_3 \sim B_4$ 可以当做受电器看待，它的原边是直接接在电网上的，所以原边额定电压必须和电网的额定电压相等（指降压变压器）。

三、电力系统接线

电气运行人员必须对本厂的电气接线和本电厂所在的电力系统的接线有清楚的了解，因为任何运行方式的变化都是和电气接线分不开的，而运行方式则是运行人员在正常运行及事故状态下分析和处理各种事故的基本依据。

凡用电力系统元件的规定符号并按实际接线顺序把它们连接起来的线路图，称为电力系统接线图，如图 1-3 所示。在这种电力系统接线图中，只画出电路的基本部分，不画出

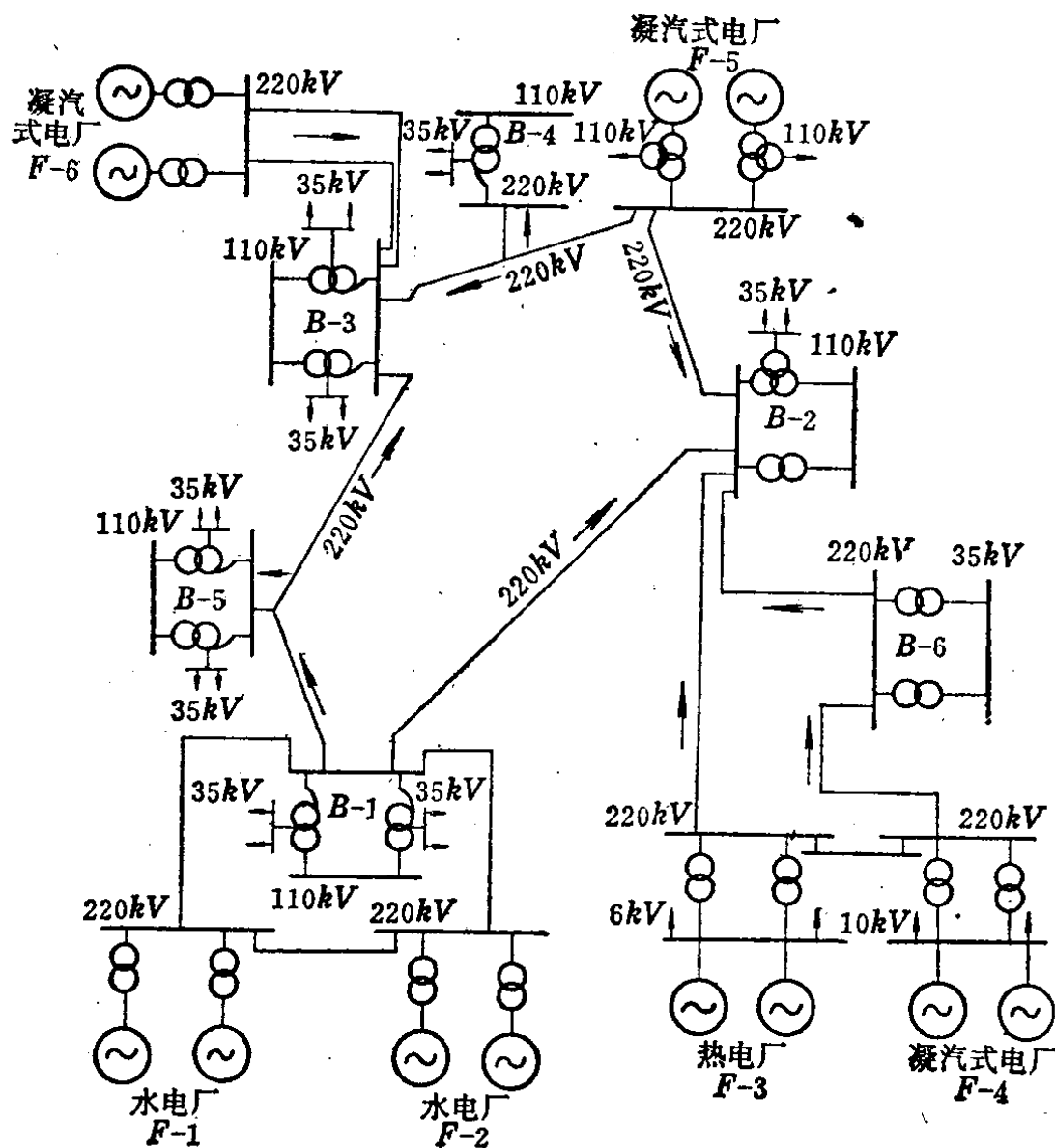


图 1-3 电力系统原理性电路图

电路中的次要设备，并将三相系统用单线表示，以使系统图简化。

四、电力系统接线分析

1. 发电厂

发电厂是生产电能的工厂，图1-3中所示有六个发电厂在并联运行。

(1) $F-1$ 及 $F-2$ 为大型水电厂。它在系统中与其它电厂并列运行，由于水轮机的特殊性能，它能适应负荷的变化，因此很适于担任系统的尖峰负荷和调整频率的工作。此外，由于水轮发电机组起动迅速，运转灵活，故水电厂还可担任系统的事故备用。 $F-1$ 及 $F-2$ 水电厂不设发电机电压母线，发电机直接与升压变压器连接，把电能输入220千伏电网，供远距离用户用电。

(2) $F-5$ 及 $F-6$ 为区域发电厂。大容量凝汽式火电厂宜于建设在靠近燃料产区的地方，因为电能输送到远距离用户处比由经铁道将燃料运到发电厂，在经济上较为合算。这样的凝汽式火电厂称为“区域发电厂”。它是系统中的主力电厂，可以在日负荷曲线的任何位置上工作，既可以担任尖峰负荷或基本负荷，也可以担任系统的事故备用、负载备用（调节频率）或检修备用。

它没有发电机电压母线，发电机直接与升压变压器连接，通过升压变压器升到220千伏后与主电网直接相连。

(3) $F-3$ 为供热式发电厂。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，也需要消耗热能，所以需要建立供热式电厂。供热式电厂一般建立在用户中心，它主要用发电机电压6~10千伏供电给附近的电能用

户，因而设有发电机电压母线。为了送电给远方电能用户，它通过升压变压器升到220千伏与主电网相连，另外它通过蒸汽管道对附近热用户供热。

(4) *F*-4为凝汽式发电厂。它设有发电机电压母线，用发电机端电压对附近电能用户供电，同时通过升压变压器升到220千伏与主电网相连。

2. 变电所

变电所是电力系统中接受电能和分配电能并能改变电压的场所。它是发电厂和电能用户联系的中间环节，同时通过变压器将各级电压的电力网联系起来。

变电所按它在电力系统中的地位可分为以下三类。

(1) 枢纽变电所。如图1-3所示中的 *B*-1、*B*-2 和 *B*-3变电所，它们是电力系统中各发电厂联系的枢纽及供电范围较大的变电所。

(2) 穿越变电所。如图1-3中的 *B*-6变电所，它平时有功率穿越220千伏母线，故称为穿越变电所。

(3) 地方(终端)变电所。如图1-3中的 *B*-4、*B*-5 变电所，由220千伏母线输入的电能，经变压器降压后供给各用户，故称为地方变电所。因它供电范围较小，故又称地方变电所。

3. 输电线路

输电线路是电力系统的重要组成部分。它担负着把强大的电力输送到工矿、企业、城市和农村，以满足国防、工农业生产和人民生活需要的任务。

输电线分终端线和联络线两种。终端线是由发电厂或变电所将电能直接输送到用户的线路。联络线是由发电厂或变电所与厂(所)外系统电源相连的线路。如图1-3所示，它

是用 220 千伏的联络线将各发电厂及变电所连接起来组成电力系统的。

五、电力系统的优点

1. 提高系统运行的可靠性

当任一电厂事故停电时，系统中的其它电厂可以继续供电，使供电的可靠性大大提高。

2. 提高系统运行的经济性

可以充分利用动力资源和充分发挥各类电厂的作用。例如，在丰水期间，可让水电厂多发电，火电厂少发电，以节省燃料。在枯水期间，可让水电厂少发电，担任尖峰负荷，让火电厂担任基本负荷。这样，可以使水电与火电相配合，互相调剂，充分发挥各类电厂的作用，有利于电网的安全、经济、稳定的运行。

3. 节省投资及减少备用机组

为了代替故障或检修的机组，必须装有备用机组。建立电力系统后，就不必在每个电厂中都装设备用机组了，只要在系统中有总的备用机组就可以了，这样从整个系统来看，便减少了投资。

1-2 电力系统的负荷概述

在运行中，运行人员对电力系统和发电厂所带负荷的状况及负荷的重要程度必须随时掌握，以便在正常运行及事故状态下能正确处理，保证对电能用户供电的可靠性。

一、负荷的调整

由发电厂生产出来的电能，经线路输送给各种不同的用户。由于电能不能储存，所以发电厂必须连续工作。发电厂

任一时刻发出的负荷，都必须满足用户的需要，而电能用户的负荷，每时每刻都在不断地变化，因此，电力网及发电厂的负荷也应相应的不断变化，否则系统就会出现周波和电压的不正常状态。为了保证电能的质量，必须进行负荷的调整，故只能用预先制订好的负荷曲线来掌握负荷的变化状况。

发电厂和其它电气装置的负荷随时间变化的情况，称为负荷曲线，如图 1-4 所示。负荷曲线的形状随着电能用户的性质及其工作情况等的不同而变化。曲线的纵坐标表示负荷，横坐标表示负荷变化期间的的时间。

1. 负荷曲线的绘制及特征

运行中电气装置每一瞬时的负荷值，可以由测量仪表实际测得。绘制负荷曲线时，将这些数值相应地记在坐标图上，然后将各点依次连接起来，即成为负荷曲线。图 1-4 所示的，为某发电厂日有功负荷曲线，它表明发电厂全部发电机在一昼夜内有功负荷的变化情况。

负荷曲线的特征是：

(1) 曲线上高的部位为高峰负荷，出现在 8~10 点钟、13~14 点钟、18~20 点钟三个时间内。其中 18~20 点内主要是照明负荷，前两个时间内是因为工厂上班开工，所以主要是电动机负荷。

(2) 曲线低的部位为低谷负荷，说明除三班制工厂外，常日班工厂已停工休息，所以负荷较轻。

(3) 曲线分别表示一昼夜内高峰和低谷时的用电要求，故电力系统各发电厂的工作，必须满足此要求。

电力系统的日负荷曲线比发电厂的日负荷曲线要相对平稳些，因为电力系统的供电范围很大，用户的种类也很多。电力系统的日负荷曲线如图 1-5 所示。

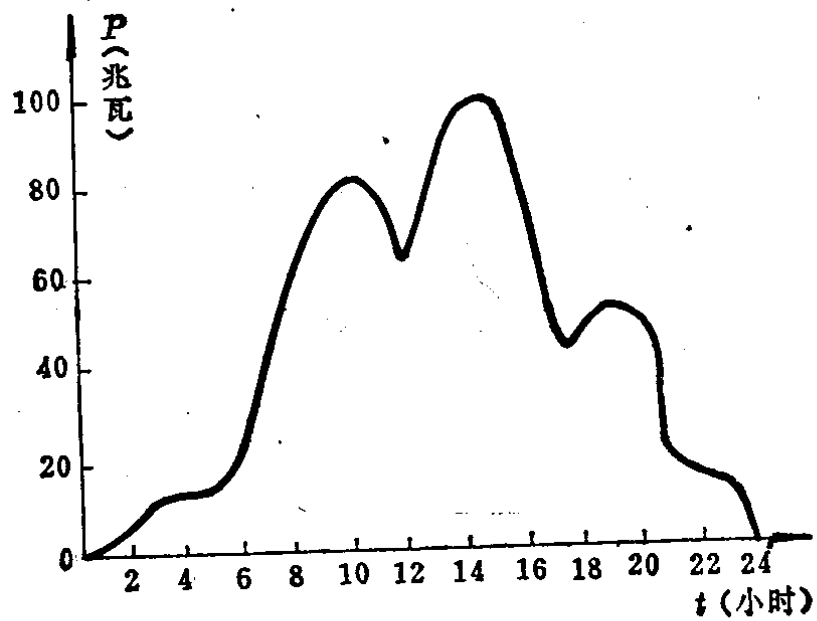


图 1-4 发电厂的日有功负荷曲线

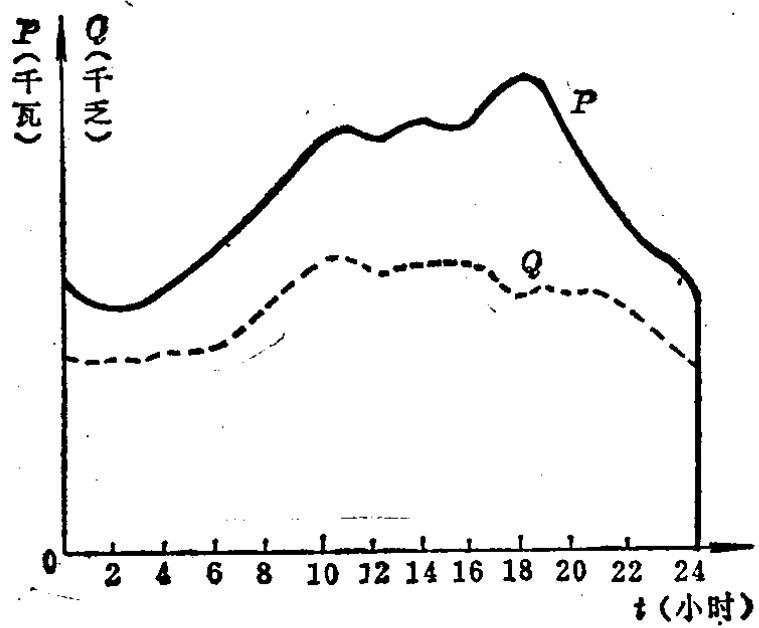


图 1-5 电力系统的日负荷曲线

2. 负荷曲线的调整

在实际运行中，填平日负荷曲线的凹下部分，使负荷曲线尽量平稳，这样不仅可以降低系统的装机容量和提高设备利用率，同时还可减少燃料的消耗，降低成本，所以必须进行负荷的调整工作。调整负荷曲线一般采用以下方法。

(1) 发展季节性用户。夏季由于照明负荷和工业负荷的降低，故电厂和系统的负荷都降低。季节性负荷可以提高电厂夏季的负荷和增加每年的发电量，并提高设备的利用程度。如某些农业灌溉负荷就是季节性负荷。

(2) 增加工业企业的工作班数。三班制的企业中，每班几乎都以相同的负荷来工作，可使负荷曲线平坦。

(3) 将工业企业每星期的节假日错开。此种方法可以显著降低系统的最高负荷，并使周负荷曲线平坦。

(4) 调整各工业企业上、下班的时间。变动大工业企业各车间内的午饭和休息时间。可以防止日负荷的显著波动。

(5) 将各电厂并列形成电力系统，并将不同区域的电力系统连接起来。将具有性质不同的负荷曲线的若干电厂或电力系统连接起来后，可以使总负荷曲线平坦。

3. 负荷曲线的用途

一般根据负荷曲线可以决定：

(1) 决定发电厂机组起动和停止的时间，以保证不间断地向用户供电和提高发电厂运行的经济性。

(2) 决定一天或某一星期内发电厂的发电量及其所需消耗燃料的数量。

(3) 计划机组设备的检修时间。

(4) 能掌握负荷变化的状况，及时调整负荷，以提高发电厂运行的稳定性和经济性。

二、负荷的分类

按照负荷的重要程度，一般可分为以下三类。

第一类负荷：这种负荷停电后，会引起严重的人身和设备的损害，影响战备，如矿山、钢铁厂和军工企业等。例如钢铁厂的电炉突然停电，可能会造成炼钢炉的报废；如果矿山突然停电后，如通风机停电，矿井下瓦斯气体排不出去，如抽水机停电，地下水排不出去，可能会造成人身事故或矿井的倒塌等事故。

第二类负荷：这种负荷停电后，将造成大量减产，工厂停工，工业企业内部交通运输停顿等，如纺织厂、机械制造厂、化工厂等。

第三类负荷：指工厂的非连续生产车间和生活用电，如一般车床、次要电动机及照明等。

为了保证重要用户供电的可靠性，当系统发生事故或系统电源紧张，导致电能质量低到一定程度（如周波、电压过低）从而影响设备安全及产品质量时，应进行合理的限电；限电应按负荷的重要程度，根据现场预先规定的分类次序进行。

1-3 电气运行的一般知识

一、电气运行工作的主要任务

电气运行的主要任务就是保证电力生产的安全运行和经济运行。

1. 保证安全生产

电力生产的特点是连续生产，发电、供电、用电同时完成。由于目前电能还无法大量储存，所以只能多装机组以作