

高等教育教学参考书

火电厂与核电厂

Л.С. 斯捷尔曼等 编著

原子能出版社

ISBN 7-5022-0773-2

TL·496 (课) 定价: 8.50 元

高等教育教学参考书

火电厂与核电厂

Л. С. 斯捷尔曼等 编著

赵兆颐 臧希年 译

施德强 审校

原子能出版社

(京) 新登字 077 号

内 容 简 介

本书是高等学校核反应堆工程、核能及热能利用、核能及热能工程等专业本科生和研究生的参考教材,也可供有关专业的科研、设计、制造、安装、维修及运行等人员使用。

本书全面地介绍火电厂和核电厂的热力系统,反映了苏联在动力工程设备的设计、运行和技术经济分析等方面的经验,并特别阐明了苏联发电厂的特点,这对国内有关著作已介绍的英美电厂情况是一个重要补充。本书的俄文版本已在苏联和东欧一些高等学校中使用多年并获得好评。

Тепловые и Атомные

Электростанции

Л. С. Стерман, С. А. Тевлин,

А. Т. Шарков

МОСКВА. ЭНЕРГОИЗДАТ. 1982

(English Edition, Mir Publishers, 1986)

高等教育教学参考书

火 电 厂 与 核 电 厂

Л. С. 斯捷尔曼等编著

赵兆颐 臧希年 译

施德强 审校

责任编辑 田培义

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

北京地质印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 17 ·字数 456 千字

1992 年 6 月北京第一版·1992 年 6 月北京第一次印刷

印数 1—1000

ISBN 7-5022-0773-2

TL·496(课)定价: 8.50 元

译 者 的 话

本教材是由译者申报，经1988年9月召开的核反应堆工程专业教材委员会评审通过，核工业总公司教育培训部批准，确定为高校原子能类第三轮教材。它可作为高等学校核反应堆工程、核能及热能利用、核能及热能工程等专业本科生和研究生的参考教材，也可供有关专业的科研、设计及生产运行等人员使用。

本教材的俄文第二版名为《Тепловые и Атомные Электростанции》，它由莫斯科能源出版社于1982年出版。其英文版《Thermal and Nuclear Power Stations》由V.阿法纳西耶夫自俄文版译成，新的英文版对原版作了修订并补充了新内容。

本教材曾得到核工业总公司连培生研究员、清华大学热能系董树屏教授和清华大学核能院马昌文教授的书面推荐。他们认为该教材全面地介绍了火电厂和核电厂的热力系统，反映了苏联在动力工程设备的设计、运行和技术经济分析等方面的经验，并特别阐明了苏联发电厂的特点，这对国内教材中已介绍的英美电厂情况是一个重要补充。本教材俄文版已在苏联和东欧一些高等学校中使用多年并获得好评，可以认为本书所依据的修订英文版是比较成熟的一个版本。

本教材的前言、第一～八章及第十六、十八、十九、二十二、二十三章由清华大学工程物理系臧希年翻译，其余各章由清华大学工程物理系赵兆颐翻译。全书由清华大学热能系施德强审校，赵兆颐统稿。

由于我们水平有限，译文中如有不妥之处，请读者批评指正。

清华大学
赵兆颐，臧希年
1990.7.8

目 录

前 言	I
第一章 发电厂的类型——热电联产和单纯供电或 供热	3
1.1 电厂的类型	3
1.2 电厂的电负荷曲线	4
1.3 电厂的热负荷曲线	11
第二章 发电厂汽轮机组的热力系统	14
2.1 有机燃料和核燃料凝汽式电厂的热力系统	14
2.2 热电厂的热力系统	19
2.3 火电厂和核电厂热力系统的类型	22
第三章 发电厂的热经济性和总经济性指标	24
3.1 凝汽式电厂的热经济性指标	24
3.2 热电厂的热经济性指标	33
3.3 电厂的总经济性指标	36
第四章 发电厂蒸汽循环的参数及其对热经济性的 影响	41
4.1 初参数对循环热经济性的影响	41
4.2 过热蒸汽循环中的再热	44
4.3 饱和蒸汽轮机装置的蒸汽初参数和再热压力	50
4.4 终压力对装置热经济性的影响	60
4.5 扩建后的电厂的热效率	63
第五章 热电厂和核电厂的给水回热加热	66
5.1 给水回热加热对电厂热经济性的影响	66
5.2 汽轮机回热抽汽点的布置	71
5.3 再热循环中的给水回热加热	82
5.4 获得回热加热最佳总经济性的条件	85
第六章 发电厂汽轮机装置动力指标的确定	87
6.1 汽轮机的汽耗量与汽耗率	87
6.2 热耗和热经济性指标的确定	92

6.3 各种类型汽轮机装置热经济性的比较	98
第七章 发电厂向用户供热	102
7.1 向工业企业供应工业用热	102
7.2 供暖、通风和生活用热	104
7.3 凝汽式电厂的热网水加热装置	117
第八章 发电厂载热剂和工质的物料平衡	120
8.1 水和蒸汽的损失	120
8.2 有机燃料电厂和核电厂冷却剂与工质的物料平衡	126
8.3 电厂回路中杂质的去除	129
第九章 发电厂热力系统的部件	140
9.1 热力系统的组成	140
9.2 回热加热器	141
9.3 除氧器	155
9.4 给水泵和凝结水泵的连接系统	166
9.5 用水作冷却剂的核电厂循环回路	173
9.6 饱和汽机核电厂的汽水分离器和再热器	178
9.7 蒸发器和蒸汽换热器	182
9.8 热网加热器	192
第十章 发电厂的热力系统	196
10.1 有机燃料电厂的热力系统	196
10.2 核电厂的热力系统	203
第十一章 发电厂主要设备的运行工况和动力特性	222
11.1 设备的运行工况	222
11.2 凝汽式汽轮机组的动力特性	223
11.3 抽汽式汽轮机组的动力特性	228
11.4 发电厂并列运行机组间的电负荷分配	236
第十二章 发电厂设备的选择	242
12.1 发电厂容量的选择及备用容量	242
12.2 设备和机组的可靠性评价, 备用容量的选择	244
12.3 发电厂主要设备的选择	246
12.4 制粉系统设备的选择	254
12.5 风机和泵的选择	257

12.6 热交换器的选择	264
12.7 贮存箱和罐的容积	265
第十三章 发电厂的全面性热力系统图	268
13.1 全面性热力系统图的组成及作用	268
13.2 火电厂的全面性热力系统图	269
13.3 核电厂的全面性热力系统图	280
第十四章 管道与阀门	289
14.1 管道	289
14.2 管道自补偿的计算	299
14.3 阀门和附件	309
第十五章 发电厂主厂房的布置	314
15.1 主厂房的结构	314
15.2 主厂房布置的一般原则	315
15.3 火电厂主厂房的布置	317
15.4 主厂房的典型设计	322
15.5 核电厂的主厂房布置	335
第十六章 发电厂的厂用水供水系统	346
16.1 消耗厂用水的设备	346
16.2 厂用水供水系统	349
16.3 供水系统的建筑和设备	353
16.4 冷却设备	357
16.5 供水系统的选择	366
16.6 核电厂的供水系统	367
第十七章 发电厂的燃料处理设施	371
17.1 燃料设施的结构及主要任务	371
17.2 固体燃料设施	374
17.3 燃料油设施	378
17.4 气体燃料设施	384
17.5 核电厂中燃料元件的装卸及贮运	385
第十八章 发电厂的气体净化与除灰	387
18.1 火电厂和核电厂的有害排出物	387
18.2 排出物通过烟囱和通风管的扩散	390

18.3 除尘器	397
18.4 核电厂的气体净化	403
18.5 核电厂的专门通风系统	410
18.6 火电厂的灰渣处理系统	415
第十九章 热力设备内表面上的沉积物及其清除	424
19.1 沉积物形成的机理	424
19.2 核电厂的放射性沉积物	432
19.3 火电厂设备的清洗方法	438
19.4 核电厂采用的去活化方法	439
第二十章 火电厂和核电厂的厂址选择及总平面布置	445
20.1 厂址选择的一般原则及对厂址的要求	445
20.2 发电厂的总平面布置	448
20.3 发电厂总平面布置实例	451
第二十一章 发电厂的运行	458
21.1 发电厂运行的一般问题	458
21.2 维护和修理的组织	460
21.3 设备和机组的运行工况	462
21.4 单元机组的起动系统	467
第二十二章 发电厂运行的技术经济指标	475
第二十三章 发电厂对环境的影响及其运行的安全性	484
23.1 电厂与环境	484
23.2 火电厂设备运行的可靠性和安全性	491
23.3 核电厂的安全系统	492
第二十四章 燃气轮机发电厂、蒸汽-燃气轮机发电厂及磁流体发电厂	499
24.1 开式循环燃气轮机发电厂	499
24.2 蒸汽-燃气轮机发电厂	502
24.3 配置涡轮喷气式发动机的电厂	505
24.4 闭式循环燃气轮机发电厂	506
24.5 配置磁流体装置的电厂	510
参考文献	513
索引	521

前 言

本书是为苏联的高等学校动力工程专业的学生编写的教材，也可作为从事火电厂和核电厂的设计、运行工作的工程技术人员 的指南。本书的理论部分论述了在用有机燃料和核燃料的现代大型汽轮机机组的发展和运行中解决了的问题，而应用部分主要以在苏联取得的经验为基础，使读者了解大型电厂的设备、热力系统及布置。鉴于苏联的动力工程在世界上的领先地位，本书的内容将会引起其它国家的大学生和工程技术人员的兴趣。

众所周知，电能生产是一个国家经济发达的主要指标之一，同时也反映了这个国家总的生产力水平。很多年以来，在发电量和电厂装机容量方面，苏联占世界第二位，其发电量比联邦德国、英国和法国发电量的总和还要多。在役的火电厂凝汽式单元机组的单 机 容 量 为 150、200、300、500 和 800 MW，且已有 1200 MW 的机组投入运行；抽汽式机组主要用在大城市，容量已达 250 MW。所有的汽轮机都采用单轴设计。上述机组除 150 MW 和 200 MW 两种为亚临界参数外，其它都是超临界参数机组。

苏联的核动力工程主要以容量为 440 MW 或 1000 MW 的压水堆和大容量的（1000 MW）压力管式堆为基础，标准的 1500 MW 的单堆机组正在推广*。

本书对这些先进的有机燃料和核燃料汽轮机机组作了重点介绍。

苏联的电力工业一直以高速度发展着，这一点可以用下面的 1913 至 1980 年期间这个国家发电量和装机容量的数字来说明：

可以看出，苏联 40 年里（1940～1980 年）总发电量增加了 25.8 倍。

* 1000 MW 及 1500 MW 压力管式堆现已不再发展——译者注

	年 份						
	1913	1927	1940	1950	1960	1970	1980
发 电 量 (10^6 kWh)	2.4	4.2	48.3	91.2	292.3	710	1295
电厂装机容量 (10^6 kW)	1.1	1.7	11.2	19.6	66.7	166	270*

同其它工业化国家一样，苏联的核动力工程也得到了迅速的发展。例如，它在 1970 年核电厂总容量仅有 1.5 GW，但到 1981 年增长到 13 GW，1983 年底增长到 20 GW。核电在总的能量生产中所占的比例日益增大：1980 年是 5.6%，到 1983 年增长至 7.2%。

本书是按照目前苏联热能动力和动力工程学院、系所设“火电厂和核电厂”课程的标准教学大纲编写的。作者认为，学习本书时，学生应具备有关核物理、核反应堆和蒸汽发生器的基础知识，因而此课程设在学过蒸汽和燃气轮机、蒸汽锅炉及核动力装置等课程之后为宜。

本书在苏联、捷克斯洛伐克和匈牙利出版的评论性刊物上得到很高的评价。作者对第二版作了修订和提高，并补充了有关动力工程最新成果的资料。

本书是由几位在莫斯科和伊万诺夫动力学院讲授该课程的作者共同编写的。第一至第七章，九至十一章，第二十二章及 13.1、13.2 节由 Л. С. 斯捷尔曼编写，第八、十四、十九、二十三、二十四章及 13.3、16.6、18.4 和 18.5 节由 С. А. 捷夫林编写，第十二、十五～十八、二十及二十一章由 А. Т. 沙尔科夫编写。

Л. С. 斯捷尔曼教授

第一章 发电厂的类型——热电联产和单纯供电或供热

1.1 电厂的类型

电厂的主要任务是生产电能，供给工农业生产部门、城市公共事业及交通运输部门使用。在很多情况下，电厂还向工业区和居民区供热（供应蒸汽和热水）。

单纯发电的电厂中装有凝汽式汽轮机，其凝汽器里真空度很高。这是因为，汽轮机出口的蒸汽压力越低，工质的热能中转换为电能的部分越大。这时，大部分蒸汽在凝汽器里凝结，蒸汽里的大部分热量被冷却水带走了。

单纯生产电能的发电厂叫**凝汽式发电厂**。使用有机（化石）燃料的凝汽式发电厂绝大多数是建在煤矿或油田附近以便使燃料运费减少到最小。

热电联产的电厂装有带中间抽汽的汽轮机或背压式汽轮机。在这些汽机中，做过功的蒸汽的热量部分或全部用于供热，因而，可以大大减少由冷却水带走而损失的热量甚至没有损失（背压式汽轮机）。但是，在初始蒸汽参数相同的供热式汽轮机装置中，由热能转化为电能的部分能量自然地低于凝汽式汽轮机。在生产电能的同时，用抽汽或排汽供热的电厂叫**热电厂**。这些电厂通常建在热负荷——工业企业或大的居民区附近，向这些地区供热。

在一些情况下，热能和电能分别以不同的方式生产，即用凝汽式汽轮机发电而由独立的供热锅炉房供热。

核电厂是另一种型式的将热能转换为电能的电厂。与烧有机

燃料产生热能的电厂所不同的是：核电厂的反应堆里的释热过程是基于用作燃料的重元素的核裂变。

虽然核电厂的汽轮机部分基本上与常规的电厂（即火电厂）相同，可是核电厂的热力系统（热力循环）与常规电厂的热力系统却很不一样。

核电厂总是建在耗电用户附近，这是因为核燃料的运费并不昂贵，因而不影响电能成本，而远距离的电力输送会带来电能损失，而且建造输电线路要花费巨额的基本建设投资。远距离运输有机燃料则大大增加燃料的成本，这会导致电能成本的显著增长。当然，选择电厂厂址时许多其它的因素也应当予以考虑。首先，是电厂的冷却水的供给（见第二十章）。由于核电厂可以建在用户附近，这方面它比烧化石燃料的常规电厂有利。

核电厂可以是单纯发电的凝汽式的（凝汽式核电厂）或热电联产式的。近来，在一些国家（苏联、美国等）很注意利用核热电厂的废热进行海水和盐湖水的淡化。显然，这种电厂要建在缺乏淡水的地方。

1.2 电厂的电负荷曲线

现有的各种电能存贮器（蓄电池）是颇为昂贵的，它的容量低，主要用作辅助电源，例如，当主动力源（电厂）供电中断时用于检修工作。

以供热为目的的蓄热实际上也不使用。但是由于供热系统（热网）热容很大，因而，短时间内中断供热实际上对供热的房屋的温度几乎没有什么影响。

电厂工作的特点是：在给定时刻生产的全部电能几乎完全与用户所消耗的电能总量相适应。在现代，许多电厂在一个电力系统（电网）内并联地运行，以便满足电力系统里总的电能需求和本地区的热力负荷（如果使用非凝汽式电厂）。然而，有一些电厂是地区性的，即它们不与电力系统相联，而仅向某一地区供应

电能（和热能）。在这些情况下，一个电厂必须满足本地区的电力需求。

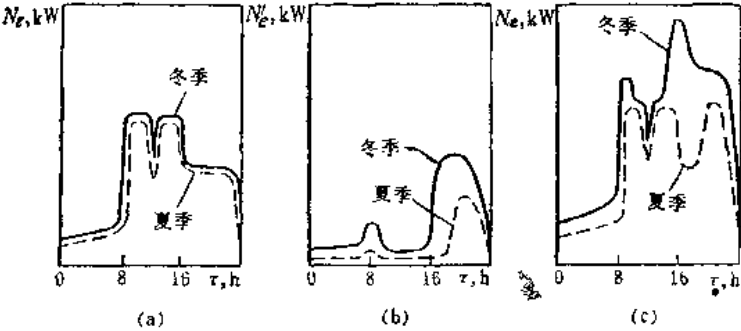


图 1.1 全日电负荷曲线

(a) 工业负荷；(b) 照明及生活用电；(c) 总负荷

在任何情况下，一个工业区的总的电负荷包括：工业负荷，即工业设施消耗的电能，电力运输负荷（由铁路和城市交通消耗的电能），照明负荷和生活用电负荷。

在一昼夜内和一年时间里总的电负荷的这些组成部分都在变化。此外，工业负荷是工作日总电负荷中的主要部分。在周末和假日，工业负荷明显地减少，因而，这些日子总的电负荷也明显地减少。

电能消耗随时间的变化用图线表示称作电负荷曲线。典型的全日电负荷曲线（工业用电、照明-生活用电和总负荷）示于图 1.1。工业负荷的最小值一般在夜晚，这时只有三班制的工厂在用电；最高的电负荷值通常是在早八点至下午四点这段时间内。在这段时间内几乎所有的企业都用电。在下午四时至午夜这段时间，电能的消耗量居中（只有三班制或两班制的企业用电）。曲线上反映出的在白天电能消耗的下降是由于午休停止工作而引起的。

夏季的电负荷要比冬季的低一点。这是由于一些工业设备停工检修。在其它方面，夏季的日工业电负荷曲线与冬季的无本质的差别。

照明和生活用电负荷主要受季节变化的影响。它在冬季傍晚的时间有最大值。在夏季，全日电负荷的最大值（峰值）在大小

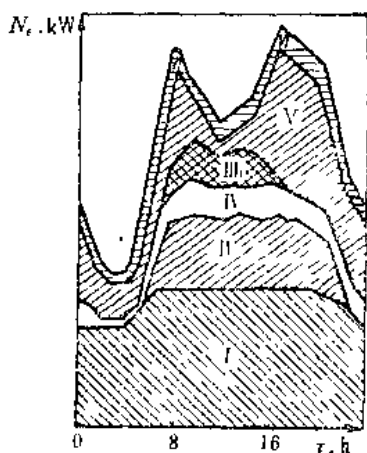


图 1.2 全日总电负荷曲线

I—三班制工业企业；II—两班制工业企业；III—一班制工业企业；IV—电力运输；V—照明和生活用电；VI—损失及电厂用电

和持续时间上都降低，且出现在一天较晚的时刻。照明和生活用电还包括家用电器的负荷，它在傍晚时通常有一个明显的峰值；另一个峰值发生在早晨，它与家庭用电量的增加有关。

工业用电和照明及生活用电的总电负荷曲线在昼夜里一般有两个最大值。如果我们把这条负荷曲线同电力运输和电厂用电及输电线路上的电能损失合在一起，电负荷随时间的变化情况不会有明显的改变（见图1.2），电负荷的最大值在冬季的后半日出现，这个数值

决定日总电负荷最大值和电厂为满足所有用户用电需求应具备的工作机组总容量。

图 1.2 所示全日总电负荷变化曲线描述了在工作日内负荷变化的特征。在非工作日，电负荷大大降低，以致于在一个工业区星期日的电负荷最大值 $N_{e,max}$ 可能仅仅是工作日最大值的0.5到0.6。在一个工业集中的地区，一周内工作日和非工作日典型的电负荷曲线见图 1.3。

对于单独工作的电厂（孤立电厂），电厂所在地区总的电负荷曲线同这个电厂的电负荷曲线一致。然而在多数情况下，一个电厂把发出的电并入公共电力系统，因而总的电负荷曲线表征了一个地区电力系统的运行情况，而一个电厂的负荷取决于电力系统对它所有电厂的负荷分配，这一工作是由电力系统的负荷调度

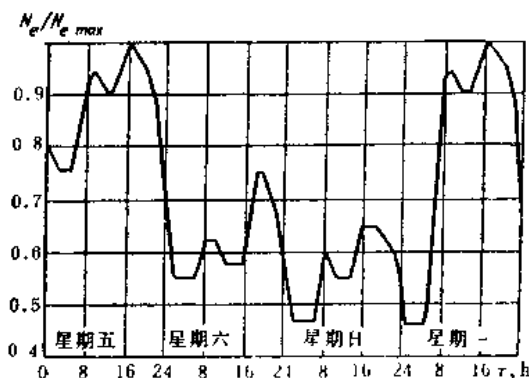


图 1.3 电负荷在一周内随工作日和假日变化的典型曲线

室来完成的。

对于电负荷曲线的分析表明，电能的消耗是极为不均衡的。一个电厂在给定时间内实际发电量同这个电厂在同样时间内以最高的负荷运行所发出的电量的比叫做**最大负荷利用系数**，或简称**利用系数**，记以 $\mu_{\max}$ 。在一些情况下，它又被称作电负荷充满系数*。它的定义为

$$\mu_{\max} = E / (N_{e,\max} \tau_{\text{op}}) \quad (1.1)$$

式中 E 是实际生产出的总电量，单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； $N_{e,\max}$ 是最大电负荷，单位为 kW ； τ_{op} 是电厂运行的时间，单位为 h 。

$\mu_{\max}$ 较高说明电厂的设备利用得比较充分。一般说来，一个包含有很多电厂的电力系统要比一个孤立电厂具有高得多的利用系数。

图 1.4 给出的是一个大电力系统的全日电负荷曲线。这种情况下的利用系数（或称为负荷系数）如下：冬季（12 月份）为 0.88；夏季（6 月）为 0.92。在一个电力系统内，工业负荷占的比重越大，系统的利用系数值越高。

在大的电力系统中，夏季的利用系数值一般高于冬季的利用

此系数常称为负荷系数——译者注

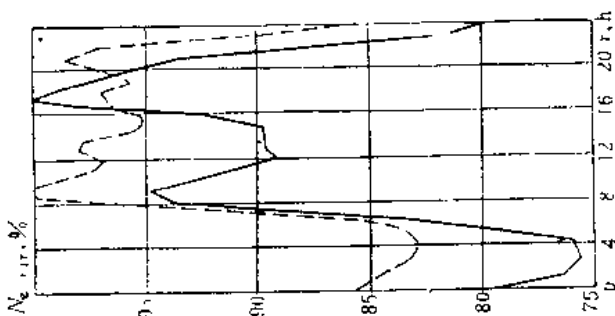


图 1.1 电力系统的全日电负荷曲线
-----夏季；——冬季

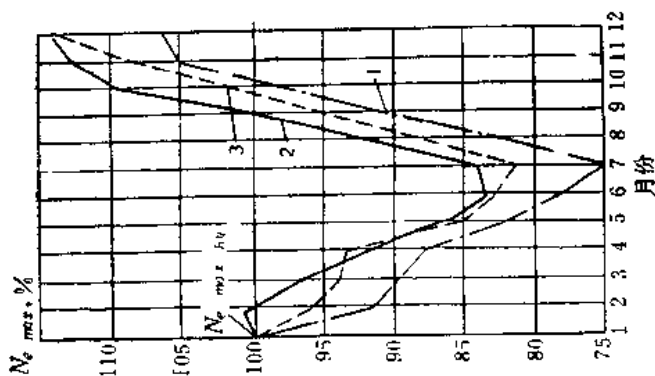


图 1.5 电力系统全年负荷曲线，
(表示出每月最大电负荷)

1~3——分别为第一、二、三年的月最大电负荷 $N_{e,max}$ 在全年时
间内变化的曲线 ($N_{e,max,by}$ ——年初的月最大电力负荷)