

368399

成都工学院图书馆

基本馆藏

热工学及发电厂热力部分

REGONGXUE JI FADIANCHANG RELI BUFEN

(初稿)

謝益棠 郑体宽 王崇琦 楊昌俊 編



华中工学院教材出版社

一九六五年六月

前 言

根据1962年底电厂热能动力装置专业教材編審委员会的委托，华中工学院、太原工学院和重庆大学三院校为高等学校“发电厂、电力網及电力系统”专业的“热工学及发电厂热力部分”課程分別編写了三份讲义。1964年3月在北京召开的热力发电厂教材編審小組扩大會議上討論了三校所編的讲义，并进一步落实了編写計劃，建議本教材由三校合編。

本书（初稿）編写工作是在热力发电厂教材編審小組和三院校领导的关怀与指导下，以及有关教研室的大力协助下进行的。不少兄弟院校提供了許多宝贵的教学經驗和意見，以及自己使用的本課程讲义等，在編写过程中充分考虑了这些意見，并参考了有关教学資料。

本书（初稿）系以1962年12月高等工业学校水利电力类专业教学工作會議所審訂的本課程教学大綱为基础，着重参考了华中工学院、太原工学院和重庆大学三院校所編的讲义，結合近年来的教学实践来进行編写的。編写前曾拟訂了編写提綱，編写提綱經有关院校討論，根据少而精的教学原則，精选內容，以不超过68学时的讲课內容修訂了編写提綱。这次編写时，又考虑到半年来教学革命形势的发展，对內容作了进一步精选，而未完全拘限于所修訂的編写提綱。

按照1962年教学大綱的規定，本书暫采用“热工学及发电厂热力部分”名称。根据本서의內容，建議今后改用“发电厂热力部分”作为书名。全书共分四篇十六章。第一篇为热工理論基础，第二篇为鍋炉設備，第三篇为汽輪机，第四篇为热力发电厂。

对本书（初稿）內容、有以下一些問題需要說明：

1. 在編写时是根据对学习毛主席教育思想的初步体会，以修訂后的編写提綱为主要依据，并吸取了有关学校近半年来对本門課程改革的經驗，在取材上力求目的明确，要求恰当，精选內容，突出重点。例如对热工理論基础有关气体方面和对流放热部分作了較多的精簡；对热力設備理論性推演和計算，以及有关电厂設計方面的內容也作了適當的删減。

2. 考虑到本課程属专业課性质，与生产实际联系密切，所以，在內容和取材上尽可能地联系我国生产实际情况。

3. 为体现循序漸进的原則，对于热工理論基础部分注意了与本課程的专业部分內容前后系联衔接；对于热力設備和电厂部分，以国产的两种（中参数1.2万千瓦凝汽式机組和高参数2.5万千瓦供热式机組及相应的鍋炉等）型式电厂的典型設備为主，通过定性分析，使学生掌握或了介有关的基本理論和基本知識。

4. 鉴于本課程过去所用的符号比較混乱，并考虑到目前国家标准、产晶型号等已趋向于采用汉语拼音字母。所以本书中除基本符号仍用国际通用或国内慣用的符号外，对释意性的上下标，則主要采用汉语拼音字母。因系試用，不尽完善，有待今后逐步改进。

5. 有关資料性质的或个别引伸的內容，均用小字排印。

本书（初稿）是集体編写的。第一篇工程热力学部分由华中工学院王崇琦同志編写，传热

学部分由华中工学院楊昌俊同志編写，第二、三篇由太原工学院謝益棠同志編写，第四篇由重庆大学鄭体寬同志編写，緒論由王崇琦执笔。謝益棠同志担任主編。二校編写人完成手稿后曾进行了集体的討論、修改及匯总。其中传热学部分，根据討論意見由王崇琦同志作了修改。

本书（初稿）原准备附以习题和思考題，限于時間緊迫，未能实现。为了充分利用原有的鋅版插图，所以书中有的图不尽符合編写的意图。有些在最后集体討論时确定应附的图，因未及制版而暂时付缺；有些則因系三校分头选图制版，在符号上难免有图文不一致及遺漏之处，現均暫以勘誤表說明。

本书印刷稿主要供有关领导和審閱人審查及向各兄弟院校征求意见之用，此外并为一些院校代印了一部分作为試用参考。

在整个編写工作中，得到有关兄弟院校的各方面的支持和帮助，并承华中工学院出版科和热工教研室进行印刷和校对，为此謹表示深切的謝意。

由于編者对毛主席教育思想和党的教育方針学习和領会得不夠，兼以业务能力有限和時間的限制，本书（初稿）一定存在不少缺点和錯誤，誠懇地希望試用本书（初編）的兄弟院校师生給予批評指正。

編 者 1965年4月

目 录

前 言	1
目 录	3
基本符号表	6
注角符号表	7
绪 论	8

第 一 篇 热工理論基础

第 一 章 工程热力学的基本概念	14
第一节 概說	14
第二节 工質的基本状态参数	14
第三节 理想气体及其状态方程	19
第四节 热力过程	20
第 二 章 热力学基本定律	21
第一节 热力学第一定律	21
第二节 稳定流动能量方程式	26
第三节 热力学第二定律	30
第 三 章 蒸汽及蒸汽动力装置的基本循环	35
第一节 概說	35
第二节 定压下水的汽化过程	36
第三节 蒸汽图表及其应用	39
第四节 蒸汽的热力过程	44
第五节 蒸汽动力装置的基本循环	47
第 四 章 传热学的基本知識	53
第一节 概說	53
第二节 导热	54
第三节 对流换热	59
第四节 輻射换热	64
第五节 传热与换热器	68

第 二 篇 鍋 炉 設 备

第 五 章 电站鍋炉及燃料、燃烧簡介	75
第一节 电站鍋炉概說	75
第二节 鍋炉燃料及其燃烧	77
第三节 鍋炉热平衡	82
第 六 章 燃烧设备及煤粉制备	84

第一节	燃料的燃烧过程和燃烧设备的基本型式	84
第二节	机械化炉排炉	86
第三节	煤粉炉	88
第四节	煤粉制备	91
第七章	锅炉受热面	95
第一节	锅炉类型、水循环及其对锅炉运行的重要性	95
第二节	水冷壁、过热器	97
第三节	省煤器、空气预热器	100
第四节	电站锅炉实例	102
第五节	直流锅炉简介	105
第八章	锅炉辅助设备与运行的基本问题	106
第一节	给水设备	106
第二节	给水处理和蒸汽净化	107
第三节	通风系统及其设备	109
第四节	除塵器	111
第五节	锅炉运行的基本知識	112
第六节	锅炉设备自动调节概念	115

第三篇 汽轮机

第九章	汽轮机工作原理	118
第一节	概說	118
第二节	蒸汽在噴管中的能量轉換	121
第三节	汽轮机級的工作	124
第四节	多級汽轮机	129
第五节	汽轮机的損失和效率	131
第十章	汽轮机的构造	135
第一节	汽轮机的静止部分	135
第二节	汽轮机的轉动部分	137
第三节	軸封、軸承、联軸节	139
第四节	汽轮机構造实例	142
第十一章	凝汽设备	145
第一节	凝汽设备的作用及其組成部分	145
第二节	表面式凝汽器	145
第三节	抽气器	147
第十二章	汽轮机的調节与运行	149
第一节	汽轮机調节的目的及蒸汽的分配	149
第二节	調节系統	150
第三节	調节系統的静态特性与机組的并列运行	152
第四节	危急保安器、油系統	155

第五节	汽輪机的工况图	156
第六节	汽輪机运行的基本知識	158

第四篇 热力发电厂

第十三章	发电厂的工作原理及提高其經濟性的途径	161
第一节	概說	161
第二节	凝汽式发电厂的热經濟性	161
第三节	供热式发电厂的热經濟性	164
第四节	蒸汽参数对发电厂經濟性的影响	167
第五节	給水回热加热	169
第十四章	发电厂的热力系統及其組成部分	175
第一节	給水回热加热系統及其设备	175
第二节	給水热除氧系統及其设备	178
第三节	热电厂的供热系統及其设备	180
第四节	发电厂的汽水损失及其补充	183
第五节	发电厂的原则性热力系統	187
第十五章	发电厂的设备配置及发电厂的全面性热力系統	188
第一节	发电厂主要热力设备的配置	188
第二节	发电厂的主管路系統	192
第三节	发电厂的全面性热力系統	194
第十六章	发电厂的輸煤、除灰、供水和发电厂的布置	197
第一节	发电厂的輸煤、除灰和供水	197
第二节	发电厂的布置	204

附录

附錄1. 飽和蒸汽表 (按压力編排)

附錄2. 飽和蒸汽表 (按溫度編排)

附錄3. 水与过热蒸汽表

勘誤表

蒸汽 $i-s$ 图

(插頁)

基本符号表

A	吸收率; 功的热当量; 灰分	Re	雷诺准则
a	导热系数; 音速	RO_2	烟气中的三原子气体
B	大气压力; 燃料消耗量; 系数	R_x	煤粉细度
C	幅射系数	r	汽耗增加率; 半径; 汽化潜热
c	比热; 速度; 常数; 相似倍数	s	熵
c_p	定压比热	T'	绝对温度
c_v	定容比热	t	温度; 时间
D	透射率; 直径; 汽耗量	\bar{t}	水的焓
d	直径; 汽耗率	U	内能
E	幅射力	u	内能; 速度
F	面积	V	容积; 挥发分
f	截面积; 频率	v	比容
G	重量; 重量流量	W	水分; 发电量
Gr	葛拉晓夫准则	w	速度; 相对速度
g	重力加速度	x	距离; 湿蒸汽干度; 速度比; 空转系数
H	真空度; 焓降; 压头	Z	回热级数
h	高度; 通风力; 焓降; 损失的能量	z	高度
i	焓	α	放热系数; 过剩空气系数; 喷管射汽角; 重热系数; 抽汽分额
K	传热系数	β	容积膨胀系数; 燃料特性系数; 叶片进汽、排汽角
k	煤的可磨度	γ	重度
L	功; 功率	δ	厚度; 转速变化率
l	长度; 功; 功率	ε	压力比; 黑度
m	质量; 速度级数; 冷却倍率; 系数	η	效率
N	功率	κ	绝热指数
Nu	努谢尔特准则	λ	导热系数
n	指数; 转速; 系数	μ	粘度; 余速利用系数
P	压力	ν	动粘度
Pr	柏朗特准则	ρ	密度; 反击度
p	压力; 作用力; 轮周力	τ	时间
Q	传热量; 幅射能; 燃料发热量; 锅炉热损失; 热耗量; 通风量	φ	喷管速度系数
q	热量; 热流量; 锅炉热损失; 热耗率	ψ	叶片速度系数
R	体气常数; 反射率; 热阻	ω	热化发电率

注 音 符 号 表

- a* 理想的
b 表(*biao*)計的; 壁(*bi*)的; 飽(*bao*)和状态的; 标(*biao*)准状态的
c 抽(*chou*)汽
d 导(*dao*)热; 电(*dian*)的; 低(*di*)位的
dl 对流(*duiliu*)
e 能量的
ed 額定(*eding*)的
f 发(*fa*)电机; 幅(*fu*)射的
g 工(*gong*)作质的; 高(*gao*)位的; 鍋(*guo*)炉; 过(*guo*)負荷;
gd 管道(*guandao*)
gr 过热(*guore*)
gs 給水(*geishui*)
gsb 給水泵(*geishuiden*)
gyq 干煙汽(*ganyanqi*)
h 混(*hun*)合的; 回(*hui*)热
j 級(*ji*); 淨(*jing*)的; 絕(*jue*)对的
jj 机械(*jijie*)
js 技术(*jisu*)
k 卡諾(*Karnot*)
kg 空气(*kongqi*)
l 朗肯(*Langking*); 流(*liu*)体; 长度的; 漏(*lou*)汽
lj 臨界(*linjie*)
lz 輪周(*lunzhou*)
m 平均的
mg 摩((*mo*)擦鼓(*go*)风
n 内(*nei*)部的; 凝(*ning*)汽; 排汽状态的; 終态的
ndc 凝(*ning*)汽式发电(*dian*)厂(*chang*)
o 理論的; 理想的; 初始的; 絕對黑体的; 总的
p 平(*ping*)均; 排(*pei*)噴(*pen*)管
r 可燃(*ran*)质的; 热(*re*)的; 供热(*re*)的
rd 热电(*redian*)厂的
rdc 供热(*re*)式发电(*dian*)厂(*chang*)
rw 热網(*rewang*)的
s 湿(*shi*)汽; 水(*shui*)
t 热的; 热力的
w 热網(*wang*)
x 相(*xiang*)对的; 空載的; 湿蒸汽的
xn 相(*xiang*)对(*dui*)内(*nei*)部的
y 叶(*ye*)片
yyq 煙气(*yanqi*)
ys 余速(*yusu*)
yx 有效(*youxiao*)的
z 軸(*zhou*)向的; 干燥(*cao*)质的; 再(*zai*)热
zd 最大(*zuda*)
zx 最小(*zuixiao*)

緒 論

一、熱能的利用及其在電力工業中的地位與作用

在自然界中，蘊藏着無窮無盡的能量，如風能、水能、燃料化學能、太陽能以及核能等。所謂“能量”是指物質運動的量度。如果按照物質不同的運動形式來區分，能量則可分為：機械能、熱能、電能、化學能、輻射能等。物質在機械運動時所具備的能量（包括動能及勢能）叫做機械能，而熱能是組成物質的所有微粒作各種不規則運動的總能量。

隨着人類社會的發展，人們在實踐中，發現並利用了自然界中的很多能源，其中以利用熱能（主要由燃料化學能在燃燒時轉換而來）最為廣泛。

人類在最初的原始社會中，經過實踐發現了火，直接利用熱能來為人類服務，這對當時的人類社會的發展起了很大的推動作用。隨着人們不斷地總結實踐經驗，認識與掌握客觀規律，並能動地利用這些規律來改造客觀世界，熱能的利用也就日益完善起來。現在，人們不僅能直接利用熱能作為加熱、取暖、烘乾等的能量來源，而且可以有成效地進行間接利用，讓熱能經過能量形式的轉換，使它轉換為機器轉動的機械能，借以獲得動力，或進一步轉換為電能而加以利用。

電力工業是從事生產、輸送和分配電能的工業，它是國民經濟的重要工業部門之一，也是國民經濟有機組成的一部分。生產和日常生活所需要的電能，是由發電廠集中進行生產和供應的。電能的獲得可由自然界的各種能源轉換而來，其中以應用燃料資源及水力資源發電佔主要地位。風力發電受到自然條件的限制，容量很小，又不易控制；核能（原子能）雖然是巨大的能源，但原子能發電廠的建造尚處在開始階段；太陽能發電、地熱發電、潮汐發電等近來有不少研究，但估計其應用規模和發展前途也有局限。目前，在世界上，電能主要由熱力（火力）發電廠和水力發電廠來生產與供應。

熱力發電和水力發電各有其特點，在電力工業中均佔有一定的地位。水力發電可以充分利用水力能源，不需燃料，發電成本較低，運行操作比較簡單，並使水力資源可能得到綜合利用。但水電站工程大，投資多，建期長，其布局和規模往往受到地理與自然條件的限制。同時，水庫蓄水可能還淹沒大片農田，在枯水季節，發電量又將會減少。熱力發電與它相比，雖然要耗用燃料，發電成本較高，技術管理又較為複雜，但卻具有投資較低、建期較短、布局和規模靈活、可以既供電又供熱等優點。由於這樣一些優點，決定了熱力發電在一般國家的電力工業中佔有較大的比重。據有關方面的統計資料：1960年全世界的熱力發電佔70%，我國約佔80%，蘇聯佔82.6%，美國佔82.2%。

在我國，燃料和水力資源都非常豐富，熱力發電和水力發電均具有優越條件。根據我國具體情況，對於發展電力工業，是水電建設與火電建設同時並舉，因地制宜，以充分、合理地利用能源，加速社會主義事業的建設。由於在我國現有的電力工業中熱力發電所佔的比重較大，

而在今后的电力建設中，就絕對数量來說，热力发电仍然很大。因此，热力发电将始終是电力工业获得电能的主要方式之一。

二、現代汽輪机发电厂的組成及其生产过程

热力发电厂的原动机可采用蒸汽机、内燃机、汽輪机及燃气輪机等。蒸汽机的功率小、效率低；内燃不能直接应用廉价的固体燃料，且其带动的发电机的容量也不大；至于以燃气輪机作为原动机，目前尚沒有广泛地采用。所以，現代中、大型热力发电厂照例都是汽輪机发电厂。以后，我們所述的“热力发电厂”，均系指汽輪机发电厂。热力发电厂可燃用各种燃料，但以煤炭最为普遍。目前，我国的热力发电厂，多数采用煤为燃料。

图0—1为一燃用煤粉的汽輪机发电厂示意图。现在，讓我們来看一看，在这种电厂中，能量是如何轉換的，电能是怎样得到的。如图所示，运进电厂中的煤，經碎煤设备打碎后，由皮带运输机送入鍋炉房，經原煤斗、給煤机入磨煤机研制成煤粉。研制好的煤粉，用粗粉分离器进行分离，并在旋风分离器中分离出空气和煤粉，然后由噴燃器将煤粉与空气噴入炉膛内进行燃烧。在燃烧的过程中，燃料的化学能轉变为热能。将煤加工成煤粉为的是使燃料得以充分燃烧，以有效地利用热能。炉膛內的燃烧产物——煙气，由吸风机（引风机）抽吸，經省煤器（給水予热设备）、空气予热器、除尘器送入煙囪，然后排出。由送风机送入的空气，在进入炉膛以前，于空气予热器中受到排出煙气的予热，以減少煙气的热量损失，并提高空气温度，改善燃烧过程。鍋炉内的水吸收了燃料燃烧时所放出的热量而变为蒸汽，在过热器内进一步被加热后，送到汽輪机中，推动汽輪机轉动，使蒸汽的热能轉变为汽輪机迴轉的机械能，并带动发电机運轉，从而完成机械能到电能的轉換。发出的“电能”，經升压、配电等装置后，用輸电線送入电網或送給用户。从汽輪机中排出的蒸汽，經凝汽器用循环水冷却变为凝結水，再由凝結水泵、給水泵送入鍋炉继续使用。考虑到在工作过程中，将有一部分水和蒸汽的消耗与洩漏，因此，除了将凝結水送入鍋炉外，还要对鍋炉供給一部分經過軟化的补充水。凝結水和补充水，在进入鍋炉以前先入除氧器，在其中被加热和除氧。給水予热可以提高热能利用的經濟性；除去水中的氧，可防止氧对金属的腐蝕作用。为了充分利用蒸汽的热能，往往还在汽輪机中抽出一部份蒸汽經給水加热器（回热加热器）去予热給水。

由上述可見，現代热力发电厂的主要組成部分可分为热力和电气两大部分，鍋炉、汽輪机、发电机乃为其三大主要设备。在热力发电厂中，能量轉換的过程是：在鍋炉中将燃料的化学能轉变为蒸汽的热能，然后通过汽輪机，将蒸汽的热能轉变为机械能，再由发电机使机械能轉变为电能。

热力发电厂是一个大型的工业企业，它由各組成部分构成一个有机的整体。热力发电厂常分为燃料、鍋炉、汽机、电气、化学、热工等分場（或称車間），来分別进行生产組織和管理工作。中小型热力发电厂通常只分鍋炉、汽机、电气三个車間，甚至只分热力車間与电气車間。

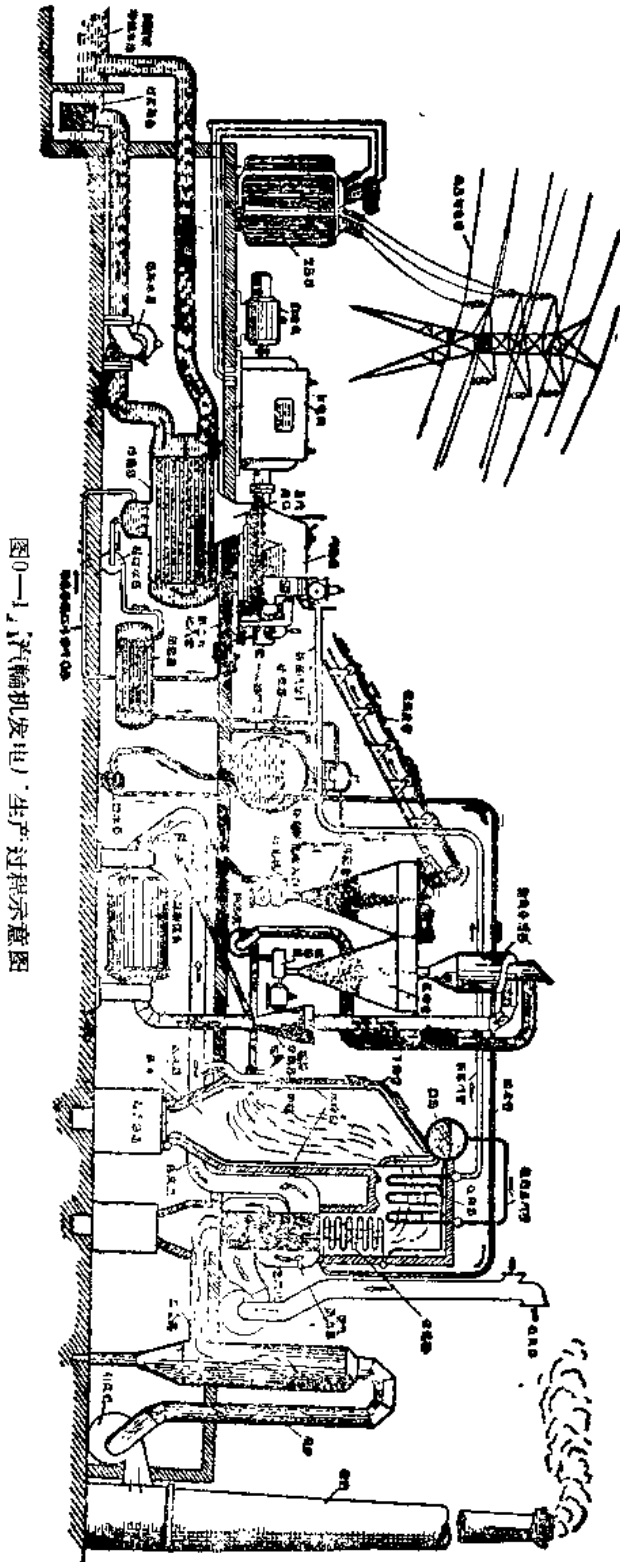


图0—1. 汽轮机发电生产过程示意图

三、我国电力工业的发展

我国是一个历史悠久的国家，我们的祖先曾经对人类历史的发展作出了巨大的贡献。但由于封建制度的长期统治，使生产力的发展受到严重的阻碍，很多创造发明被淹没，得不到应有的发展。

解放以前，在帝国主义、封建主义、官僚资本主义的压榨和掠夺下，我国的电力工业和其他工业一样，基础薄弱，极为落后，存在着明显的殖民地、半殖民地色彩。从1882年在我国建立第一个发电厂起，到1949年解放初期为止，虽有60多年的历史，但规模很小，发展很慢。1949年我国总共只有184.9万千瓦的发电设备（其中热力发电设备容量为169万千瓦）。这些电厂，绝大部分被帝国主义垄断资本及我国地主阶级、官僚与买办资本所把持，成为对我国人民进行压迫及剥削的工具。电厂的分布极不合理，设备陈旧庞杂，劳动条件恶劣，规范、参数混乱。电厂的运行水平很低，设备年久失修，事故频繁，多数电厂的煤耗率（发1度电所消耗的煤量）在1.2公斤/度以上。上述所有电厂，非但主要设备由国外供应，且其基建、检修、运行的材料和设备配件也都依靠进口。当时，我国根本不能制造汽轮机，至于锅炉，则仅能制造蒸发量（每小时生产的蒸汽量）不超过3吨/小时，压力低于6个大气压的小型锅炉。

解放以后，在中国共产党和毛主席的英明领导下，我国走上了社会主义的光明大道，国民经济的各部门，都得到了前所未有的巨大发展。全国人民，在党的领导下，认真贯彻了自力更生、奋发图强、艰苦奋斗、勤俭建国的方针，使我国电力工业也出现了崭新的面貌。经过国民经济恢复时期以后，从1953年起，我国开始执行第一个五年计划。在第一个五年计划期间，电力工业的迅速发展，基本上满足了国民经济用电的需要。到第一年五年计划的最后一年——1957年，我国发电设备容量，已由1949年的184.9万千瓦（其中热力发电169万千瓦）提高到463.5万千瓦（其中热力发电362万千瓦）；年发电量由1949年的43.1亿度上升到463.5亿度。八年内，发电量增加了十余倍。在大跃进的1958年，电力工业更得到了飞速地发展。在这一年中，发电设备的容量已增加到629万千瓦（其中热力发电为507万千瓦），发电量达275.3亿度，所增加的设备容量等于第一个五年计划期间全部新增设备容量的3/4，发电量比1957年增加了42.5%，这样发电量的增长速度，在当时来说，为解放以来空前高涨的一年，显示了总路线和大跃进的巨大威力。在这以后，电力工业持续跃进，第二个五年计划原定1962年的发电量指标（400~430亿度），提前三年于1959年胜利完成。与我国这样高的发展速度相比，任何资本主义国家是望尘莫及的。据有关方面统计，1953~1954年，我国电力工业发展的速度是美国的1.83倍，日本的2.56倍，英国的2.6倍，法国的3.05倍。英国曾经花了33年的时间发电量才由46亿度提高到427亿度，而我国将发电量由43亿度提高到415亿度，只花了10年的时间。

电力工业的发展，在祖国各地建立了很多现代化的发电厂，形成了许多不同规模的电力系统，改变了过去电力工业布局不合理的局面。

在以农业为基础，工业为主导发展国民经济的总方针指导下，农村的电力事业有了特别迅速的发展。到1964年10月为止，全国电力灌溉设施已有210万千瓦。不少地区，都建成了规模较大的电力排灌系统，为人民公社的发展，为实现农业的旱涝保收、稳产高产，创造了有利的条件。

随着电力事业的发展，我国发电设备制造，这十余年来也有了很大的进展。从1955年自制成功6000瓩汽轮机以来，我国又陆续生产了1.2、2.5、5万瓩的成套热力发电设备，装备了许多新建的电厂。第一套国产5万瓩高温高压的成套发电设备早在1959年已正式投入运行。10万瓩的发电设备业已制成（与其配套的锅炉蒸发量为410吨/小时，蒸汽压力为100大气压，温度为540°C）。更高参数、更大容量的设备，也正在设计与制造。

由于社会主义生产资料公有制的建立，工人阶级成为企业的主人，随着他们阶级觉悟和技术水平的提高，我国电厂的运行水平也就有了极大的提高。1949~1958年，平均煤耗率由0.925降低到0.559公斤/度，一些先进的电厂，已低至0.351公斤/度了。

电力工业的成就，不仅表现在发电厂建设、设备的设计制造、运行水平的提高等方面，而且表现在培养技术力量方面。在阶级斗争、生产斗争、科学实验三大革命运动的实践中，一支具有一定社会主义觉悟和技术水平的电力建设队伍，也迅速成长和壮大起来。

现在，我国的电力工业更坚定地走上了自力更生的道路。我国已拥有一支强大的研究、设计、制造、安装、运行、检修的技术队伍，我们完全可以完全依靠自己的力量，独立地完成电力工程的建设任务了。电力工业的这些成就，是党和毛主席正确领导的结果，是坚持党的建设社会主义总路线的伟大胜利。

电力工业的成就是巨大的，但已有的成绩和我们辉煌的将来相比，“这只是万里长征走完了第一步”^①。为了适应三大革命运动的要求，为了尽快地把我国建设成为农业现代化、工业现代化、国防现代化和科学技术现代化的社会主义强国，电力工业所面临的任任务是十分光荣而艰巨的。我们深信，在伟大的中国共产党和毛主席的领导下，在总路线、大跃进和人民公社三面红旗光辉的照耀下，我国人民仍将继续自力更生，奋发图强，艰苦奋斗，勤俭建国，电力工业和其他各项事业定会以更高的速度向前迈进。

四、本课程的性质与主要内容

上已述及，从生产过程来看，热力发电厂主要由热力、电气两部分组成有机的整体。尽管各部分工作范围有所不同，但它们却是相互联系着和相互影响着。这就要求各部门不仅要彼此分工，各负职责；而且有必要相互了解，密切联系，以使电厂安全、经济地运行。同时，电力网及电力系统的工作情况，是与并列运行各电厂的工作情况有关的，而电厂热力设备的运行情况，又和电力网及电力系统的经济运行有着密切的关系。因此，在热力部分工作的专职人员，有必要掌握电气部分的基本知识；而电力工程技术人员，也必须对有关热力部分的基本知识有所了解。本课程的任务就在于讨论热力发电厂中热力部分的组成，主要热力设备（锅炉及汽轮机）及其有关辅助设备的基本原理、构造特点、重要特性等。它的要求是：使“发电厂、电力网及电力系统”专业的学生，了解发电厂主要热力设备及系统的基本原理和一般运行知识，并对热力发电厂的生产过程有一个全面的认识。

为了达到上述的要求，有必要具备热工理论方面的基础知识，了解热能和机械能之间相互

^①毛泽东：“在中国共产党第七届中央委员会第二次全体会议上的报告”，“毛泽东选集”，人民出版社1960年第一版第4卷第1439页。

轉換以及热传递的基本規律。因而，本課程还包括有热工理論基础部分。具体說来，本課程由热工理論基础（工程热力学及传热学）、鍋炉、汽輪机、热力发电厂四部分组成。工程热力学主要研究热能和机械能相互轉換的規律，討論它們之間轉換的量与质的关系，传热学主要介紹热交換的方式和热传递的規律。这些問題的研究和討論，将为正确了解热力发电厂中能量轉換的过程，为正确理解发电厂热力設備的传热現象，提供基本知識。鍋炉及汽輪机是电厂的主要热力設備，課程中将討論它們的基本原理及构造特性。在“热力发电厂”中，主要介紹組成发电厂的热力系統、輔助生产系統及有关設備。通过鍋炉、汽輪机、热力发电厂三部分的介紹，将对在热力发电厂中能量是如何轉換的，設備是怎样工作的以及电厂的組成等方面有一个全面的認識。

工程热力学、传热学是研究热力設備及热力发电厂的理論基础，这部分內容是属于基础技术課的性质，但就这門課程总的內容来看，本課程乃属专业課的范畴。本課程的內容是和生产实际密切联系的，因此，对本課程的学习，也应该紧密地联系实际。

第一篇 热工理論基礎

第一章 工程热力學的基本概念

第一節 概 說

自然界中各种不同形式的能量可以相互轉換，它們在轉換時，都遵循着一定的規律。研究熱能與其他形態的各種能量之間相互轉換的科學稱為熱力學。工程熱力學是熱力學的一個分支，它主要研究熱能和機械能之間相互轉換的關係和規律。

要使熱能不斷地轉換為機械能，需有一套機械設備，這種整套的機械設備，叫做熱能動力裝置。“熱力發動機”（或簡稱為熱機）則是指將熱變為功而發出動力的機械。蒸汽機、汽輪機、內燃機等，都是應用得比較廣泛的熱機。

由於“熱”是物質運動的一種形式，物質和運動是不可分割的，“熱”不能離開物質而存在。因此，為了使熱變為功，除了熱能動力裝置或熱機以外，還必須有某種物質作為工作介質。依靠它狀態交替地變化——受熱、冷卻、膨脹或壓縮，才有可能使熱變功連續地進行。這種參與熱功轉換的工作物質，稱為“工質”。蒸汽機、汽輪機中的工質是蒸汽，內燃機中的工質是燃氣（燃料和空氣混合燃燒所產生的燃燒產物）。應該注意到：並不是任何一種物質都可以有效地被利用來作為工質。不難理解，工質的體積是否具有很大變化的特性，對於熱變為功有着重要的意義。由於固態、液態物質膨脹性能差，且幾乎不可壓縮，體積的變化不能滿足能量轉換的要求，故在實用上不採用它們作為工質。氣態物質（氣體及蒸汽）由於其膨脹能力較大，流動性好，且有較大的壓縮性能，故在工程上都應用它們作為工質。

研究熱能和機械能之間相互轉換、特別是熱能轉變為機械能的基本規律；有效地利用熱能，改善熱機工作條件，尋求進行這種轉換最有利的條件；以及相應地研究所用工質（主要是汽體和蒸汽）的熱力性質，就是工程熱力學的主要內容。由此也可見，工程熱力學是研究熱能動力裝置與熱機的工作情況和工作條件所不可缺少的一門科學。

第二節 工質的基本狀態參數

工質是熱能和機械能相互轉換的工作物質，依靠工質狀態的變化，能量轉換才有可能。為了研究熱變功的規律與描述工質在各種狀態下的特征，必須用某些物理量來表示工質的狀態，以確定與描述它的性質。在工程熱力學上，把這樣一些物理量叫做“熱力參數”，或稱“狀態參數”。工質的熱力狀態，可以用壓力、溫度、比容、內能、焓、熵等物理量來描述。由於壓力、溫度、比容這三個量具有較明確的物理意義，容易理解，同時也易于測量，因此，通常把它們作為工質的基本狀態參數。經驗指出：對於工質的每一個狀態，其狀態參數都有確定的數值，只要任意兩個獨立的状态參數確定時，則工質的狀態即被確定；如果其中有一個狀態參數

发生改变，则工质的状态也就相应地发生变化，状态参数新的数值，就决定了工质新的状态。状态参数的特性在于：它只是由工质现存的状态来确定，而与达到这一状态的变化过程无关。

一、压 力

运动着的气体分子与其他物体表面接触时，这些表面就受到分子的撞击力，压力就是大量分子作用力的综合结果。通常把工质在单位面积表面上所作用的力称为压力^①。在工程热力学中压力的工程单位是公斤/米²，或公斤/厘米²，并称1公斤/厘米²的压力为一个工程大气压。此外，有时也采用毫米汞柱、毫米水柱或米水柱作为压力的度量单位。这些压力单位之间换算的关系是：

$$1 \text{ [工程大气压]} = 1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} = 10^4 \text{ [公斤/米}^2\text{]} \\ = 735.6 \text{ [毫米汞柱]} = 10^4 \text{ [毫米水柱]}。$$

显然，这里的工程大气压，和物理学上的物理大气压是不同的。1物理大气压按规定应为760毫米汞柱。因此：

$$1 \text{ [物理大气压]} = 1.0332 \text{ [工程大气压]}。$$

以后，我们所用到的压力单位“大气压”，一般均指工程大气压，而省略“工程”两字。当涉及到标准状态时，则注明为物理大气压。

上述各种压力单位，视工程实际需要而选用。例如，在锅炉中蒸汽的压力可较高，故用「大气压」又如通风机所维持的压差一般不大，往往就不采用“大气压”来表示了。

由于分子运动异常频繁，分子数又是如此之多，因此，要直接测出气体分子作用在容器壁上的撞击力的数值是无能为力的，我们只能利用某种表计来间接测出这种撞击力的平均结果。考虑到气体的实际压力和用仪表测出的数值有所差别，因而，在压力表示上，常有绝对压力、表压力和真空度之分。

绝对压力是指工质作用在容器壁上的实际压力，表压力是使用压力表测量压力时表计的读数。绝对压力以 p 表示，表压力以 p_0 表示。测定容器内气体的压力，可用两端开口的U形管（或压力表）连接在容器上，弯管内的液体在两侧压力差的作用下，能显示出容器内压力的相对值。图1—1 a所示为当绝对压力高于当时当地的大气压力 B 时的情况。此时，接力平衡的

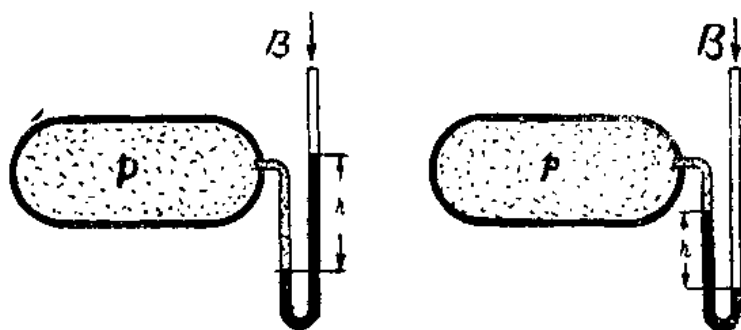


图1—1 a) 绝对压力和表压力的关系

图1—1 b) 绝对压力和真空度的关系

^①这里所说的压力，在普通物理学中叫做压强。

条件，可有下述关系：

$$p = \gamma h + B, \quad (1-1)$$

或
$$p = p_b + B \quad (1-1a)$$

式中 B —— 大气压力，可由气压计测得；
 γ —— 液体的重度；
 h —— 液柱相差的高度。

显然表压力 p_b 是绝对压力 p 高出于当时当地大气压力 B 的数值。

在工程上往往遇到有压力较高的情况，如果仍用U形管压力计测量压力，则所需之弯管要求极长。在这种情况下，就需要采用其他一些形式的压力表来进行测量。图1-2为常用的弹簧管压力表的形式和内部构造。压力表内为一弹性弯管，弯管一端封闭，另一端接欲测气体压力的容器上。弯管断面扁平而椭圆形，管内的气体压力 p (绝对压力) 与管外的大气压力 B 之差，使弯管变形，带动扇形齿轮和小齿轮转动，从而使指针显示读数。这一读数，就代表 p 与 B 的差值，故可得式 (1-1)、(1-1a) 相同的结果。

当绝对压力低于大气压力时，表压力就应该是一个负值。这时，我们只取其数值，称之为“真空度”，或称“负压”，并记作 H 。参照图1-1b，可得

$$p = B - \gamma h, \quad (1-2)$$

或
$$H = B - p \quad (1-2a)$$

可见真空度乃表示大气压力与绝对压力之差值。

不论是表压力还是真空度，都是和当时当地的大气压力所比较的相对数值。由于大气压力随自然和地理条件而改变，因此，在一定的绝对压力 (即绝对压力) 下，由于大气压力的不同，表压力或真空度可以有不同的数值。这就说明了，只有绝对压力才能真正说明工质的特性，才可作为状态参数。

应该注意到：“大气压”和“大气压力”是截然不同的两个概念，前者只不过是一种表示压力的单位而已。

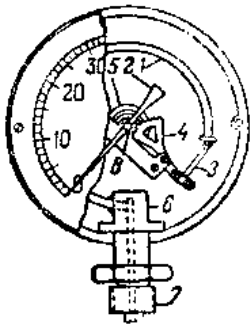


图1-2 弹簧管压力表

- 1—弹簧管；2—指针；3—连杆；4—扇形齿轮；
- 5—游丝；6—支座；7—接头；8—小齿轮。

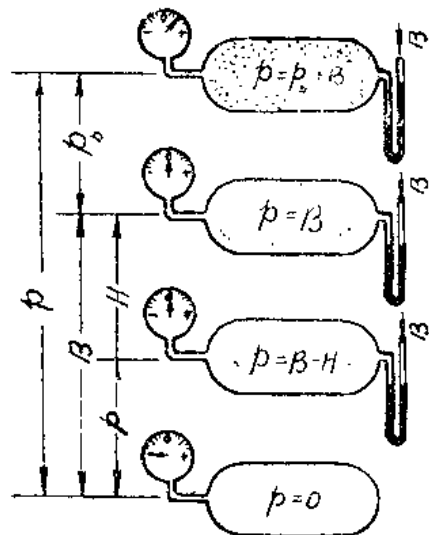


图1-3 压力关系的图解