

高等学校交流讲义

工程热力学

夏彦儒 编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书在介绍热力学的基本概念后，根据热力学的两个定律阐述一般原理，以相当多的篇幅叙述气体的主要过程及其动力循环，并且着重说明了蒸汽的性质。对于制冷制热和湿空气以及化学热力学等也有相应的叙述；最后介绍了热力学上比较新的发展方向。

本书可作为高等学校有关专业的教学参考书。

工程热力学

夏彦儒 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 $18^{1/2}$ ·插页4·字数440,000

1962年1月北京第一版·1962年1月北京第一次印刷

印数0001—1,630·定价(10-6)2.25元

*

统一书号: 15165·1168(水电-182)

72.59
468

前 言

本书原系热能动力装置与工业热能两专业的讲义。内容基本上符合前高等教育部1954年批准的教学大纲。初稿完成后，于1956年曾将油印本寄国内各兄弟学校征求意见，并于1957年10月乘兄弟学校教师来南京工学院听民主德国专家 Elsnner 讲学之便，组织了两次讨论，获得了很多宝贵意见。

大跃进以来，我国科学事业出现了新的面貌，对教材质量的要求也不断提高。1959年在华中工学院召开了全国热能动力装置专业的教材编写协作会议，会上讨论并修订了“工程热力学”的教学大纲，确定了教材编写工作的分工，而“工程热力学”是由我院负责主编的教材中的一种。为了进一步提高教材质量，我们决定推荐夏彦儒同志的著作，并由教研组组织力量加以审订和补充。重写了第一章全部，对于第一定律、比热、混合气体、第三定律、气体过程、气体压缩等部分的叙述方式，进行了适当的修改。流动工质及化学热力学两章则增加了内容。新补充了热力学的新发展一章及关于自由活塞、联合循环等部分。又于各章后面增添了例题，书后增加了附图附表。参加审订工作的有夏彦儒、陈军健、厉麓鸣等同志，个别部分曾经教研组集体讨论。

本书取材广泛，说理清楚；某些章节，作者根据自己的教学经验，在系统上和次序上作了大胆变革的尝试。我们认为这样做对于贯彻党的“百花齐放，百家争鸣”的方针，开展学术问题的争论，是有益的。我们热忱地希望兄弟学校对本书提出宝贵的意见和批评，以便今后不断提高本书质量。

南京工学院热工学教研组

1961年4月

(34501/35)

24501/29

目 录

前言	3
緒論	9
第一章 一些基本概念	12
1-1 工程热力学	12
1-2 热力系	12
1-3 状态, 状态参数	13
1-4 平衡态	13
1-5 温度	13
1-6 压力(压强)	14
1-7 容积, 比容	16
1-8 内能	17
1-9 熵	17
1-10 纯物质的状态方程	19
1-11 参数的数学特性	20
1-12 功	21
1-13 传热量	22
1-14 热力过程, 可逆性	23
例题	25
第二章 热力学第一定律	28
2-1 能量守恒及轉換定律	28
2-2 热功当量	28
2-3 热力学第一定律	29
2-4 焓	31
2-5 比热	32
2-6 能量守恒及轉換定律应用于流动 热力系	36
2-7 稳定流动	37
2-8 稳定流动公式之应用	38
例题	39
第三章 理想气体及其混合物	41
3-1 理想气体各定律	41
3-2 理想气体的分子运动論	42
3-3 理想气体的内能与焓	43
3-4 理想气体的比热	45
3-5 量子論对比热的解釋	46
3-6 理想气体混合物	47
3-7 折合容积	47

3-8 分压力	48
3-9 混合气体的成分	48
3-10 容积成分、莫尔成分和分压力之 間的关系	49
3-11 容积成分与重量成分的关系	49
3-12 混合气体的折合气体常数及折合 分子量	50
3-13 混合气体的重度	51
3-14 混合气体的内能与焓	51
3-15 混合气体的比热	51
例题	52
第四章 热力学第二定律	54
4-1 自然过程的方向性	54
4-2 平衡态的或然率	55
4-3 平衡热力系的熵	56
4-4 經典热力学第二定律的簡史	58
4-5 閉合循环	58
4-6 卡諾循环	59
4-7 卡諾定理	60
4-8 热力学第二定律	61
4-9 卡諾定理的証明	61
4-10 热力学温标	62
4-11 一个新的状态参数, $\int \frac{dQ}{T}$	63
4-12 不可逆循环的效率和 $\int \frac{dQ}{T}$	66
4-13 熵增原理	68
4-14 熵增原理举例	68
4-15 温熵图, 焓熵图	72
4-16 关于熵的总结	73
4-17 热力学第二定律的重要性与 限制	74
例题	75
第五章 气体的主要过程	77
5-1 定容过程	78
5-2 定压过程	79
5-3 定温过程	80
5-4 定熵过程	81

5-5 絕热过程.....	83	9-1 平衡的类别.....	141
5-6 多变过程.....	84	9-2 平衡的条件.....	141
5-7 理想气体各过程的 $p-v$ 和 $T-S$ 图.....	85	9-3 化学純物质(单元系)的 平衡条件.....	142
5-8 气体过程計算公式总表.....	87	9-4 单元系的复相平衡.....	143
5-9 最大有效功.....	87	9-5 克拉貝龙-克勞修司方程.....	144
例题.....	90		
第 六 章 气体之压缩与膨胀.....	92	第 十 章 真实单元物质的性质.....	145
6-1 基本概念.....	92	10-1 复习关于真实气体的討論.....	145
6-2 理想往复式压气机所耗費的功.....	94	10-2 純物质的 $p-v-T$ 图.....	146
6-3 有余隙的往复式压气机.....	96	10-3 凡得瓦耳氏物态方程.....	147
6-4 多級压缩.....	93	10-4 其他的物态方程.....	150
6-5 往复式气动机.....	100	10-5 对比状态定律.....	151
6-6 离心式和軸流式压气机.....	101	例题.....	153
6-7 冲射器.....	102	第 十 一 章 蒸汽.....	156
例题.....	102	11-1 一些定义.....	156
第 七 章 气体动力循环.....	104	11-2 汽化过程的 $p-v$ 图.....	157
7-1 往复式內燃机的一般工作原理.....	105	11-3 湿蒸汽的参数.....	157
7-2 定容加热循环(奥图循环).....	106	11-4 干飽和蒸汽和飽和液体的平衡 比热.....	158
7-3 定压加热循环(逆塞尔循环).....	108	11-5 汽化过程的 $T-S$ 图, 汽化潜 热.....	160
7-4 混合加热循环.....	110	11-6 內能、焓和熵的起标点.....	161
7-5 循环之比較.....	111	11-7 液体热, 蒸汽的总热.....	161
7-6 平均加热温度, 平均排热温度.....	113	11-8 蒸汽的 $p-v$ 图和 $T-S$ 图上各种 綫羣.....	162
7-7 定压加热的燃气輪循环.....	115	11-9 焓熵($i-s$)图.....	166
7-8 定容加热的燃气輪循环.....	119	11-10 蒸汽性质表.....	167
7-9 封閉式燃气輪.....	120	11-11 水与水蒸汽.....	168
7-10 噴气式发动机循环.....	121	11-12 蒸汽过程.....	169
7-11 自由活塞发动机的工作原理.....	123	11-13 蒸汽的压缩.....	172
7-12 自由活塞发动机的热力学分析.....	124	例题.....	173
例题.....	125	第 十 二 章 气体与蒸汽的流动.....	177
第 八 章 关于单相热力系的一些 普遍方程式.....	132	12-1 概說.....	177
8-1 两个新参数——自由能, 自由焓.....	132	12-2 流动气体的基本方程式.....	177
8-2 特性函数.....	133	12-3 声速.....	178
8-3 各参数的偏微商之間的关系.....	135	12-4 气体流经噴管时的变化情况.....	179
8-4 比热的普遍式.....	136	12-5 理想气体可逆地流经噴管时的 数学分析.....	180
8-5 內能的普遍式.....	137	12-6 非理想气体可逆地流经噴管时的 数学分析.....	180
8-6 焓的普遍式.....	137	12-7 管内流动的热力学分析.....	181
8-7 熵的普遍式.....	138	12-8 噴管的計算.....	184
8-8 化学势.....	138		
例题.....	139		
第 九 章 热力系的平衡.....	141		

05734

12-9 滞止温度.....	186	15-5 湿空气的焓.....	239
12-10 绝热节流.....	187	15-6 湿泡温度.....	239
12-11 节流效应, 转回温度.....	189	15-7 $J-d$ 图.....	240
12-12 合流.....	193	15-8 湿空气变化过程的图解.....	242
12-13 充气混合.....	195	例题.....	242
12-14 不稳定流动——绝热放气 做功.....	195	第十六章 化学热力学基础.....	247
例题.....	197	16-1 热效应, 反应热.....	248
第十三章 蒸汽循环.....	202	16-2 赫斯定律.....	249
13-1 朗肯循环.....	202	16-3 反应热与温度的关系.....	251
13-2 朗肯循环的热效率.....	204	16-4 化学平衡.....	252
13-3 蒸汽参数对朗肯循环效率的 影响.....	206	16-5 理想气体混合物的化学平衡 常数.....	254
13-4 再热循环.....	207	16-6 平衡常数与温度的关系.....	255
13-5 蒸汽动力机的内效率和内部 相对效率.....	209	16-7 离解度.....	256
13-6 回热循环的理论.....	210	16-8 能斯特定理.....	258
13-7 实用的回热循环.....	211	16-9 多相反应, 真实气体反应.....	261
13-8 回热循环的热效率.....	211	16-10 复杂化学反应的平衡常数.....	262
13-9 回热温度的研究.....	213	例题.....	262
13-10 水蒸汽的缺点.....	214	第十七章 热力学之应用于溶液.....	264
13-11 理想工质.....	215	17-1 溶液.....	264
13-12 两汽循环.....	216	17-2 溶解热.....	265
13-13 发电站的循环.....	218	17-3 相律(无化学反应).....	266
13-14 蒸汽-燃气联合装置.....	218	17-4 康诺瓦乐夫法则.....	267
例题.....	220	17-5 平衡溶液的其他参数.....	267
第十四章 制冷, 制热.....	224	17-6 稀溶液.....	268
14-1 一般性的讨论.....	224	17-7 稀溶液的 $p-z$ 图.....	269
14-2 空气制冷循环.....	225	第十八章 热力学方面几个比较新的 发展方向.....	270
14-3 蒸汽压缩制冷循环.....	227	18-1 引言.....	270
14-4 蒸汽压缩循环中所用的制冷剂.....	228	18-2 “烟”.....	270
14-5 蒸汽冲射制冷循环.....	229	18-3 热力设备的烟平衡.....	272
14-6 蒸汽吸收制冷循环.....	230	18-4 个别设备或整套装置的 完善程度.....	272
14-7 变热系数.....	231	18-5 热工装置中的主要损失.....	273
14-8 机械变热器.....	231	18-6 参数烟的简史和目前发展情况.....	274
14-9 轮流产生冷热.....	233	18-7 熵产率.....	275
例题.....	233	18-8 “流”与“势”之间的特性关系.....	277
第十五章 湿空气.....	235	18-9 不可逆过程的相互干扰.....	277
15-1 概说.....	235	18-10 应用不可逆过程热力学的一个 简单例子.....	278
15-2 绝对湿度和含湿量.....	236	18-11 不可逆过程热力学的发展简 史和目前发展情况.....	279
15-3 相对湿度.....	237		
15-4 湿空气的重度和气体常数.....	237		

72.54
468

前 言

本书原系热能动力装置与工业热能两专业的讲义。内容基本上符合前高等教育部1954年批准的教学大纲。初稿完成后，于1956年曾将油印本寄国内各兄弟学校征求意见，并于1957年10月乘兄弟学校教师来南京工学院听民主德国专家 Elsnner 讲学之便，组织了两次讨论，获得了很多宝贵意见。

大跃进以来，我国科学事业出现了新的面貌，对教材质量的要求也不断提高。1959年在华中工学院召开了全国热能动力装置专业的教材编写协作会议，会上讨论并修订了“工程热力学”的教学大纲，确定了教材编写工作的分工，而“工程热力学”是由我院负责主编的教材中的一种。为了进一步提高教材质量，我们决定推荐夏彦儒同志的著作，并由教研组组织力量加以审订和补充。重写了第一章全部，对于第一定律、比热、混合气体、第三定律、气体过程、气体压缩等部分的叙述方式，进行了适当的修改。流动工质及化学热力学两章则增加了内容。新补充了热力学的新发展一章及关于自由活塞、联合循环等部分。又于各章后面增添了例题，书后增加了附图附表。参加审订工作的有夏彦儒、陈军健、厉麓鸣等同志，个别部分曾经教研组集体讨论。

本书取材广泛，说理清楚；某些章节，作者根据自己的教学经验，在系统上和次序上作了大胆变革的尝试。我们认为这样做对于贯彻党的“百花齐放，百家争鸣”的方针，开展学术问题的争论，是有益的。我们热忱地希望兄弟学校对本书提出宝贵的意见和批评，以便今后不断提高本书质量。

南京工学院热工学教研组

1961年4月

(3k501/35)

2k501/29

目 录

前言	3
緒論	9
第一章 一些基本概念	12
1-1 工程热力学	12
1-2 热力系	12
1-3 状态, 状态参数	13
1-4 平衡态	13
1-5 温度	13
1-6 压力(压强)	14
1-7 容积, 比容	16
1-8 内能	17
1-9 焓	17
1-10 纯物质的状态方程	19
1-11 参数的数学特性	20
1-12 功	21
1-13 传热量	22
1-14 热力过程, 可逆性	23
例题	25
第二章 热力学第一定律	28
2-1 能量守恒及轉換定律	28
2-2 热功当量	28
2-3 热力学第一定律	29
2-4 焓	31
2-5 比热	32
2-6 能量守恒及轉換定律应用于流动 热力系	36
2-7 稳定流动	37
2-8 稳定流动公式之应用	38
例题	39
第三章 理想气体及其混合物	41
3-1 理想气体各定律	41
3-2 理想气体的分子运动論	42
3-3 理想气体的内能与焓	43
3-4 理想气体的比热	45
3-5 量子論对比热的解釋	46
3-6 理想气体混合物	47
3-7 折合容积	47

3-8 分压力	48
3-9 混合气体的成分	48
3-10 容积成分、莫尔成分和分压力之 間的关系	49
3-11 容积成分与重量成分的关系	49
3-12 混合气体的折合气体常数及折合 分子量	50
3-13 混合气体的重度	51
3-14 混合气体的内能与焓	51
3-15 混合气体的比热	51
例题	52
第四章 热力学第二定律	54
4-1 自然过程的方向性	54
4-2 平衡态的或然率	55
4-3 平衡热力系的熵	56
4-4 經典热力学第二定律的簡史	58
4-5 閉合循环	58
4-6 卡諾循环	59
4-7 卡諾定理	60
4-8 热力学第二定律	61
4-9 卡諾定理的証明	61
4-10 热力学温标	62
4-11 一个新的状态参数, $\int \frac{dQ}{T}$	63
4-12 不可逆循环的效率和 $\int \frac{dQ}{T}$	66
4-13 熵增原理	68
4-14 熵增原理举例	68
4-15 温熵图, 焓熵图	72
4-16 关于熵的总结	73
4-17 热力学第二定律的重要性与 限制	74
例题	75
第五章 气体的主要过程	77
5-1 定容过程	78
5-2 定压过程	79
5-3 定温过程	80
5-4 定熵过程	81

5-5 絕热过程.....	83	9-1 平衡的类别.....	141
5-6 多变过程.....	84	9-2 平衡的条件.....	141
5-7 理想气体各过程的 $p-v$ 和 $T-S$ 图.....	85	9-3 化学純物质(单元系)的 平衡条件.....	142
5-8 气体过程計算公式总表.....	87	9-4 单元系的复相平衡.....	143
5-9 最大有效功.....	87	9-5 克拉貝龙-克勞修司方程.....	144
例题.....	90		
第 六 章 气体之压缩与膨胀.....	92	第 十 章 真实单元物质的性质.....	145
6-1 基本概念.....	92	10-1 复习关于真实气体的討論.....	145
6-2 理想往复式压气机所耗費的功.....	94	10-2 純物质的 $p-v-T$ 图.....	146
6-3 有余隙的往复式压气机.....	96	10-3 凡得瓦耳氏物态方程.....	147
6-4 多級压缩.....	98	10-4 其他的物态方程.....	150
6-5 往复式气动机.....	100	10-5 对比状态定律.....	151
6-6 离心式和軸流式压气机.....	101	例题.....	153
6-7 冲射器.....	102	第 十 一 章 蒸汽.....	156
例题.....	102	11-1 一些定义.....	156
第 七 章 气体动力循环.....	104	11-2 汽化过程的 $p-v$ 图.....	157
7-1 往复式內燃机的一般工作原理.....	105	11-3 湿蒸汽的参数.....	157
7-2 定容加热循环(奥图循环).....	106	11-4 干飽和蒸汽和飽和液体的平衡 比热.....	158
7-3 定压加热循环(逆塞尔循环).....	108	11-5 汽化过程的 $T-S$ 图, 汽化潜 热.....	160
7-4 混合加热循环.....	110	11-6 內能、焓和熵的起标点.....	161
7-5 循环之比較.....	111	11-7 液体热, 蒸汽的总热.....	161
7-6 平均加热温度, 平均排热温度.....	113	11-8 蒸汽的 $p-v$ 图和 $T-S$ 图上各种 綫羣.....	162
7-7 定压加热的燃气輪循环.....	115	11-9 焓熵($i-s$)图.....	166
7-8 定容加热的燃气輪循环.....	119	11-10 蒸汽性质表.....	167
7-9 封閉式燃气輪.....	120	11-11 水与水蒸汽.....	168
7-10 噴气式发动机循环.....	121	11-12 蒸汽过程.....	169
7-11 自由活塞发动机的工作原理.....	123	11-13 蒸汽的压缩.....	172
7-12 自由活塞发动机的热力学分析.....	124	例题.....	173
例题.....	125	第 十 二 章 气体与蒸汽的流动.....	177
第 八 章 关于单相热力系的一些 普遍方程式.....	132	12-1 概說.....	177
8-1 两个新参数——自由能, 自由焓.....	132	12-2 流动气体的基本方程式.....	177
8-2 特性函数.....	133	12-3 声速.....	178
8-3 各参数的偏微商之間的关系.....	135	12-4 气体流经噴管时的变化情况.....	179
8-4 比热的普遍式.....	136	12-5 理想气体可逆地流经噴管时的 数学分析.....	180
8-5 內能的普遍式.....	137	12-6 非理想气体可逆地流经噴管时的 数学分析.....	180
8-6 焓的普遍式.....	137	12-7 管内流动的热力学分析.....	181
8-7 熵的普遍式.....	138	12-8 噴管的計算.....	184
8-8 化学势.....	138		
例题.....	139		
第 九 章 热力系的平衡.....	141		

05734

12-9 滞止温度.....	186	15-5 湿空气的焓.....	239
12-10 绝热节流.....	187	15-6 湿泡温度.....	239
12-11 节流效应, 转回温度.....	189	15-7 $J-d$ 图.....	240
12-12 合流.....	193	15-8 湿空气变化过程的图解.....	242
12-13 充气混合.....	195	例题.....	242
12-14 不稳定流动——绝热放气 做功.....	195	第十六章 化学热力学基础.....	247
例题.....	197	16-1 热效应, 反应热.....	248
第十三章 蒸汽循环.....	202	16-2 赫斯定律.....	249
13-1 朗肯循环.....	202	16-3 反应热与温度的关系.....	251
13-2 朗肯循环的热效率.....	204	16-4 化学平衡.....	252
13-3 蒸汽参数对朗肯循环效率的 影响.....	206	16-5 理想气体混合物的化学平衡 常数.....	254
13-4 再热循环.....	207	16-6 平衡常数与温度的关系.....	255
13-5 蒸汽动力机的内效率和内部 相对效率.....	209	16-7 离解度.....	256
13-6 回热循环的理论.....	210	16-8 能斯特定理.....	258
13-7 实用的回热循环.....	211	16-9 多相反应, 真实气体反应.....	261
13-8 回热循环的热效率.....	211	16-10 复杂化学反应的平衡常数.....	262
13-9 回热温度的研究.....	213	例题.....	262
13-10 水蒸汽的缺点.....	214	第十七章 热力学之应用于溶液.....	264
13-11 理想工质.....	215	17-1 溶液.....	264
13-12 两汽循环.....	216	17-2 溶解热.....	265
13-13 发电站的循环.....	218	17-3 相律(无化学反应).....	266
13-14 蒸汽-燃气联合装置.....	218	17-4 康诺瓦乐夫法则.....	267
例题.....	220	17-5 平衡溶液的其他参数.....	267
第十四章 制冷, 制热.....	224	17-6 稀溶液.....	268
14-1 一般性的讨论.....	224	17-7 稀溶液的 $p-z$ 图.....	269
14-2 空气制冷循环.....	225	第十八章 热力学方面几个比较新的 发展方向.....	270
14-3 蒸汽压缩制冷循环.....	227	18-1 引言.....	270
14-4 蒸汽压缩循环中所用的制冷剂.....	228	18-2 “烟”.....	270
14-5 蒸汽冲射制冷循环.....	229	18-3 热力设备的烟平衡.....	272
14-6 蒸汽吸收制冷循环.....	230	18-4 个别设备或整套装置的 完善程度.....	272
14-7 变热系数.....	231	18-5 热工装置中的主要损失.....	273
14-8 机械变热器.....	231	18-6 参数烟的简史和目前发展情况.....	274
14-9 轮流产生冷热.....	233	18-7 熵产率.....	275
例题.....	233	18-8 “流”与“势”之间的特性关系.....	277
第十五章 湿空气.....	235	18-9 不可逆过程的相互干扰.....	277
15-1 概说.....	235	18-10 应用不可逆过程热力学的一个 简单例子.....	278
15-2 绝对湿度和含湿量.....	236	18-11 不可逆过程热力学的发展简 史和目前发展情况.....	279
15-3 相对湿度.....	237		
15-4 湿空气的重度和气体常数.....	237		

附录281

I 气体的常数表281

II 气体的真实定压莫尔比热 μC_p 大卡/莫尔度291III 气体的真实定容莫尔比热 μC_v 大卡/莫尔度282IV 气体的平均定容容积比热 C'_{vm} 大卡/标准米³度282V 气体的平均定压容积比热 C'_{pm} 大卡/标准米³度283VI 气体的平均定压重量比热 C_{pm} 大卡/公斤度284VII 气体的平均定容重量比热 C_{vm} 大卡/公斤度285

VII* 气体的平均比热(计算公式)285

IX 气体的绝热及多变过程计算参考表286

X 由饱和温度算起的过热水蒸汽的平均比热 C_{pm} 大卡/公斤·度288

XI 饱和水蒸汽表290

XII 水及过热蒸汽表(插页)

XIII 饱和水银蒸汽表293

XIV 饱和氨(NH₃)蒸汽表294XV 二氧化碳(CO₂)饱和蒸汽表295

XVI 过热氨蒸汽表296

XVII 氟氯烷12饱和蒸汽表297

XVIII 水蒸汽的*i-s*图XIX 氨蒸汽的*T-S*图XX *J-d*图

緒 論

热力学研究各种能量——主要是热能——的性质及相互转换规律的普遍理论。工程热力学主要是研究热与功之间的相互转换问题。

一切的“能”都是可以相互转换的。大自然中所储藏的“能”，多半不是可以直接利用来为人类服务的，而必须加以转换。热力发电厂就是能量转换的一个最好例子。图 0-1 是一个热力发电厂的简单示意图。燃料与空气进入炉膛，发生氧化(燃烧)而将化学能变为热能；热能使锅炉内的水变为水蒸汽，水蒸汽在过热器中进一步提高温度后进入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能转换为动能而使汽轮机的转子转动。这个转动的机械能通过发电机而转换为电能。作功后的蒸汽在冷凝器中放热而凝结成水。一小部分电能使给水泵发生运动而将冷凝水送回锅炉。循环水泵也利用电能驱动而将冷却水送入冷凝器中吸热后排出。

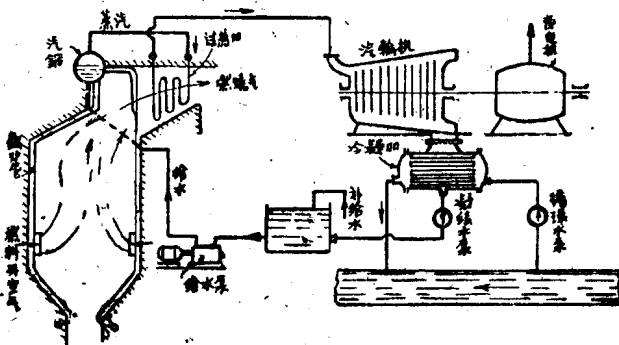


图 0-1

另一个例子是高炉煤气的利用(图 0-2)。热空气进入高炉，与炉内的燃料起化学作用而发生一种含有大量 CO 的高炉煤气。煤气经过除尘、洗净和分水后，一部分送到蒸汽锅炉的炉膛中燃烧(如上例所说)，一部分进入空气预热器中燃烧以预热空气，另一部分经再度净制后分别进入主煤气机(发电)和副煤气机(鼓风)。冷空气在空气预热器中被燃烧着的煤气把它的温度提高后进入高炉。

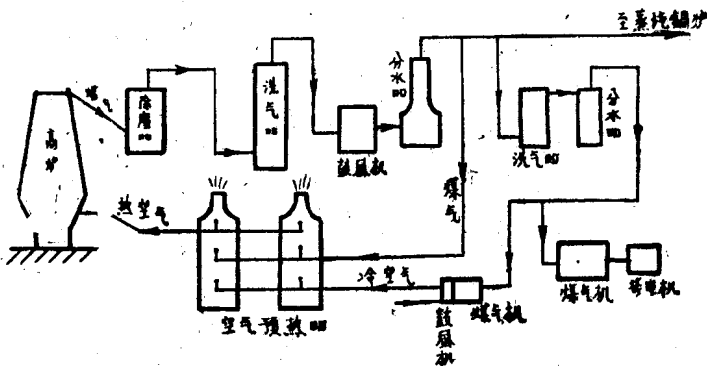


图 0-2

人类为了生活和生产，能够由大自然取得的天然能，主要有以下几种：

(1) 水力——利用水的动能，可以使机械发生运动，也可将水的位能转换为动能来驱动机械。水力发电虽然在基本建设(筑坝)方面费用较大，但是在运行期间的耗资极小。因此，凡是地形利于建立水力发电站的地方，人们都尽量地利用。世界各国的水力发电量，一年比一年增加起来了。水力发电的主要缺点在于必须考虑地理条件和生产有季节性。

(2) 风力——流动着的空气(风)具有或大或小的动能，而这个动能是无穷无尽的。在农业上广泛地利用风车来代替人力。风力的缺点是：它的速度和方向都变换无常，并且很难用来发生大量的动力，因为这需要很大的风车。

(3) 太阳能——太阳通过辐射而传到地球上的能量也是无穷无尽的。约从九十年前开始，世界上就有了小型的日光发电厂。此外还可以利用太阳能来制造低温(制冷)，调节空气等。

(4) 燃料的化学能——燃料在燃烧中将化学能转变为热能。这个热能又可转变为各种其它的能。

热能动力与水能动力是目前动力方面的主要来源。与水能动力比较起来，热能动力受地理的限制较小，不受季节和气候的影响，所需的建设时间和费用小得多，建立输电线路的费用也较小。由于这些特点，当必须在短时期内迅速增加动力而经济条件和劳动力有限的时候，就必须在发展水能动力的同时更多地建立热力发电厂。

(5) 原子能——近年来人们发现在原子核内蕴藏着巨大的能量，比化学能大到好多万倍。帝国主义者利用原子能来制造杀人的武器，并用来对全世界进行战争威胁。社会主义国家则利用原子能来服务于和平建设。苏联所首创的原子能发电厂于1954年6月27日开始正式发电，为原子能的和平利用开展了无限的前途。

我们的祖先在发现“能”的转换和利用方面有极光荣的历史。钻木取火的技能早到无从查考。商周两朝有很精巧的铸工，而冶铸工作中不可能没有鼓风机(将机械能转变为压能)。鼓风机的发明至少在三千年以前。在纪元37年(后汉时代)发明了用水力来驱动风箱，这是有据可考的。用火来发生机械旋转运动的走马灯和蒸汽轮机的基本原理有相似的地方，这是中国在1150年左右(南宋时代)，或更早发明的，比欧洲对于同原理的应用(1550年的火力旋转烤肉机)要早四百多年。1678至1679年在北京试验用蒸汽轮推动车船，比欧洲的火车早150年，比轮船也早一百多年。但是由于历代王朝的封建统治，在长时期中限制了生产力的发展，视技术科学为雕虫小技，因此我们祖先的创造发明很少用来促进生产力的发展或改善人民的生活；也没有由这些经验发展出一套完整的有系统的理论来使技术向前迈进。在解放前，由于我国长期处于半殖民地半封建的状态，工业不能发展，科学反而远远落在欧西各国之后了。

欧洲在十五世纪后半，生产的发展引起了“文艺复兴”，接着推翻了封建贵族的统治，打倒了罗马教皇的独裁；把自然科学从宗教下面解放出来。到十八世纪又发生了“工业革命”，手工业变为机械工业；家庭工业变为工厂工业。由于工业生产的逐渐集中，对于在生产地点供给大量机械原动力的需要愈来愈大，这就导致俄国的波尔宗诺夫(1766年)和英国的瓦特(约二十年后)先后发明了蒸汽机而将热变为功的原理运用到生产上去。

虽然俄国伟大的科学家罗蒙诺索夫早在1744年和1760年就拒绝了当时盛行的“热质论”，奠定了物质分子运动论的基础，发现了能量守恒定律，但是他的著作没有流传到其他国家。蒸汽机成功地为工业服务了多年之后，再加上其他许多科学部门(如化学、生物学、磁电学等)中所观察到的许多事实，才使科学家们注意到“能”的形态问题。时机一经成熟，就有许多人(迈耶、汤孙、焦耳、亥姆霍次、科尔丁、朗肯等等)差不多同时(十九世纪后半)发现了热力学第一定律。

热力学第一定律不过是能量守恒和转换定律运用于牵涉到热的生产和吸收那些现象中。这个定律说：一个物体的能量之增加 ΔU ，一定等于它所净收入的热量 Q 减去它对外所作的功 ΔL ，用数学公式来表示，就是

$$\Delta U = Q - \Delta L.$$

蒸汽机在运用初期的效率很低，就是说要耗费大量的热才能获得少量的功。这又对科学家们提供了一个课题，而结果是得出一个热力学第二定律。卡诺(1824)是首先提出热机(变热为功的机器)的效率是有限制的，而不可能超过他所假想的理想热机的效率。最后由克劳修斯(1848)和开尔文(1852)相互独立地提出不同形式的热力学第二定律。这个定律的基本精神是指出自然变化的方向性。经过一系列的推导，最后得出一个结论：在自然变化中有这样一个量“熵”(S)，它的值只能增加不能减少，即

$$dS \geq 0.$$

关于这两个定律和“熵”的物理意义，将在正文中详细讨论。

从这两个定律出发，人们导出了许多关于热现象的规律，形成了一个有系统的完整的科学部门。这门科学反过来又大大地推动了热能动力工程的发展，因而推动了整个生产的发展。热力学的发展过程是生产与科学相互推动的一个很明显的例子，是理论由实践而来，又在实践中得到检验和丰富的典型例子。

由热力学的两个定律，人们知道利用高温工质可以得到较高的效率，也知道热能的经济不只是决定于热能的量，与热能的品质也大有关系。因此近年来各国都在研究如何提高工质温度而不损伤热机上的金属零件；研究合理的方法来分析能量变化的每一个过程，以便找出主要的损失。人们也已开始利用这两个定律来找出自然现象相互联系的辩证规律。这些发展情况都将在正文中作简单的介绍。

任何工业都需要动力，这是很明显的。我国1957年的发电量就比过去(1941)的最高产量增加了两倍。1959年的发电量是1941年发电量的七倍，1949年发电量的十倍。今后推行农业电气化，更需要大量的电力。列宁曾经说过：“共产主义就是苏维埃政权加上全国电气化”，可见动力工程在国民经济发展中是一个很重要的因素。上面已经指出：热力发电在今天占着电力来源的绝大部分。由此可见，从事热力发电的人们，在社会主义建设中所负的责任是颇为艰巨的。

另一方面，许多工业中都有各式各样的热工设备，例如干燥、制冷、变热、精馏、工业炉、煤气发生炉等等。这些工业所耗用的燃料很多。在热力发电厂中讲求如何节约燃料，因此经济性相当高(虽然不是没有改进的余地)，而一般工业中多半没有足够地重视这个问题，没有充分地利用热能，因此有浪费现象。消灭这种浪费，就是从事工业热能工作者的重要任务。

总起来说，热能资源的经济利用是我国国民经济中一个重要环节。凡是技术人员都应当对“能”的转换规律有一个基本认识。从事热工的人员尤其应当透彻地了解工程热力学。假如不是这样，就不可能正确地设计出新的热工设备，也不能很好地运行、检修和改进现有设备。

热力学的研究有两个途径——一是“现象”或“经典”热力学，一是统计热力学。所谓“经典热力学”是完全由现象出发的，换言之，是以某些可以测量的宏观量(如温度、压强、重量、容积等)为基础的，而并不深入到物体内部的结构和这些宏观量的本质。因