

工程热力学与机器学

(上 册)

上海动力机器制造学校 編譯
工程热力学与机器学学科委员会

上海科学技术出版社

序

“工程熱力學與機器學”係中等專業學校部份專業必修的基礎技術課程。本課程主要內容是說明“熱”與“水”的能量的基本原理，以及一般動力機械——熱機和水力機械——的原理和構造。我國國民經濟的發展，着重於重工業的高度機械化和全國走向電氣化。因此爲了提高“動力機械”的效能，充分利用熱能和水力是重要的一環。而其他各部門中如農業機械，交通運輸也廣泛地使用着動力機械。因此中等技術人員應充分掌握“工程熱力學與機器學”這門知識。

本書主要內容爲熱力學和水力學基礎的理論，並進一步瞭解一般動力機械如水泵，水力機械，鍋爐，蒸汽機，汽輪機，內燃機，燃氣輪機和熱電站的構造原理和工作過程。雖然各篇的單行本如工程熱力學等已出版了幾本蘇聯教材的翻譯本，但綜合的與精簡的尙未見出版，爲了能適合我國的教學水平和全部地吸收蘇聯先進的科學和技術知識，因此本書從多本蘇聯教本中選取簡易的和避免高深數學引證的教材編譯而成。本書各篇在現代都是發展很深入而且成爲獨立的科目，在這條件下全書由任何一人來單獨編譯都是一件不容易的事，因此本書是採取集體合作編譯而成的，分工的情形如下：

第一篇 水力學、水泵與水力機械

史淦森 編譯

第二篇 工程熱力學與傳熱理論

顧景賢等 編譯

第三篇～第八篇 機器學

茅錦柏 洪敏達
童君昌 樓維秋 } 編譯

在本書開始編譯時，蒙陳之航先生給予寶貴的選材指示。這裏，應該特別感謝郭俊椿、寶宏烈二位先生的幫助，必須指出，本書第二篇工程熱力學與傳熱理論的編譯工作跟他們的勞動是分不開的。編譯燃料與鍋爐裝置一篇時，上海動力機器製造學校鍋爐科科主任龔洪年先生曾對部份技術性問題給予寶貴意見。編寫內燃機一篇時上海動力機

器製造學校柴油機科科主任蔡炯先生和高乃棠先生曾代為解答部份技術性問題。郭文傑先生對翻譯技術上曾給予幫助。集體編譯者對他們致以深切的謝意。惟編譯者學識有限，經驗缺乏，錯誤在所難免，且各篇由各人分別編譯。文體難免不一，集體編譯者更願衷心的感謝初版後對本書提出意見和批評的讀者們。

本書自下列數書取材：

МАШИНОВЕДЕНИЕ

С. П. ВРАЩЕВ; А. Л. ЛЕТНИК; Д. М. ШИФРИН
МАШИНОВЕДЕНИЕ

Е. М. ГУТЬЯР А. Д. МАЛЬГИН
ОБЩАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

С. Я. КОРНИПКИИ Я. М. РУБИНШТЕЙН
КУРС ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Н. В. ИНОЗЕМПЕВ
СУДОВЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ

П. П. АКИОВЫЕ
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

А. М. ВОРОНОВ
ОСНОВЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

А. М. ЛИТВИН
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

А. М. ЛИТВИН
ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

А. М. ЛИТВИН
СТАЦИОНАРНЫЕ ГАЗОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Н. Ф. КИРАКОВСКИЙ

上海動力機器製造學校

工程熱力學與機器學學科委員會

樓維秋 童君昌

於1955年8月

7580

目 錄

第一篇 水力學、水泵和水力機械

第一章 基本概念	1
1-1 水力學的定義及蘇聯在這方面的成就	1
1-2 液體的物理性質	2
第二章 水靜力學	7
2-1 靜水壓力	7
2-2 水靜力學基本方程式	8
2-3 巴斯加定律	9
2-4 絕對壓力和表壓力	9
2-5 平面壁上的液體壓力	12
2-6 曲面壁上的液體壓力	13
2-7 液體的浮沉	14
第三章 水動力學	16
3-1 基本概念和幾個術語	16
3-2 液流的連續方程式	18
3-3 液體的兩種運動	19
3-4 流束和液流的能量	21
3-5 液流的伯努利方程式	22
3-6 伯努利方程式的實際應用	24
3-7 管道液流	28
3-8 孔口液體洩流	28
3-9 管咀液體洩流	31
第四章 水泵	34

4-1 活塞式水泵的構造和作用原理	31
4-2 活塞式水泵的主要型式和它的理論輸出量	39
4-3 活塞式水泵的實際輸出量	39
4-4 空氣室	40
4-5 水泵消耗的功率和它的效率	41
4-6 活塞式水泵構造實例	42
4-7 離心式水泵的構造及作用原理	43
4-8 離心式水泵與活塞式水泵的比較	45
4-9 螺旋葉式和螺旋式水泵	46
4-10 噴射式、齒輪式與翼板式水泵	46

第五章 水力發動機 48

5-1 水力發動機的工作原理	48
5-2 水輪機的構造	50
5-3 水力發電建築	54

第二篇 工程熱力學與傳熱理論

引言 57

工程熱力學

第一章 工質的基本參數 58

1-1 溫度	59
1-2 壓力	60
1-3 比容	61

第二章 氣體定律 63

2-1 理想氣體	63
2-2 波義耳-馬略特和給-呂薩克的聯合定律	63
2-3 波義耳-馬略特定律	65
2-4 給-呂薩克定律	65
2-5 理想氣體的狀態方程式	66
2-6 阿伏加特羅定律	67
2-7 公斤分子或莫爾	68
2-8 氣體常數	68

第三章 混合氣體 71

3-1 道爾頓定律	72
3-2 混合氣體的重量成份和容積成份	72
3-3 混合氣體的比重和比容	78
3-4 混合氣體的氣體常數	74
3-5 混合氣體的假想分子量	76
3-6 分壓力的計算	77
3-7 重量成份和容積成份間的換算	78
3-8 混合氣體計算用公式簡表	78
第四章 熱力學第一定律	81
4-1 熱力過程、平衡過程和實際過程	81
4-2 可逆過程	83
4-3 v - p 圖	83
4-4 膨脹功和壓縮功	84
4-5 熱量的度量單位	86
4-6 氣體的內能	87
4-7 熱和功的當量原理	87
4-8 熱力學第一定律	88
第五章 氣體的比熱	90
5-1 比熱	90
5-2 重量比熱、容積比熱和英爾比熱間的關係	91
5-3 定容比熱和定壓比熱	91
5-4 真實比熱和平均比熱	93
5-5 混合氣體的比熱	96
5-6 熱量計算	96
第六章 氣體的熱力過程	100
6-1 定容過程	100
6-2 定壓過程	102
6-3 等溫過程	104
6-4 絕熱過程	106
6-5 多變過程	110
6-6 熱力過程計算用公式簡表	115
第七章 熱力學第二定律	116
7-1 封閉過程或循環	116

7-2	加諾循環	118
7-3	加諾逆循環	119
7-4	熱力學第二定律	120
7-5	理想氣體的焓	121
7-6	$s-T$ 圖	123
7-7	加諾原理	126
7-8	孤立體系中熵的增加及能之降低	129

第八章 氣體循環 132

8-1	氣體動力循環	132
8-2	內燃機的理想循環	133
8-3	燃氣輪機的理想循環	142
8-4	壓氣機的理想過程	146

第九章 水蒸汽 156

9-1	實際氣體	156
9-2	蒸汽形成過程及 $v-p$ 圖	157
9-3	水和水蒸汽的比容	160
9-4	焓	161
9-5	水和水蒸汽的焓與內能	162
9-6	水和水蒸汽的熵	165
9-7	水蒸汽表	167
9-8	水蒸汽的 $s-T$ 圖及 $s-i$ 圖	170
9-9	水蒸汽的熱力過程	173

第十章 蒸汽循環 182

10-1	蒸汽動力循環淺說	182
10-2	加諾循環	182
10-3	郎肯循環	184
10-4	重熱循環	188
10-5	回熱循環	189
10-6	供熱動力循環	191
10-7	二汽循環	192
10-8	製冷循環	193

第十一章 氣體和蒸汽的流動與節流 197

11-1	氣體和蒸汽的流動	198
------	----------	-----

11-2	氣體和蒸汽的節流	202
------	----------------	-----

傳熱理論

第十二章	傳熱理論的基本概念和熱交換器	205
------	----------------------	-----

12-1	傳熱的基本方式	205
12-2	導熱	205
12-3	對流熱交換	206
12-4	輻射熱交換	208
12-5	多層壁的傳熱	210
12-6	熱交換器	212

附表		217
----	-------	-----

目 錄

第三篇 燃料和鍋爐裝置

第一章 燃料及其性質	237
1-1 燃料的分類	237
1-2 燃料的成份	237
1-3 燃料的熱值	239
1-4 我國各種燃料的特性	240
第二章 燃料的燃燒過程	243
2-1 燃料的燃燒過程	243
2-2 理論空氣需要量	243
2-3 過量空氣係數	244
2-4 氣體燃燒產物的成份	245
2-5 烟氣的分析	245
第三章 鍋爐裝置及其工作	248
3-1 鍋爐裝置的功用和型式	248
3-2 鍋爐裝置的組成部份	248
3-3 鍋爐裝置的基本特性	250
3-4 鍋爐裝置的效率	252
3-5 爐的熱損失和爐的效率	253
3-6 排出烟氣熱損失和鍋爐的熱平衡	254
第四章 蒸汽鍋爐的裝置	257
4-1 最簡單的蒸汽鍋爐的裝置	257
4-2 火管式鍋爐和聯合式鍋爐	261
4-3 大聯箱水管鍋爐和分聯箱水管鍋爐	262
4-4 無聯箱的水管鍋爐	266

05256

4-5 熱流式鍋爐	270
4-6 高壓鍋爐	272
第五章 爐	275
5-1 具有固定燃料層的爐	275
5-2 具有可動燃料層的爐	279
5-3 適用於固體燃料的新形爐	285
5-4 燃燒液體燃料和氣體燃料的新形爐	288
第六章 蒸汽過熱器、省煤器、空氣預熱器和鍋爐的輔助設備	290
6-1 蒸汽過熱器	290
6-2 省煤器	291
6-3 空氣預熱器	292
6-4 送風和油風裝置	295
6-5 蒸汽管繫	294
6-6 給水裝置和水處理器	294
第七章 蒸汽鍋爐的運用	297
7-1 蒸汽鍋爐的運用規則	297
7-2 鍋爐裝置工作的技術—經濟指標	298
7-3 提高鍋爐裝置經濟性和蒸汽生產量的方法	299

第四篇 蒸汽機

第一章 蒸汽機的工作過程	301
1-1 蒸汽機的主要部份及其作用原理	301
1-2 蒸汽機的發展簡史	303
1-3 蒸汽機理論的和實際的示功圖	304
1-4 示功器及平均指示壓力	306
1-5 指示功率和有效功率	308
1-6 蒸汽機的損失及減少這些損失的方法	310
1-7 蒸汽機和蒸汽動力裝置的效率	313
1-8 裝有提更時蒸汽機的耗汽量	315
1-9 排汽的凝結	316
第二章 蒸汽機的配汽和功率的調整	318

2-1 滑閥式配汽	318
2-2 提閥式配汽	322
2-3 蒸汽機功率的調整	324

第三章 蒸汽機的結構

3-1 蒸汽機的分類	327
3-2 蒸汽機實例	327

第五篇 汽輪機

第一章 汽輪機的基本概念與工作過程

1-1 汽輪機的發展簡史	334
1-2 衝動式汽輪機	336
1-3 工作輪軸最有利的圓周速度的決定	338
1-4 速度多級式汽輪機	340
1-5 壓力多級式汽輪機	341
1-6 反動式汽輪機	343
1-7 聯合式汽輪機	345
1-8 汽輪機中的損失、效率和汽耗	347
1-9 汽輪機的調速方法	350

第二章 汽輪機的結構

2-1 汽輪機的分類	354
2-2 蘇聯汽輪機製造業的發展	356
2-3 我國汽輪機製造業的成長	357
2-4 單級汽輪機	358
2-5 速度多級衝動式汽輪機	359
2-6 聯合式汽輪機及其零件結構	360
2-7 IM3 AK-50-2 型 50000 瓦 3000 轉/分汽輪機	363
2-8 汽輪機裝置的凝汽設備	365

第六篇 內燃機

第一章 內燃機的工作過程

1-1 內燃機的發展簡史	367
--------------------	-----

1-2 四衝程發動機的工作過程	363
1-3 二衝程發動機的工作過程	370
1-4 混合劑形成和點燃法	373
1-5 內燃機的指示功率和有效功率	374
1-6 發動機的熱平衡、效率與燃料消耗	376
第二章 內燃機的結構	379
2-1 內燃機的分類	379
2-2 發動機的基本組件	380
2-3 內部混合劑形成式發動機的構造	383
2-4 外部混合劑形成式發動機的構造	390
2-5 內燃機的應用	397

第七篇 燃氣輪機和噴氣式發動機

第一章 燃氣輪機裝置的特徵及其發展簡史	399
第二章 燃氣輪機裝置的主要設備	403
第三章 閉式過程的燃氣輪裝置	409
第四章 噴氣式發動機	411

第八篇 熱電站

1 熱電站的一般概念	413
2 熱電站的熱力裝置系統	415
3 汽輪機電力站的設備	417
4 電力站的技術—經濟工作指標	419
5 蘇聯熱電站的發展	421
6 我國熱電站的成長	423

第三篇

燃料和鍋爐裝置

第一章

燃料及其性質

1-1 燃料的分類

當燃料燃燒時溫度很高，並將其中的化學能轉變為熱能而放出。

在自然界中可找到現成的燃料或人工製造的燃料。前者叫做天然燃料(自然燃料)，而後者叫做人造燃料。無論是天然燃料或人造燃料，都可能有固體狀態、液體狀態和氣體狀態。

各種燃料，按照其來源和物態可以區分為下列幾類(表 1-1)。

表 1-1

燃料形式	天 然 燃 料	人 造 燃 料
固體燃料	木柴，泥煤，褐煤，烟煤，無烟煤，可燃頁岩等	木炭，焦炭，半焦炭，煤球等
液體燃料	石油	汽油，煤油，柴油，重油，酒精，膠體燃料等
氣體燃料	天然煤氣	高爐煤氣，照明煤氣，發生爐煤氣，水煤氣，地下煤氣，裝置煤氣

1-2 燃料的成份

能使用的燃料通常稱為工作燃料。工作燃料的成份包括下列一些

元素：碳 C ，氫 H ，氧 O ，氮 N ，硫 S ，以及灰分 A 和水份 W 。

燃料中易燃的元素是碳、氫和揮發硫，揮發硫以 S_v 表示。

固體與液體工作燃料的組成，是用其中包含的元素重量百分率來表示的。每一種組成部份相應地用具有指數 P （工作的）的化學符號來表示，例如，含碳量以 C^P 表示，氫以 H^P 表示等。在此情況下，硫僅是指揮發硫，亦即指它很易與燃料一起燃燒的部份。

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_v^P + A^P + W^P = 100\% \quad (1-1)$$

碳是組成每種固體燃料和液體燃料的基本元素，固體燃料和液體燃料中，還含有複雜的氧的、氫的、氮的、硫的和其它元素的化合物。氫是燃料中較重要的部份。

燃料中所含的氧，主要以與可燃元素組成有機化合物的形式存在。

氮在一般的條件下並不燃燒。

在燃料中含有硫一般是我們所不希望的，因為它的燃燒產物能腐蝕金屬材料，並有害於周圍的植物和動物。不揮發的硫，以硫酸鹽形式存在着，在燃料燃燒時它並不參加燃燒而剩留在灰渣中。

灰——固體剩餘物，這是燃料燃燒時由燃料中不可燃燒的礦物，氧化矽，鋁礬土等所形成的。

工作燃料的水分是有害的，因為燃料燃燒時，水分蒸發需耗費熱量。

在燃料中除去水分，便得到乾燥燃料（無水燃料）。乾燥燃料成份的符號具有指數 C 。

對於乾燥燃料

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S_v^c + A^c = 100\% \quad (1-2)$$

如果，除水分外，還除去灰分，那末便成為假定的可燃質燃料（無水和無灰的燃料）。假定的可燃質燃料的成份（有指數 i ）用下式表示

$$C^i + H^i + O^i + N^i + S_v^i = 100\% \quad (1-3)$$

工作燃料和乾燥燃料的含灰量的百分率之間的換算

$$A^P = A^c \left(1 - \frac{W^P}{100} \right) \quad (1-4)$$

工作燃料和乾燥燃料的含碳量的百分率之間的換算

$$C^p = C \left(1 - \frac{W^p + A^p}{100} \right) \quad (1-5)$$

同樣可確定核算可燃質的其餘部份工作燃料成份的公式。

揮發部份和固體剩餘物 在加熱時不通入空氣，燃料分解而逸出的氣態產物——由可燃揮發物及水蒸汽組成的揮發物。在分出可燃揮發物後剩下的固體物質，叫做焦炭（圖1-1）。

可燃揮發物的量（可燃揮發物在工作燃料重量中的百分率），以及焦炭的品質乃是燃料的重要特性。灰開始變態的溫度、開始柔軟的溫度和開始形成液體狀態的溫度也是極重要的。這些溫度可以判斷當燃料燃燒時燃料灰分的品質。

氣體燃料的成份 氣體燃料是各種可燃氣體和不可燃氣體的混合物。這種混合物的成份一般是以其容積的百分率表示。

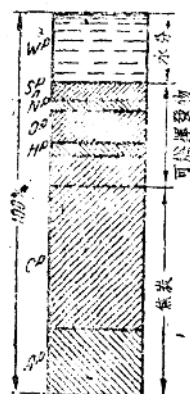


圖 1-1 燃料的基本成份圖

1-3 燃料熱值

一公斤燃料完全燃燒時所發出的熱量（仟卡），稱為固體燃料或液體燃料的熱值。

氣體燃料的熱值是一立方公尺氣體，在標準狀態下完全燃燒所發出的熱量。

考慮到無論是燃料中所含的水分，或是由於氫燃燒所得的水分汽化所損耗的熱量而確定的熱值，稱為低熱值（ Q_n^p ）。

不考慮水分汽化所損耗的熱量而確定的熱值，稱為高熱值（ Q_g^p ）。

對於固體燃料和液體燃料這兩種熱值間的聯系，可用下面的關係表明

$$Q_n^p = Q_g^p - 6(9H^p + W^p) \quad \text{仟卡/公斤} \quad (1-6)$$

固體燃料或液體燃料熱值的確定 最精確的熱值是將燃料樣品置於特殊的測熱器中，用在壓縮氧氣中燃燒的方法來確定；被定量的水包圍着的氧彈是測熱器的主要部份。氧彈中充滿 25 絕對大氣壓的壓縮

氧气。燃料样品由电流点火。燃烧时所发生的热量被测热器的水吸收,这样就测得了热值。燃料样品燃烧时所形成的水蒸汽,冷凝后放出汽化热给予测热器中的水,因而,根据氧弹测得的数据,即求得了燃料的高热值*。

若已知燃料的成份时,热值亦可根据 Д. И. 門德列也夫的經驗公式来确定。

$$Q_u^p = 81C^p + 246H^p - 26(O^p - S_a^p) - 6W^p \text{ 仟卡/公斤} \quad (1-7)$$

例題 1. 試根据門德列也夫公式求大同煤的低热值,其成份为 $C^p = 66$, $H^p = 3.64$, $S_a^p = 1.00$, $N^p = 0.8$, $O^p = 9.89$, $W^p = 10.00$ 。

$$Q_u^p = 81C^p + 246H^p - 26(O^p - S_a^p) - 6W^p = 81 \times 66 + 246 \times 3.64 - 26(9.89 - 1.00) - 6 \times 10.00 = 5950 \text{ 仟卡/公斤。}$$

1-4 我国各种燃料的特性

我国发现燃料很早,在公元前 200 年(汉代时)已先后发现煤、石油和天然煤气,其他国家关于天然煤气的发现,以苏联为最早,巴庫地方以前有“圣火”的命名。我国四川自流井的火井,先亦引为奇事,宋代时已知利用以煮盐。

茲将我国主要燃料分述如下:

1. 无烟煤,又叫白煤。质硬而有光泽,埋于地下年代最久,含碳量高,燃烧时几无烟而火焰很短,发热值高。多用于家庭炉灶。
2. 烟煤色黑而无光泽,含挥发成份较多,比无烟煤容易燃烧,工业上最普遍采用,我国这种煤分布很广,产量多。
3. 褐煤外表每似木质,其光泽有时亦似无烟煤,年代较近,色多呈现棕色。含水量高,发热值低,若运往远处则不经济。
4. 泥煤在泥煤沼地中。含水量很多,开采后在空气中干燥,作

* 由于在氧弹中燃料燃烧能形成部分硫酸和硝酸,因此用氧弹来测定的热值略大于

为燃料。我国泥煤很少。

5. 木柴, 空气干燥的木柴约含水分30%, 新采的木柴所含水分可达50%。在森林高山区和获得他种燃料困难时, 木柴可作为燃料。

关于固体燃料的主要特性如表1-2所表明。

表 1-2 固体燃料的主要特性

燃 料	C^c	H^c	O^c	A^c	W^p	Q_d^p	焦 性
木 柴	50	85	4500	1	35	2700	粘 结
泥 煤	58	70	5200	11	50-10	2500-2000	粉 状
褐 煤	76-64	63-31	7000-6000	35-11	55-13	4500-1500	同 上
烟 煤	90-75	43-12	8350-7250	45-11	14-4	6500-3850	参阅表1-3
无烟煤	93	7-3.5	8000	28-14	9-5.5	6500-5000	粉 状

6. 石油为液体燃料, 提炼汽油、火油、柴油之后, 所得的重油有时亦作锅炉燃料。

7. 天然煤气为极好的燃料, 清洁易燃, 唯一缺点为无法储藏。四川自流井的火井即产天然煤气。