

工程热力学与机器学

(上册)

上海动力机器制造学校

工程热力学与机器学学科委员会編譯

上海科学技术出版社

工程熱力學與機器學

(上 冊)

上海動力機器製造學校

工程熱力學與機器學學科委員會

編 譯

上海科學技術出版社

內 容 提 要

本書根据苏联有关專書并結合我國实际教学需要編譯而成，分上下兩册出版。

本書上册包括兩篇，第一篇水力学、水泵与水力机械，以及附錄由史淦森編譯，童君昌、樓維秋二人校訂。第二篇工程热力学与傳热理論，由顧景賢、寶宏烈等人編譯。下册包括六篇，第三篇燃料和鍋爐裝置，第四篇蒸汽机，第五篇汽輪机，第六篇內燃机，第七篇燃气輪机与噴气發动机，第八篇热电站裝置，由茅錦柏、洪敏達二人翻譯，童君昌、樓維秋二人編訂。

本書供中等專業學校“工程热力学与机器学”課程教学参考之用。同时，也可作为高等工業學校非动力專業的有關課程教学参考之用。

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出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可證出033号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所总經售

*

开本 787×1092 1/27 印張 9 1/9 插頁 1 字數 217,000

(原机电、科技版共印 17,020 册)

1969年4月新1版 1959年4月第1版第1次印刷

印數 1—4,000

統一書号：15119 · 144

定价：(十四) 1.30 元

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系，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，但綜合的與精簡的尚未見出版，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	史澄森 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 } 編譯 章君昌 樓維秋 }

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、竇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炳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. КОРНИПКИЙ 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

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	34
4-2	活塞式水泵的主要型式和它的理論輸出量	38
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	螺旋槳式和螺旋式水泵	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	73
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	理想氣體的熵	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
----------	-----

第一篇

水力學, 水泵和水力機械

第一章

基本概念

1-1 水力學的定義及蘇聯在這方面的成就

水力學是一種科學, 是研究液體的平衡與運動的規律, 並探討這些規律的實際應用的方法。

水力學的一部份叫做水靜力學, 是研究液體和全部或部份沉入液體中的固體的平衡問題; 另一部份叫做水動力學, 是研究液體和全部或部份沉入液體中在外力作用下的固體的運動問題。

水力學的意義非常重大。水力學定律是適用在祖國國民經濟中各個部門, 如水力學應用在給水工程, 水利工程建設, 船舶製造, 機械製造和各種工業設備等方面。

俄羅斯在太古時期已經利用過水力: 在俄羅斯文獻的很早的碑文裏會遇到像“Мельник”, 磨坊主和“Мельница”, 磨坊的專門術語, 在十三、十四世紀的文件裏常提到水磨字樣。

在十八世紀時, 由於彼得一世在舊伏爾加河原處開始建築運河以後就大大地發展了俄羅斯的水力財富的運用, 所以他是許多水力設備建設的倡議者。現有的維斯涅沃洛茲水運系統和刺多儒斯基運河系統都是按照他的指示建立的。

К. Д. 弗羅洛夫是卓越的俄羅斯建築工作者之一, 他在 1763—1765 年間在士米諾高爾斯基礦山(阿爾泰山)上建造了世界上第一座地下水

力機械裝置。

十八世紀時俄羅斯出現了水力學方面的許多著作，這些著作闡明了國內外的經驗。

俄國科學院院士伯努利在 1738 年發表了液體運動的基本定律，這個定律命名為伯努利方程式是水力學基本定律之一；俄國科學院院士遼奧納多尤拉* 在 1755 年導出液體的平衡與運動微分方程式，這個方程式是水動力學的基礎。隨後的年月裏卓越的學者 H. И. 儒可夫斯基，H. H. 巴甫洛夫斯基，B. Г. 蘇霍夫等大大地補充並完成了俄國的水力學的知識和其應用。

有系統的研究蘇聯水力資源祇是在 1917 年以後才開始。在蘇維埃政權的年代裏，水力資源的研究就已遠越過了資本主義國家的。

蘇聯水力資源在革命前勘測得 2,000 萬匹馬力（近 1,500 萬仟瓦）。

現在蘇聯約有 1500 個巨大河流的水力資源。在這些河流上能建造具有 3 億仟瓦功率的水電裝置，年產 27000 億仟瓦小時的電能。這些能量遠超過 1950 年度五年計劃所定的全蘇發電站的電能產量的 30 倍，它也超過戰前全世界發電站的電能產量的 5 倍。

按水力資源而言蘇聯是居世界上的第一位；蘇聯幾乎佔有全世界水力貯藏量的 15%，並在這方面大大地超過歐洲全部。

蘇聯僅在偉大的十月社會主義革命以後展開了充份利用巨大水力資源的工作，當時在蘇聯，人民創造力的強烈發展已備具了條件，因而使科學技術的力量能為廣大人民羣衆的生活謀改善。

由於蘇聯五年計劃光輝地完成了許多鉅大規模的水利建築，如白海—波羅的海的斯大林運河，莫斯科運河，大費爾干斯基的斯大林運河，伏爾加河—頓河的列寧運河，德涅泊水力發電站，查水力發電站，法爾哈特斯基水力發電站，明切秋爾水力發電站和其他許多成千個建築在遼闊的蘇聯國家裏的小型水力發電站。今天蘇聯人民在共產黨的領導下在世界上實現了史無前例的水利建設。

1-2 液體的物理性質

* Л. 尤拉在彼得堡科學院工作期間逾 30 年。

流動性是液體和氣體的特殊性質。這就是說液體或氣體雖然本身質點間具有極小的內聚力，但縱使很小的外力也能引起它很大的形變。

液體的基本物理性質是密度，比重，壓縮性和粘性。

液體在單位容積內的質量叫做液體的密度 ρ

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

式中 M 是質量

V 是液體的容積

若考慮到質量 M 等於液體重量 G (以公斤計) 與重力加速度 g (以公尺/秒²計) 之比即 $M = \frac{G}{g}$ ，則

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{G}{gV} \text{ 公斤·秒}^2/\text{公尺}^4$$

液體單位容積內的重量叫做比重 γ

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ 公斤/公尺}^3, \quad (1-2)$$

單位重量所佔容積叫做比容 v

$$v = \frac{V}{G} \text{ 公尺}^3/\text{公斤} \quad (1-3)$$

v 和 γ 之間的關係

$$v = \frac{V}{G} = \frac{V}{\gamma V} = \frac{1}{\gamma} \quad (1-4)$$

由於改變壓力或溫度因而改變液體密度的性質，叫做液體的壓縮性。

液體的壓縮性決定於體積壓縮係數。體積壓縮係數是當改變一個大氣壓力*時液體體積的縮小率。

液體的壓縮性很小，與氣體不同。例如 0°C 時的水當壓力增加 1 個大氣壓時，僅縮小原體積的 $\frac{1}{20000}$ 。

* 參考第二章 § 4 “絕對壓力與表壓力”。

液體當運動時它的相對移動的質點間顯出摩擦力的液體性質叫做粘滯性。

粘滯性是以絕對粘滯係數或者動力粘滯係數 μ 來表徵的。

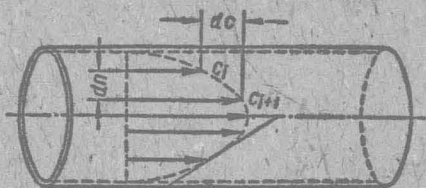


圖 1-1 管中液流速度的分佈情形

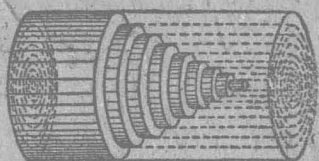


圖 1-2 像若干同心(圓柱形)層的液流

從研究管子中間液流的情形知道：因為液體粘附着管壁，所以和管壁相接觸的液體質點的速度等於零。質點的流速隨離管壁的距離而依次增加，在沿管軸線處達最大值。

速度的這樣的分佈便引起了內摩擦力的存在。沿着液流截面的質點的流速分佈如圖 1-1 所示。全部液流的運動能有條件地表示成無數液體圓柱形薄層的流動，這些薄層在管中具有不同的速度(圖 1-2)流動速度大的流動層好像沿速度小的流動層上滑過。在這些薄層的接觸面上產生層與層間的摩擦力。用 τ 來表示摩擦力 P 與液體相鄰兩層接觸面 F 間的比值，即

$$\tau = \frac{P}{F} \quad \text{達因/公分}^2 \quad \text{或克/公分}^2 \quad (1-5)$$

兩層之間單位接觸面上的摩擦力的值 τ 叫做內摩擦力。

設某層的流速大於另一層的流速一個無限小值 dc (圖 1-1)，相鄰兩層軸線間的距離 dn 。實驗與理論證明指出摩擦力的大小取決於相鄰兩層的速度差 dc ，和兩層之間的距離 dn ，和所考慮的液體的動力粘滯係數 μ 。

按牛頓的假說

$$\tau = \mu \frac{dc}{dn} \quad \text{達因/公分}^2 \quad \text{或克/公分}^2 \quad (1-6)$$

這個關係叫做液體內摩擦定律。這個定律首先由 H. П. 彼得洛夫在 1883 年作出證明。

比值 $\frac{dc}{dn}$ ($\frac{\text{公分}}{\text{秒}} : \frac{\text{公分}}{\text{公分}} = \frac{1}{\text{秒}}$) 是速度梯度，也就是液體相隣兩層的軸線間的每單位距離的速度增量(在垂直於移動的方向)。

動力粘滯係數的因次可由式 (1-6) 決定

$$|\mu| = \frac{|\tau|}{\left|\frac{dc}{dn}\right|} = ML^{-1}T^{-1}$$

在物理學制度中動力粘滯係數的度量單位採用

$$[\mu]_{\text{靜}} = \frac{\text{達因} \cdot \text{秒}}{\text{公分}^2} = \frac{\text{克}}{\text{公分} \cdot \text{秒}}$$

若速度梯度 $\frac{dc}{dn} = 1$ ，則由 (1-6) 式得

$$\mu = \tau$$

即當速度梯度 $\frac{dc}{dn} = 1$ 時，動力粘滯係數 μ 在數值上等於液體內摩擦力。

在實用上通常不用動力粘滯係數而用所謂運動粘滯係數

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \frac{\text{克} \cdot \text{公分}^3}{\text{公分} \cdot \text{秒} \cdot \text{克}} \text{ 或 } \text{公分}^2/\text{秒}, \text{ 或 } \text{公尺}^2/\text{秒}。 \quad (1-7)$$

液體的粘滯性與溫度有關，當溫度降低粘滯性就增加。*

運動粘滯係數的大小要用粘性儀來決定，第一架粘性儀是由 M. B. 羅蒙諾索夫在 1752 年所設計的，測植物油和石油的粘性儀各由 H. П. 彼得洛夫和 H. E. 儒可夫斯基所建議。

現代經常使用的粘性儀是用水槽 2 包圍的銅容器 1 (圖 1-3)，其中裝着一定的溫度的試驗液。在容器 1 中注入溫度 20° 的蒸餾水，升起小棍 3 以後打開小孔使水流經銅管 4 而入容器 5。同時開動計時器記

* 在附錄中(表 1)指出不同液體在 18° 時的比重和運動粘滯係數 ν 值，(表 2)指出水在不同溫度下的運動粘滯係數。

下從容器 1 流出 200 立方公分的水的時間 t_B ，此後也就在那個容器 1 中注入 200 立方公分的試驗液，並在指定溫度下測定這液體流出的時間 t_K 。在這溫度下 200 立方公分的試驗液流出的時間與等體積 20° 的蒸餾水流出時間的比值叫做恩格勒級數以符號 E 表示即

$$^\circ E = \frac{t_K}{t_B}$$

恩格勒級數與運動粘滯係數間的關係可由經驗公式求出，

$$\nu = 0.0731 \cdot ^\circ E - \frac{0.0631}{^\circ E} \text{公分}^2/\text{秒} \quad (1-7a)$$

具有上述物理性質的液體叫做真實液體，研究真實液體的運動定律將引起很多數學上的困難，因此爲了簡化起見引用“理想液體”的概念——就是沒有粘滯性，而且密度恆定與壓力和溫度的變更無關的液體。

這才能使真實液體運動定律的研究比較簡單：因就所有具有粘滯性的真實液體的計算而言，在理想液體運動方程式中引進附加項表示克服液體運動時由摩擦而生的能量損耗即可。

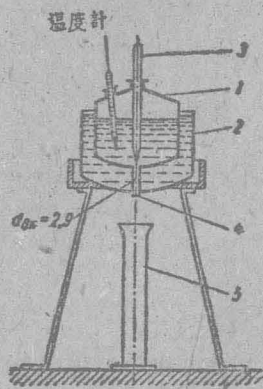


圖 1-3 粘滯儀

第二章

水靜力學

2-1 靜水壓力

作用在單位面積上的力叫做壓力 p ; 若作用在 F 公尺² 的面積上的力等於 P 公斤, 則壓力

$$p = \frac{P}{F} \text{ 公斤/公尺}^2 \quad (2-1)$$

因為力用公斤或噸度量而面積(截面)用公分² 或公尺² 度量, 則壓力可用 公斤/公分² 或用 公斤/公尺² 或用 噸/公尺² 度量。

在全部面積上的全壓力或總壓力等於

$$P = pF \quad \text{公斤 或 噸} \quad (2-1a)$$

作用在靜止液體內部所形成的單位面積上的力是叫做平均靜水壓力。

液體內部所形成面積的基本量度, 在不同部份的平均靜水壓力原是不同的, 因之更精確的量度壓力應指微小面積上而言。

$\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 的比值叫做微小面積上的平均靜水壓力, 這裏 ΔP 是在面積 ΔF 上的微小壓力

當 ΔF 趨近於零, 比值 $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 的極限叫做液體內一點上的靜水壓力

即

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta P}{\Delta F} \right|$$

在靜止狀態的理想液體情況下, 處在限界液體表面的質點上的作