

机 器 学 基 礎

(上 冊)

夏 建 新 奚 紹 申 編

444

科 学 技 術 出 版 社

机 器 学 基 础

（上册）

董 渭 源 编 赵 晓 坤 审



机 器 学 基 础 上 册

机 器 学 基 礎

(上 冊)

夏建新 奚紹申 編
沈 嘉 猷 校 閱

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書系參照蘇聯中等技術學校的“機器學”教學大綱，並結合我國的實際情況而編寫。全書分為兩冊，上冊包括水力學及熱力學兩部分，分別敘述水力學的基本知識，並扼要介紹水泵和水力機械的構造與工作原理，以及敘述工程熱力學與傳熱學的基本理論。

本書可供各工業性質的技術學校以及大專學校非機械類的科系作為“機器學”課程教學用書，並可供中、初級技術人員自修參考之用。

機 器 學 基 礎

(上 冊)

編 者 夏建新 奚紹申

校 閱 者 沈 嘉 猷

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路 336 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可證出字 079 號

中科藝文聯合印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·228

(原中科院印 2,000 冊)

開本 787×1092 耗 1/25·11 11/25 印張·1 插頁·195,000 字

一九五六年五月新一版

一九五六年五月第一次印刷·印數 1—1,520

定價：(10) 一元五角

目 錄

緒言	1
機器學的任務	1
我國在水力方面的發明和創造	2
我國在熱力方面的發明和創造	7
功	12
能	13
能的變化和種類	13
機器的概念和分類	14
功和能及其測量效率的觀念	16

第一篇 水力學的基本知識,水泵和水力機械

第一章 水力學序言 17

1-1 水力學的研究對象和實用意義	17	1-5 熱膨脹	22
1-2 水力學發展簡史	17	1-6 壓縮性	22
1-3 實際液體及其物理性質	19	1-7 粘滯性	23
1-4 密度	20	1-8 表面張力	25

第二章 液體靜力學 27

2-1 液體中任何一點上的壓力	27	2-8 真空表	37
2-2 壓力的單位	28	2-9 液體的側壁壓力-壓力中心	38
2-3 絕對壓力和相對壓力	29	2-10 曲面體上的液體壓力	44
2-4 液體靜力學的基本方程式	30	2-11 阿基米德定律——浮力	46
2-5 巴斯噶定律	33	2-12 浮體,穩定性	47
2-6 水壓機	33	2-13 馬可洛夫及可勒洛夫的不沉 學說	49
2-7 壓力表	35		

第三章 液體動力學 50

3-1 基本觀念及專門名詞	50	3-6 管內液體的運動	64
3-2 流量及連續方程式	54	3-7 雷諾判別式	65
3-3 貝爾諾利方程式和能量解釋	55	3-8 水頭的損耗(摩擦損耗及局 部阻力)	66
3-4 導管中液體流量的測量	59	3-9 導管水力學計算方法的說明	72
3-5 畢托管	60		

3-10 水道中的水力衝擊(茹可夫 斯基定律)	75	里屑利公式)	78
3-11 管壁孔的洩流(管嘴噴射, 托 里屑利公式)	75	3-12 虹吸管(壓力差下的流動)	81
第四章 水泵和水力機械	83		
4-1 往復水泵的構造及作用原理	83	4-10 水泵的工作效率及其所需的 功率	101
4-2 抽水高度及液體的溫度影響	85	4-11 噴射水泵	102
4-3 液體壓出時的壓力頭(水頭)	87	4-12 水渦輪的型式及工作原理	103
4-4 空氣罩及其在水泵工作中的 作用	88	4-13 佛蘭西、客普蘭及貝爾頓水 渦輪	106
4-5 水泵的生產率及功率消耗	91	4-14 水渦輪的理論計算	107
4-6 離心式水泵的構造及工作原 理	92	4-15 水渦輪的構造	110
4-7 離心泵的壓力頭(水頭)	95	4-16 水力裝置	112
4-8 離心泵的葉片	98	4-17 水電站	113
4-9 離心泵的特性	100	4-18 我國水電建設的概況和遠景	115

第二篇 工程熱力學和熱交換理論的基本知識

第五章 工程熱力學的緒言	117		
5-1 熱能的本質	117	5-4 壓力	119
5-2 工程熱力學的研究對象	117	5-5 比容和比重	120
5-3 工質的概念及其參變數	118	5-6 溫度	120
第六章 氣體定律	123		
6-1 理想氣體的概念	123	6-5 阿佛加德羅定律和公斤分子 量	129
6-2 波義耳-馬速特定律	123	6-6 氣體常數	132
6-3 給呂薩克定律	125	6-7 實際氣體	133
6-4 理想氣體的特性方程式	126		
第七章 混合氣體	135		
7-1 混合氣體的概念和道爾頓定 律	135	7-4 重量比率和容積比率間的變 換	141
7-2 混合氣體組成的表示方法	136	7-5 混合氣體的比重和比容	143
7-3 混合氣體的平均分子量	139	7-6 混合氣體的氣體常數	145

第八章 熱力學第一定律..... 148

- 8-1 熱與功的等量性和熱力學第一定律的表述..... 148
- 8-2 氣體的內能..... 149
- 8-3 熱能的基本方程式..... 150

- 8-4 工質的膨脹功及其圖示法.. 151
- 8-5 可逆和不可逆過程..... 154
- 8-6 熱機的經濟效率..... 156

第九章 熱容量..... 158

- 9-1 比熱容量..... 158
- 9-2 定容比熱和定壓比熱..... 159
- 9-3 平均比熱和真實比熱..... 161

- 9-4 按平均比熱求熱量..... 162
- 9-5 混合氣體的比熱..... 167

第十章 氣體的基本熱力過程..... 171

- 10-1 定容過程..... 171
- 10-2 定壓過程..... 173
- 10-3 邁耶方程式..... 174
- 10-4 等溫過程..... 176

- 10-5 絕熱過程..... 179
- 10-6 等溫線和絕熱線在 v - p 圖上的相對位置..... 182
- 10-7 多變過程..... 184

第十一章 熱力學第二定律..... 189

- 11-1 循環過程..... 189
- 11-2 卡諾循環..... 192
- 11-3 熱力學第二定律..... 195
- 11-4 s - T 圖及熵的數學表示法.. 196
- 11-5 幾個基本熱力過程在 s - T 圖

- 上的圖形..... 198
- 11-6 s - T 圖上的卡諾循環..... 200
- 11-7 孤立系統中熵的增加..... 201
- 11-8 熱死學說的荒謬..... 202

第十二章 理想壓氣機..... 203

- 12-1 往復式壓氣機的工作原理.. 203
- 12-2 理想壓氣機所消耗的功.... 204

- 12-3 多級式壓氣機..... 207

第十三章 水蒸汽..... 209

- 13-1 蒸汽形成的過程..... 209
- 13-2 蒸汽形成過程在 v - p 圖上的圖形..... 211

- 13-3 水和蒸汽的比容..... 213
- 13-4 有關焓(熱含)的概念..... 215
- 13-5 水和蒸汽的焓(熱含)..... 216

第十四章 水蒸汽的表和圖..... 220

- 14-1 水蒸汽表及其使用法..... 220
- 14-2 水蒸汽的 s - t 圖(焓焓圖).. 225

第十五章 蒸汽動力裝置的理想循環..... 229

15-1 朗肯循環..... 229	15-4 提高蒸汽循環經濟性的方法 233
15-2 朗肯循環的效率..... 231	15-5 高參數蒸汽..... 236
15-3 朗肯循環的蒸汽消耗率..... 232	15-6 熱化的概念..... 237

第十六章 熱交換理論的基礎..... 239

16-1 熱交換的定義..... 239	16-5 熱對流的基本情況..... 243
16-2 熱能傳播的基本情況..... 239	16-6 熱輻射..... 245
16-3 經過平壁的熱傳導..... 240	16-7 經過平壁的熱交換..... 247
16-4 熱對流..... 241	16-8 熱交換器具..... 253

習題..... 256

附錄..... 264

表 I 飽和水蒸汽表(按照壓力 排列)..... 264	表 III 過熱水蒸汽表..... 267
表 II 飽和水蒸汽表(按照溫度 排列)..... 266	

插圖(水蒸汽的焓熵圖)

緒 言

機器學的任務 “機器學”這門課程，主要是講述“熱”和“水”的能量的基本原理，以及一般的動力機械如熱機和水力機械等的構造和原理、運行性能以及適用場所。對於“能量”我們必須加以深入研究，因為它對於發展國家的工業、農業和交通運輸業都是起着決定性的作用的。全部國民經濟的發展，依靠着重工業部門的高度機械化以及全國更進一步的走向電氣化，因此，發揮“動力機械”的效能，充分利用熱能和水力，對於促進全國電氣化和高度機械化是有着非常巨大的意義。

“機器學”的思想方法或理論基礎是“水力學”、“工程熱力學”和“傳熱學”；它的實踐方式則為“水泵和水力機械”及“熱機學”。前者是研究不以人們意志為轉移的客觀規律；後者則為適當地利用這些規律來控制機械的運用，以便為人們服務。

一般來講，凡是轉化水力為機械功而能代替人力工作的機械，都叫作“水力機械”；凡是轉化熱能為機械功而能代替人力工作者，就叫做“熱機”。“水力機械”和“熱機”的種類很多，不祇有水泵、水渦輪、水電站以及鍋爐、蒸汽機、汽輪機、內燃機、燃氣輪等的分類，並且每一類還因運用場合和所負任務的不同而在形式和具體構造上有着很大的差別；如果不從原理去理解，就會無所適從。故本書的目的，在於扼要而系統地介紹：

(甲)熱力學和水力學的基礎理論；

(乙)一般的動力機械,如

1. 水泵;
2. 水力機械;
3. 鍋爐;
4. 蒸汽機;
5. 汽輪機;
6. 內燃機等的構造原理和工作過程。

我國在水力方面的發明和創造 我國對水力方面的發明和創造是非常多而早的,並且也是最早能將理論配合實際而付之實用的。關於這一類的發明,可分為:利用水的浮力、利用水力來拉風箱和篩麵、利用水力來帶動天文儀器、利用水力來舂米、碾米、磨麵等、利用水力來排水以及利用水力來紡紗等幾方面來敘述。今分述如下:

(1) 利用水的浮力 利用水的浮力來做的器物都是“刻漏”和“銅壺滴漏”一類。我們用刻漏來表示時間,發明得很早。隋志上說:“黃帝刻漏水”,刻漏是否始於黃帝,尚難斷定,但周禮夏官篇已有挈壺氏,故若推斷“刻漏”的發明已有二千年以上的歷史,似乎是可能的。



圖1 唐代呂才刻漏圖
(採自圖書集成)

“刻漏”的式樣很多,圖1為採自圖書集成中唐代呂才的刻漏圖,其原理都為利用水的浮力。要使一定時間內流出的水量恆為一定就須保持一定的水面高度,這個規律在我們勞動人民創造“刻漏”時已被掌握了。

明代李卓吾所著的初潭集上說:

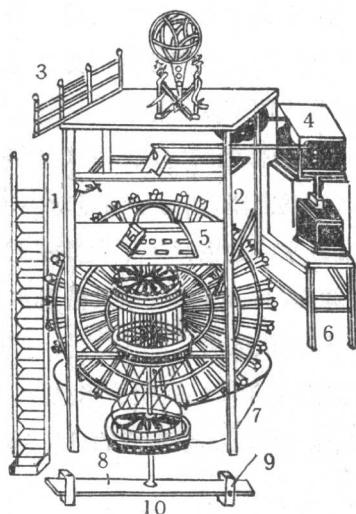
“宋河中府浮梁，用鐵牛八維之。一牛且數萬斤。治平中（公元1064~1067）水暴漲絕梁，牽牛沒於河。募能出之者。真定僧懷丙以二大舟實土，夾牛維之。用大木爲權衡，鈎牛，徐去其土，舟浮牛出。”此外，如曹沖用船稱象，文彥博用水浮球，都對水的浮力具有一定的認識，也就是說，在那時早已應用了阿基米德原理。

（2）利用水力來拉風箱和篩麵 後漢書杜詩傳載“建武七年（公元31年）遷南陽太守。造作水排，鑄爲農器，用力少而見功多，百姓便之。註云：治鑄者爲排吹炭，令激水鼓之也。”王禎農書上又有“水擊麵羅”的記載，他說：“水擊麵羅，隨水磨用之，其機與水排俱同。羅因水力互擊椿柱，篩麵甚速，倍於人力。”

根據上兩記載，可知我國在一千九百多年前已發明了水渦輪，並由曲柄滑塊機構的作用，將輪的迴轉運動改變成滑塊的往復運動，使能拉水排和篩麵。

（3）利用水力來帶動天文儀器 秦漢而後，我國在力學和機械原理方面的進步很快，其中如後漢的我國大發明家張衡（公元78~139年）便在公元117年製成了“混天儀”，到132年又製成“候風地動儀”。到公元615年隋煬帝時代，發明家耿詢製造出一種“水轉混天儀”，利用水力來帶動象儀，（根據北史卷八十九，藝術傳上“耿詢造渾天儀，不假人力，以水轉之）。再如蘇頌在元祐三年（公元1088年）十二月所上的進象狀上說“歷代天文之器，制範頗多，法亦小異。至於激水運機，其用則一。蓋天者運行不息，水者注之不竭，以不竭逐不息之運，苟注挹均調，則參校旋轉之勢無有差舛也。……以水激輪，輪轉而象儀動，……”這些都證明我們在水力天文儀器上已在一千八百多年以前就有光輝的成就了。在宋代蘇頌著的新儀象法要上並有“混儀圖”的繪印如圖2所示。水

由天池流至平水壺，使壺內水面的高度一定（與銅壺滴漏原理同），結果能使壺在一定時間內向外流出一定的水量，驅動第一個原動輪，使在一定時間內轉動一定的角度。



1 右天儀 2 左天儀 3 胡梁 4 天池
5 地樞 6 壺架 7 退水壺 8 地樞
9 地足 10 樞臼

圖2 混儀圖(採自新儀象法要)

(4) 利用水力來舂米碾米和磨麵 用水力來舂米的機器，古稱“水碓”。關於這方面的記載，在物原、後漢書西羌傳、孔融肉刑論、事物紀原、世說、南史卷二十七、祖冲之傳、晉書、太平御覽和王禪農書等都有詳細的記載，尤其在農書上記載得更為具體。它說：“杜預作連機碓。……王隱晉書曰，石崇有水碓三十區。令人造作水輪，輪軸長可數尺，列貫橫木，相交如滾槍之制。水激輪轉，

則軸間橫木間打所排碓稍，一起一落舂之，即連機碓也。”連機碓的圖樣可參看圖3。

根據以上記載，可知我國水碓的發明也在後漢，約當公元160年左右，即距今已有一千八百年的歷史，到晉代時並已發展到相當完備的境地。這種水碓，抗戰時在廣西桂平和四川青木關等地都還有採用的。

用水力來碾米和磨麵的機器古稱“水磨”和“水碾”。根據魏書六十六崔亮傳(公元500年左右)“亮在雍州讀杜預傳(杜預是公元280年左右的人)，見其為八磨，嘉其有濟實用，遂教民為碾，及為

僕射，奏於張方橋東土堰穀水造水碾數十區（水碾見圖4）其利十倍，國用便之。”水力大的地方，更有用一個水輪帶動兩個水磨或兩個以上者，這樣的裝置稱為水轉連磨。圖5所示即為將一個水輪連兩個水磨的“連二水磨”。

在王禎農書上更將一個水輪得出碾、磨和礱的三種

圖3 連機水碓圖（採自天工開物）

效果，稱為“水輪三事”。根據上面的記載，可知我們的祖先非但在一千六百年前已知利用水力來減輕日常生活中的勞動強度，並能

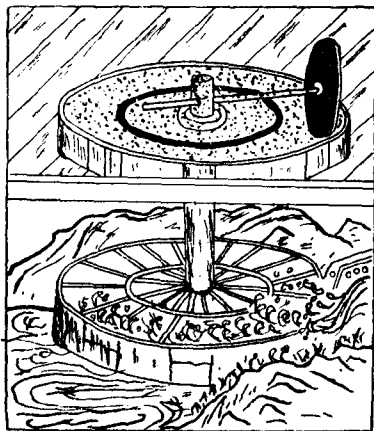


圖4 水碾圖（採自天工開物）



圖5 連二水磨圖

想出一輪拖動很多磨子的裝置，顯現了大量生產自動化的概念。同時又可顯示出我們勞動人民自古以來都是致力於增產節約的性質。

(5) 利用水力來排水 在這方面，我國的發明有“水轉筒車”(圖6)和“水轉翻車”(圖7)兩種，它們之間的區別為筒車的工作軸發生迴轉運動，而翻車本身則沿着一定的斜度作直線運動。筒車在我國西南、西北和東南多山地區採用很多，圍繞一個主水輪的輪周裝着很多傾斜的小水筒，如圖6所示，當水冲着主水輪轉動時，裝滿了水的小筒也隨着迴轉，當小筒轉到最高位置時，就自動把水倒到通往田中的接水槽內。翻車的原理與現代傘輪傳動相似，水沖動裝在垂直軸上的原動輪使之迴轉，經過一對傘齒輪，將運動方向變為水平方向，傳到帶動翻車運轉的水平軸上，翻車便將水運上再流到所需的田中去。這種翻車與現在自動化車間用的斗式提升



圖6 水轉筒車圖(採自圖彙集成)

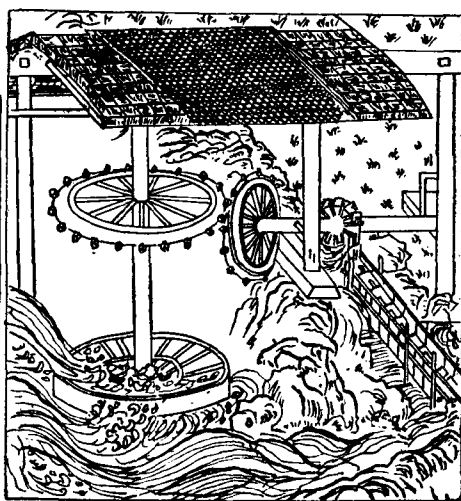


圖7 水轉翻車圖(採自天工開物)

機原理相似。在我國西南接近越南民主共和國的地方，還應用一種螺旋形水車，其原理與自動化車間用的螺旋式輸送機相同，充分顯現了我們勞動祖先們的智慧。根據唐代劉禹錫文集載有機汲記一文，裏面都是記載水轉筒車的，由此推知我國發明這種水力機械最少也有一千一百年的歷史了。

(6) 利用水力來紡紗 在農書上有一種水轉大紡車的記載，在我國中原盛產麻苧的地方多用之，其裝置用一個大水輪帶動一個大繩輪，再以繩傳動方式帶動另一繩輪，在兩繩輪之間另有一段繩索帶動若干紡紗錠子轉動。按着著書的年代來推斷，那末使用這種機械至少也有六百多年歷史了。

我國在熱力方面的發明和創造 我國在熱力方面的發明和創造都表現在軍器和玩具兩方面，而且這方面的成就在當時是位於世界第一的。在外人的著作中，都不得不承認火藥、火箭都是中國人發明的。

(1) 我國是發明燃氣輪的始祖 根據史載，我國在南宋初年（約為公元 1150 年）時發明了“走馬燈”，然而我國在上元節玩燈的習俗在唐代就已盛行，故實際發明時期恐還要早上三、四百年。“走馬燈”的構造如圖 8 所示，在一個立軸上部橫裝一個葉輪，各葉片的按裝方法與現代風扇翼子相似。在立軸下部點上蠟燭。立軸的中部插上幾根水平方向的鐵

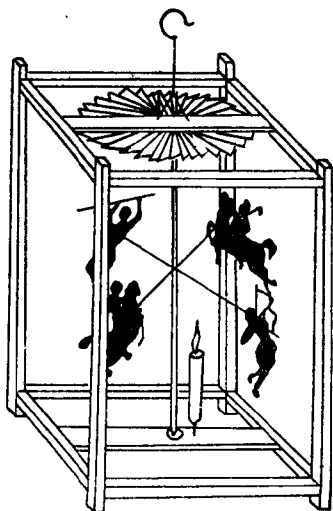


圖 8 走馬燈圖

絲(普通爲四根,有多至六根、八根者),絲端粘着有趣的或形成整套戲的人、獸圖形。把這些東西都裝在一個紙糊的燈籠裏,當燭燃燒時,燃氣上昇,推動葉輪,使人、獸圖形發生迴轉運動。外面看到它們投射在燈籠上的影子,看來非常有趣。這種發明雖是一種玩具,但它是利用熱力發生機械運動的裝置,就原理上說,應是最近纔成功的燃氣輪的始祖,歐洲在 1550 年才有雛型燃氣輪的記載,故至少落後了我國四百年。

(2) 我國是火箭的發明者 我國各地在過年的時候所玩的“起火”(有的地方稱“流星”),“二提脚”(一種響兩聲的礮竹)和“燈礮”(在天空響後更能放出若干燈來的二提脚),它們的上升力量都和火箭原理相同。魏略上記載着“諸葛亮進兵攻郝昭,起雲梯衝車以臨城。昭以火箭逆射其雲梯。梯燃,梯上人皆燒死”。在宋眞宗咸平三年(公元 1000 年)八月,神衛兵器軍隊長唐福獻曾親製火箭、火毬和火蒺藜。根據這些記載,可知我國在那時已發明了火箭。在兩本外國書上也承認火箭是我國發明的。蘇敦^①所著的“飛行科學”上也說在十三世紀(公元 1232 年),蒙古兵圍汴京時曾飛火箭,不數年即有利用火藥的火箭傳到西方。齊姆^②在 1945 年所寫的一本“火箭與噴射”書上也寫着:在他所有的參考文獻裏邊,有一本中文的手抄本,裏邊載着 1232 年(宋理宗紹定五年)汴京之戰。說明守城人用火箭將敵人嚇退。在汴京戰後,我國在火箭製造和應用方面越臻化境,使當時初到中國的馬哥孛羅得到極深的印象。馬氏第一次看到火藥是在 1270 年。後來他就把火藥和火藥在火箭上應用的知識帶往歐洲,所以在十三世紀末,在倍根^③和

① O.G. Sutton

② Herbert S. Zim

③ Roger Bacon

亞爾卑爾特^①等人的著作裏看到了關於火箭的字樣。書上又講，在1280年阿拉伯人關於武器的一本手抄本上，稱着火箭叫“中國箭”。火箭的式樣在明天啓元年(1621年)茅元儀所著的武備志上曾畫如圖9所示。火藥是由我國所發明，這已爲國際所公認。根據馮宗昇1952年6月7日在光明日報所著“火藥的發現及傳入歐洲的經過”一文，可知在公元900年唐代中葉我國就有了火藥，在最早使用時是把火藥製成小型火毬，由“拋石機”射出去，或做成火箭射出去，到了宋理宗開慶元年(公元1259年)便有射擊性管形火器的創造，如突火槍、火筒、火銃等。



圖9 火箭圖(採自武備志)

(3) 我國是噴氣飛機和飛彈的奠基人 “火箭與噴射”這書上還記載着一件重要的故事，謂“當十四世紀末，有一中國官吏，名萬和^②，在他坐椅背後裝着四十七支當時可能買到的大火箭(狀似現在的流星)將自己網在椅前，兩手各拿一大風箏，同時叫僕人用火一齊點燃，目的想借着火箭前進的力量和風箏上升的力量飛向前方”。從這個記載可知他當時的想法和最新式噴氣飛機原理是一致的。故著者齊姆稱他是第一個企圖使用火箭作運輸工具的人，又稱他是第一個企圖利用火箭作飛行的人。

武備志中也載着一種叫做“飛空擊賊震天雷炮”，據劉仙洲教授的研究，認爲它是一種雛型的飛彈，如圖10所示。還有一種叫“神火飛鴉”，可說也是一種雛型飛彈，目的在放火，如圖11所示。鴉係用紙裱糊，內裝滿炸藥，身下用大“起火”四枝，鴉背上鑽眼一

① Albertus Magnus

② Wan Hoo(譯音)