

高等学校教学用书

水力学原理、泵 与鼓风机

C.Б. 斯塔尔克 著

毛善培 严导淦 译

冶金工业出版社

高等学校教学用书

水力学原理、泵与鼓风机

習題集

C. B. 斯塔尔克 著

毛善培 嚴導淦 譯

經苏联高等教育部批准为
高等学校教学参考書

冶金工業出版社

本書分一、二兩篇；第一篇“水力学原理”敘述液体及气体平衡与运动之定律。第二篇“泵与鼓風机”主要闡明各种压唧机的計算与選擇的原理。

每章之末均附有許多例題及習題；通过这些例題的分析与習題之解算，可使讀者進一步掌握水力原理在工程上的应用。

本書可供冶金專業作为“水力学、泵与鼓風机”一學程的教材以及有关方面工程技術人員的参考之用。

其他專業的学生也可採用作为参考書。

С.В.Старк: ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, НАСОСЫ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ
МАШИНЫ Сборник задач

Металлургиядат (Москва 1954)

水力学原理、泵与通風机

毛善培 嚴導淦 譯

1956 年 11 月第一版

1956 年 11 月北京第一次印刷 6,042 册

850×1168 • 1/32 • 299,000字 • 印張11 $\frac{10}{32}$ • 插頁 5 • 定价 (10) 1.80 元

冶金工業出版社印刷厂印

新華書店發行

書号 0491

冶金工業出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 錄

序 言	5
緒 論	7

第一篇 水力学原理

第 一 章 液体和气体的基本性質	12
習 題	16
第 二 章 靜水压力，巴斯加定律	20
習 題	26
第 三 章 作用在壁面上的液体压力，亞几米德定律	39
習 題	44
第 四 章 水动力学原理	62
習 題	67
第 五 章 实际液体的运动	84
習 題	89
第 六 章 水力阻力	101
習 題	108
第 七 章 孔口和管嘴的液体出流	125
習 題	133
第 八 章 輸水管中的液体流动	147
習 題	155
第 九 章 明渠、無压管道和堰上的液体流动	175
習 題	182

第二篇 水泵及鼓風机

第 十 章 往复式水泵	194
習 題	204
第 十 一 章 离心式及軸流式水泵	218
習 題	226
第 十 二 章 單級往复式压气机	239
習 題	249

第十三章	多級壓縮	262
	習題	272
第十四章	通風機	288
	習題	300
第十五章	透平式鼓風機及透平式壓氣機	317
	習題	329
第十六章	迴轉式壓氣機及鼓風機	341
	習題	347
參考文獻		355

附 錄

附錄 1	絕對單位制與工程單位制某些量的換算表	357
附錄 2	當 $p = 760$ 公厘水銀柱時，溫度對水和空氣的重率與粘滯性的影響	357
附錄 3	溫度 15° 時某些液體的重率與運動粘滯系數	358
附錄 4	管壁及渠槽壁的絕對糙度值	358
附錄 5	按下式算出的光滑管中的摩阻系數 λ 值：	

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt{Re}} \quad 358$$

附錄 6	按下式算出的粗糙管中的摩阻系數 λ 值：	
------	------------------------------	--

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d}{2\Delta} + 1.74\right)^2} \quad 359$$

附錄 7	輸水管的流量特性 K^2 (公升 ² /秒 ²)	359
附錄 8	某些局部阻力的當量長度	360
附錄 9	H.H. 巴甫洛夫斯基公式中的系數 C 值 $C = \frac{1}{n} R^y$...	360
附錄 10	與堰頂水頭 H 有關的 $\sqrt{2g} H^{3/2}$ 之數值	361
附錄 11	與堰頂水頭 H 有關的通過三角形堰 ($\theta = 90^\circ$) 上的流量 Q 值	362
附錄 12	空氣的 $S-T$ 圖	插頁

序 言

在冶金工程師的業務中，常常有機會遇到關於液體和氣體平衡及運動定律的問題。

善於利用水力學的定律來解決實際問題是要通過演算習題的辦法來培養的。但是水力學教程中的習題為數不多，不能完全滿足上述要求；因為這些題目或者太陳舊了，或者過份複雜以及太理論，或者具有完全不適合冶金工程師需要的、特殊的水工技術的意味。在教程中有關泵與鼓風機的實際應用方面，一般是沒有習題的。

按照本書的目的，許多習題的題目，儘可能而且適當地力求接近於冶金工程專業問題的範圍，同時討論一些冶金工廠應用的機械設備。此外還包括一些一般工程問題，因此其他專業的学生也可以廣泛地利用這本習題集。

習題集的第一篇“水力學原理”，共有九章；包括有關液體和氣體運動及平衡的基本定律的題目。每一章開始時簡短地說明某些問題在理論上的基本概念並總結出一些解題時所必須的計算公式；然後將少數典型的或者方法上重要的問題加以詳細的演算。最後給出許多練習題，這些題目是僅有答案而沒有解算的。

習題集的第二篇“泵與鼓風機”共七章，討論一些具有實用價值的問題。每一章的開始也簡要地敘述了一下機械的構造與工作的原理。同時列出一些必要的計算公式。最後將題目中比較典型的，加以詳細的分析；其餘的只給出答案。

生產崗位上的工程師、設計者們的主要任務是選擇機器和正確地使用這些機器。正因為如此，第二篇中的習題是針對着這個方向的。至於泵及鼓風機設計計算方面的習題，一般未予羅列。

書中有少數的習題系借用已有的習題集，均已加以註明；大部分的題目是新編擬的。

為了簡化數字上的計算，附錄中列有輔助表。

作者对科学技术博士 Б. В. 康托罗維奇教授、科学技术博士 В. Н. 科斯托奇金教授、科学技术后补博士 Н. Я. 列利雅云講師、科学技术后补博士 Ц. Т. 阿魯斯塔莫娃講師、科学技术后补博士 В. И. 基雪列夫講師和 И. Н. 苏什金工程师等在審校本書过程中所提出的宝贵指示，致以衷心的感谢。

对本書的批評与指正，作者均表欢迎。

緒 論

研究液体平衡与运动定律的科学称为水力学。水力学是許多專業課程和科題的基礎。我們很難以想像在工程業務的任一部門中不碰到与液体或气体运动有關的問題；因此也就需要在各方面应用水力学定律。

苏联共產党第十九次代表大会关于一九五一～一九五五年苏联發展第五个五年計劃的指示規定：首先進行大規模的水利工程建設以及在廣泛利用水力資源的基礎上進一步地發展國民經濟。在伏尔加河，德涅泊河，卡馬河，鄂畢河，額尔齐斯河，叶尼塞河，安加拉河以及其他河流上建筑巨大的水力樞紐，只有在深入地研究水流定律及水流对水工建筑物的影响的基礎上才有可能。

水力学定律在冶金生產中也廣泛地应用着。为了正确地解决下列的問題必須掌握水力学定律的知識；這些問題如水、气体和空气在管道中的运动；离心鑄造及压鑄的应用；冶金爐中廢气的运动；熔鋼爐中液态金屬的狀況；汽錘、空气錘、水錘及水压机的的工作等等。

水力学的理論基礎是以流体力学的定律为依据的；流体力学的定律确立了作用力、流速及压力間的关系；这种关系通常用复雜的微分方程式表示。

液体在技術与工業中的廣泛利用也就是主要在實踐与實驗的基礎上建立起的水力学实用部分的產生和發展的原因。

反映出現象及經驗和實踐資料物理實質的理論的綜合，使得更深入地証實了現代水力学定律。

必須指出：在狀態变化的过程中，在气体的密度不变化之条件下，建立在液体基礎上的运动和平衡定律也完全適用於气体。

水力学是最古老的科学之一。它的發展与人类为利用自然力

而進行鬥爭的歷史緊密地連系着。

遠在紀元前兩三千年，在亞述和埃及、中國和印度、希臘及羅馬以及其他國家中，輸水管、灌溉渠及堤壩建築的實踐就奠定了水力学這一門實用科學的基礎。

阿基米德在公元前二百五十年寫的論文“論浮體”是論述水的自然屬性與特性從實踐中累積起的最早的科學依據。在十五到十七世紀的文藝復興時代中出現了達納德·達芬奇，伽里略，巴斯加，牛頓等人的著作；這些著作各有其科學研究的特点；並且促使了水力学這一門科學的進一步的發展。

水力学原理和它的基礎——論述液體運動和平衡的流體力學——是由俄國科學院院士 M.B. 羅蒙諾索夫（1711—1765），Д. И. 伯奴里（1700—1782）及 Л. П. 歐拉（1707—1793）所創立的。

偉大的俄國學者 M.B. 羅蒙諾索夫首先作出了質量及能量守恒的普遍定律；沒有這些定律，水力学這一門科學的發展是不可能的。

M.B. 羅蒙諾索夫所研究的气体運動理論確定了熱能與機械能相互轉換過程的一致性，從而將力學與物理學連系起來了。

Д. И. 伯奴里在它的鉅著《水動力學，或者關於液體運動和阻力的備忘錄》中給出理想液體纖維流中壓力與速度關係的方程式，這個方程式直到今天還是水力学的基本方程式之一。

Л. П. 歐拉得出的理想液體平衡和運動的微分方程式為理論流體力學進一步的發展奠定了基礎。

俄羅斯祖國之所以有這樣巨大的科學研究成就並不是偶然的；正就是俄國從十八世紀開始進行緊張的水利工程建築和發展河海運輸的結果。

天才的俄國水工學家 М. И. 塞爾杜可夫，В. Н. 塔基謝夫，К. Д. 夫羅洛夫等人建造了許多渠道，堤壩，船閘。

流體力學的更進一步的發展歸功於傑出的俄國學者 Н. Е. 朱可夫斯基（1847—1920）及 С. А. 恰普雷金（1869—1945）——

近代空气动力学的創始者。

在 H.E. 朱可夫斯基的著作中，第一个給出了机翼昇力的理論，这个理論是机翼，透平叶片，水泵，螺旋槳等計算的基础。

H.E. 朱可夫斯基关于管中水击理論及地下水滲流理論研究的經典性之著作作为產生水力学新的部門及水力学繼續發展的基礎。

C.A. 恰普雷金在流体力学的發展中起了相当大的作用。他的一些著作，特別要指出的为“論气体射流”構成了一門新科学——目前已得到巨大發展的气体动力学的基礎。

俄國學者 H.П. 別特洛夫——滑潤的水动力学理論及液体摩擦理論的創始者，И.С. 格罗米柯——液体渦流理論的奠基者，B.Г. 苏霍夫——石油管道計算方法的作者等人的貢獻是举世聞名的。

在苏联水力学發展中佔領導地位的当推偉大的苏联學者 H.H. 巴夫洛夫斯基，他研究出明渠的計算原理及在國民經濟中具有重大意义的压力滲流理論。苏联學者 C.A. 赫里斯基阿諾維奇，A.H. 高尔莫哥洛夫，Л.С. 列宾松等完成了在水力学、流体力学及空气动力学方面的許多卓越的著作。

苏联是全世界第一个建立進行液体和气体运动的模型研究實驗室的；它的目的是为了研究蒸汽鍋爐，工業爐及其他生產設備以及構築物中液体和气体的运动。这方面的工作是在苏联學者 M.B. 基尔別切夫及 A.A. 古赫曼探討出了物理現象的相似原理的基礎上才有可能。

苏联學者們並不滿足于已有的成就，而進一步地更深入地發展先進的苏联科学，勝利地解決了我們國家中大規模建設所提出的巨大的任务。

* *

*

輸送水和空气的机器，还在远古时代就为人們所知道了。

簡陋的揚水机器——取水吊桿、絞盤，揚水輪——距今很久

以前已經被人們廣泛地應用了。最簡單的往復式水泵，主要是木頭的，很早以前也已經製造了；這些水泵主要是由人力和獸力帶動的。

還在古代，隨著鐵和銅生產的發展，在礦山中也就需要一些簡單的鼓風機用以供應空氣。因此在十八世紀初葉僅僅應用了風箱。在大型的設備中，利用水輪作為動力。

在蘇聯著名的發明家 И. И. 包爾朱諾夫 (1766) 所製造的第一部萬能熱機問世後，往復式水泵和鼓風機器的發展有了顯著的躍進。機械的驅動要求改進水泵以及鼓風機器的構造。

往復式水泵與蒸汽機聯接的簡化以及配汽系統的改進才可以創造出直接作用的蒸汽泵，它的構造在十九世紀時已經相當複雜了。

在同一時期，與蒸汽機聯接的往復式鼓風機也產生了，並且得到了廣泛的採用。

二十世紀初葉，利用廉價的高爐煤氣的煤氣發動機開始取代蒸汽驅動的大型高爐鼓風機。

但是到 1910 年，蒸汽透平驅動的離心式透平鼓風機開始勝過煤氣往復式鼓風機。

水泵和鼓風機的離心工作原理早在中世紀中已為人們知道了，可是由於它構造上的不完善以及製造出的模型之效率非常低，以致沒有得到實際的應用。

1754 年俄國科學院院士 Л. П. 歐拉研究出離心機器的原理，這就使得可以設計並製造出高效率的離心機。但是由於缺乏高速度的驅動機，直到二十世紀初葉離心機運用到實際中還是非常緩慢的。

電動機及蒸汽透平的出現推動了離心式水泵和鼓風機器的廣泛應用。

H. E. 朱可夫斯基及 C. A. 恰普雷金創立了工作輪葉片和導流器的理論，大大地發展了並加深了離心機的理論。

蘇聯學者 И. И. 庫高列夫斯基，И. Н. 沃茲聶生斯基，

И.Г. 也斯曼, Г.Ф. 普洛斯庫拉, Н.М. 夏保夫, В.С. 克夫雅特高夫斯基, Н.Н. 高發別夫, В.Н. 高斯托其金等人以后的工作, 以及科学研究所及机器制造工厂的集体努力, 使得离心机的構造大为改進, 效率增高並且擴大了它的应用範圍。

离心式水泵是一种可靠而且非常完善的高速机器, 目前已廣泛地应用在國民經濟的所有部門中。

往复式水泵也还在繼續生產, 这种水泵主要在高压和超高压並且在小流量情况下应用, 这时它的性能相当好。

大型高爐鼓風机在目前是唯一制造的用蒸汽透平驅動的离心式鼓風机。

最好的低压及高压往复式压气机的生產, 保証在工業和建築業中廣泛应用壓縮空气作为动能。

在工業中創造和运用新型通風机方面已有很大成績。

目前以現代技術裝備的我國工厂正在生產最好的水泵与鼓風机, 以滿足快速發展的苏联工業的需要。

第一篇 水力学原理

第一章 液体和气体的基本性質

液体和气体 液体和气体不同於固体的地方，在於液体和气体均具有流动的特性，也就是表顯了質点的几乎無限的流动性和几乎沒有抵抗断裂或变形的阻力。

液体和气体都具有共同性質——流动性，而它們之間的区分則由兩者的压缩性來識別，所謂压缩性就是在压力作用下体積改变的程度。

同时液体表現了几乎完全不可压缩的特性，並且其溫度膨胀系数也是非常微小的；而气体的体積，随着压力和溫度的变迁，可以在很大的範圍內变化。

在气体以一般的流速运动（不超过 100 公尺/秒）且在所研究的現象範圍內，压力和溫度变化不大的情況下，对液体所作的結論可推廣到气体中去。

工程單位制 在水力学的計算中，採用工程單位制，其基本單位是：

長度單位 L ——公尺；

力的單位 P ——公斤；

時間單位 T ——秒。

所有其他物理量的因次，都是由上述基本單位導出的。例如：

$$\text{速度} \quad v = \frac{L}{T} \text{ [公尺/秒]};$$

$$\text{重力加速度} \quad g = \frac{L}{T^2} \text{ [公尺/秒}^2\text{]};$$

$$\text{質量} \quad M = \frac{G}{g} \quad (\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{公尺});$$

$$\text{密度} \quad \rho = \frac{M}{W} \quad (\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{公尺}^3);$$

$$\text{重率} \quad \gamma = \frac{G}{W} \quad (\text{公斤} / \text{公尺}^3) \text{ 等等} \textcircled{1}.$$

但是在解決問題時，往往應用各種以絕對單位制表示的物理量的數值：公分、克質量、秒。

把一種單位制換算為另一種單位制時，必須注意到下述情況：即在工程單位制中以“公斤”作為基本單位（力的），可是在絕對單位制中卻以“克”作為基本單位（質量的）。

壓縮性和溫度膨脹性 液體的壓縮性由體積壓縮係數 β_p 表徵，體積壓縮係數表示當壓力改變 1 公斤/公分² 時體積的相對變化率。

$$\beta_p = \frac{\Delta W}{\Delta p \cdot W_{\text{наг}}} \quad \text{公分}^2 / \text{公斤}. \quad (\text{I-1})$$

液體的壓縮性極為微小，故在解決大部分問題時可不予考慮。

在必須考慮體積壓縮的情況下，例如在關於水擊方面的問題中，水的體積壓縮係數用水的彈性模數的倒數來表示，一般可採用為 $\frac{1}{20000}$ （公分²/公斤）。

液體的溫度膨脹通常也可忽略，僅在某些特殊的情況下，才需要考慮它，例如在將液體加熱到高溫的時候就需要考慮。

溫度膨脹係數：

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{\Delta t \cdot W_{\text{наг}}} \quad \frac{1}{\text{度}}, \quad (\text{I-2})$$

係表示當溫度改變 1° 時，體積 ΔW 的相對變化的數值。關於水

① 流速 v 及體積 W 的符號系從蘇聯科學院 1952 年 12 月出版的“流體力學專門名詞”內採取的。

的 β_t 值可根据附錄 2 的資料計算。

气体不同於液体之处，在於气体表顯了巨大的压缩性，並具有較高的溫度膨胀系数。

当气体的压力从 p_1 变为 p_2 ，溫度由 T_1 变到 T_2 时，理想气体的重率 τ ，密度 ρ 和比容 v_y 的变化可根据气体状态的基本方程式确定：

$$\tau_2 = \tau_1 \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}; \quad (\text{I-3})$$

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}; \quad (\text{I-4})$$

$$v_{y2} = v_{y1} \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1}. \quad (\text{I-5})$$

液体和气体的重率、比容和密度三者之間具有下列的已知关系：

$$r = \frac{1}{v_y} = \rho g, \quad (\text{I-6})$$

式中 $g = 9.81$ 公尺/秒²——重力加速度。

在标准大气压力下，不同溫度下的水和空气之重率的数值列於附錄 2 中。

液体和气体的黏滯性 当質点或液層作相对运动时，由於液体（气体）的粘滯性形成了液体（气体）中的內摩擦力。

單位面積上的內摩擦力的数值。

內摩擦力的切应力与垂直於液体或气体运动方向之速度梯度成正比：

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \text{ 公斤/公尺}^2. \quad (\text{I-7})$$

比例系数 μ 和液体（气体）的性質有关，並称之为絕對黏滯系数，或簡称为液体的黏滯性：

$$\mu \text{ 公斤} \cdot \text{秒/公尺}^2. \quad (\text{I-8})$$

絕對黏滯系数 μ 对液体密度 ρ 的比值称为运动黏滯系数：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ 公尺}^2/\text{秒}. \quad (\text{I-9})$$

随着温度 T 的增加，由於气体分子运动的加剧，气体的黏滯性根据下列关系而增长：

$$\mu_r = \mu_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \sqrt{\frac{T}{273}} \text{ 公斤} \cdot \text{秒}/\text{公尺}^2, \quad (\text{I-10})$$

式中 μ_0 —— 0° 时气体的黏滯性；

C ——常数，空气为 114；氩气为 74；二氧化碳为 260；水蒸汽为 673。

在关于烟气运动的实际计算中，必须知道烟气的黏滯性。烟气的运动黏滯系数当 $p_{\text{CO}_2} = 13\%$ ； $p_{\text{H}_2\text{O}} = 11\%$ 时，在各种温度时的数值如下：

烟气的温度

$t (^{\circ}\text{C}) \dots\dots 100 \quad 200 \quad 300 \quad 400 \quad 500 \quad 600$

运动黏滯系数

(公尺²/秒) $20 \times 10^{-6} \quad 30 \times 10^{-6} \quad 43 \times 10^{-6} \quad 57 \times 10^{-6} \quad 72 \times 10^{-6} \quad 90 \times 10^{-6}$

液体的黏滯性系由分子间的距离和液体质点的形变阻力所决定，並随温度的升高而减小。对水而言，其黏滯性的变化与温度的关系可由下式决定：

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337 t + 0.000221 t^2} \text{ 公分}^2/\text{秒}, \quad (\text{I-11})$$

式中 t ——水的温度 $^{\circ}\text{C}$ 。

各种温度下，空气和水的运动黏滯系数值载於附录 2 中。

在绝对单位制中，绝对黏滯的单位为“泊司”，其因次为克/公分·秒，而运动黏滯的单位为“斯托克斯”，其因次为公分²/秒。

实际上，液体的黏滯性可用黏度计测定，並以恩克列度 ($^{\circ}\text{E}$) 來度量。如已知用恩克列度所表示的黏滯性，則运动黏滯系数 ν 可按下列經驗公式求出：

$$\nu = 0.0731^\circ \text{E} - \frac{0.0631}{^\circ \text{E}} \text{公分}^2/\text{秒} \quad (\text{I-12})$$

在進行液体运动定律的理論研究时，關於理想液体这个抽象的概念是具有非常重大的意义的，理想液体就是这样一种液体：它不具有黏滯性，在溫度和压力的影响下，不改变其本身的体積，也就是密度为一常数。

習 題

題 I-1 柴油机用之重油的重率为 $\gamma = 920$ 公斤/公尺³。

求以工程單位制和絕對單位制所表示的重油密度。

解 用工程單位制表示的重油密度：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{920}{9.81} = 93.8 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2/\text{公尺}^4.$$

用絕對單位制表示的重油密度：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{920 \times 981000}{10^6 \times 981} = 0.92 \text{ 克/公分}^3.$$

題 I-2 当溫度为 0°C 和压力为 760 公厘水銀柱时，煙气的重率为 1.30 公斤/公尺³；煙气离开火爐时的溫度为 800° ，求此时煙气的密度，並以工程單位制表示。

解 溫度 800° 时的煙气重率：

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{T_1}{T_2} = 1.30 \times \frac{273}{273 + 800} = 0.331 \text{ 公斤/公尺}^3.$$

溫度 800° 时的煙气密度：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{0.331}{9.81} = 0.0338 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2/\text{公尺}^4.$$

題 I-3 輸水管的管徑 $d = 300$ 公厘，長度 $l = 50$ 公尺，准备供水力实验之用；在大气压力下，管中充滿以水。

当管内压力在压力計中升高到 50 計示大气压时，問在管中应增添多少水？水的体積压缩系数採用 $\frac{1}{20000}$ 。輸水管的变形不計。

① 此后在本書中所見到的溫度度数之后未寫出“C”字字即指以百度温标零度算起的溫度，例如 0° 或 800° ，也就是 0°C 或 800°C ——譯註。