

高等学校教学用书

水力学和水力机械

A·A·烏根秋斯著



中国工业出版社

高等学校教学用书



水力学和水力机械

技术科学博士 A·A·烏根秋斯教授著
周 鵬 盛敬超等譯

苏联文化部高等教育总局审定
作为机械制造学院和机械制造系的教材

中国工业出版社

本書敘述了機械工程師在實際工作中經常遇到的關於水力計算所必需的水力學原理，同時指出有關水力機械（如葉片式泵、活塞式泵、水壓機和水輪機等）的基本知識。本書系根據“水力學和水力機械”課程大綱寫成。

本書可作為機械製造學院和機械製造系教材之用。

參加本書水力學部分翻譯工作的為哈爾濱工業大學水力學教研室周鵬、趙學端、鍾濟華、鍾聲玉、許耀銘等同志；參加水力機械部分翻譯工作的為浙江大學機械系盛敬超同志。

А. А. УТИНЧУС

ГИДРАВЛИКА И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ.

МОСКВА-1953

* * *

水力学和水力机械

（根據水利電力出版社譯印）

*

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

地質出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印張 $11^{1/16}$ ·字數 290,000

1956年5月北京第一版

1961年5月北京新一版·1961年5月北京第一次印刷

印數0001—2230·定價（10）1.90元

統一書號：15165·3（水電-3）

目 录

緒 論.....	5
----------	---

第一部分 水力学

第一章 流体的物理性质及最主要的定义.....	11
1-1. 流体最重要的物理性质.....	11
1-2. 理想液体的概念.....	18
1-3. 气体物理性质的简述.....	19
1-4. 水力实验在解决工程水力学各种问题中的作用.....	22
第二章 水静力学.....	23
2-1. 水静压力及其特性.....	23
2-2. 水静力学基本方程式.....	27
2-3. 水静压力图.....	29
2-4. 测压管, 计示高度和真空的概念.....	33
2-5. 基准面, 能头和能头面, 液体的自由液面.....	35
2-6. 测量压力的仪器.....	40
2-7. 水静力学的一般微分方程式.....	47
2-8. 水静力学的一般微分方程式在某些特殊情况下的应用.....	51
2-9. 连通器中液体的平衡条件.....	53
2-10. 气体的平衡条件.....	55
2-11. 液体的相对静止.....	56
2-12. 巴斯噶定律及其实际应用.....	66
2-13. 平面形上总水静压力的计算.....	72
2-14. 曲面上的液体压力.....	77
2-15. 阿基米德定律。物体悬浮的理论基础.....	82
第三章 水动力学的基本概念.....	88
3-1. 运动的分类.....	88
3-2. 液体流束状运动的概念.....	91
3-3. 有效断面及流量.....	92

3-4.	水力坡, 几何坡及計示坡.....	95
3-5.	液流連續性原理.....	96
第四章	理想液体运动的微分方程式	98
4-1.	理想液体运动的微分方程式.....	98
4-2.	理想液体的連續性微分方程式.....	101
4-3.	緩变流动时实际液流中水动压力的分布.....	103
第五章	液体运动方程式	105
5-1.	用运动微分方程式推导理想液体微小流束的伯努利 方程式.....	105
5-2.	用动能定律推导理想液体微小流束的伯努利方程式.....	108
5-3.	伯努利方程式的几何意义及物理意义(能量意义).....	111
5-4.	实际液体微小流束的伯努利方程式.....	116
5-5.	实际液体全液流的伯努利方程式.....	121
5-6.	伯努利方程式的实际用途.....	125
第六章	粘性液体的两种运动状态	131
6-1.	确定液体两种运动状态的 雷諾 实验.....	131
6-2.	雷諾 数 及临界流速.....	134
6-3.	水动力相似的概念及相似准则.....	138
6-4.	潤滑水动力学理論.....	145
第七章	管中液体流动的理論	149
7-1.	均匀流动基本方程式的推导.....	149
7-2.	管中液体的层流状态.....	152
7-3.	管中液体的紊流状态.....	157
7-4.	紊流状态时管中的能头損失.....	162
7-5.	紊流状态时管中能头損失的計算公式.....	167
7-6.	局部阻力区的能量損失.....	170
7-7.	管系的阻力系数.....	175
7-8.	苏联学者及科学研究机关研究管中液体流动的工作情况.....	177
第八章	管路的水力計算	179
8-1.	管路的水力計算基础.....	180
8-2.	簡單管路的水力計算.....	187
8-3.	复杂管路的水力計算.....	192
8-4.	三容器問題.....	197

8-5.	短管及虹吸管的水力計算	200
8-6.	管中水錘	204
8-7.	管路的技术經濟計算基础	211
第九章	孔口与管嘴的液体出流, 堰的液体溢流	214
9-1.	孔口的分类及出流的基本特征	214
9-2.	薄壁孔口的液体出流	217
9-3.	管嘴。分类及应用范围	222
9-4.	管嘴的水力計算	224
9-5.	能头变化时的液体出流	230
9-6.	堰	233
第十章	明渠中液体的均匀流动	237
10-1.	明渠的水力計算	237
10-2.	渠道的水力最佳断面	239
第十一章	液流与固体的相互作用	241
11-1.	射流与固体障碍物間的作用与反作用	241
11-2.	液体相对运动的伯努利方程式	246

第二部分 水力机械

第十二章	水力机械基本概念	249
12-1.	水力机械的职能及其分类	249
12-2.	叶片式机械的作用原理。叶片式机械基本方程式的推演	249
12-3.	水力机械发展簡史	253
第十三章	泵的基本概念	255
13-1.	泵的用途及其分类	255
13-2.	应用在泵理論中的基本定語	256
第十四章	离心式泵	260
14-1.	离心式泵的分类	260
14-2.	离心式泵的装置及作用原理	261
14-3.	离心式泵的基本方程式	265
14-4.	势压头及动力压头的反力系数	270
14-5.	叶片形式及其对泵运行时的影响。导水翼	272
14-6.	离心式泵的相似	275

14-7.	比速系数.....	277
14-8.	离心式泵的特性曲线.....	282
14-9.	离心式泵结构示例.....	287
14-10.	离心式泵在管网中的运行。泵的串联及并联运行.....	293
第十五章	活塞式泵.....	296
15-1.	活塞式泵的作用原理及其分类.....	296
15-2.	活塞式泵的抽液率(排液量).....	300
15-3.	空气室装置.....	307
15-4.	吸液及压液过程.....	311
15-5.	指示功及有效功率的示功图.....	317
15-6.	活塞式泵的结构及其某些零件的示例.....	320
第十六章	回轉式泵、液压传动.....	328
16-1.	回轉式泵的概念.....	328
16-2.	液压传动的应用范围,工作原理.....	330
16-3.	液压传动机构的各种调节方法的示例.....	331
第十七章	水轮机.....	334
17-1.	水轮机的用途。水轮机的分类.....	334
17-2.	水轮机的基本方程式。比速系数。水轮机的标准名称.....	340
附 录		

目 录

緒 論.....	5
----------	---

第一部分 水力学

第一章 流体的物理性质及最主要的定义.....	11
1-1. 流体最重要的物理性质.....	11
1-2. 理想液体的概念.....	18
1-3. 气体物理性质的简述.....	19
1-4. 水力实验在解决工程水力学各种问题中的作用.....	22
第二章 水静力学.....	23
2-1. 水静压力及其特性.....	23
2-2. 水静力学基本方程式.....	27
2-3. 水静压力图.....	29
2-4. 测压管, 计示高度和真空的概念.....	33
2-5. 基准面, 能头和能头面, 液体的自由液面.....	35
2-6. 测量压力的仪器.....	40
2-7. 水静力学的一般微分方程式.....	47
2-8. 水静力学的一般微分方程式在某些特殊情况下的应用.....	51
2-9. 连通器中液体的平衡条件.....	53
2-10. 气体的平衡条件.....	55
2-11. 液体的相对静止.....	56
2-12. 巴斯噶定律及其实际应用.....	66
2-13. 平面形上总水静压力的计算.....	72
2-14. 曲面上的液体压力.....	77
2-15. 阿基米德定律. 物体悬浮的理论基础.....	82
第三章 水动力学的基本概念.....	88
3-1. 运动的分类.....	88
3-2. 液体流束状运动的概念.....	91
3-3. 有效断面及流量.....	92

3-4.	水力坡, 几何坡及計示坡.....	95
3-5.	液流連續性原理.....	96
第四章 理想液体运动的微分方程式		98
4-1.	理想液体运动的微分方程式.....	98
4-2.	理想液体的連續性微分方程式.....	101
4-3.	緩变流动时实际液流中水动力压力的分布.....	103
第五章 液体运动方程式		105
5-1.	用运动微分方程式推导理想液体微小流束的伯努利 方程式.....	105
5-2.	用动能定律推导理想液体微小流束的伯努利方程式.....	108
5-3.	伯努利方程式的几何意义及物理意义(能量意义).....	111
5-4.	实际液体微小流束的伯努利方程式.....	116
5-5.	实际液体全液流的伯努利方程式.....	121
5-6.	伯努利方程式的实际用途.....	125
第六章 粘性液体的两种运动状态		131
6-1.	确定液体两种运动状态的 雷諾 实验.....	131
6-2.	雷諾 数 及临界流速.....	134
6-3.	水动力相似的概念及相似准則.....	138
6-4.	潤滑水动力学理論.....	145
第七章 管中液体流动的理論		149
7-1.	均匀流动基本方程式的推导.....	149
7-2.	管中液体的层流状态.....	152
7-3.	管中液体的紊流状态.....	157
7-4.	紊流状态时管中的能头損失.....	162
7-5.	紊流状态时管中能头損失的計算公式.....	167
7-6.	局部阻力区的能量損失.....	170
7-7.	管系的阻力系数.....	175
7-8.	苏联学者及科学研究机关研究管中液体流动的工作情况.....	177
第八章 管路的水力計算		179
8-1.	管路的水力計算基础.....	180
8-2.	簡單管路的水力計算.....	187
8-3.	复杂管路的水力計算.....	192
8-4.	三容器問題.....	197

8-5.	短管及虹吸管的水力計算	200
8-6.	管中水錘	204
8-7.	管路的技术經濟計算基础	211
第九章	孔口与管嘴的液体出流, 堰的液体溢流	214
9-1.	孔口的分类及出流的基本特征	214
9-2.	薄壁孔口的液体出流	217
9-3.	管嘴。分类及应用范围	222
9-4.	管嘴的水力計算	224
9-5.	能头变化时的液体出流	230
9-6.	堰	233
第十章	明渠中液体的均匀流动	237
10-1.	明渠的水力計算	237
10-2.	渠道的水力最佳断面	239
第十一章	液流与固体的相互作用	241
11-1.	射流与固体障碍物間的作用与反作用	241
11-2.	液体相对运动的伯努利方程式	246

第二部分 水力机械

第十二章	水力机械基本概念	249
12-1.	水力机械的职能及其分类	249
12-2.	叶片式机械的作用原理。叶片式机械基本方程式的推演	249
12-3.	水力机械发展簡史	253
第十三章	泵的基本概念	255
13-1.	泵的用途及其分类	255
13-2.	应用在泵理論中的基本定語	256
第十四章	离心式泵	260
14-1.	离心式泵的分类	260
14-2.	离心式泵的装置及作用原理	261
14-3.	离心式泵的基本方程式	265
14-4.	势压头及动力压头的反力系数	270
14-5.	叶片形式及其对泵运行时的影响。导水翼	272
14-6.	离心式泵的相似	275

14-7.	比速系数.....	277
14-8.	离心式泵的特性曲线.....	282
14-9.	离心式泵结构示例.....	287
14-10.	离心式泵在管网中的运行。泵的串联及并联运行.....	293
第十五章	活塞式泵	296
15-1.	活塞式泵的作用原理及其分类.....	296
15-2.	活塞式泵的抽液率(排液量).....	300
15-3.	空气室装置.....	307
15-4.	吸液及压液过程.....	311
15-5.	指示功及有效功率的示功图.....	317
15-6.	活塞式泵的结构及其某些零件的示例.....	320
第十六章	回转式泵、液压传动	328
16-1.	回转式泵的概念.....	328
16-2.	液压传动的应用范围,工作原理.....	330
16-3.	液压传动机构的各种调节方法的示例.....	331
第十七章	水轮机	334
17-1.	水轮机的用途。水轮机的分类.....	334
17-2.	水轮机的基本方程式。比速系数。水轮机的标准名称.....	340

附 录

緒 論

研究液体平衡及运动的規律以及在不同的工程实用部門中应用这些規律的方法的实用工程科学称为**水力学**。水力学中研究液体平衡規律的部分称为**水靜力学**，研究液体内部作用力的液体运动規律的部分則称为**水动力学**。

本門課程可供机械制造各專業學生之用，其任务在于敘述水力学的原理(第一部分)，这些原理是在学习若干專業課程某些必須应用水力学基本規律及方法的章节中所必需的。因此需要簡述一下水力学对机械專業工程師的意义，并指出机械工程師需要应用水力学基本規律及各种水力学公式的技术部門。

首先必須指出水力学的的基本規律已最广泛地应用在近代的叶片式泵及水輪机的理論上。譬如，相对运动伯努利方程式广泛地应用在叶片式泵的理論上以分析动輪內液流的运动条件。同样，伯努利方程式亦用以研究叶片式泵及水輪机的气蝕現象，以决定上述离心叶片式机械的极限吸水高或动輪的极限轉數。

流自管嘴并作用在固定障碍物(輪叶)上的射流的动力特性是冲击式水輪机的工作原理。射流对容器的反作用是用来解釋反击式水輪机工作的水力原理。应用在叶片式水力机械中的动力相似理論是解决制造新型机械及改进其旧有构造等复杂問題上的最有力的工具。

水錘理論被广泛地应用在水管及用来防止水錘的安全裝置的設計上，同时也用来設計水錘揚水机。

水压机、水力起重機、水力联軸器、水力掣动器以及类似这些的裝置，都是以水靜压力在液体内部傳遞的規律为基础的。在这个規律上还建立了用以調整近代机床工作的傳動理論。浮桥、浮标、水上飞机及其他浮具的穩性計算，以及气化器的浮子裝置等都是建筑在物体悬浮的理論基础上。

飞机飞行时作用在汽油槽壁上的汽油压力、火車行駛时液体作用在运油槽壁上的压力及其他等等，都是根据液体相对靜止的方程式来計算的。

确定輸油管及水冷却系統的主要尺寸，各种噴射器及管嘴基本尺寸、計算射流泵、气化器等等，所有这些都需要应用水力学的基本規律及方法：如伯努利方程式、液体均匀流动方程式、計算局部阻力的关系式及計算孔口和管嘴液体出流的公式等。

以上所列举的远不是实际問題中的全部，但仅就这些問題就已經关系到一些不同机械专业的机械工程师了。这足以說明水力学在机械制造工业上的巨大意义及其与机械范围内其他課程的紧密联系(如泵与水輪机、水压机及蓄能器、机床制造的水力傳动、測压仪器、汽車与拖拉机、掣动器、水力潤滑、飞机与水上飞机的某些部件之計算、原动机某些部件的計算等等)。

本教科书的第二部分——水力机械——在极大程度上以本課程第一部分(水力学)的材料为基础。这部分的目的是在于讲述水力机械的理論与結構的概念。

为了認識所研究的現象，找出它們发生的原因以及它們流动的条件，在水力学中广泛地应用着理論的以及实验的研究方法。除此以外，在水力学中为了求得近似的結果还广泛地应用着研究的簡化方法，这些近似結果有时在解决工程实际問題上是特別需要的。

水力学的理論基础是由过去一門純理論的科学——流体力学——中得来的，流体力学是以严謹的数学方法来研究液体平衡及运动的規律，以求得水靜力学及水动力学中各种問題的一般解答。长时期以来流体力学主要是在研究理想液体(即某种假設的液体，认为它是絕對不可压缩的、质点具有絕對流动性的、沒有粘性和对拉力无抵抗的液体)。近来流体力学才开始解决粘性(实际)液体的运动問題，因此实验在流体力学中的作用显著地增长了。水力学和流体力学曾长期各自地发展着，但是近来已日趋一致，正象当时H. H. 巴甫洛夫斯基(H. H. Павловский)院士曾指出过：“这

二門科学將归并为一，在这門科学中流体力学带来了理論的严谨性和对研究的完整性，而水力学則带来了生动与实用的精神”。

現在来简单地叙述一下水力学的发展史，至于水力机械制造的发展史將于本书的第二部分〔水力机械(12-3)]来叙述。

远在阿基米德〔Архимед(公元前250年)]、达·芬奇〔Леонардо Да-Винч(1452~1519)]、伽利略〔Галилей(1564~1642)]及牛頓〔Исак Ньютон(1642~1726)]时代就解决了水力学上某些个别的问题，然而水力学仅仅在俄国科学院院士伯努利〔Даниил Бернулли(1700~1782)]及欧勒〔Леонард Эйлер(1707~1783)]奠定了成为水力学理論基础的液体运动的基本規律后，才开始成为一門独立的科学。

偉大的俄国学者 М.В. 罗蒙諾索夫〔М.В. Ломоносов(1711~1765)]在1748年发现了能量守恒定律后，才使著名的伯努利方程式有着研究的可能性，因为伯努利方程式是能量守恒定律应用在运动液体上的一个特殊情况。

伯努利及欧勒的研究工作是水力学发展成为一門独立科学的重要阶段，在他們之后，这种研究仍然在繼續着和扩展着，到二十世紀初叶止，水力学的基本问题是：紊流问题，粘性液体运动阻力的一般規律之研究，管子、渠道及水堰中的液流运动之研究，管中水錘及局部阻力能量損失之研究，多孔介质中的液体渗透问题，因次分析及相似理論的研究等等。在研究中特別注意了实验室的实验工作。

俄国学者当时在解决上述最重要的问题中起着特別重要的作用，首先应当指出的是喀山大学教授俄国水力学界的奠基者 И.С. 葛罗米柯〔И.С. Громека(1851~1889)]，他研究了液体螺旋运动的结构(葛罗米柯液体螺旋运动方程式)及 Н.П. 彼得洛夫教授〔Н.П. Петров(1836~1920)]他在1882年发表了世界闻名的研究工作“潤滑液体摩擦的水动力学理論”。偉大的俄国学者 Д.И. 孟德列也夫〔Д.И. Менделеев(1834~1907)]第一个陈述了关于液体存在着两种状态的概念。在他的著作“論液体阻力及空气悬浮”中

(发表于1880年)写道：“毫无疑问，在細的毛細管实验中阻滯力或摩擦力几乎与流速的一次方成正比，而在粗的管子内則几乎是与速度的二次方成正比。”其后英国学者雷諾〔Osborn Рейнольдс (1883)]用实验方法証实了这二种运动状态(层流与紊流)的存在。

有名的俄国工程师及学者B.Г.舒霍夫(B.Г.Шухов)在1886年第一个完成了关于石油水力学方面的研究，第一个研究了大粘性液体的运动。

天才的俄国学者H.Е.茹可夫斯基教授〔H.Е. Жуковский (1847~1920)]远在十九世紀末叶就第一个解决了管中的水錘問題(1898)，奠定了水力学中最重要問題之一的研究基础，对俄国及全世界的科学作了重要的贡献。

上述H.П.彼得洛夫教授的經典著作所奠定的思想繼續反映在1906年茹可夫斯基与C.A.恰潑雷金(C.A. Чаплыгин)共同发表的著作“論軸頸与軸承間潤滑層的摩擦”一文內。在著作中得出了彼得洛夫問題的精确的数字解法。最后，在1906年茹可夫斯基研究了机翼升力的理論，第一个解决了这个在空气动力学及流体动力学上的重要問題。茹可夫斯基方法可用于飞机机翼的計算上，以及水輪机、离心泵及旋桨泵动輪輪叶的計算上。

最后，应当提出恰潑雷金发表于1902年的杰出著作“論气流”，这本著作奠定了关于气体运动的一門新科学(气体动力学)的基础。

偉大的十月革命以后，在苏联的第一个五年計劃时期內苏联工程师們就面临着一系列关于发展苏联水輪机、泵及机床的制造，发展水运、空运、鉄路、公路运输以及其他等等方面复杂的水力学問題。

为了实现列宁的电气化計劃〔(全俄电气化)批准于1921年]，要求建造巨大的水工建筑物(伏尔霍夫、第聶伯尔水电站)及制造大型的水輪机组。因而随即发生了很多极复杂的水工建筑物及水力机械的設計和施工上的問題。然而現場上所提出的这些問題，在当时大部分为水力学所无力解决的。当时曾建立了大批企业式

水力及水力机械实验室，类似工厂中的生产实验室一样，进行了为设计建筑物及设计机械的水力研究工作。

在莫斯科运河的建设中，曾建立过研究旋桨式泵模型试验的专门实验室，赖以设计和制造优良的高效率的泵。

苏联的科学研究机关及高等学校的大型水力实验室完成了或正在进行着具有很大科学价值的工作。特别应当指出的是以茹可夫斯基命名的中央空气流体动力学研究所，那里正在研究关于空气动力学及流体动力学方面的繁重工作。

综上所述，可见在水力学上科学与生产的结合是非常有益的和有价值的，它使水力学由原先大部分为抽象的科学成为一门先进的、称为“工程水力学”的科学，而苏联的水力学学者们在水力学各个方面的造诣已毫无例外地远远超过了其他各国的学者们。

工程水力学的形成，巴甫洛夫斯基院士起着主导作用，他解决了很多水力学上的重要问题，特别是他求得了十分完善的用于计算管中及渠道中均匀流动时阻力的公式，进行了关于计算各种水堰概括性公式论据的研究，拟定了明晰的水堰分类。最后，弥足珍贵的是巴甫洛夫斯基成功地创建了苏联水力学界，其中有名望的为 М.Д. 切尔托乌索夫 (М.Д. Чертоусов)、А.Н. 拉赫曼诺夫 (А.Н. Рахманов)、С.В. 伊兹巴什 (С.В. Избаш)、В.И. 阿拉文 (В.И. Аравин) 及其他许多学者等。

Л.С. 列宾崇院士 (Л.С. Лейбензон) 在继续发展彼得洛夫教授、茹可夫斯基教授及恰泼雷金院士所创立的滑润水动力学理论的工作方面是非常有价值的。

而且列宾崇院士还发展了茹可夫斯基所创立的管中水锤的理论，得出关于解决压力水管中液体不稳定流动问题的一系列的方法，同样在石油水力学上亦完成了一系列的工作。

А.Н. 柯尔莫郭洛夫院士 (А.Н. Колмогоров)、М.А. 维立加诺夫教授 (М.А. Великанов) 及 Г.А. 郭尔申柯 (Г.А. Гурженко) 等完成了关于液体紊流方面的巨大研究，对于发展近代水力学的贡献是很有价值的。柯尔莫郭洛夫院士根据概率理论应用统计研究

法研究了紊变 (турбулентность) 的一般理論，从而奠定了現有半經驗紊变理論的論据。С. А. 赫里斯奇昂諾維契 (С. А. Христианович) 院士关于液体不稳定流动方面的工作是非常有价值的，他創立了不稳定流动方程式的一般积分法。

上述苏联工程水力学发展簡史証明苏联学者为解决实际生活所提出的許多的实际問題进行了巨大的工作。与生产紧密相結合，順利地解决了許多的問題，丰富了科学，并使苏联工程水力学无可爭辯地雄居世界第一位。

十九次党代表大会的历史性決議摆在苏联工程水力学面前的一項巨大任务，就是繼續发展水电建設及机械制造。在这五年內应当将古比雪夫、卡姆、明格恰烏尔以及其他水电站 (总容量4016千瓩) 投入运行，并大規模地进行斯大林格勒、卡霍夫、新西伯利亚及其他許多水电站的建設工作。计划在五年內水輪机生产增加7.8倍。

在新的五年計劃內，机械制造及金属加工的产品应当增加約2倍；同样石油工业和其他各企业的生产量亦应增加差不多相同的倍数。

苏联水力学工作者所走过的光荣道路使我們深信完全可以光荣地实现十九次党代表大会指示上所規定的巨大任务，苏联水力学工作者将在建設苏联共产主义社会的事业中作出自己的貢獻。