

水力学原理

苏联 С. Б. 伊兹巴士著

电力工业出版社

目 录

原著者序

第一章 水力学的技术基础和物理力学基础	9
第一节 水力学及其在技术方面的任务	9
第二节 水力学方法的发展	14
第三节 流体的基本概念	18
1. 流体的物理特性	18
2. 流体的水力概念	20
3. 流体的水力概念之应用范围	21
第四节 水力学所使用的力学上的一般原理	23
1. 基本原理	23
2. 动量定理与动能定理	25
3. 特性系与因次分析法	28
4. 力学相似	30
第五节 流体质点与固体相互的粘滞作用	32
1. 粘滞性底物理概念	32
2. 关于固体与运动流体边界上情况的假说	35
3. H. П. 彼得罗夫的工程物理研究和彼得罗夫摩擦定律	37
4. 现代的说法(H. H. 巴甫洛夫斯基的说法)	40
5. 一些实验数据	44
第六节 流体内的法线应力	48
1. 表面力的应力	48
2. 流体静应力的第一性质	50
3. 流体静压力(应力)的第二性质	51
4. 压力底概念在创立流体的“模型”方面的作用	52
第七节 决定水力现象的基本的力、准则和条件	53

1. 表面力作用的情况	53
2. 体积力作用的情况	57
3. 决定水力现象的条件	60
4. 基本的力与相似准则的分类	61
5. 关于现代水力学的方法的一般概念	62
第二章 静止液体的压力	64
第八节 水静应力的特性	64
1. 应力均匀分佈的液体	64
2. 应力不均匀分佈的液体	66
3. 压力的技术特性	69
4. 静止液体的能量特性	76
第九节 静止液体的应力的一般情况	78
1. 水静力学的一般微分方程式 (依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的叙述)	78
2. 水静力学微分方程式之积分	81
3. 旋轉着的重力液体之相对平衡	82
第十节 表面上均匀分佈的水静压力之合力	85
1. 导論	85
2. 几种圆形表面上的均佈压力之合力	86
3. 水平底面上的均佈压力之合力	88
第十一节 平面上非均匀分佈的水静压力之合力	90
1. 解析法求合力	90
2. 圖解法求合力	93
第十二节 曲面上的总重量压力 (依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的叙述)	97
1. 圖解分析法求合力	97
2. 解析法求圆柱上的合力	99
第十三节 水静浮力、浮沉性与稳定性	102
1. 阿基米德定律	102
2. 水下悬浮	103
3. 水上漂浮	104
第三章 不可压缩的液体之运动	107
第十四节 基本概念	107

1. 水力学问题的性质	107
2. 决定液流及其特性的基本要素	108
第十五节 液流的水力边界条件	109
1. 边界面的种类	110
2. 边界的轮廓	110
3. 边界面上的压力	112
4. 边界面对液流的阻挠	113
第十六节 液体运动状态	115
1. 基本知识	115
2. 层流	116
3. 从层流过渡到紊流	118
4. 完全紊流(成熟紊流)	123
第十七节 液流的运动特性和液流“模型”	125
1. 时间平均流速和断面平均流速	125
2. 流綫、跡綫和渦綫	128
3. 微小流束与渦帶。不可壓縮的液体稳定流时, 微小流束的流量方程式	132
4. 流束式和單元液流“模型”及其流量	133
5. 整体液流的运动学定义	137
第十八节 不可壓縮的液体运动之能量特性	138
1. 导論	138
2. 不可壓縮液体的稳定流微小流束之能量方程式	139
3. 方程式(93)和(94)的几何意义与能量意义(依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的說法)	143
4. Д. 伯努利方程式的补充說明	150
5. 能量方程式推广至稳定液流	155
6. 能量方程式的应用性问题	159
第十九节 液体运动的解析特性	161
1. 欧勒方法和欧勒运动微分方程式	161
2. 不可壓縮液体的連續性方程式	164
3. 液体質点的旋轉	166
4. 葛罗米柯形式的欧勒方程式	168
5. 达·伯努利积分	169

6. 拉格朗什积分	171
7. 液流运动的水动力学網——流網	175
8. 欧勒方程式推广于粘性液体运动的情况	179
第四章 水力摩阻与过水能力	182
第 廿 节 摩阻的估算問題	182
1. 問題的性質和摩阻的分类	182
2. 有关摩阻实質的概念的發展	186
3. 水力摩阻的动力特性	192
4. 估算水力摩阻用的工作公式之結構	200
第 廿 一 节 等速流时的摩阻	203
1. 实验数据的一般性質	203
2. 等速層流的計算	210
3. 边界層和紊流結構底概念	215
4. 紊流中的动量轉移理論之要点	219
5. 关于求沿路摩阻系数用的实验公式之指示	226
第 廿 二 节 局部水力摩阻	243
1. 局部水力摩阻的特点	243
2. 突然扩大水头損失之計算	246
3. 論另外一些形式的局部摩阻	249
4. 紊动射流在液体内部的扩展	255
第 廿 三 节 过水能力	258
1. 液流的水力学一般分类法	258
2. 出流計算	260
3. 短管計算关系式	266
4. 長管計算关系式	272
5. 單管計算的基本問題	275
6. 渠中等速流的計算	277
第 廿 四 节 液流与結構物之間力的相互作用	282
1. 技術問題和現象的分类	282
2. 球体在粘性液体中的等速沉降	284
3. 动量定理应用的問題	287
4. 射流与結構物的相互作用	289
5. 液流与导流壁的相互作用	293

6. 水錘	294
第五章 河槽水流与建筑物	303
第廿五节 初步概念和技术问题	303
1. 河川水力学的一些特点	303
2. 河川水能装置的基本建筑物	305
3. 工程水力学问题	307
第廿六节 河槽稳定流之运动学特性	309
1. 水流沿其纵向的变化性	309
2. 河槽的型式	310
3. 河槽水力指数	313
4. 液体运动的型式	314
第廿七节 明渠稳定流的能量特性	315
1. 基本概念	315
2. 断面比能	316
3. 临界水深和临界坡度	318
4. 水流的缓流状态和急流状态	320
5. 水跃和水跃方程式	321
6. 明渠稳定、缓变流的能量方程式	326
7. 能量、水深和坡度的相互关系	328
第廿八节 缓变流的自由水面曲线	331
1. 水流的种类和水流区	331
2. 自由水面曲线的型式	333
3. 根据能量方程式绘制自由水面曲线	337
4. 水力指数为 x 的稜柱河槽中变速流微分方程式之积分	343
5. 自由水面的横向坡度和明渠环流	349
第廿九节 堰和上下游的连接	351
1. 初步概念	351
2. 堰的过水能力	353
3. 上下游连接的底部流态	366
4. 上下游连接的表层流态	374
第三十节 地下水流及其水力计算原理	377
1. 初步概念	377

2. 等速滲流	382
3. 緩變滲流	387
4. 急變滲流	396
第三十一節 引水式水电站的某些水力計算數例	405
1. 課題	405
2. 溢流孔過水能力的計算	408
3. 上下游連接形式的查明和消力池的計算	411
4. 進水口和引水渠過渡段(非稜柱體段)的計算	416
5. 稜柱體引水渠中的自由水面曲綫之繪制	419
6. 用圖解法繪制河道壅水段中的自由水面曲綫(按 M. A. 莫斯特柯夫方法)	423
7. 從引水渠滲入河道的滲流計算(圖195)	427
8. 壓力水管中發生直接水錘時, 壓力昇高的確定	428
第三十二節 水工模型試驗方法	429
1. 初步概念	429
2. 壓力水道的模型試驗	432
3. 明槽水流的模型試驗	435
4. 結束語	439
中外文人名對照表	445

72.7
2874
1/5

6275
6

1

原 著 者 序

在我国，为了改造大自然和进一步发展国民经济，在广泛利用水利资源的基础上展开了宏伟的水工建设。

国家对有关专家的培养工作提出了新的要求。这些专家应当是革新者、有创造性思想的人，应当很好地通晓水力学、物理学原理及方法，因为水力学乃是像水利工程学、水力机械制造学、水能学、给水工程学、水利土壤改良学、水文地质学及其他许多这样的专门课程之共同基础。

现代水力学奠基于 M. B. 罗蒙诺索夫、Д. И. 伯努利、Л. П. 欧勒、Н. П. 彼得罗夫、Н. Е. 儒柯夫斯基、Н. Н. 巴甫洛夫斯基及其他一些研究者的劳动，这些人以其著作标示出了水力学知识发展的重要阶段。在十月社会主义革命之后，我国各个最大的水电站的科学技术论证，还要求了水力实验方法的发展。理论和实验的相互作用使得苏联水力学迅速地成长为一门技术科学，它直接地和水电、火电工程、工业供水、水运及水利土壤改良方面的要求密切联系着。

上述一切，促使本人来作这样一种尝试，即依据着 Н. Н. 巴甫洛夫斯基院士所领导的苏联水力学派的优良传统，来写一本在结构方面颇多翻新的书，以阐明水力学原理。

在每一章的开始，我都简短地叙述一下实践所提出来的技术问题，以及决定所研究的水力现象的基本因素。

从真实液体出发时，我特别注意于水力现象的理论简化过程，以及把液体底物理概念转化为水力概念的过程。同时，相似理论，也就是现代水工试验的理论这一部分，也作为论题的初步原理之一，在本书内加以叙述。

100157

在每一章里，我們都力求完整地敘述水力学的方法，从最簡單的談到比較复杂的方法。同时，凡有可能的地方，我們都認為有必要敘述水力概念的（如有关粘滯性的、摩阻本質的等等）發展沿革，同时，我們还避免教条主义，即不是从形式上，而是从本質上反映祖国各位科学家的主导作用。

在許多場合里，我們都認為有必要引用祖国的水力学奠基者（特別是 H. H. 巴甫洛夫斯基）的著作的某些原文，作为闡述水力学某些基本問題的、在明确性和技巧方面無与倫比的范例。除此之外，我們还部分地使用了苏联科学院技术名詞委员会所屬科学委员会 1951 年所拟的流体力学推荐名詞草案；相应的名詞，在書中則載于括弧內。

最后，考虑到明槽水流（渠道、河川）与建筑物（坝）的水力学問題在偉大的共产主义水工建設时代所具的特殊重大的意义，我們在書內辟一專章，对苏联工程水力学的基本原理作簡短的論述。在这一章內，除了从头創立工程水力学这一部門的祖国的古典著作之外，著者还使用了本人对巨大的水工建設任务方面进行研究的經驗，以及参加偉大建設的設計鑑定时的經驗。

作为本書基础的乃是著者在荣获列宁勛章的、以 B. M. 莫洛托夫命名的莫斯科动力学院（簡称 МЭИ）以及全苏多科性工業函授大学（簡称 ВЗПИ）授課的講义。本書的內容，曾在專門的研究討論会上，由莫斯科动力学院水力学教研室集体地逐章地詳細討論过。該教研室的成員，計有：技术科学副博士 H. Г. 罗日捷茨文斯基講師，一級科学工作者、技术科学副博士 С. М. 司立斯基，技术科学副博士 B. Т. 叶姆采夫，助教 П. М. 司立斯基，K. П. 盖特曼諾夫及其他諸人。

著者怀着感謝的心情考虑了技术科学副博士 H. П. 罗贊諾夫講師的意見，这些意見对改进本書的最后一次校訂工作很有帮助，当然，像水力学这样一門最古老的技术課目，每次对它作新穎的論述时所不可避免的那些缺点，本書也还是具有的。

目 录

原著者序

第一章 水力学的技术基础和物理力学基础	9
第一节 水力学及其在技术方面的任务	9
第二节 水力学方法的发展	14
第三节 流体的基本概念	18
1. 流体的物理特性	18
2. 流体的水力概念	20
3. 流体的水力概念之应用范围	21
第四节 水力学所使用的力学上的一般原理	23
1. 基本原理	23
2. 动量定理与动能定理	25
3. 特性系与因次分析法	28
4. 力学相似	30
第五节 流体质点与固体相互的粘滞作用	32
1. 粘滞性底物理概念	32
2. 关于固体与运动流体边界上情况的假说	35
3. H. П. 彼得罗夫的工程物理研究和彼得罗夫摩擦定律	37
4. 现代的说法(H. H. 巴甫洛夫斯基的说法)	40
5. 一些实验数据	44
第六节 流体内的法线应力	48
1. 表面力的应力	48
2. 流体静应力的第一性质	50
3. 流体静压力(应力)的第二性质	51
4. 压力底概念在创立流体的“模型”方面的作用	52
第七节 决定水力现象的基本的力、准则和条件	53

1. 表面力作用的情况	53
2. 体积力作用的情况	57
3. 决定水力现象的条件	60
4. 基本的力与相似准则的分类	61
5. 关于现代水力学的方法的一般概念	62
第二章 静止液体的压力	64
第八节 水静应力的特性	64
1. 应力均匀分佈的液体	64
2. 应力不均匀分佈的液体	66
3. 压力的技术特性	69
4. 静止液体的能量特性	76
第九节 静止液体的应力的一般情况	78
1. 水静力学的一般微分方程式 (依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的叙述)	78
2. 水静力学微分方程式之积分	81
3. 旋轉着的重力液体之相对平衡	82
第十节 表面上均匀分佈的水静压力之合力	85
1. 导論	85
2. 几种圆形表面上的均佈压力之合力	86
3. 水平底面上的均佈压力之合力	88
第十一节 平面上非均匀分佈的水静压力之合力	90
1. 解析法求合力	90
2. 圖解法求合力	93
第十二节 曲面上的总重量压力 (依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的叙述)	97
1. 圖解分析法求合力	97
2. 解析法求圆柱上的合力	99
第十三节 水静浮力、浮沉性与稳定性	102
1. 阿基米德定律	102
2. 水下悬浮	103
3. 水上漂浮	104
第三章 不可压缩的液体之运动	107
第十四节 基本概念	107

1. 水力学问题的性质	107
2. 决定液流及其特性的基本要素	108
第十五节 液流的水力边界条件	109
1. 边界面的种类	110
2. 边界的轮廓	110
3. 边界面上的压力	112
4. 边界面对液流的阻挠	113
第十六节 液体运动状态	115
1. 基本知识	115
2. 层流	116
3. 从层流过渡到紊流	118
4. 完全紊流(成熟紊流)	123
第十七节 液流的运动特性和液流“模型”	125
1. 时间平均流速和断面平均流速	125
2. 流綫、跡綫和渦綫	128
3. 微小流束与渦帶。不可壓縮的液体稳定流时, 微小流束的流量方程式	132
4. 流束式和單元液流“模型”及其流量	133
5. 整体液流的运动学定义	137
第十八节 不可壓縮的液体运动之能量特性	138
1. 导論	138
2. 不可壓縮液体的稳定流微小流束之能量方程式	139
3. 方程式(93)和(94)的几何意义与能量意义(依照 H. H. 巴甫洛夫斯基的說法)	143
4. Д. 伯努利方程式的补充說明	150
5. 能量方程式推广至稳定液流	155
6. 能量方程式的应用性问题	159
第十九节 液体运动的解析特性	161
1. 欧勒方法和欧勒运动微分方程式	161
2. 不可壓縮液体的連續性方程式	164
3. 液体質点的旋轉	166
4. 葛罗米柯形式的欧勒方程式	168
5. 达·伯努利积分	169

6. 拉格朗什积分	171
7. 液流运动的水动力学網——流網	175
8. 欧勒方程式推广于粘性液体运动的情况	179
第四章 水力摩阻与过水能力	182
第 廿 节 摩阻的估算問題	182
1. 問題的性質和摩阻的分类	182
2. 有关摩阻实質的概念的發展	186
3. 水力摩阻的动力特性	192
4. 估算水力摩阻用的工作公式之結構	200
第 廿 一 节 等速流时的摩阻	203
1. 实验数据的一般性質	203
2. 等速層流的計算	210
3. 边界層和紊流結構底概念	215
4. 紊流中的动量轉移理論之要点	219
5. 关于求沿路摩阻系数用的实验公式之指示	226
第 廿 二 节 局部水力摩阻	243
1. 局部水力摩阻的特点	243
2. 突然扩大水头損失之計算	246
3. 論另外一些形式的局部摩阻	249
4. 紊动射流在液体内部的扩展	255
第 廿 三 节 过水能力	258
1. 液流的水力学一般分类法	258
2. 出流計算	260
3. 短管計算关系式	266
4. 長管計算关系式	272
5. 單管計算的基本問題	275
6. 渠中等速流的計算	277
第 廿 四 节 液流与結構物之間力的相互作用	282
1. 技术問題和現象的分类	282
2. 球体在粘性液体中的等速沉降	284
3. 动量定理应用的問題	287
4. 射流与結構物的相互作用	289
5. 液流与导流壁的相互作用	293

6. 水錘	294
第五章 河槽水流与建筑物	303
第廿五节 初步概念和技术問題	303
1. 河川水力学的一些特点	303
2. 河川水能装置的基本建筑物	305
3. 工程水力学問題	307
第廿六节 河槽稳定流之运动学特性	309
1. 水流沿其縱向的变化性	309
2. 河槽的型式	310
3. 河槽水力指数	313
4. 液体运动的型式	314
第廿七节 明渠稳定流的能量特性	315
1. 基本概念	315
2. 断面比能	316
3. 临界水深和临界坡度	318
4. 水流的緩流状态和急流状态	320
5. 水躍和水躍方程式	321
6. 明渠稳定、緩变流的能量方程式	326
7. 能量、水深和坡度的相互关系	328
第廿八节 緩变流的自由水面曲綫	331
1. 水流的种类和水流区	331
2. 自由水面曲綫的型式	333
3. 根据能量方程式繪制自由水面曲綫	337
4. 水力指数为 x 的稜柱河槽中变速流微分方 程式之积分	343
5. 自由水面的橫向坡度和明渠环流	349
第廿九节 堰和上下游的连接	351
1. 初步概念	351
2. 堰的过水能力	353
3. 上下游连接的底部流态	366
4. 上下游连接的表層流态	374
第三十节 地下水流及其水力計算原理	377
1. 初步概念	377

2. 等速滲流	382
3. 緩變滲流	387
4. 急變滲流	396
第三十一節 引水式水电站的某些水力計算數例	405
1. 課題	405
2. 溢流孔過水能力的計算	408
3. 上下游連接形式的查明和消力池的計算	411
4. 進水口和引水渠過渡段(非稜柱體段)的計算	416
5. 稜柱體引水渠中的自由水面曲綫之繪制	419
6. 用圖解法繪制河道壅水段中的自由水面曲綫(按 M. A. 莫斯特柯夫方法)	423
7. 從引水渠滲入河道的滲流計算(圖195)	427
8. 壓力水管中發生直接水錘時, 壓力昇高的確定	428
第三十二節 水工模型試驗方法	429
1. 初步概念	429
2. 壓力水道的模型試驗	432
3. 明槽水流的模型試驗	435
4. 結束語	439
中外文人名對照表	445

第一章 水力学的技术基础和物理力学基础

第一节 水力学及其在技术方面的任务

水力学^① 是一门技术科学，它研究压缩性很小的流体的静止和运动，以便在实际上估算这些流体跟河槽、土壤和各种不同的结构物：管道、坝、泥沙等相互之间的力学作用。

流体，通常说来是水和空气(第三节)的平衡与运动的规律，在技术方面具有最广泛又最为多种多样的实际应用。

这些规律最为全面地被利用在现代所进行的关于改造自然的各项宏伟的工程中：在改变河川水流和把天然水道改造为人工水道(渠道、管道)时，在利用河流的能量和风力及其他等时，整个来说这要使国民经济更加提高，并且要改变苏联许多地区的气候。此时，在许多河流上修建复杂的综合性水利工程建筑物(第廿五节)——现代化的河川水利枢纽(图1)，它们往往是同时满足水能、水运和灌溉各方面的需要的。

在修建这些水利枢纽的过程中(图2)，必须用施工围堰来束狭水量丰沛的河流，必须用抛石拦堵河槽，以便使水流转入事先为它准备好了的洩水孔内，例如，混凝土坝中的洩水孔。沿着输泥管路，用水力输送大量的土壤，然后就分层填筑土坝(冲填坝)的坝体^②。

我们举出中央热电站的工作方式(图3)作为水力学在技术方面应用的另一个例子。中央热电站(俄文简称 ТЭЦ)乃是一座在水力学方面极为复杂的“力能工厂”，它装备有为数众多的靠水力作

① 俄文字 Гидравлика (水力学) 是古希腊文中的名称，该字系由下述二希腊字所组成：“хюдор”——水，和“аулос”——管。——原註，以下凡未特别标者，均同。

② 在我们所著的“施工水力学”一书中，对这里所发生的水力学问题，综合性的探讨。

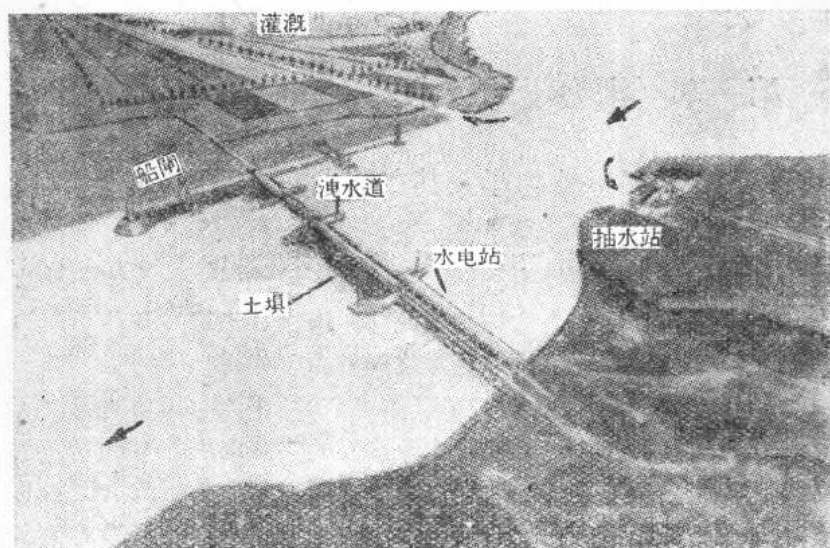


圖 1 大型河川水利樞紐簡圖

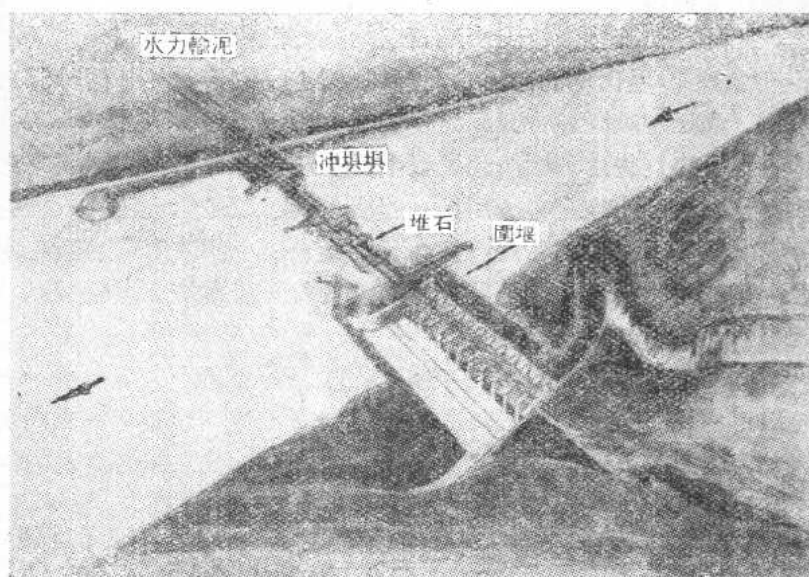


圖 2 河川水利樞紐施工期間，河水的宣洩方式