

水力学專門教程

M. Д. 切尔陀烏索夫著

高等学校教学用书



水力学专门教程

M. Д. 切尔陀烏索夫著
沈 清 濂 譯

高等教育出版社

本書原系根据苏联国立动力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的切尔陀烏索夫教授(Проф. М. Д. Чертоусов)所著“水力学專門教程”(Специальный курс гидравлики)的1949年增訂第二版譯出,現又根据該書1957年增訂第三版加以修訂。原書經苏联高等教育部审定为高等学校水利工程各專業用教学参考書。

書中闡述了長水道中的恒定流和非恒定交流的一般理論及水躍理論,同时也探討了这些理論在实践中的应用。

此外,書中也研究了滲流的水力学理論,并闡述了滲流的流体力学的理論基础,并給出簡單的有压和無压平面滲流問題的精确解法。

書中包括大量例題、数表和圖解。

本書可供高等学校水利工程系的学生和从事水工建筑物設計的工程技术人员参考,亦可供研究生和科学工作者参考。

水 力 学 專 門 教 程

М. Д. 切尔陀烏索夫著

沈清源譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号
(北京市书刊出版业营业許可證出字第054号)

商务印书館上海厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·703 开本 787×1092 1/16 印張 33 5/8 插頁 5
字數 853,000 印數 1—2,000 定价(10) 4.50

1954年10月上册第1版(共印10,500)

1954年9月下册第1版(共印9,000)

1958年12月合訂本第1版 1958年12月上海第1次印刷

序

呈現在讀者面前的這本書是1949年出版的“水力学專門教程”一書的增訂版。

在編寫本書時，我盡量地利用了包含在前版中的材料，但其中捨去了次要問題的敘述，更緊湊地說明了若干問題，並略微改變了書中的結構。同時，我在本書中作了很多的補充。這些補充，如我所體會，是在工程水力学的發展現階段所必需的。有些補充，例如經土壤壩身滲水的問題，是讀者所期望的。

談到細節方面，這裡我只提出我在書的內容和結構上所作的若干比較重要的變更。

在本書的第二章里，我把明渠中恒定不勻徐變流微分方程式的所有變換集中在一起。此外，在研究關於棱柱體明渠中恒定不勻流的水面曲線公式的問題時，我引用了一個新的量，即佛若德倒數。我覺得，這從教學法的角度看來，是比較更合宜的。

在第四章里，除了敘述В. И. 查爾諾門斯基 (Чарномский) 教授提出的恒定不勻流微分方程式的積分法以外，我還敘述了我在1943年(發表於1946年)提出的關於上述這個問題的解法。

在第五章里，純粹為了教學的目的，我稍許改編了§5, 8, 所談的是利用阻抗模數不變假說來繪制天然水道中的水面曲線的問題。

第六章，談到關於水躍的問題，已作了重大的修改。

參照蘇聯近來在研究水躍區和躍後段里的脈動現象方面的著作，我試圖更完備地、當然只是初步近似地，闡明關於水躍中能量損失的問題 (§6, 6)，躍後段脈動現象的消除問題，和躍後段的長度問題 (§6, 7)。此外，我略微修正了推求棱柱體河槽中水躍位置的圖解解析法 (§6, 8)。

上述第六章中的內容變化決定了它的結構必需稍作改變。

第七章的內容，在它的實質上。幾乎沒有改變。不過，在文字方面也作了很大的修訂。

必須指出，在第七章里，對於寬頂堰溢流問題，我提出了我們的若干新的關係式，並且對於確定閘下泄流的流量系數引用了一些新的公式。

第八章的內容和結構有了極大的變更。

對上下游水位連接問題的論述力求更合乎教學法，除了探討具有底層流態特征的連接形式問題而外，我還對具有表層流態和表底層流態特征的連接形式問題作完整的論述。在這裡必須建立關於第三和第四臨界狀態的兩個新的概念。

此外，我在這裡引入了新的計算關係式，借此可以極簡單而足夠精確地確定相當於第一、第二和第三臨界狀態時建築物下游水流的水力特性。

在第九章里，討論到在具有底層流態特征的各种連接形式下計算建築物下游河床加固的問題時，曾作了很大的補充 (§9, 3)，並且探討了關於建築物下游河床沖刷的問題 (§9, 4)。§9, 10也修改較多，其中探討了下游具有鉛垂鼻坎的建築物的水力計算問題。

目 录

序

緒論	1
§ B, 1. 采用的符号和若干定义	1
§ B, 2. 关于明渠中均匀流的基本知識	3
1° 基本关系	3
2° 推求水流横断面各种水力要素的公式	4
3° 推求系数 C 的公式	6
§ B, 3. 明渠均匀流计算中的基本問題	9
例題 B, 1.—B, 4.	11

第一章 研究明渠中不匀流时所需用的若干概念

§ 1, 1. 明渠的型式	13
§ 1, 2. 流量模数的指数关系式。河槽的水力指数	15
例題 1, 1	19
§ 1, 3. 断面能率。临界水深	20
例題 1, 2—1, 4	25
§ 1, 4. 临界底坡	26
例題 1, 5.	28
§ 1, 5. 缓流、急流和临界流态	28

第二章 明渠中恒定、不匀、徐变流的基本微分方程式及其一般研究

§ 2, 1. 关于明渠中不匀流的导論	30
§ 2, 2. 明渠中恒定、不匀、徐变流的基本微分方程式	31
§ 2, 3. 明渠中恒定、不匀、徐变流的基本微分方程式 (續)	33
§ 2, 4. 在棱柱体或圆柱体河槽中不匀流的基本微分方程式	34
§ 2, 5. 棱柱体或圆柱体河槽中不匀流基本微分方程式的变换	35
1° 顺坡河槽 ($i > 0$)	35
2° 平底河槽 ($i = 0$)	36
3° 逆坡河槽 ($i < 0$)	37
§ 2, 6. 棱柱体河槽中恒定、不匀、徐变流水面曲线的形式	40
1° 顺坡河槽 ($i > 0$)	41
2° 平底河槽 ($i = 0$)	48
3° 逆坡河槽 ($i < 0$)	40
例題 2, 1	50

第三章 棱柱体河槽中恒定、不匀、徐变流方程式的积分

§ 3, 1. 关于棱柱体河槽中不匀流方程式积分法的概述	51
§ 3, 2. 顺坡 ($i > 0$) 河槽中不匀流方程式的积分法	52
§ 3, 3. 关于顺坡棱柱体河槽中不匀流的基本問題	59
例題 3, 1—3, 3	60
§ 3, 4. 具有平底 ($i = 0$) 的棱柱体河槽中不匀流方程式的积分法	65
例題 3, 4	68
§ 3, 5. 逆坡 ($i < 0$) 河槽中不匀流方程式的积分法	68
例題 3, 5	71
§ 3, 6. 用直接求和法計算棱柱体河槽中不匀流方程式的积分	72
例題 3, 6	78

第四章 非棱柱体河槽中恒定、不匀、徐变流方程式的积分

§ 4, 1. 概論	75
§ 4, 2. 一般情况下恒定、不匀、徐变流方程式的积分	75
1° B. H. 查尔諾門斯基法	75
2° 我們所提出的方法	77
例題 4, 1	79
§ 4, 3. 在定水深情况下非棱柱体河槽中恒定、不匀流方程式的积分	80
1° 顺坡河槽 ($i > 0$)	81
2° 逆坡河槽 ($i < 0$)	82
3° 平底河槽 ($i = 0$)	83
例題 4, 2	84

第五章 关于天然水道中水面曲线的繪制

§ 5, 1. 概論	86
§ 5, 2. 水道的分段	86
§ 5, 3. 天然水道中恒定、不匀流的基本微分方程式	87
§ 5, 4. 基本計算关系式	88
§ 5, 5. 繪制水面曲线的一般方法	91
§ 5, 6. 阻抗模数。阻抗模数不变的假說	92
§ 5, 7. 关于函数 $F = f(\bar{z})$ 曲线的繪制	93
§ 5, 8. 用阻抗模数不变假說繪制天然水道中的水面曲线	96

1° A. H. 拉赫曼諾夫的方法	95	理論的基本关系式	185
2° H. H. 巴甫洛夫斯基的方法	96	例題 8, 3	194
3° H. M. 別尔那得斯基的方法	98	§ 8, 6. 水道底坡驟變處水流的連接形式	195
§ 5, 9. 关于天然水道中水流漫灘及分汊時水面曲綫的繪制法	100	例題 8, 4	199
§ 5, 10. 在冬季情況下天然水道水面曲綫的繪制法簡介	102	第九章 关于建筑物下游余能的消除及关于簡單型式消能設備的計算	202
§ 5, 11. 天然水道中水力要素数值的确定	107	§ 9, 1. 建筑物下游消能的一般探討	202
例題 5, 1	112	§ 9, 2. 各型消能工	204
第六章 水躍	115	§ 9, 3. 在底層流态情形下护坦长度和淹没长度的决定	211
§ 6, 1. 关于水躍的導論	115	§ 9, 4. 关于建筑物下游河床冲刷的几点說明	219
§ 6, 2. 水躍的基本方程式	117	例題 9, 1	221
§ 6, 3. 水躍函数。共軛水深的推求	119	§ 9, 5. 确定由加深建筑物的护坦而得的消力池之深度	224
例題 6, 1—6, 2	122	§ 9, 6. 确定由建筑消力檻而得的消力池之深度	227
§ 6, 4. 矩形河槽中水躍的基本方程式	124	§ 9, 7. 消力池长度的决定	232
例題 6, 3	126	§ 9, 8. 关于消力池計算的补充注釋	233
§ 6, 5. 底坡較大的矩形河槽中水躍的基本方程式	126	例題 9, 2—9, 3	234
§ 6, 6. 水躍中的能量損失	127	§ 9, 9. 联合式消力池的水力計算	236
例題 6, 4	130	§ 9, 10. 在下游具有鉛垂鼻坎的建筑物的水力計算	238
§ 6, 7. 水躍的长度及躍后流段的长度	131	例題 9, 4	242
§ 6, 8. 在空間問題中的水躍方程式	137	第十章 跌水与陡槽的水力計算	247
例題 6, 5	142	§ 10, 1. 跌水与陡槽概述	247
§ 6, 9. 关于水躍的若干實驗結果	142	§ 10, 2. 單級跌水的水力計算。狹縫跌水	250
第七章 水工建筑物中孔口計算簡介	145	1° 跌水的进水部分	250
§ 7, 1. 采用的符号	145	2° 落水牆	253
I. 壩頂溢流的計算	147	3° 消力部分	253
§ 7, 2. 薄壁堰	147	4° 出水部分	254
§ 7, 3. 实用堰	148	例題 10, 1	255
§ 7, 4. 寬頂堰	150	§ 10, 3. 無消力量的多級跌水之水力計算	255
1° 非淹没堰	152	§ 10, 4. 有消力量的多級跌水(一系列水池式)之水力計算	257
2° 淹没堰	154	例題 10, 2	259
3° 淹没的准則	157	§ 10, 5. 陡槽的水力計算	263
4° 堰的入口边綫及閘机(或墩)的平面形势圖順者其流量系数推求法的叙述	158	例題 10, 3	268
II. 閘下泄流的計算	162	§ 10, 6. 悬臂跌水的水力計算	272
§ 7, 5. 通过矩形閘孔的泄流	162	§ 10, 7. 含气水流的水力計算簡述	278
第八章 上下游連接的基本理論	168	§ 10, 8. 关于各型加糙工估算的說明及加糙陡槽的水力計算	281
§ 8, 1. 上下游連接時水流的基本形式	168	第十一章 兩水庫的水面連接法	286
I. 具有底層流态特征的水面連接	169	§ 11, 1. 兩水庫水面借長渠連接	286
II. 具有表層流态特征的水面連接及混合型的連接	173	例題 11, 1	290
§ 8, 2. 在底層流态情形下, 上下游連接理論的基本关系式	177	§ 11, 2. 兩水庫水面借短渠連接	293
§ 8, 3. 判定矩形河槽中上下游連接形式的准則之另一些表达式及其圖解說明	180	§ 11, 3. 关于放水槽水力計算的簡述	297
§ 8, 4. 推求收縮断面水深及其共軛水深的圖解	182	第十二章 压力管路中的非恒流	300
例題 8, 1—8, 2	183	§ 12, 1. 非恒流概述	300
§ 8, 5. 在表層及表底層流态情形下, 上下游連接		§ 12, 2. 压力管路中非恒流的基本方程式	300

§ 12, 3. 等断面直管路中的非恒流	306	甲、地下河槽中地下水的恒定流	403
§ 12, 4. 在由各种直径的水管依次连接而成的直管路中的非恒流	307	§ 14, 6. 地下水的均匀流	403
§ 12, 5. 调压塔里的水位波动	309	§ 14, 7. 裘皮幼公式	404
1° 当系统中无阻抗存在时水轮机骤然完全关闭的情况	311	§ 14, 8. 地下水恒定不匀徐变流的微分方程式	406
2° 当系统中有阻抗存在时水轮机骤然关闭的情况	312	§ 14, 9. 地下水不匀流情况下浸润曲线的形式	407
3° 用图解法解调压塔里的水位波动问题	321	§ 14, 10. 地下水恒定不匀徐变流微分方程式的积分	409
§ 12, 6. 管路中的水锤	323	例题 14, 1	413
例题 12, 1	332	乙、水井与集水廊	414
第十三章 明渠中的非恒流	334	§ 14, 11. 普通水井	414
§ 13, 1. 导论, 术语, 采用的符号	334	§ 14, 12. 取给于地面入渗的水井	417
§ 13, 2. 连续性方程式	336	§ 14, 13. 吸水井	418
§ 13, 3. 明渠中非恒徐变流的基本微分方程式	337	§ 14, 14. 自流井	419
§ 13, 4. 关于明渠中非恒徐变流方程式积分的概述	338	§ 14, 15. 地底自流井	420
§ 13, 5. 在无阻力的水平底矩形河槽中非恒徐变流微分方程式的积分	339	§ 14, 16. 水井群	420
§ 13, 6. 波的传播速度. 波流量	342	§ 14, 17. 靠近水体的单井	423
§ 13, 7. 在微幅波的条件下非恒徐变流方程式的变换及其应用于水电站日调节问题上的积分法	344	§ 14, 18. 单独集水廊	424
I. 在计入阻力时柱柱体河槽中非恒流方程式的变换	344	§ 14, 19. 取给于地面入渗的平行集水廊系统	427
II. 非恒流微分方程式的积分	346	§ 14, 20. 关于地下水向水井和集水廊入流的补充注释	428
III. 所得的解在水电站日调节特殊情况里的应用	350	例题 14, 2	430
IV. 在水道系由各种不同水力特性的河段组成的情况下, 水路中波动问题的近似解	355	丙、经土坝坝身的渗水问题	431
V. 化已知的流量过程线或水位过程线为简谐曲线	356	§ 14, 21. 导论	431
VI. 关于应用上述方法解决实际问题的几点注释	362	在不透水地基(不透水层)上的土坝	432
例题 13, 1	363	§ 14, 22. 在水平不透水层上的均质土坝	432
§ 13, 8. 水电站上下游在日调节时非恒徐变流的图解解析算法	367	例题 14, 3	440
§ 13, 9. 水电站骤然减小站负荷时引水渠中最高水位的推求	375	§ 14, 23. 具有铅垂上游坡面的圆堰	442
例题 13, 2	381	§ 14, 24. 具有心墙的土坝	443
§ 13, 10. 水电站骤然加大站负荷时引水渠中最低水位的推求	385	例题 14, 4	445
第十四章 地下水流动	391	§ 14, 25. 具有斜墙的土坝	446
I. 概述	391	例题 14, 5	450
§ 14, 1. 导论	391	§ 14, 26. 具有排水设备的土坝	452
§ 14, 2. 渗透模型. 渗透速度	393	在透水地基上的土坝	460
§ 14, 3. 渗透的基本定律	395	§ 14, 27. 均质土坝	460
§ 14, 4. 渗透基本定律的适用范围	397	§ 14, 28. 具有排水设备的土坝	462
§ 14, 5. 推求渗透系数的公式. 出水系数	399	§ 14, 29. 具有透水铺盖和不透水斜墙的堆石坝	463
II. 渗透的水力学理论	403	III. 渗透的流体力学理论基础	467
		甲、导论	467
		§ 14, 30. 问题的一般提法	467
		§ 14, 31. 地下水流动阻力的计算式	467
		§ 14, 32. 地下水流动的微分方程式. 连续性方程式	468
		§ 14, 33. 地下水的平面流动. 流函数及其特性	470
		§ 14, 34. 流网	473
		§ 14, 35. 复变函数理论简介, 关于保角映射的概念	475
		乙、平面有压渗流	478

§ 14, 36. 关于平面有压渗流问题的一般提法。边界条件	478
§ 14, 37. 平面有压渗流问题的解法	480
1° 复变函数法	480
2° 保角映照法	481
例题 14, 6—14, 8	484
§ 14, 38. 平面有压渗流问题的近似解法	493
例题 14, 9	498
丙、平面无压渗流	500
§ 14, 39. 关于平面无压渗流问题的一般提法。边界条件	500
§ 14, 40. 平面无压渗流问题的解法	501
1° 用儒可夫斯基复数解平面无压渗流问题	502
例题 14, 10—14, 11	503
2° 用吉尔赫果夫复数解平面无压渗流问题	511
例题 14, 12	514
IV. 解渗流问题的图解法和实验法	516
§ 14, 41. 精制流网的图解法	516
§ 14, 42. 电拟法	517
§ 14, 43. 用流网解决基本的渗流问题	523

参考书刊	526
------------	-----

附录	532
----------	-----

数表

表 1. 系数 C 的数值表——根据巴甫洛夫斯基公式	532
表 2. 系数 C 的数值表——根据满宁公式	533
表 3. 系数 C 的数值表——根据福赫海墨公式	534
表 4. 系数 C 的数值表——根据巴渣公式	535
表 5. 矩形河槽中临界水深 h_k 的数值表	536
表 6—19. 函数 $\varphi(\eta)$ 的数值表—— $x=3.00, 3.10,$ $3.20, 3.25, 3.30, 3.40, 3.50, 3.60, 3.70,$ $3.75, 3.80, 3.90, 4.00, 4.50$	538—544
表 20. 函数 $F'(\tau)$ 的数值表	545
表 21. 函数 $F(\kappa)$ 的数值表	545
表 22—27. 函数 $\varphi(\xi)$ 的数值表—— $x=3.00, 3.25,$ $3.50, 3.75, 4.00, 4.50$	546—548
表 28—33. 函数 $\varphi(\zeta)$ 的数值表—— $x=3.00, 3.25,$ $3.50, 3.75, 4.00, 4.50$	549—551
表 34. 函数 $\varphi(\kappa)$ 的数值表	552
表 35. 函数 $\varphi(\kappa')$ 的数值表	552
表 36. 常用对数表	553
表 37. 三角函数表	555
表 38. 第一类完全椭圆积分数值表	559

附图

第 1 号图解 梯形河槽中流量模数 K 和底宽 b 的求解图 (在求系数 C 时用公式 $C=\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}$)

第 2 号图解 梯形河槽中流量模数 K 和水深 h 的求解图 (在求系数 C 时用公式 $C=\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}$)

第 3 号图解 梯形河槽中临界水深求解图

第 4 号图解 植柱体梯形河槽中水阻共轭水深求解图

第 5 号图解 淹没宽顶堰流量系数 m_0 的求解图

第 6 号图解 出水河槽为矩形时, 建筑物下游水面连接形式的判定和消力池深度求解图 (不计落差)
--

第 7 号图解 出水河槽为梯形时, 建筑物下游“收斂”断面水深求解图

第 8 号图解 出水河槽为矩形时, 建筑物下游“收斂”断面水深及其共轭水深求解图
--

第 9 号图解 出水河槽为矩形时, 建筑物下游消力池深度求解图 (计及落差)
--

各章中数表目录

表 B, 1. 系数 m' 的数值表	4
表 B, 2. 粗糙系数 n 值表	7
表 B, 3. 粗糙系数 γ 值表	7
表 B, 4. 指数 y 值表——根据巴甫洛夫斯基公式	8
表 1, 1. 临界底坡数值表	27
表 5, 1. 天然水道中粗糙系数 n 及 γ 数值表——根据 M. Ф. 斯里勃内依	109
表 5, 2. 天然水道中粗糙系数 n 及 γ 数值表——根据 B. B. 波良柯夫	110
表 5, 3. 天然水道中粗糙系数 n 数值表——根据 赫尔顿	110
表 7, 1. 实用堰淹没系数 σ_n 数值表	148
表 7, 2. 系数 ζ_k 及 ζ_0 数值表	149
表 7, 3. 宽顶堰的系数 φ, k, m 及 M 数值表 (当 $\alpha=1$)	151
表 7, 4. 非淹没宽顶堰的系数 ψ_0, m_0, m 及 φ 的数值表	154
表 7, 5. 按公式 $k_0=\sqrt[3]{2m_0^3}$ 计算而得的 k_0 值表	156
表 7, 6. ζ'_0 的数值表	158
表 7, 7. k_p, r 及 s 的数值表	161
表 7, 8. k_β, r' 及 s' 的数值表	161
表 7, 9. 具有斜壁之堰的 $\frac{\rho}{H}$ 与 $\text{ctg } \theta$ 的相当值表	161
表 7, 10. 具有斜壁之堰的 $\frac{\rho}{b}$ 与 $\text{ctg } \theta$ 的相当值表	161
表 7, 11. 非淹没闸孔的收缩系数 ε' 和流量系数 μ 的数值表	164
表 8, 1. 系数 φ 的数值表	180
表 8, 2. 系数 A_1 的数值表	190
表 8, 3. 系数 A_2 及 A_3 的数值表	191
表 9, 1. 最大近底流速数值表	242
表 10, 1. 公式 (10, 64) 中系数 σ_p 的数值表	276
表 10, 2. 公式 (10, 66) 中系数 k 的数值表	277

表 10, 3. 公式 (10, 66) 中含气系数 σ_a 的数值表	277
表 13, 1. ϵ_n 值的范围表	359
表 14, 1. 几种土壤的孔隙率数值表	395
表 14, 2. 温度系数数值表(据柯培)	401
表 14, 3. 公式 (14, 31) 中的系数 c_p 数值表	402
表 14, 4. 系数 β_a 的数值表	426
表 14, 5. 系数 β' 的数值表	426
表 14, 6. 比数 k'/β' 的数值表	429
表 14, 7. 系数 ϵ 数值表 [按公式 (14, 185)]	494
表 14, 8. 相应边坡系数 m 的 $\sin \theta$ 和 $\cos \theta$ 的数值表	440
表 14, 9. 函数 $f(m)$ 的数值表	454

各章中图解目录

图解 1, 1. 梯形河槽中水力指数 α_0 求解图(求系数 C 时用公式 $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}}$)	18
图解 6, 1. 陡后满段内系数 α_c 求解图	193
图解 6, 2. 矩形水平槽中水层长度求解图	194
图解 6, 3. 空间问题情形下共轭水深求解图	199
图解 7, 1. 淹没宽顶堰墩上水深求解图	156
图解 7, 2. η_0 值求解图	159

图解 7, 3. η_0 值求解图	159
图解 7, 4. 系数 A, B 及 C 求解图	160
图解 7, 5. 闸下泄流情形下非淹没矩形闸孔的计算图	168
图解 7, 6. 闸下泄流时矩形淹没闸孔计算图, 在平面问题情形下 ($\beta=1$)	167
图解 8, 1. 相当于第四临界状态的惯常水深求解图	191
图解 8, 2. $(\xi_a)'$ 及 $(\xi_a)''$ 的数值求解图	198
图解 9, 1. 水流冲刷能力系数求解图	217
图解 9, 2. 消能段长度求解图	221
图解 9, 3. 建筑物下游河槽为矩形时, 非淹没的消力槛高度求解图	280
图解 9, 4. 建筑物下游河槽为矩形时, 淹没的消力槛高度求解图	281
图解 12, 1. ξ_m 值求解图	315
图解 12, 2. ξ_n 值求解图	316
图解 12, 3. ξ_0 值求解图	317
图解 14, 1. q_r 值求解图	425
图解 14, 2. 函数 $\epsilon = f(m, B/t)$ 的数值求解图	511

緒 論

§ B^①, 1. 采用的符号和若干定义

在我們以后的叙述中將沿用下列符号:

h —水深,

h_0 —正常水深(均匀流的水深),

h_k —临界水深,

B —过水断面的頂寬,

b —过水断面的底寬,

ω —过水断面的面积,

χ —湿周,

m —边坡系数(在梯形河槽中).

R —水力半徑,

z —水流中任一点到某水平基面的鉛垂距离(特别是水面上的点子),

s —所給的水流断面到某“起算断面”的距离,

l —所論水流段的長度,

p —在水流中所給点上的水动压力,

U —在水流中所給点的速度,

V —在所給断面中的平均流速^②,

h_v —速度水头(速头),

i —河槽(水道)的槽底坡降,

i_k —河槽(水道)的临界底坡,

J —計示坡降(在明渠中即为水面坡降),

J_0 —水力坡降,

Q —流量,

q —流量率,即在矩形河槽中單位寬度上所通过的流量,

K —流量模数,

E —在所給断面中水流对于某一水平基面的平均能率(即通过所給断面的水流單位重量所具有的能量),

① 字母“B”系俄文緒論的縮写,以下公式圖表号碼中的“B”字意义同此——譯者注。

② 注意,在以后的叙述里,我們常用“在所給断面中的平均流速”,或简称“平均流速”来代替“在所給断面中水流的平均速度”,并用“流量”来代替“單位時間內的水流量”。此外,“河槽”和“水道”二詞当作具有同样的意义。

θ —断面能率,

α —河槽的水力指数,

i_f —水流在單位長度內因摩阻而生的水头(能量)損失(摩阻坡降),

h_f —水流在所給的流段範圍內因沿途受摩阻而生的水头損失,

α —計及过水断面中流速不均匀分布對於其动能之影响所用的系数(流速第一改正数),

α_0 —計及过水断面中流速不均匀分布對於其动量之影响所用的系数(流速第二改正数),

n —粗糙系数,

C —舍齐系数,

γ —液体的重率,

g —重力加速度。

茲介紹在水力学普通教程中所熟知的若干定义。

恒定流系指水流中所給点的速度和压力不随時間变化的水流。

恒定流可为均匀流或不均匀流。

均匀流系指水流的水力要素,如过水断面、水深和平均流速等,沿流不發生变化的水流(圖 B, 1); 在明渠中的均匀流,其水力坡降 J_e 、計示坡降(水面坡降) J 与槽底坡降 i 彼此相等,即:

$$J_e = J = i.$$

故在均匀流中、能率綫 $E-E$ 、計示压力綫(水面綫) $P-P$ 与槽底綫三者是互相平行的。

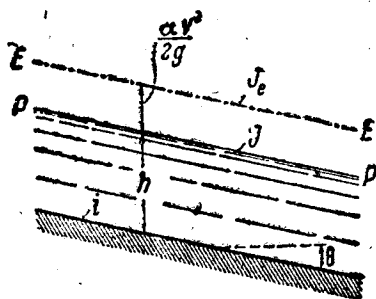


圖 B, 1.

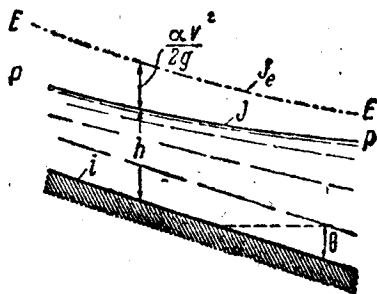


圖 B, 2.

不勻流系指一种水流,在其中:(1)或者过水断面沿流变化;(2)或者过水断面不变,而在各过水断面中諸相应点的水流速度和加速度的分布發生变化;(3)或二者都变。在不勻流(圖 B, 2)中,前述的三种坡降—— J_e 、 J 和 i ——互不相同,即

$$J_e \neq J \neq i.$$

恒定不勻流如适合下列的条件則称为徐变流:

(1)各流束的曲率甚微,因而可把它們当作直綫看待;

① 槽底坡降按下式确定:

$$i = \sin \theta.$$

式中 θ 为槽底綫对水平綫的傾角。

(2) 各流束的發散角度極小。

在此等条件下,过水断面可以当作是一平面,而且,此断面面积的沿流变化極為微小。此外,在水流平面中的分速度与分加速度俱可忽略不計,即將速度与加速度的方向看作与水流平面垂直。

还須指出一个重要的情况:只要符合上述的条件,则在过水断面上水动压力的分布服从水靜压力的定律,即在徐变流情况下,在所給断面中所有諸点对于某一水平基面的势能都相同。

§ B, 2. 关于明渠中均匀流的基本知識

1° 基本关系

在研討实际情况时,我們所遇到的明渠水流常为紊流,并且其槽底与槽壁相当粗糙,因此水流阻力与平均流速的平方成正比例。

在此等条件下,明渠中均匀流的基本方程式如下:

$$V = C\sqrt{Ri}. \quad (B, 1)$$

这是水力学中極為重要的公式,称为舍齐公式。这个公式中的系数 C 則称为舍齐系数^①。

公式 (B, 1) 常写成下列的形式:

$$i = \frac{V^2}{C^2 R}. \quad (B, 2)$$

此式表示明渠均匀流在單位長度上所損失的水头。

令

$$W = C\sqrt{R}. \quad (B, 3)$$

則公式 (B, 1) 可写成下列的形式:

$$V = W\sqrt{i}. \quad (B, 4)$$

W 具有速度的因次,称为流速模数。

如所周知,流量系由下式决定:

$$Q = \omega V, \quad (B, 5)$$

將 (B, 1) 代入上式可得:

$$Q = \omega C\sqrt{Ri}. \quad (B, 6)$$

茲引入流量模数公式^②:

$$K = \omega C\sqrt{R}, \quad (B, 7)$$

則代替公式 (B, 6) 得:

$$Q = K\sqrt{i}. \quad (B, 8)$$

注意,流量模数具有流量的因次。

① 注意,系数 C 具有加速度平方根的因次。

② “流量模数” K 有时称为“輸水能力”或“特性流量”,“流速模数” W 有时称为“特性速度”,“流速模数”和“流量模数”的名称,是 H. H. 巴甫洛夫斯基所創立。

2° 推求水流橫断面各种水力要素的公式

梯形河槽中^①，水流橫断面的各种水力要素(圖 B, 3) 用以下諸公式求之。

过水断面面积^②

$$\omega = (b + mh)h, \quad (B, 9)$$

式中

$$m = \operatorname{ctg} \varphi, \quad (B, 10)$$

此处 φ 为边坡綫与水平綫的夾角。

过水断面頂寬

$$B = b + 2mh. \quad (B, 11)$$

湿周

$$\chi = b + m'h, \quad (B, 12)$$

式中

$$m' = 2\sqrt{1 + m^2}. \quad (B, 13)$$

水力半徑

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (B, 14)$$

如引入下列关系

$$\beta = \frac{b}{h}, \quad (B, 15)$$

則公式 (B, 9)、(B, 11) 和 (B, 12) 將成下列形式:

$$\omega = (\beta + m)h^2, \quad (B, 16)$$

$$B = (\beta + 2m)h, \quad (B, 17)$$

$$\chi = (\beta + m')h. \quad (B, 18)$$

对于矩形河槽, 可令以上各式中的 $m=0$, 而对于三角形河槽, 可令 $b=0$ (或 $\beta=0$)。

在应用公式 (B, 12) 和 (B, 18) 时, 最好参考表 B, 1。

表 B, 1. 系数 m' 的数值表 [根据公式 (B, 13)]

m	0	0.20	0.25	0.33	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
m'	2.00	2.04	2.06	2.11	2.23	2.50	2.83	3.20	3.60	4.03	4.47	5.38	6.32

此外, 再介紹在若干特殊情况下求流速模数 W 和流量模数 K 的公式。

(a) 寬矩形河槽, 在此可令

$$\chi \approx b \text{ 和 } R \approx h. \quad (B, 19)$$

① “梯形河槽”意即橫断面形状为梯形的河槽; 与此相当, 我們也用“矩形河槽”, “拋物綫形河槽”等名称。

② 假定河槽底坡 i 很小, 水深 h 假定系沿鉛垂綫測量。

則有:

$$W = C\sqrt{h} \quad (\text{B, 20})$$

及

$$K = bCh^{1.5} \quad (\text{B, 21})$$

(6) 狭矩形河槽, 在此則有

$$x \approx 2h \quad \text{和} \quad R \approx \frac{b}{2} \quad (\text{B, 22})$$

因此, 在現述情况下得

$$W = C\sqrt{\frac{b}{2}} \quad (\text{B, 23})$$

及

$$K = \frac{1}{\sqrt{2}} b^{1.5} Ch \quad (\text{B, 24})$$

(B) 寬拋物綫形河槽 (圖 B, 4), 在所論情况中过水断面面积及其頂寬用下式求之:

$$\omega = \frac{2}{3} hB \quad (\text{B, 25})$$

及

$$B = 2\sqrt{2ph} \quad (\text{B, 26})$$

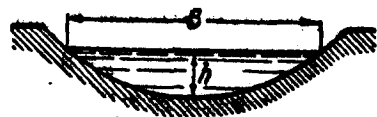


圖 B, 4.

式中 $2p$ 为拋物綫的参数。

对于寬拋物綫形河槽, 可令

$$x \approx B \quad \text{及} \quad R \approx \frac{2}{3} h \quad (\text{B, 27})$$

故得

$$W = C\sqrt{\frac{2}{3}h} \quad (\text{B, 28})$$

及

$$K = \frac{8}{3} \sqrt{\frac{p}{3}} Ch^2 \quad (\text{B, 29})$$

(r) 三角形河槽, 在此情况下, 公式 (B, 9) 和 (B, 12) 成为

$$\omega = mh^2 \quad \text{及} \quad x = m'h \quad (\text{B, 30})$$

因此,

$$R = \frac{m}{m'} h \quad (\text{B, 31})$$

由此得

$$W = C\sqrt{\frac{m}{m'}} h \quad (\text{B, 32})$$

及

$$K = m\sqrt{\frac{m}{m'}} Ch^{2.5} \quad (\text{B, 33})$$

3° 推求系数 C 的公式

上列諸公式中的系数 C 在实际計算中極為重要, 因此其数值应力求精确。系数 C 的数值与河槽底壁的粗糙程度及河槽的形状和尺寸都有关系。

有很多推求系数 C 的經驗公式。关于这些公式的足够全面的介紹可參看一般的水力学書籍。这里仅介紹其中几种公式, 注意, 以下所举的公式都是米制^①。

(a) 單項式公式 在單項式 (指数式) 公式中, 首先介紹 H. H. 巴甫洛夫斯基 (Павловский) 的完全公式, 这是他把極广泛的实验資料加以整理而得的结果。这些資料牽涉到各种尺寸和各种粗糙系数的渠道。

此公式的形式如下:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (\text{B}, 34)$$

式中 R 为水力半径;

n 为与河槽底壁粗糙程度有关的系数;

y 为指数, 与 R 及 n 有下列的关系:

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10). \quad (\text{B}, 35)$$

H. H. 巴甫洛夫斯基的公式 (B, 34) 适用于 $0.1 \leq R \leq 8$ (米) 的明渠。在近时苏联文献中也有提到經驗公式 (B, 34) 可以应用到 $R = 5.0$ 米的^②。

为作概略計算, H. H. 巴甫洛夫斯基又将公式 (B, 35) 稍加簡化, 而令指数 y 等于下值:

当 $0.1 \text{ 米} < R < 1 \text{ 米}$ 时,

$$y = 1.5\sqrt{n}, \quad (\text{B}, 36)$$

当 $1 \text{ 米} < R \leq 8 \text{ 米}$ 时,

$$y = 1.3\sqrt{n}. \quad (\text{B}, 37)$$

在工程实践中常用指数 y 具有常数值 ($y = \frac{1}{6}$ 及 $y = \frac{1}{5}$) 的單項式。

設在公式 (B, 34) 中, 令 $y = \frac{1}{6}$, 則得滿宁公式:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}. \quad (\text{B}, 38)$$

在公式 (B, 34) 中, 令 $y = \frac{1}{5}$, 則得福赫海墨公式:

① 本書所列举的經驗公式, 包括推求系数 C 的公式在內, 都系假定流动的液体为水。

② 可參閱 A. A. 烏根秋斯 (Угличев) 的書[參 133]。 (“參”字系書末所附參考文獻的簡称——譯者注)。

关于公式 (B, 34) 的适用范围, 这里最好引用 H. H. 巴甫洛夫斯基在他晚近的著作[參 88]里所作的說明。

在 H. H. 巴甫洛夫斯基这本著作的第 142 頁写道: “說到 $R > 3.0$ 米的数值, 对于这个, 我們并未拥有足够的实验資料, 而只有个别几个实验点, 那是不能够把它們納入到任何一个确定的关于指数 y 的公式里去的”。

又在同書第 148 頁写道: “后面两个公式 (这里是指滿宁和福赫海墨公式) 有时也在 $R > 3.0$ 米时采用, 但必須承認, 这样做, 实际上是在足够的实验資料范围以外实行‘外插’, 这只是作为初步計算方法才能允許, 像这样的有限制条件的类似的‘外插’, 也可以适用于我們的公式”。

表 B, 2. 粗糙系数 n 值表

等级	槽 壁 种 类	n	$\frac{1}{n}$
1	塗复玢瑁或釉質的表面。極精細飽光而拼合良好的木板	0.009	111.1
2	飽光的木板。純粹水泥的粉飾面	0.010	100.0
3	水泥(含 $\frac{1}{8}$ 細沙)粉飾面。潔淨(新)的陶土、鑄鐵管和鋼管,安置和接合良好的	0.011	90.9
4	未飽的木板,而拼合良好的。在正常的情况下內無显著积垢的給水管;極潔淨的排水管,極好的混凝土面	0.012	83.3
5	琢石砌体;極好的磚砌体;正常情况下的排水管;略微污染的給水管;未飽的木板,非完全精密拼合的	0.013	76.9
6	“污染”的給水管和排水管;一般的磚砌体;一般情况下渠道的混凝土面	0.014	71.4
7	粗糙的磚砌体,未琢磨的琢石砌体,有潔淨修飾的表面,石块安置平整;極污垢的排水管。木板条面上鋪防水布	0.015	66.7
8	普通塊石砌体,其狀況滿意的;旧(破)磚砌体;較粗糙的混凝土工;光滑的开鑿得極好的崖岸	0.017	58.8
9	复有堅厚淤泥層的渠槽;用致密黃土和致密卵石做成而为整片淤泥薄層所复蓋的(均無不良情况的)渠槽	0.018	55.6
10	很粗糙的塊石砌体;用大塊石的干砌体;碎石鋪筑面。純由岩石中开鑿的渠槽。由黃土、堅密卵石、和致密泥土做成而为淤泥薄層所复蓋的渠槽(正常情况)	0.020	50.0
11	尖角的大塊乱石鋪筑;表面經過普通处理的岩石渠槽;致密粘土渠槽。由黃土、卵石和泥土做成而非为整片的(有些地方斷裂的)淤泥薄層所复蓋的渠槽;大型渠槽受到中等以上的养护与修理的	0.0225	44.4
12	大型土渠受到中等养护和修理的;小型土渠受到良好的养护和修理的。在有利条件下的小河和溪澗(自由流动無淤塞和显著水草等)	0.025	40.0
13	中等条件以下的大渠槽,中等条件的小渠槽	0.0275	36.4
14	条件較坏的渠道和小河(例如有些地方有杂草和乱石或显著的茂草,有局部的界坡等)	0.030	33.3
15	条件很坏的渠道和小河,断面不規則,大大地受到石块和水草的阻塞等	0.035	28.6
16	条件特坏的渠道和小河(沿河有崩崖和巨石,綿密的树根,深潭,坍岸,丰茂的蘆葦等)	0.040	25.0

表 B, 3 粗糙系数 γ 值表

等 级	槽 壁 种 类	γ
1	很光滑的槽壁(水泥粉飾面,飽光木板)	0.06
2	光滑槽壁(木板、磚砌体、琢石砌体)	0.16
3	潔淨的塊石砌体	0.46
4	中等岩类,粗糙的塊石砌体;致密土漿筑成的很規則的槽壁(鋪筑槽壁)	0.85
5	普通情况的土槽	1.30
6	有特殊阻滯的土渠	1.75

表 B, 4. 指数 y 值表, 根据巴甫洛夫斯基公式:

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1)$$

$\begin{matrix} n \\ R, \text{米} \end{matrix}$	0.011	0.012	0.013	0.014	0.017	0.020	0.0225	0.025	0.0275	0.030	0.035	0.040
0.10	0.181	0.142	0.152	0.161	0.189	0.214	0.233	0.251	0.269	0.286	0.317	0.346
0.20	0.181	0.141	0.150	0.160	0.186	0.210	0.229	0.246	0.263	0.278	0.310	0.336
0.40	0.130	0.140	0.149	0.157	0.182	0.204	0.221	0.238	0.254	0.268	0.297	0.323
0.60	0.129	0.139	0.147	0.155	0.179	0.200	0.216	0.232	0.247	0.261	0.288	0.312
0.80	0.129	0.138	0.146	0.154	0.176	0.196	0.211	0.227	0.241	0.254	0.280	0.303
1.00	0.129	0.137	0.145	0.152	0.173	0.192	0.208	0.221	0.236	0.248	0.273	0.295
1.50	0.128	0.135	0.141	0.149	0.168	0.186	0.199	0.212	0.224	0.236	0.258	0.278
2.00	0.127	0.134	0.140	0.146	0.164	0.180	0.192	0.204	0.215	0.226	0.246	0.264
2.50	0.126	0.133	0.139	0.144	0.160	0.174	0.185	0.197	0.208	0.216	0.235	0.251
3.00	0.126	0.132	0.137	0.142	0.156	0.170	0.180	0.190	0.199	0.208	0.225	0.240
3.50	0.125	0.131	0.135	0.140	0.153	0.166	0.176	0.183	0.192	0.200	0.208	0.230
4.00	0.125	0.130	0.134	0.138	0.150	0.162	0.170	0.178	0.185	0.193	0.201	0.220
4.50	0.124	0.129	0.133	0.137	0.148	0.158	0.165	0.173	0.179	0.185	0.197	0.211
5.00	0.124	0.128	0.132	0.135	0.145	0.154	0.161	0.168	0.175	0.180	0.192	0.202

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{B}, 39)$$

显然, 公式 (B, 38) 及 (B, 39) 系 H. H. 巴甫洛夫斯基公式的特殊情况。

(6) 多项式公式 在多项式公式中, 这里仅介绍巴清公式和岡果立一庫特公式。

巴清公式:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}, \quad (\text{B}, 40)$$

式中 γ 系与河槽底壁粗糙程度有关的系数。

岡果立一庫特公式:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}, \quad (\text{B}, 41)$$

式中 n 系与公式 (B, 34)、(B, 38) 及 (B, 39) 中相同的系数;

i 为槽底坡降。

粗糙系数 n 及 γ 之值见表 B, 2 及表 B, 3。

單項式公式較多項式公式方便, 故在工程实践中得到相当广泛的采用。

我們推荐 H. H. 巴甫洛夫斯基的完全公式作为推求系数 C 的主要計算式, 此公式可用以求定各种粗糙系数和各种尺寸河槽的系数 C 。

当粗糙系数的計算值选取得相当概略, 以及在初步計算情况下, 采用 H. H. 巴甫洛夫斯基的簡式完全适宜, 并可采用指数 y 等于常数的公式。在此, 每种公式的适用范围必須限于相当种类的河槽, 其粗糙系数及水力半径变化于一定范围之內的。在选择指数 y 的計算数值时, 可以推荐表 B, 4 中的数据, 其中所列系按照 H. H. 巴甫洛夫斯基公式 (B, 35) 計算所得的指数 y 之