

高等学校教学用书

水 力 学

下 册

И. И. 阿格罗斯金
Г. Т. 季米特里耶夫 著
Ф. И. 皮卡洛夫

高等教育出版社

高等学校教学用书



水 力 学

下 册

江苏工业学院图书馆

II. 皮卡洛夫

天津大学水利系水力学教研室

藏书章

高等教育出版社

本書系根据蘇聯國立動力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的阿格羅斯金(И. И. Агроскин)、季米特里耶夫(Г. Т. Дмитриев)和皮卡洛夫(Ф. И. Пикалов)合著的“水力學”(Гидравлика)一書 1954 年修訂第三版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為水利土壤改良學院和系的教科書,以及土建學院水利工程系的教學參考書。本書也可供水利工程和土壤改良方面工程技術人員作為水力計算的實用參考書。

中譯本分上下兩冊出版。

原書的 1950 年第二版曾由天津大學水利系水力学教研室與清華大學水利系水力学教研組合譯,由商務印書館出版。這次由天津大學水利系水力学及水文學教研室根據修訂第三版重譯,並適當地參考了上一次譯本的有關部分,改由我社出版。

水 力 學

下 冊

И. И. 阿格羅斯金等著

天津大學水利系水力学及水文學教研室譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 號
(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 號)

上海新華印刷廠印刷 新華書店發行

統一書號 15010·566 開本 850×1168 1/32 印張 13 6/16
字數 459,000 印數 3,801—5,300 定價(4) 2.00
1954 年 4 月第 1 版 1958 年 12 月第 1 版(修訂本)
1960 年 1 月上海第 3 次印刷

下册目录

第十七章 棱柱形河槽内液体的非均匀稳定流动	393
17-1. 正底坡 ($i > 0$) 的棱柱形河槽内自由水面的形式	393
17-2. 逆坡或平底 ($i < 0$ 或 $i = 0$) 的棱柱形河槽内自由水面的形式	402
17-3. 棱柱形河槽内水流不均匀性的准则	403
17-4. ϵ 及 II_c 二量的计算	404
17-5. 关于液体非均匀流动方程式积分的概論	411
17-6. 棱柱形河槽内非均匀流动微分方程式的解法	413
17-7. 根据方程式 (17-23) — (17-28) 计算壅水曲线及降水曲线	416
17-8. 叠加法	427
第十八章 非棱柱形河槽中液体稳定的非均匀渐变流动	436
18-1. 对于任意形状河槽的解算	436
18-2. 非棱柱形河槽内具有不变水深的液体运动方程式	439
18-3. 水深不变、 $i \neq 0$ 的梯形非棱柱形河槽内液体运动方程式的积分	443
18-4. $i = 0$ 的非棱柱形梯形河槽内水深不变时的液体运动方程式的积分	454
第十九章 天然河槽内自由水面曲线的繪制	457
19-1. 天然河槽中水流运动特性概論	458
19-2. 天然河槽的粗糙系数	459
19-3. 天然河槽内壅水曲线和降水曲线的一般计算方法	462
19-4. 天然河流内自由水面曲线的特种计算方法	467
第二十章 明渠水流中的泥沙运动	481
20-1. 一般概念	481
20-2. 泥沙水力粗度 (泥沙沉降速度) 的概念	482
20-3. 推移质泥沙的运动	485
20-4. 悬移质泥沙运动、不淤流速	496
20-5. 泥沙沿水深的分布	502
20-6. 泥沙的淤积	507
第二十一章 泥浆运动	513
21-1. 一般概念	513
21-2. 无压输泥道的计算	517
21-3. 压力输泥管的计算	524

第二十二章 河渠中的不稳定流	532
22-1. 基本概念和定义	532
22-2. 河渠中缓变不稳定流的微分方程式	534
22-3. 用特性法解算缓变不稳定流的方程式	536
22-4. 特性微分方程式的变换	540
22-5. 根据有限差量方法绘制特性网	543
22-6. 起始特性的方程式	543
第二十三章 水跃	563
23-1. 一般概念	563
23-2. 水跃的结构	565
23-3. 水跃的类型	568
23-4. 完全水跃	570
23-5. 水跃函数及其图解	573
23-6. 棱柱形河槽中水跃共轭水深的计算	576
23-7. 矩形河槽中水跃共轭水深的确定	580
23-8. 完全水跃的试验研究	582
23-9. 水跃波	583
23-10. 水跃长度	585
23-11. 变断面河槽中的水跃	587
23-12. 水跃的能量损失	592
23-13. 棱柱形渠道底坡由 $i > i_{KP}$ 变为 $i < i_{KP}$ 时的水流衔接	595
第二十四章 堰	599
24-1. 概论	599
24-2. 无侧收缩溢流的宽顶堰	603
24-3. 宽顶堰的淹没准则	607
24-4. 水流有侧收缩的宽顶堰	616
24-5. 宽顶堰溢流的运动方程式应用于水工建筑物的计算	620
24-6. 矩形锐缘堰	624
24-7. 锐缘完全堰的计算方程式	626
24-8. 锐缘淹没堰	629
24-9. 锐缘堰上侧收缩的影响	632
24-10. 锐缘三角堰	634
24-11. 梯形锐缘堰	635
24-12. 抛物线形锐缘堰	636
24-13. 曲线形实用断面堰	637
24-14. 曲线形非真空断面的绘制	639
24-15. 曲线形非真空断面堰的流量系数	643

24-16. 曲綫形真空断面堰	645
24-17. 伸展式曲綫形断面堰	649
24-18. 直綫形实用断面堰	650
24-19. 堰頂水舌側收縮的計算	653
24-20. 实用断面堰的淹沒	655
24-21. 側堰和斜堰	659
第二十五章 溢下水舌与下游水流銜接的計算	663
25-1. 过堰水舌与下游水流的銜接	663
25-2. 收縮断面水深及其共軛水深的确定	665
25-3. 壩趾有垂直跌坎时与下游的銜接	670
25-4. 渠槽突然放大时上下游的銜接	677
第二十六章 閘門孔口的水力計算	683
26-1. 渠槽中閘門下的自由出流	685
26-2. 閘門下非自由出流	688
26-3. 壩頂閘門下的出流	696
第二十七章 水工建筑物下游由急流到綫流的改变	699
27-1. 概論	699
27-2. 水跃下移長度的确定	701
27-3. 消力塘的水力計算	703
27-4. 消力檻的水力計算	711
27-5. 綜合消力塘的水力計算	714
27-6. 設計流量的規定	719
第二十八章 銜接建筑物的水力計算	721
28-1. 跌水、單級跌水的水力計算	721
28-2. 多級跌水的水力計算	728
28-3. 陡槽的水力計算	735
28-4. 人工粗糙的陡槽的水力計算	740
28-5. 悬槽的水力計算	759
第二十九章 液体的势流	775
29-1. 势流或无旋运动的基本公式	775
29-2. 关于液体平面运动及流函数的概念	779
29-3. 平面势流运动的最簡單情况	782
29-4. 最簡單的平面势流的叠加. 鏡面映象法	787
29-5. 关于液体势运动的解析解	800
29-6. 复势或水流的特性函数	803
第三十章 地下水运动	807

30-1. 地下水及其运动形式	807
30-2. 土壤的物理性質和它們在透水性方面的分类	808
30-3. 渗流定律	812
30-4. 关于渗透系数	816
30-5. 地下水均匀运动方程式	817
30-6. 地下水緩变运动自由表面曲綫的計算	820
30-7. 地下水井	840
30-8. 集水廊道	850
30-9. 經過矩形圍堤的渗透	851
30-10. 經過水平不透水地基上梯形剖面土壩的渗透	851
30-11. 地下水动力学基本方程式	859
30-12. 水平基底情形下稳定无压地下水漸变运动方程式	860
30-13. 地下水的平面稳定运动	863
30-14. 边界条件	864
A. 源点法和匯点法	865
30-15. 水井	865
B. 复变函数的方法	871
30-16. 有限源点綫	871
30-17. 以水平不透水層为底的基坑及壑沟	876
30-18. 无限深渗水地基上的平面底板	878
B. 保角映象法	882
30-19. 一般原理	882
30-20. 巴甫洛夫斯基正規矩形的概念	885
30-21. 无限深渗水地基上无板樁的平面底板	888
30-22. 无限深渗水層上有板樁的平面底板	891
Г. 茹可夫斯基方法	893
30-23. 基本定义	893
30-24. 由曲綫形渠道中之自由渗流	895
30-25. 解算地下水平面流动問題的近似方法	898
30-26. 比拟法	902
第三十一章 模型試驗原理	912
31-1. 水力学現象的模型試驗. 相似律	912
31-2. 相似准則	916
31-3. 水力現象模型設計的条件	926
31-4. 几何变态模型的设计	929
31-5. 悬浮質及推移質泥沙組成的选择及其模型設計	932
31-6. 河槽中局部冲刷的模型試驗	939
附录	952

第十七章 棱柱形河槽内液体的 非均匀稳定流动

我們在上一章里研討了有关液体均匀流动的一些問題。如已經指出的,在整个水流長度完全一致的棱柱形河槽內,如果沒有任何局部阻力或任何足以破坏水流运动的原因时,均匀流动是可能發生的。

但如果在河槽內某一地点,例如建筑了壩(圖 17-2)或是修建了跌坎(跌水)(圖 17-3),則在河槽中便将發生非均匀流动,而不是均匀流动。同时按照破坏均匀流的原因,或者是水流流速沿流减小而水深沿流增加,或者是相反地流速增加而水深减小。

在水深連續变化的河段上,自由水面的水位只有下降。

我們首先来分析一下棱柱形河槽內非均匀流动的自由水面可能具有的各种形式。

我們指出,因为非均匀流动是由均匀流动改变来的,而又力求恢复均匀流动,所以它的正常水深綫就总是自由水面曲綫的漸近綫。

17-1. 正底坡($i > 0$)的棱柱形河槽內自由水面的形式

为了便于分析,我們利用下列形式的非均匀流动方程式来代替(15-8)式:

$$\frac{dh}{dl} = i \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K}\right)^3}{1 - H_x}, \quad (17-1)$$

我們还記得在水流为临界状态时,判別数 $\Pi_{\kappa} = \frac{\alpha v^2}{gh_{cp}}$ 的数值等于 1, 在緩流状态时小于 1, 并且在急流状态时大于 1。

应当指出,在本章以及以后,所有属于均匀流动的一切要素的下标将均用“0”号来标注,以区别于非均匀流动里各同样的要素。

很明显,在方程式(17-1)中,无论是分子或分母,都是可以由零变到正号或負号的量。如果分子等于零,则符合于前几章已經討論过的均匀流动的情形。此时 $\frac{dh}{dl} = 0$, 自由水面綫是一条与槽底平行的直綫。

頗饶兴趣的是当所討論方程式的分母趋近于零 ($\Pi_{\kappa} \rightarrow 1$) 时的情况。此时 $\frac{dh}{dl} \rightarrow \infty$, 自由水面綫将突然升高起来。这种突出的現象叫做水跃,并且每当水流由急流状态过渡为緩流状态的时候都要發生的,今后将在專章內加以詳細的討論。

在当(17-1)式的分子和分母均不为零的所有其他情形下,导数 $\frac{dh}{dl}$ 将等于某一正数或某一負数,視(17-1)式右方分子和分母

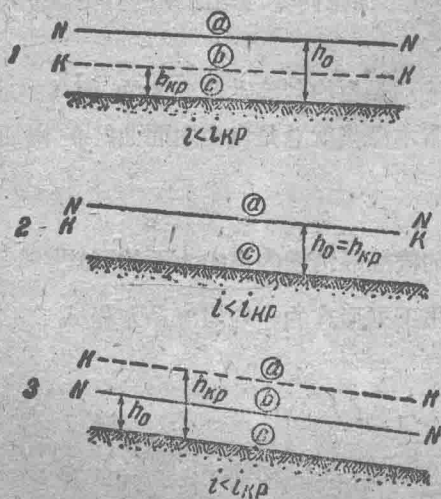


圖 17-1

的符号的配合而定。在这些情形下,水深将沿流逐渐連續地增加或是减小,而自由水面水位则一定是沿水流方向而降低的。

当水深沿流逐渐增加时,表示存在有壅水曲綫,而水深沿流减小时,则表示存在有降水曲綫。因此,对于液体的非均匀流动,可以分

为两种基本的自由水面曲线形式：

(1) 壅水曲线；

(2) 降水曲线。

按照形成这些基本形式的水面曲线的环境及条件，可以指出其中某些能够给出更详细分类的补充特性。

我们来研究具有固定流量 Q 的水流。根据河槽底坡的大小，在均匀流动（图 17-1）时这种水流可以处于不同的状态中：

(1) 缓流状态 ($h_0 > h_{kp}$)；

(2) 临界状态 ($h_0 = h_{kp}$)；

(3) 急流状态 ($h_0 < h_{kp}$)。

当水流运动的均匀性一经破坏（例如由于在河槽内修建了某些建筑物），则将形成某一种壅水曲线或降水曲线的自由水面。

为了表征形成自由水面曲线的条件，在 $i > 0$ 的任一水流内，我们定出由 h_0 及 h_{kp} 两个数值所划分开来的一些区域。

为此，我们在河槽的纵断面图上（图 17-1），画出两条线与河槽底线平行：正常水深线— NN 和临界水深线— KK 。

此时可以说有三个区域，可以在那里安排自由水面曲线：

a 区——既高于正常水深线又高于临界水深线；

b 区——在正常水深线和临界水深线之间；

c 区——既低于正常水深线，又低于临界水深线。

若 $i = i_{kp}$ ，则 NN 线及 KK 线重合，因而在此情形下将只有两个区：a 区及 c 区。

因此，对于 $i > 0$ 的水流，可以说有八种形成自由水面曲线的可能情况，这正是我们所要讨论的。

I. 在均匀流动时处于缓流状态的水流。

1. $i < i_{kp}$ ； $h > h_0 > h_{kp}$ 。假设在水流内由于建筑了障碍物（壩）而使均匀流动转变为减速的非均匀流动（图 17-2）。这时

水深和过水断面也将沿流变化 ($h > h_0$; $\omega > \omega_0$; $K > K_0$)。因此,由(15-6)得知,运动参变数 Π_K 将有所减小,并越来越小于1 ($\Pi_K < 1$)。

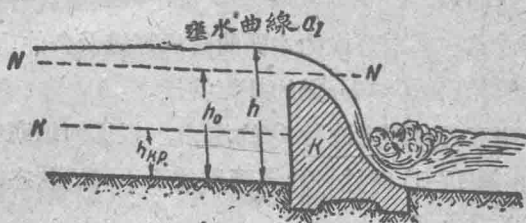


圖 17-2

回到方程式(17-1), 因为

$$\frac{dh}{dl} = \frac{+\text{分子}}{+\text{分母}} > 0,$$

于是我們得出結論, 即水深沿流向增加。

整个自由水面曲线落在 a 区内(圖 17-1, 1), 具有凹曲线形式, 叫做 a_1 型壅水曲线。

当 h 及 K 增大时, 分数的分子将趋近于1, Π_K 趋近于可以忽略的、較1小得多的数值, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow i$ 。这就是說, 这种壅水曲线的下游部分系以水平线为其渐近线。

若 $h \rightarrow h_0$, 則 $K \rightarrow K_0$, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$, 也即曲线的上游部分以

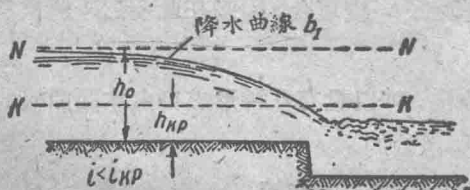


圖 17-3

正常水深线 NN 为渐近线。我們看出, 由于建筑物而形成的壅水在理論上是傳播到无穷远处的。在工程計算中, 确定壅水曲线

的长度都是由建筑物起到水深 h 相当接近于(由实用观点来看)

正常水深的某一断面处为止。

2. $i < i_{KP}$; $h_0 > h > h_{KP}$ 。在圖 17-3 上所示的水流中, 由于跌水的存在, 均匀流动遭受破坏并变为加速的非均匀流动。

在此情形下, 我們有: $h < h_0$; $K < K_0$, 并且和所有緩流情形一样, $\Pi_x < 1$ 。方程式 (17-1) 指出

$$\frac{dh}{dt} < 0,$$

即水深将沿流向减小, 也可以指出, 在此情形下, 整个自由水面曲线将落在一个 b 区的范围内 (圖 17-1), 也即是說, 在曲线終点处的水深将不会降低到比临界水深更低。我們已經知道, 这种情形是由于在水流的緩流状态下, 断面單位能量乃是随水深之减小而减小的, 并且正好在临界水深处达到了可能的最低值。

这种整个落在 b 区内的自由水面曲线有着凸曲线的形式, 叫做 b_1 型降水曲线。

对于这种曲线当 $h \rightarrow h_0$ 时, 由方程式 (17-1) 我們得到 $\frac{dh}{dt} \rightarrow 0$, 亦即正常水深线为其渐近线。水面降落的起点位于无限远处, 因而在前一节所說明的关于曲线长度的考虑, 在本情形下仍然有效。

3. $i < i_{KP}$; $h_0 > h_{KP} > h$ 。在圖 17-4 上表示 $i < i_{KP}$ 的一段河道, 該段水流在正常均匀流动条件下处于緩流状态。但由于某些初始条件的影响, 例如过

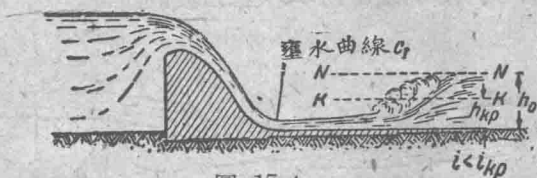


圖 17-4

壅溢流或閘門下的出流, 結果水流系以急流状态流入河槽。

当水流进入所討論的河段时, 并不能繼續保持它在以前所已达到的速度, 因而流动将变成不均匀的(减速)流动。水流深度亦将增加而呈現壅水曲线。曲线一开始即在 c 区内。从断面單位能

量变化的分析中可以断定,連續緩变地形成壅水曲线的情形应该仅限于 c 区范围以内。而水流由急流(c 区)进入该段下游一般所谓缓流状态时,乃是以跃进的方式而进行过渡的,这种现象称为水跃。

位于 c 区的壅水曲线(圖 17-1, 1)具有下凹的形式,称为 c_r 型壅水曲线。

II. 在均匀流动时处于急流状态的水流($i > i_{KP}; h_0 < h_{KP}$)。

以上我們曾經詳細地講述了一些各別情况以便說明現象的物理性質,对于其余的壅水曲线及降水曲线的情况,我們將比較簡短地来分区加以研究,我們已經知道每一个自由水面曲线仅能在它自己的区間內連續地形成。

1. $i > i_{KP}; h > h_{KP} > h_0$ 。壅水曲线位于 a 区(圖 17-1, 3); $K > K_0$; $\Pi_K < 1$ 。从而由方程式(17-1)可以看出, $\frac{dh}{dt} > 0$, 也即水深沿着壅水曲线而增加,該曲线叫做 a_{II} 型壅水曲线。曲线有着上凸的形式,它的下游部份以水平线为渐近线,因为在 $h \rightarrow \infty$ 时, $\frac{dh}{dt} \rightarrow i_0$ 。

水流由均匀流动的急流状态进入壅水曲线上的缓流状态(圖 17-5)是以水跃的形式突然过渡的。

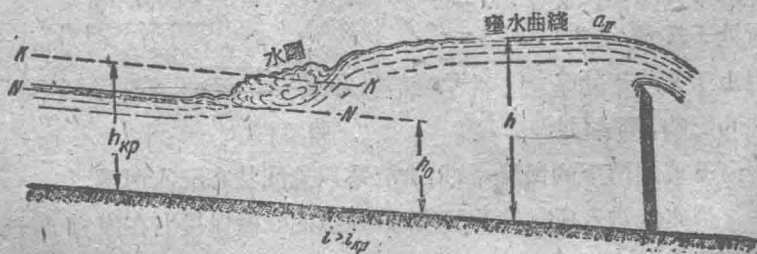


圖 17-5

2. $i > i_{KP}$; $h_{KP} > h > h_0$ 。曲线位于 b 区内 (圖 17-1, 3), 曲线段内的水流深度大于正常水深而小于临界水深。于是 $\Pi_K > 1$, $K > K_0$, 而方程式 (17-1) 给出 $\frac{dh}{dl} < 0$ 。因而在此情形下, 水深沿流减小, 同时我們有一 b_{II} 型的降水曲线 (圖 17-6)。

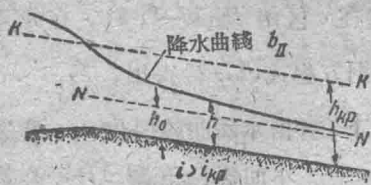


圖 17-6

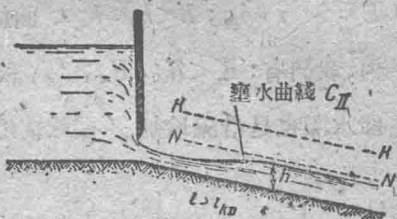


圖 17-7

曲线具有下凹的形式, 并在 $h \rightarrow h_0$ 时以正常水深线为渐近线。

3. $i > i_{KP}$; $h_{KP} > h_0 > h$ 。曲线在 c 区内 (圖 17-1, 3)。在曲线段内的水深既小于正常水深, 又小于临界水深。结果 $K < K_0$, 而 $\Pi_K > 1$, 同时根据 (17-1) 得到: $\frac{dh}{dl} > 0$ 。因此, 水深沿流增加并得出 c_{II} 型壅水曲线 (圖 17-7)。曲线具有上凸的形式; 沿流向下, 它以正常水深线 NN 为渐近线, 因为当 $h \rightarrow h_0$ 时, 根据 (17-1) 我們有: $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$ 。

III. 均匀流动时处于临界状态的水流 ($i = i_{KP}$; $h_0 = h_{KP}$)。

在所讨论的情形中 (圖 17-1, 2) 只有两个区域: a 区及 c 区,

因而只能有两种自由水面曲线的形式。



圖 17-8

1. $i = i_{KP}$; $h > h_0 = h_{KP}$ 。曲线在 a 区内 (圖 17-1, 3)。在此区内, 水深既大于临界水深, 又大于

正常水深, 于是 $K > K_0$, 而 $\Pi_\kappa < 1$ 。因此, 根据(17-1), 我們有: $\frac{dh}{dl} > 0$, 也即水深将沿流增加。在本情形下的 a 区中将形成 a_{III} 型的壅水曲线。这样的曲线是以临界的均匀流动在壅水的情形下所形成的(圖 17-8)。

2. $i = i_{kp}$; $h < h_0 = h_{kp}$ 。曲线在 c 区内(圖 17-1, 2)。在此区内, 我們有: $K < K_0$, $\Pi_\kappa > 1$ 。根据方程式(17-1)得出, $\frac{dh}{dl} > 0$, 即水深也是沿流增加。在此情形下, 自由水面曲线叫做 c_{III} 型壅水曲线。

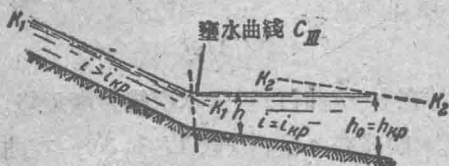


圖 17-9

在圖 17-9 的条件下, 如果泄水槽坡度等于临界坡度, 结果就是这种壅水曲线。

对于后两种曲线, 我們有: 当 $h \rightarrow h_{kp}$ 时, $K \rightarrow K_0$

(因为 $h_0 = h_{kp}$), $\Pi_\kappa \rightarrow 1$, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$ 。为了解析这个不定式, 我們給予方程式(17-1)以新的形式。

讓我們提一下, Π_κ 数是用实际流速 v 来表示的, 而流速 v 的形成则是水流运动具体条件的结果, 并且无论是在壅水或是降水情形下,

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{K_0 \sqrt{i}}{\omega},$$

式中 K_0 是計算的特性流量, 等于 $\frac{Q}{\sqrt{i}}$ 。

如果在所給的过水断面中, 流过同样水深也即是同样断面积 ω 的水流, 但它不处于壅水或降水状态而是处于均匀流状态, 則它的流速便会是另一个流速, 它等于:

$$v' = \frac{K \sqrt{i}}{\omega},$$

式中 K 是随着每一断面而不同的特性流量, 等于 $K = \omega C \sqrt{R}$ 。

Π_{κ} 数在此情形下便会等于:

$$\Pi'_{\kappa} = \frac{\alpha K^2 i}{\omega^2 g h_{cp}}$$

我們写出已知水流断面的实际 Π_{κ} 数和同一过水断面而处于均匀流动条件下的 Π'_{κ} 数之間的比例:

$$\frac{\Pi_{\kappa}}{\Pi'_{\kappa}} = \left(\frac{K_0}{K} \right)^2,$$

或

$$\Pi_{\kappa} = \Pi'_{\kappa} \cdot \left(\frac{K_0}{K} \right)^2. \quad (17-2)$$

于是可以把(17-1)改写为下面形式:

$$\frac{dh}{dl} = i \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K} \right)^2}{1 - \Pi'_{\kappa} \left(\frac{K_0}{K} \right)^2}.$$

然后, 利用数学上周知的求 $\frac{0}{0}$ 型不定式的規則, 我們写出:

$$\lim \left| \frac{dh}{dl} \right|_{\kappa \rightarrow K_0} = i \frac{f' \left[1 - \left(\frac{K_0}{K} \right)^2 \right]}{f' \left[1 - \Pi'_{\kappa} \left(\frac{K_0}{K} \right)^2 \right]};$$

并求出方括弧内表示式的一次导数, 近似地認 Π'_{κ} 为常数, 則得:

$$\lim \left| \frac{dh}{dl} \right|_{\kappa \rightarrow K_0} = \frac{1}{\Pi'_{\kappa}} \cdot i.$$

当水深趋近于 h_{cp} 时, 如所周知, Π'_{κ} 值将趋近于1, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow i$, 而 a_{III} 及 c_{III} 型壅水曲线将趋近于水平位置。所討論两条自由水面綫的曲率非常不显著, 因而在实际上可以認为这种情形下的自由水面曲线几乎是水平的。

17-2. 逆坡或平底 ($i < 0$ 或 $i = 0$) 的棱柱形河槽内自由水面的形式

在以上所讨论的正底坡河槽内,当重力沿运动方向所做的功只消耗于克服水流阻力的时候,液体的均匀流动就能实现。

在 $i = 0$ 或 $i < 0$ 的河段上,重力在运动方向的分量或等于零(平底段),或甚至是负值(逆坡段)。

所以很明显,在平底河段或逆坡河段上,液体的均匀流动一般是不可能的。因而在这种河段上,也正和所有其他情形一样,只有依靠在流进所讨论河段以前的原有的水流能量 E , 液体的流动才有可能。

水流的单位能量 E , 由于克服阻力而有所消耗,将随液体的行进而减小。断面单位能量 \mathcal{G} , 如在 §15-4 已经说明的一样,也将减小。

因而此时液体的流动将完全决定于水流流入已知段内的开始条件。自由水面的可能形式也将视这些条件而定。

首先指出,水流在临界状态下流入 $i = 0$ 或 $i < 0$ 的河段在实际上是不可能的,因为在此状态下,水流的单位能量是最小的,因而也就无法供给能量来克服前面即将遇到的阻力。所以很明显,水流只有在缓流或急流状态下才能流入平底河段或逆坡河段。我们来研究这两个实际上可能的方式。

1. 缓流状态的水流 ($h > h_{cr}$)。在这种水流内,断面单位能量的特性是用曲线 $\mathcal{G} = f(h)$ 的上枝来表示的(图 15-4)。同时大家知道,缓流中的断面单位能量只有在水深沿流减小时才减小。从而甚易得出结论,即在此情形下,在水平河段上,特别是在逆坡河段上,将要出现唯一可能的水深沿流减小的运动形式。

因此可以确定,流入 $i = 0$ 或 $i < 0$ 的河段内的水流,在缓流状