

高等學校教學用書

水 力 學

下 冊

И. И. АГРОСКИН 著

清華大學水力學教研組
天津大學水利系水力學教研室 譯

商 務 印 書 館

高等學校教學用書



水 力 學

下 冊

И. И. 阿格羅斯金 著

清華大學水力學教研組 譯
天津大學水利系水力學教研室

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯動力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的阿格羅斯金(И. И. Агроскин)著“水力學”(Гидравлика)1950年修正增訂版(第二版)譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為農田水利學院和農田水利系的教科書，以及建築學院水利工程系的教學參考書。同時，本書也可供水利工程和農田水利方面工程技術人員用作水力計算的實用參考書。

全書中譯本分上下兩冊出版，此為下冊。

本書由清華大學水力學教研組與天津大學水利系水力學教研室合譯。

水 力 學

下 冊

清華大學水力學教研組等譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上海天通菴路一九〇號

(15017·25)

1954年4月初版

開本850×1168 1/32

1956年7月3版

字數397,000

1956年7月上海第1次印刷

印數9,001—12,000

印張15

定價(10) 2.20

下 冊 目 錄

第十六章 稜柱體渠道中穩定的非均勻流動385

- 16-1 正坡渠底($i>0$)的稜柱形渠道中自由水面的形式385
- 16-2 反坡或平底的稜柱形渠道中自由水面的形狀($i<0$ 或 $i=0$)393
- 16-3 稜柱形渠道中水流不均勻的準則394
- 16-4 非均勻流方程式積分概論400
- 16-5 稜柱形渠道非均勻流的微分方程式的解法401
- 16-6 按方程式(16-19) — (16-24)作迴水曲線和降落曲線的計算404
- 16-7 逐段累加法414

第十七章 非稜柱形渠道中穩定非不均勻的漸變流動419

- 17-1 任意形狀渠道的解算419
- 17-2 非稜柱形渠道中有固定水深的液體運動方程式421
- 17-3 固定水深的梯形非稜柱形渠道當 $i \neq 0$ 時液體運動方程式的積分426
- 17-4 非稜柱形梯形渠道當 $i = 0$ 水深固定時的液體運動方程式的積分434

第十八章 天然河槽內水面曲線的繪製437

- 18-1 天然河道中液體流動特性概論438
- 18-2 天然河道的粗糙係數439
- 18-3 迴水曲線和降落曲線的一般計算方法對於天然河道的應用442
- 18-4 天然河道中自由水面曲線的特種計算方法445

第十九章 明渠水流中的泥沙運動458

- 19-1 概論458
- 19-2 關於泥沙的水力粗度的概念459
- 19-3 底沙的運動462
- 19-4 浮沙的運動，不淤速度472
- 19-5 泥沙沿水深的分佈478
- 19-6 泥沙的淤積481

第二十章 明槽中不穩定流487

- 20-1 基本概念和定義487
- 20-2 明槽中不穩定漸變流動的微分方程式488
- 20-3 用特性法解算漸變不穩定流方程式491
- 20-4 特性微分方程式的改造495
- 20-5 根據有限差量方法繪製特性網498
- 20-6 起始特性方程式503

第二十一章 水躍	518
21-1 概論	518
21-2 水躍的結構	520
21-3 水躍的種類	523
21-4 完整水躍	525
21-5 水躍函數及其圖解	527
21-6 稜柱形渠道中水躍共軛水深的計算	530
21-7 矩形渠道中水躍共軛水深的確定	532
21-8 完整水躍的實驗研究	534
21-9 波狀水躍	535
21-10 水躍長度	537
21-11 斷面不固定渠道中的水躍	540
21-12 水躍的能量損失	544
21-13 稜柱形渠道底波由 $i > i_{kp}$ 變為 $i < i_{kp}$ 時的水流唧接	547
第二十二章 堰	551
22-1 概論	551
22-2 無側面收縮的矩形寬頂堰	555
22-3 具有側面收縮的寬頂堰	565
22-4 非矩形橫斷面的寬頂堰	569
22-5 寬頂堰上的運動方程式對於水工結構物計算的應用	569
22-6 矩形尖頂堰	574
22-7 尖頂完全堰的計算方程式	575
22-8 尖頂淹沒堰	579
22-9 尖頂堰中側面收縮的影響	581
22-10 三角形尖頂堰	582
22-11 梯形堰	583
22-12 拋物線形堰	585
22-13 曲線形的實用斷面堰	585
22-14 按溢過堰頂水流的外形構成非真空剖面的方法	587
22-15 曲線形非真空剖面堰的流量係數	590
22-16 曲線形真空剖面堰	592
22-17 直線形實用斷面堰	596
22-18 堰頂水流側面收縮的計算	599
22-19 實用斷面堰的淹沒	601
22-20 側堰與斜堰	602
第二十三章 溢下射流與下游水流唧接的計算	605
23-1 堰頂溢流與下游水流的唧接	605

23-2 收縮斷面水深及其共軛水深的確定	607
23-3 壩趾有垂直跌坎時與下游的唧接	611
第二十四章 閘門孔口的水力計算	619
24-1 渠槽中閘門下的自由出流	620
24-2 閘門下的非自由出流	623
24-3 堰頂閘門下的出流	626
第二十五章 水力建築物下游由急流到緩流的改變	629
25-1 概說	629
25-2 遠離水躍唧接時建築物靜水段長度的確定	631
25-3 靜水塘的水力計算	635
25-4 消力檻的水力計算	642
25-5 綜合靜水塘的水力計算	645
25-6 計算流量的決定	646
第二十六章 唧接建築物的水力計算	648
26-1 跌水、單級跌水的水力計算	648
26-2 多級跌水的水力計算	652
26-3 陡坡的水力計算	658
26-4 人工粗糙的陡坡的水力計算	670
26-5 懸槽的水力計算	680
第二十七章 液體的勢流	694
27-1 勢流或非旋流的基本公式	694
27-2 關於液體的平面流動和流函數的概念	698
27-3 最簡單的平面勢流	701
27-4 最簡單的平面勢流的疊加、鏡子反射法	706
27-5 關於液體勢流問題的數解	718
27-6 複勢或水流特性函數	721
第二十八章 地下水流動	725
28-1 地下水及其運動形式	725
28-2 土壤的物理性質和它們在透水性方面的分類	726
28-3 滲流定律	729
28-4 土壤顆粒虛構直徑的概念	733
28-5 地下水均勻流方程式	734
28-6 地下水漸變速流自由表面曲線的計算	737
28-7 地下水流體動力學上的基本方程式	746
28-8 水平基底情形下穩定無壓地下水漸變速流方程式	747
28-9 地下水的平面穩定流	750

28-10	邊界條件	751
28-11	水井	753
28-12	經過堤身的滲流。流向集水廊的地下水流	764
28-13	經過水平不透水地基上的土壩壩身或梯形断面堤身的滲流	765
28-14	有限源點線	773
28-15	以水平不透水層為底的凹地和壑溝	779
28-16	無限深滲水地基上的平面底板	781
28-17	一般原理	785
28-18	巴甫洛夫斯基正規直角形的概念	787
28-19	無限深滲水地基上無板樁的平面底板	791
28-20	無限深滲水層上有板樁的平面底板	794
28-21	基本定義	797
28-22	曲線形輪廓渠道中的自由滲流	799
28-23	解算地下水平面流問題的近似方法	803
28-24	相似法	806
第二十九章 模型試驗基礎		815
29-1	水力學現象的模型試驗相似律	815
29-2	相似準則	819
29-3	設計水力現象的模型的條件	827
29-4	幾何上變形的模型的設計	831
29-5	補充說明。模型設計的例題	836
附錄		840
表 VIII	參變數 μ 和 ν 有不同值時的 $F(\mu, \nu)$ 值	840
表 IX	矩形水道的共軛水深的計算	843
表 X	堰式建築物下游水位啣接計算的函數	844
表 XI	在直坡 ($i > 0$) 時繪製地下水流降落曲線用的 $F(\eta)$ 值	846
表 XII	在反坡 ($i < 0$) 時繪製地下水流降落曲線用的 $F(\eta)$ 值	848
表 XIII		849
俄中名詞對照		851
俄中人名地名對照		856

第十六章 稜柱體渠道中穩定的非均勻流動

在前一章裏，我們討論過有關液體均勻流動的各問題。曾經指出如果沒有任何局部阻力和足以破壞水流運動的任何原因時，在整個水流長度裏完全一致的稜柱體渠道中，可以發生均勻流動。

但在渠道中任一地方的正常水流運動是常遭受到破壞的，譬如由於築壩（圖 16-2）或是由於跌坎的存在（圖 16-3），渠道中的均勻流就將要成為非均勻的流動。同時由於破壞均勻流的原因以及由於水流狀態的影響，使水流中流速減低而水流深度則將沿水流而增加，或者與此相反，流速增加而水深降低。

我們首先講到稜柱體渠道中非均勻流動的自由水面可能具有的各種形式的分析。

16-1 正坡渠底($i > 0$)的稜柱形渠道中自由水面的形式

為了分析便利起見，我們利用以下形式的非均勻流動的方程式：

$$\frac{dh}{dl} = i \frac{1 - \left(\frac{K_0}{K}\right)^2}{1 - \Pi_\kappa}, \quad (16-1)$$

同時我們記得在水流為臨界狀態時 $\Pi_\kappa = \frac{\alpha v^2}{gh_{cp}}$ 的數值等於 1，在緩流狀態時小於 1，並且在急流狀態時大於 1。

現在讓我們指出，在本章以及以後，所有屬於均勻流動的各個因素將由下指標零來表示，以區別於非均勻流裏各種同樣的因素。

顯然，在方程式 (16-1) 內分子或分母都是可為正也可以由零變到

負，是一個可變的數值。如果分子等於零，便與前幾章所已討論過的均

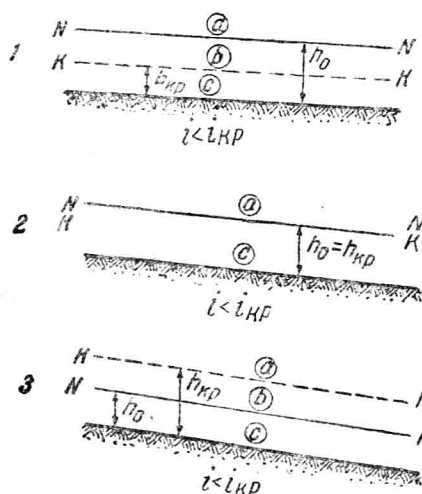


圖 16-1

勻流相符合。這時 $\frac{dh}{dl} = 0$ ，因此自由水面線便成爲一條與渠底平行的直線。

當所討論的方程式的分母趨近於零，($\Pi_k \rightarrow 1$)時，就成爲一個頗有興趣的情況。這時

$$\frac{dh}{dl} \rightarrow \infty,$$

因而水流的自由水面便突然升高起來。這種特殊現象稱爲水躍。由急流狀態過渡到緩流狀態時，此現象都要發生；此後將有專章討論。

在其餘的情況下，即當 (16-1) 中分子和分母不等於零時，導數 $\frac{dh}{dl}$ 則將等於某一正值或一負值視 (16-1) 式右方的分子和分母的符號的配合而定。在這些情形下，雖然自由水面的水位沿着水流方向必然是降低，而水深則將連續沿水流方向增加或降低。

當水深沿水流逐漸增加，那就是有迴水曲線（或叫壅高曲線），當水深逐漸減小時則有降落曲線。這樣，當非均勻流動時，可以分爲兩種基本的自由水面曲線：

- (1) 迴水曲線（壅高曲線）；
- (2) 降落曲線。

隨着形成這些基本水面曲線的環境及條件可以指出其中一些補充性的特性，這些特性使與能夠給以更詳細的分類。

讓我們討論流量 Q 固定的水流。隨着河渠底坡的不同，在均勻流動（等速流）時（圖 16-1）這水流可以處於不同的狀態中。

(1) 在緩流狀態 ($h_0 > h_{kp}$);

(2) 在臨界狀態 ($h_0 = h_{kp}$);

(3) 在急流狀態 ($h_0 < h_{kp}$)。

如等速運動遭到破壞 (例如在水道中建築了任何各種的建築物), 水流的自由水面將形成爲某一迴水曲線或降落曲線。

對於形成自由水面曲線條件的特性, 在任何 $i > 0$ 的水流中, 我們想到由 h_0 和 h_{kp} 兩個數值所劃決定的區域。

爲此, 我們在渠道縱斷面圖上 (圖 16-1) 畫兩條直線和渠底平行: 正常水深線—— NN 和臨界水深線—— KK 。

於是可以有三個區域, 自由水面曲線可以位於這三區之內:

a 區——既高於正常水深線又高於臨界水深線;

b 區——在正常水深線和臨界水深線之間;

c 區——既低於正常水深線又低於臨界水深線。

當 $i = i_{kp}$, 則 NN 和 KK 二線重合, 因而在此情形下只有 a 和 c 兩區。

因此, 對於 $i > 0$ 的水流, 可以說出我們即將研究的形成自由水面曲線的八種可能的情況。

I. 均勻流動中緩流狀態的水流

(1) $i < i_{kp}$; $h > h_0 > h_{kp}$ 。假設由於在水流中建築了障礙物(壩), 均勻流轉到非均勻流 (圖 16-2)。這時水深和橫斷面沿水流要起改變

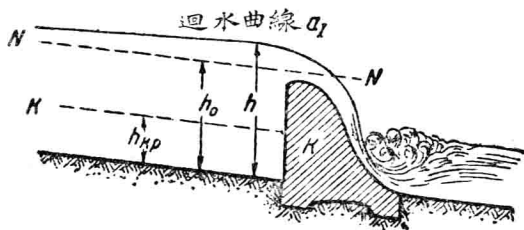


圖 16-2

($h > h_0$; $\omega > \omega_0$; $K > K_0$)。運動參變數也將沿水流發生變化,和1比是愈來愈小($\Pi_K < 1$)。

應用到方程式(16-1),因為

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

因此我們得出結論,即水深沿水流是增加的。

自由水面曲線全部位於 α 區中(圖 16-1, 1),成為一凹面形狀並稱為 α_1 型的迴水曲線。

在 $h \rightarrow \infty$ 時,我們知道 $K \rightarrow \infty$, $\Pi_K \rightarrow 0$, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow i$, 也就是說這迴水曲線在其下游部份有一水平線為其漸近線。

當 $h \rightarrow h_0$ 時,我們知道 $K \rightarrow K_0$, 因而 $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$, 即是這曲線的上游部份漸近地接近於正常水深線 NN 。可以看出,由於建築物而發生的迴水在理論上是傳播到無窮遠。在工程計算時,確定迴水曲線的長度都從建築物起一直到某水深為 h 的斷面為止,該處水深是十分接近於正常水深(由實際觀點來看)。

(2) $i < i_{KP}$; $h_0 > h > h_{KP}$ 。在圖 16-3 上所指明的水流,由於跌坡的存在,而使均勻流遭到破壞,並使之轉變為加速的非均勻流動。

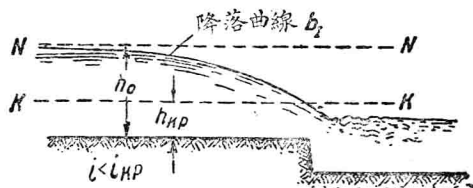


圖 16-3

在此情況下,我們知道 $h < h_0$, $K < K_0$ 和,在任何緩流中一樣, $\Pi_K < 1$ 。方程式(16-1)指出,

$$\frac{dh}{dl} < 0.$$

水深將沿水流減小。可以說明，在此情形下，自由水面曲線將全部處於一個區域的範圍內——即在 b 區內（圖 16-1, 1），亦即是曲線終點的水深將不能降低到比臨界水深更低。如所週知，這個結論是根據斷面單位能量在緩流狀態時隨水深的降低而減小，當臨界水深時，達到了可能的最小值。

這種整個位於 b 區內的自由水面曲線成爲一凸面形狀，稱爲 b_1 型降落曲線。

對於這種曲線當 $h \rightarrow h_0$ 時，由方程式(16-1)中我們知道 $\frac{dh}{dt} \rightarrow 0$ ，並且正常水深線即爲其漸近線。水面降落的開始是在無限遠處。因此前一段中對於曲線長度的說明，在這情況下仍然有效。

(3) $i < i_{kp}$; $h_0 > h_{kp} > h$ 。在圖 16-4 上，表示 $i < i_{kp}$ 時的一段渠道，本段渠道的水流，在均勻運動的正常情況下是緩流狀態。但由於已有的條件，例如溢水壩的溢流或閘門下面的出流，水流就以急流狀態流入河床。

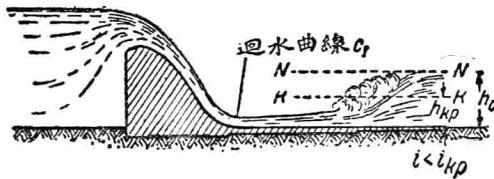


圖 16-4

在進入所討論的渠道段時，所達到的速度並不能繼續保持，因而流動也將變成不均勻流動（緩慢的）。水流深度亦將增高呈爲迴水曲線。該曲線由 c 區中開始。從斷面單位能量變化的分析中可以確定迴水曲線的均勻連續的形式應該僅限於 c 區範圍以內。當水流由急流（ c 區）到一般的沿斷面漸減的緩流狀態時的過渡是突然發生的所謂水躍。

位於 c 區的迴水曲線（圖 16-1, 1）有一凹面形狀，稱爲 c_1 型曲線。

II. 均勻運動中急流狀態的水流 ($i > i_{kp}$; $h_0 < h_{kp}$)。以上我們曾詳

盡地講述過各別情形的水流現象的物理性質。已經知道了自由水面曲線僅能在一個區內形成，我們現將按區簡要地討論其餘的迴水曲線和降落曲線的各種情形。

(1) $i > i_{kp}$; $h > h_{kp} > h_0$ 。曲線在 a 區中(圖 16-1, 3), $K > K_0$ 及 $\Pi_K < 1$ 。這時由方程式(16-1)中可以看出, $\frac{dh}{dl} > 0$, 即水深隨水流曲線而增高, 這曲線叫做 a_{II} 型的迴水曲線。這一曲線有一凸面形狀, 並在下游部份以水面線為漸近線, 因為當 $h \rightarrow \infty$ 時, $\frac{dh}{dl} \rightarrow i$ 。在迴水曲線的一段上, 水流在緩流狀態中。

均勻運動急流狀態的水流過渡到迴水曲線上的緩流狀態是突然地經過水躍(圖 16-5)而進行的。

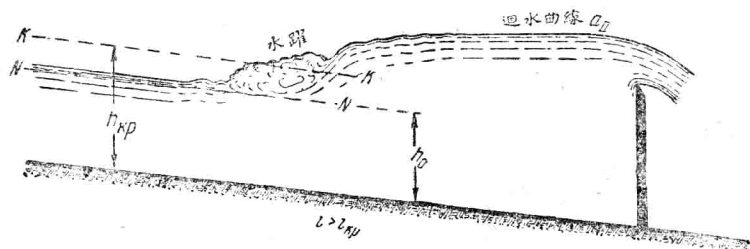


圖 16-5

(2) $i > i_{kp}$; $h_{kp} > h > h_0$ 。曲線是在 b 區中(圖 16-1, 3), 在曲線上的水深比正常水深大, 但比臨界水深小。這時 $\Pi_K > 1$, 和 $K > K_0$, 由

方程式(16-1)得出 $\frac{dh}{dl} < 0$ 。因此, 在此情況下, 水深隨水流降低, 並且我們有一 b_{II} 型的降落曲線(圖 16-6)。

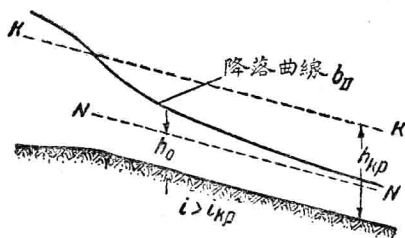


圖 16-6

曲線有一凹面形狀, 並在 $h \rightarrow h_0$ 時以正常水深線為漸近線。

(3) $i > i_{kp}$; $h_{kp} > h_0 > h$ 。曲線在 c 區中(圖 16-1, 3)。曲線上的水深比正常水深和臨界水深都小。因此 $K < K_0$ 及 $\Pi_K > 1$, 因而根據(16-1)得到 $\frac{dh}{dl} > 0$ 。因此, 水深沿水流增加並得出 c_{II} 型的迴水曲線(圖 16-7)。曲線有一凸面形狀, 並在下游以正常水深線 NN 為漸近線, 因為當 $h \rightarrow h_0$ 時, 按照(16-1)

得到 $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$ 。

III. 均勻流動中臨界狀態的水流 ($i = i_{kp}$, $h_0 = h_{kp}$)。在所討論的情形中(圖 16-1, 2), 只有兩個區域: a 和 c 區, 因此只能有兩種自由水面線。

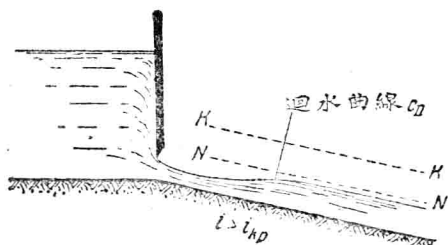


圖 16-7

(1) $i = i_{kp}$; $h > h_0 = h_{kp}$ 。曲線在 a 區中(圖 16-1, 3)。在這一區中, 水深無論是比臨界水深或是正常水深都大。所以 $K > K_0$, 而 $\Pi_K < 1$ 。因此按照(16-1), 得到 $\frac{dh}{dl} > 0$, 即水深是在沿水流加深。在此情形下, a 區中將成一 a_{III} 型迴水曲線。此曲線是以臨界的均勻流動在迴水的情形下所形成的(圖 16-8)。

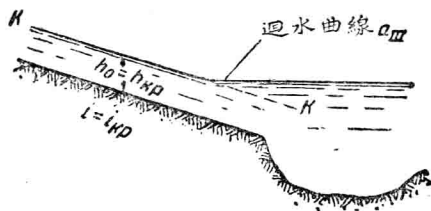


圖 16-8

(2) $i = i_{kp}$; $h < h_0 = h_{kp}$ 。曲線是在 c 區中圖(16-1, 2)。在此區中, 有 $K < K_0$ 和 $\Pi_K > 1$ 。根據方程式(16-1)得出 $\frac{dh}{dl} > 0$, 即水深也沿水流加深。在此情形下, 自由水面線稱為 c_{III} 型迴水曲線。如果洩水槽

的坡度等於臨界坡度時，則在圖 16-9 的情形下得出這種迴水曲線。

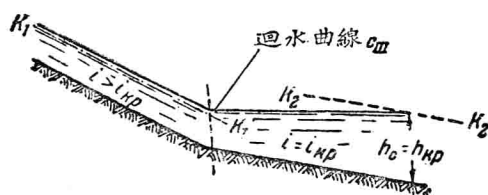


圖 16-9

對後兩種曲線，在 $h \rightarrow h_{kp}$ 時，我們得 $K \rightarrow K_0$ (因為 $h_{kp} = h_0$)， $\Pi_K \rightarrow 1$ 及 $\frac{dh}{dl} \rightarrow 0$ 。爲了求這個不定式，我們將給方程式(16-1)以新的形式。

讓我們注意 Π_K 值是用液體運動具體情形的結果而形成的實際流速 v 來表明的。而且無論在壅高或在降落時

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

式中 K_0 爲計算的特性流量等於 $\frac{Q}{\sqrt{i}}$ 。

如果在已知橫斷面中，也就是在同一面積 ω 中，有同樣水深的水流不壅高又不降落的情況下而是在均勻流動的情形下時，那麼流速就將會是另外一個流速，並且會等於

$$v_0 = \frac{K \sqrt{i}}{\omega},$$

式中 K 爲對於每一斷面都變更的特性流量，並等於 $\omega C \sqrt{R}$ 。

Π_K 值在此情形下就會等於

$$\Pi_{K_0} = \frac{\alpha K^2 i}{\omega^2 g h_{cp}}.$$

我們寫出已知斷面的實際 Π_K 值和對此同一斷面但在均勻流動下的 Π_{K_0} 值的比例

$$\frac{\Pi_K}{\Pi_{K_0}} = \left(\frac{K_0}{K} \right)^2, \quad (16-2)$$

或者

$$\Pi_K = \Pi_{K_0} \cdot \left(\frac{K_0}{K} \right)^2.$$

於是，方程式(16-1)可以改寫成此種形式：

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

再利用數學中週知的求 $\frac{0}{0}$ 型不定值的法則，我們寫出：

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

並求方括弧中各式的第一次導數，近似地認 Π_{K_0} 為常數，我們得出：

$$\lim \left| \frac{dh}{dl} \right|_{K \rightarrow K_0} = \frac{1}{\Pi_{K_0}} i.$$

當水深趨近於 h_{K_0} 時，如所週知， Π_{K_0} 值就趨近於 1，因此， $\frac{dh}{dl} \rightarrow i$ ，而 a_{III} 型和 c_{III} 型迴水曲線就趨近於水平位置。所討論的兩種自由水面曲線的曲率是非常不顯著的，因此在實際上可以將此種情形下的水流自由水面曲線認為幾乎是水平的。

16-2 反坡或平底的稜柱形渠道中自由水面的形狀($i < 0$ 或 $i = 0$)

在上面所討論的正坡渠道裏，當沿運動方向的重力所做的功僅耗費於克服水流阻力的時候，液體的均勻流動就能實現。

在 $i < 0$ 或 $i = 0$ 的渠道段上，重力在運動方向的分量或等於零(水平段)或者甚至是負值(反坡段)。

所以很為明顯的，在平底的或反坡的渠道段上，液體均勻流動一般

是不可能的。因而在這種渠道段上只有依靠進入所考慮的渠道段以前原有的水能量 E ，液體的流動才有可能。

水流的單位能量 E 由於阻力的消耗，因而將隨液體前進的流動而減小。斷面單位能量 $\mathcal{G}$ ，如在 §14-4 已證明的一樣，也將減低。

這時，液體的流動就完全依靠於水流流入這段渠道時的原有情況。自由水面可能的形狀也將視這些情況為轉移。

首先指出，水流以臨界狀態流入 $i < 0$ 或 $i = 0$ 的渠道段實際上是不可可能的，因為在這種狀態下，單位能量是最小，就不能夠供給能量用來克服前面即將遇到的阻力。所以很明顯，水流只有在緩流或急流狀態下才能流進平底或反坡的渠道段。我們考慮這兩種實際上可能的方式。

(1) 在緩流狀態中的水流， $h > h_{kp}$ 。

在這種水流中斷面單位能量是由 $\mathcal{G} = f(h)$ 曲線的上支來決定的。同時我們知道，緩流狀態中斷面單位能量僅當水深沿水流降低時減少。很容易地得到結論，在平底渠道段內，特別是在反坡渠道段內，沿水流降低水深將是唯一可能的一種運動形式。

因此可以確定，在緩流狀態中流入 $i < 0$ 或 $i = 0$ 的渠道段的水流的自由水面形狀將是降落曲線。

(2) 在急流狀態中的水流， $h < h_{kp}$ 。

在此情形下，為了克服水流阻力而分出能量只有在水深沿水流增加時才有可能。所以在急流狀態中流入 $i < 0$ 或 $i = 0$ 的渠道段上的水流，其自由水面形狀將為迴水曲線。

16-3 稜柱形渠道中水流不均勻的準則

所討論的迴水曲線或降落曲線的水流自由水面指出，液體在稜柱形渠道中作穩定而非均勻流動時沿水流的水深，斷面面積和水流平均流速都發生變化。