

基本館藏

9003

水工建築物 下游水力計算

蘇聯 勒·斯·巴什基洛娃著
燃料工業部水力發電建設總局編譯室譯



724; I

燃料工業出版社

目 錄

引言	2
第一章 上下游的緩接	5
1. 水流形狀	5
2. 確定壓縮斷面中水深及躍水深度	8
3. 確定上下游緩接條件所推薦的標準	10
第二章 消能建築物的高度尺寸	14
4. 消力井	14
5. 消力壁	22
6. 綜合式消力井	30
第三章 淹沒消力壁實驗的研究	31
第四章 設計建築物下游時的計算流量及 製定水工建築物閘門操縱方式	39
第五章 梯形斷面河床上建築物下游的水力計算	52
7. 確定壓縮斷面中水深	52
8. 確定水躍的共軛水深	54
9. 梯形斷面河床中上下游緩接的條件	58
10. 確定消力井的深度	59
附錄	
I 矩形斷面河床中建築物下游水力計算的關係值	62
II 確定消力壁高度的數值 $\beta = f(\eta')$ (淹沒係數值係根據作者的實驗數據採用)	65
III 確定消力壁高度的數值 $\beta = f(\eta')$ (淹沒係數值係根據 [恩·恩·巴甫洛夫斯基] 的 數據採用)	66
IV 梯形斷面引水河床的水工建築物下游水力計算表	67

引 言

在蘇聯伏爾加河、頓河、第聶伯河及阿姆河上，由於偉大的斯大林共產主義建設的實現，在水工建築方面出現了一些更新的問題。這些問題正在順利地為我們蘇維埃的學者與工程師所解決。其中引起水力學者注意的一些問題就是：上下游水面的緩接，下游靠近建築物處，水流對河床的影響，以及建築物本身對水流的影響。

由於必須消滅下游水流的剩餘能力及設計消能建築物，就發生了關於改進這些建築物的水力計算方法的問題。

現有的計算方法，在很多的場合下，要求當決定解析關係時，採用仔細的選擇方法或應用一系列的輔助圖表。

由於設計灌溉系統建築物時（跌水、陡坡、閘門等）需要計算許多消能建築物，所以水力計算的改進及簡化，將能節省很多時間。

改進的計算方法，應較全面地考慮到在建築物運用條件下，所研究的水力現象全部性質，同時必須計算簡單、有足夠的準確性及最少數量的圖表。

由於篇幅的限制，本著作不能敘述全部現有的下游水力計算方法，僅指出此問題於前一世紀末葉，當需要水工建築物工程理論根據時，才引起研究者的注意。

我國水力學以先進的上下游水面緩接理論為根據，並創造了一系列的計算方法。

特別在最初幾個斯大林五年計劃的年代，在這方面獲得了巨大的成就。在這些年代中實現了廣泛的水工建築，並發展了蘇聯水力學，使日益增長的實踐中的要求得以滿足。

蘇聯學者：恩·恩·巴甫洛夫斯基（Н. Н. Павловский），姆·德·切爾托烏索夫（М. Д. Чертоусов），阿·恩·拉赫曼諾夫（А. Н. Рахманов），阿·阿·烏金秋斯（А. А. Угинчус），依·依·阿格羅斯金

(И. И. Агроскин), 維·阿·沙烏緬 (В. А. Шауман) 等提出一系列下游計算新的建議。

本書作中所闡述的，為矩形河床斷面及梯形河床斷面上水工建築物下游水力計算方法的合理的建議。

為此本著作中研究：1.上下游的緩接（第一章）。2.消能建築物的高度尺寸（第二章）。3.消力壁的實驗研究（第三章）。4.設計建築物下游時的計算流量及製定水工建築物閘門操縱方式（第四章）。5.梯形斷面河床上游建築物下游的水力計算（第五章）。

進行下游水力計算時，利用兩個已知方程式：求壓縮斷面內水深的方程式為

$$\partial_v = h_e + \frac{aQ^2}{2\epsilon\sigma^2\omega c^2} \quad (1)$$

及求棱體河床中共軛水深的方程式爲

$$\frac{\alpha' Q^1}{g \omega_2} + \gamma_2 \omega_2 = \frac{\alpha' Q^2}{\varepsilon \omega_1} + \gamma_1 \omega_1. \quad (2)$$

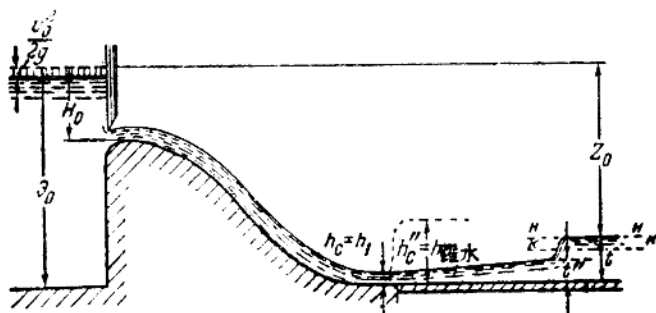


圖 1

根據圖 1 引用以下符號：

∂_0 ——相對下游河底的上游水流比能，即包括行近流速的全部水頭高度；

H_0 ——包括行近流速的溢流頂上水頭;

P_0 ——消力壁高度;

d_0 ——消力井深度；

h_c ——壓縮斷面內的水深；

$h_{\text{躍水}} = h_c''$ ——躍水深度——壓縮斷面內水深的水躍共軛深度；

z ——下游水深；

z'' ——下游水深的共軛深度；

h_K ——水流極限深度，

h_1 ——水躍時較小的共軛深度；

h_2 ——水躍時較大的共軛深度；

q ——流速係數；

ω ——水流過水斷面的面積；

y ——水流斷面重心至其表面的距離；

$n-n$ ——水流正常深度線；

$\kappa-\kappa$ ——水流臨界深度線；

α ——沿水流過水斷面流速分佈不均勻時，速頭的修正；

α' ——方程式(2)中稜體河床上水躍係數。

方程式(1)和(2)為求得計算關係的原始方程式。

第一章 上下游的緩接

1. 水流形狀

水工建築物最重要的部分為上下游的緩接段，因為將於此段上消減來自上游的水流餘能。

為了最經濟的解決消力問題，必須闡明上下游緩接時水流的形狀。上下游水流緩接的形狀與下游水深、河底坡降及水流性質有關。

最普遍的水工建築物型式，其上下游水流緩接的形狀見表 1 ①。

降落在建築物下游水叩上的水流，具有最小壓縮斷面，此斷面內水深 (h_0) 經常小於臨界深度，因而此處的水成紊流狀態。

如果下游水流處於平緩狀態 ($t > h_k$)，則由壓縮水深過渡到下游水深時必經過水躍 (表 1，第 I，II 和 III 種情形) ②。

因此根據水深 $h_{\text{躍水}} \geq t$ ③，水躍將成為逐流式的 ($h_{\text{躍水}} = t$)，或淹沒式的 ($h_{\text{躍水}} < t$)，或處於臨界狀態 ($h_{\text{躍水}} = t$)。

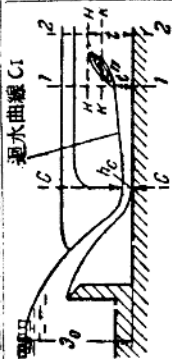
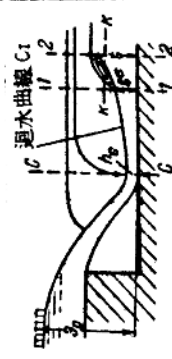
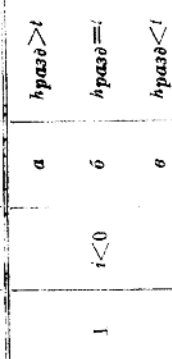
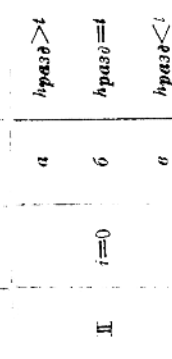
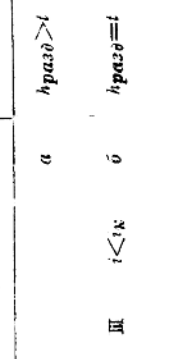
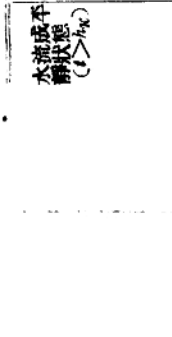
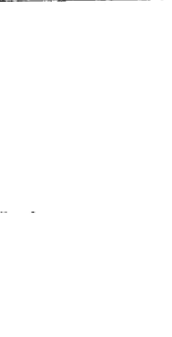
① 此處未研究有最大流速的表層水流情況——在成表層水流條件下的上下游水流緩接形狀。表層水躍及成表層水流情況時，計算建築物的理論問題，在下游水力學術中佔很重要地位，此問題曾經蘇聯研究家：阿·阿·薩巴諾夫 (А. А. Сабанов), 依·依·列維 (И. И. Леви), 姆·德·切爾托烏索夫 (М. Д. Чертоусов), 維·弗·列利托夫 (В. Ф. Рельтов) 及德·依·庫敏 (Д. И. Кумин) 所研究。

② 如果下游水流成臨界或紊流狀態，則各深度聯接線將很平緩不生水躍 (表 1 內 IV, V 情形)。

③ $h_{\text{躍水}}$ ——躍水深度；為維·德·儒利恩 (В. Д. Жулин) 教授引用的術語，如果第一共軛深度為壓縮斷面內水深，則此深度表示為水躍的第二共軛水深。

最普通水工建築物型式的上下游水流連接形狀

表 1

下游水流狀態	比 降	情 況	相 互 深 度	建 築 物 型 式	形 成 水 躍
水流成平 靜狀態 ($t > h_K$)	I	a	$h_{pa30} > t$		驅逐水躍
		б	$h_{pa30} = t$		臨界狀態水躍
		в	$h_{pa30} < t$		淹沒水躍
	II	a	$h_{pa30} > t$		驅逐水躍
		б	$h_{pa30} = t$		臨界狀態水躍
		в	$h_{pa30} < t$		淹沒水躍
	III	a	$h_{pa30} > t$		驅逐水躍
		б	$h_{pa30} = t$		臨界狀態水躍
		в	$h_{pa30} < t$		淹沒水躍

水流成躍
昇狀態
($i = h_K$)

IV

$i = i_K$

α

$h_K = h$



素流
($i < h_K$)

$h_K < h$

α



無水躍

$h_K = h$

β



$h_K > h$

α



2. 確定壓縮斷面中水深及躍水深度

爲了求壓縮斷面 (h_c) 內水深, 採用方程式 (1), 若爲矩形斷面的引水河床, 則此公式簡化爲:

$$\partial_0 = h_c + \frac{aq^2}{2gq^2 h_c^2}; \quad (3)$$

式中 q ——單位流量

與壓縮斷面內水深成共軛深度的躍水水深, 若爲矩形河床時按公式 (4) 計算:

$$h_{\text{躍水}} = \frac{h_c}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8aq^2}{gh_c^3}} - 1 \right]. \quad (4)$$

按方程式 (3) 以淘汰法求 h_c 需要消耗很多時間。

因此蘇聯學者: 阿·恩·拉赫曼諾夫 (А. Н. Рахманов), 阿·阿·烏金秋斯 (А. А. Угинчус), 姆·德·切爾托烏索夫 (М. Д. Чертоусов), 恩·恩·巴甫洛夫斯基 (Н. Н. Павловский), 依·依·阿格羅斯金 (И. И. Агроскин), 維·阿·沙烏緬 (В. А. Шаумян) 等提出許多圖表, 可使計算下游共軛水深簡單化。

這些下游水面緩接的水力計算法, 以各水力因素與建築物前的全部蘊蓄能量 ∂_0 或與臨界水深 h_k 的相互關係爲依據。

同時這些數值與單位流量 q 之比, 可求得下游水力計算較便當的數學式。

爲此我們將方程式 (3) 除以 $q^{2/3}$:

$$\frac{\partial_0}{q^{2/3}} = \frac{h_c}{q^{2/3}} + \frac{aq^2}{2gq^2 h_c^2 q^{2/3}},$$

式中

$$\frac{\partial_0}{q^{2/3}} = \frac{h_c}{q^{2/3}} + \frac{a}{2gq^2 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}} \right)^2} = f_1 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}} \right). \quad (5)$$

我們以比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 加入計算中, 則得:

$$\frac{q^{2/3}}{\beta_0} = \frac{2gq^2 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}} \right)^2}{\alpha + 2gq^2 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}} \right)^3} = f_3 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}} \right) \quad (6)$$

方程式(6)對任何型式的建築物(圖2)均正確適用。同時, 比值 $\frac{h_c}{q^{2/3}}$ [按方程式(4)]可用比值 $\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}}$ 函數表示:

$$\begin{aligned} \frac{h_c}{q^{2/3}} &= 0.5 \frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha}{g} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} \right)^3} - 1} \right] = \\ &= 0.5 \frac{1}{\left(\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}} \right)} \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha}{g} \left(\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}} \right)^3 - 1} \right] = f_3 \left(\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}} \right). \quad (7) \end{aligned}$$

取 $\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}}$ 為獨立變數, 按方程式(7)計算出了比值 $\frac{h_c}{q^{2/3}}$, 針對係數 α 之各個數值(0.8), 0.85, 0.90, 0.95, 1.0)按方程式(6)計算出了比值 $\frac{q^{2/3}}{\beta_0}$ 。令係數 α 等於 1。

於附錄 I 中示有 64 種獨立變數值及與其相應的比值 $\frac{h_c}{q^{2/3}}$,

$\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}$ 及 $\frac{q^{2/3}}{\beta_0}$ 。

表內變數值至符合下游水流臨界狀態之值為止。

於此情況下 $h_c = h_{\text{躍水}} = h_K$ 。

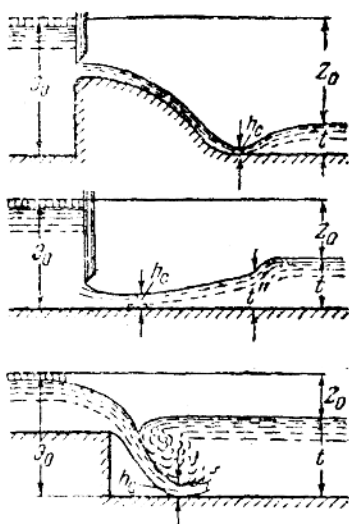


圖 2

此時獨立變數 $\frac{q^{2/3}}{h_{\text{躍水}}} = \frac{q^{2/3}}{h_{\text{c}}} = \frac{q^{2/3} \sqrt[3]{g}}{\sqrt[3]{\alpha q^3}} = 2.141$ 及對各個不

同 q 值的比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 為：

q	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
$\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$	1.201	1.265	1.323	1.377	1.426

據此，變數 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 於表列範圍內變更不大，其最大幅度當 $q = 1.00$ 時等於：

$$0.051 < \frac{q^{2/3}}{\partial_0} < 1.426.$$

按所提出的表確定建築物下游水深 h_0 和 $h_{\text{躍水}}$ 的例子。

例 1. 當 $\partial_0 = 20$ 公尺，流速係數 $\gamma = 0.95$ 及單位流量每公尺為 4 立方公尺/秒時，求溢流壩下游壓縮斷面內的水深及躍水深度。

求得 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0} = \frac{2.519}{20.0} = 0.126$ ，根據此值由附錄 1 中得出 $\gamma = 0.95$ 時，比值

$\frac{h_c}{q^{2/3}} = 0.085$ 和 $\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} = 1.509$ ，得出未知深度為：

$$h_c = 0.085 \times 2.519 = 0.21 \text{ 公尺及 } h_{\text{躍水}} = 1.509 \cdot 2.519 = 3.80 \text{ 公尺.}$$

3. 確定上下游綫接條件所推薦的標準

不求深度 $h_{\text{躍水}}$ ，而能很快的斷定下游水流綫接形狀是完全可能的。因此我們提出臨界相對落差值以比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 函數表示。此處臨界相對落差值如阿·阿·烏金秋斯所引用的形式，即為比值 $\left(\frac{\pi_0}{\partial_0}\right)$ ，在此情況下水流綫接將成為臨界形狀。

按照「臨界相對落差」詞意可寫出以下等式：

$$\left(\frac{\pi_0}{\partial_0}\right)_0 = \frac{\partial_0 - h_{\text{躍水}}}{\partial_0},$$

因為，當下游水流綫成臨界形狀時 $h_{\text{躍水}} = \partial_0$ ，所以

$$\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0 = \frac{\partial_0 - h_{\text{躍水}}}{\partial_0} = 1 - \frac{h_{\text{躍水}} q^{2/3}}{\partial_0 q^{2/3}} = 1 - \frac{h_{\text{躍水}} q^{2/3}}{q^{2/3} \partial_0} \quad (8)$$

方程式(6)和(7)之值 $\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}$ ，同樣可用比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 函數表示。

實際上：

$$\begin{aligned} \frac{q^{2/3}}{\partial_0} &= \frac{2g\gamma^3 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}}\right)^3}{\alpha + 2g\gamma^3 \left(\frac{h_c}{q^{2/3}}\right)^3} = \\ &= \frac{2g\gamma^3 \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}\right)^3 \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}\right)^3}} \right]^3}{4\alpha + g\gamma^3 \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}\right)^3 \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}}\right)^3}} - 1 \right]^3} = \\ &= \phi \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} \right) \quad (9) \end{aligned}$$

或

$$\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} = \phi \left(\frac{q^{2/3}}{\partial_0} \right) \quad (10)$$

因而，

$$\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right) = 1 - \frac{q^{2/3}}{\partial_0} \phi \left(\frac{q^{2/3}}{\partial_0} \right) \cdot \phi' \left(\frac{q^{2/3}}{\partial_0} \right) \quad (11)$$

方程式(8)內的數值 $\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)$ 列入附錄 I。

根據函數關係(11)可以很容易地確定建築物下游水流緩接的形狀。

今以實例表示。

例2. 確定 $\partial_0 = 30$ 公尺， $q = 4.5$ 立方公尺/秒/每公尺寬， $\gamma = 0.95$ 及 $l = 3.0$ 公尺時溢洪壩下游水流的緩接。

比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0} = 0.091$ ，根據此值由附錄 I 得出臨界相對落差值 $\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right) = 0.850$ 。

實際相對落差為 $\frac{27}{30} = 0.90$ 。因為 $\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)$ 實際的 $> \left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0$ ，所以下游將出現壅滯式風水。

再看關係式(11)，應指出，比值 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 為某些數值時， $\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)$ 具有最小值，以 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 為獨立變數，確定最小函數是非常複雜的，因此利用方程式(7)、(8)和(9)以 $\left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0 = f\left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)$ 表示：

$$\begin{aligned} \left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0 &= 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right) \left[\sqrt{1 + \frac{8a}{g} \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3} - 1 \right] \\ &\times \frac{2g^{1/2} \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3}{1 + 2g^{1/2} \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3} = f\left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right). \end{aligned} \quad (12)$$

取第一誘導函數 $\frac{\partial \left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0}{\partial \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)}$ 使其等於零，則得出：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \left(\frac{z_0}{\partial_0}\right)_0}{\partial \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)} &= \left[\sqrt{1 + \frac{a}{\left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3}} - 1 \right] \\ &\times \left\{ 1 + \frac{2 \left[1 + b \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3 \right] - 3b \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3}{1 + b \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3} \right\} \\ &\times \frac{3a}{2 \left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3 \sqrt{1 + \frac{a}{\left(\frac{hc}{q^{2/3}}\right)^3}} = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

式中 $a = \frac{8a}{g}$; $b = 2g^2$, 以 $\left(\frac{h_c}{q^{2/3}}\right) = x$, 得出:

$$\left(\sqrt{1 + \frac{a}{x}} - 1\right) \left[1 + \frac{2(1+bx) - 3bx}{1+bx}\right] - \frac{3a}{2x\sqrt{1 + \frac{a}{x}}} = 0,$$

經移項後, 此方程式成為 $\frac{a}{x}$ 的二次方程式:

$$\left(\frac{a}{x}\right)^2 - 2ab\left(\frac{a}{x}\right) + ab(ab - 4) = 0, \quad (14)$$

解(14)得出:

$$\left(\frac{a}{x}\right) = ab \pm \sqrt{a^2b^2 - ab(ab - 4)} = ab \pm 2\sqrt{ab}, \quad (15)$$

按照係數 g 的各不同數值, 在表2內列出與 $\left(\frac{x_0}{\partial_0}\right)_0$ 最小值相符合的 $\frac{a}{x}$, $\frac{h_c}{q^{2/3}}$ 及 $\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$ 等數值。

按得出的關係, 很容易求出下游共軛水深, 並可了解上下游水流緩接的條件。

表 2

g	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	備 註
$\frac{a}{x}$	16.641	18.361	20.161	22.052	24.022	按(15)式爲+號
$\frac{h_c}{q^{2/3}}$	0.366	0.352	0.343	0.332	0.324	$\frac{h_c}{q^{2/3}} = \frac{3}{x}$
$\frac{q^{2/3}}{\partial_0}$	1.041	1.085	1.138	1.183	1.235	按(6)式
$\left(\frac{x_0}{\partial_0}\right)_0$	0.390	0.343	0.296	0.248	0.200	按(12)式

下游水力計算還不能以闡明上下游水流緩接條件而結束，而在大多數情況下，這僅是一個開始，並可用這些關係求出消能建築物的高度尺寸。

第二章 消能建築物的高度尺寸

消能建築物的用途為消滅自上游向下游宣洩的水流的過剩（與下游普通水流相較）能力。

最經常採用的有所謂消力井和消力壁，或為其綜合式的，無論是消力井或是消力壁，皆是於下游護底範圍內的短小地段上造成人為的加大水深。這樣可保證經過淹沒水躍緩接水流。

4. 消力井

研究消力井內水流運動的方式時（圖3）應指出無論按實驗室內的試驗或對現用的消力井觀測，均證實了井的出水面後有跌水。

由圖3可看出，為構成水流緩接的臨界形狀，應保證的等式為^①

$$\partial_0 = h_{\text{躍水}} + \frac{v^3}{2g} + z',$$

此等式以 $q^{2/3}$ 除時得出：

$$\frac{\partial_0}{q^{2/3}} = \frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} + \frac{1}{2g \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} \right)^2} + \frac{z'}{q^{2/3}}$$

或為

$$\begin{aligned} \frac{z'}{q^{2/3}} &= \frac{\partial_0}{q^{2/3}} - \left[\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} + \frac{1}{2g \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} \right)^2} \right] = \\ &= \left(\frac{1}{\frac{\partial_0}{q^{2/3}}} \right) - \left[\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{2/3}} + \frac{1}{2g \left(\frac{h_{\text{水躍}}}{q^{2/3}} \right)^2} \right], \end{aligned} \quad (16)$$

① 使係數 α 等於1。

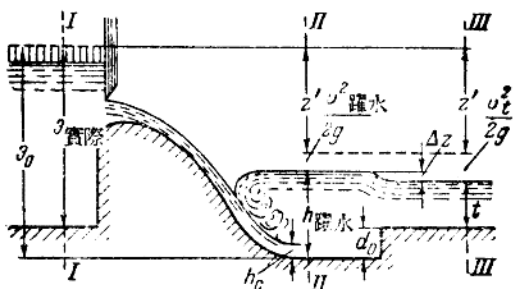


圖 3

如上所示，公式(9)為

$$\frac{q^{\frac{2}{3}}}{\partial_0} = \phi \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} \right),$$

方程式(16)中括弧內的數式，同樣可為比值 $\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}}$ 函數。

設

$$\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{2g \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} \right)^2} = \eta = f \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} \right). \quad (17)$$

則

$$\frac{z'}{q^{\frac{2}{3}}} = \frac{1}{\left(\frac{q^{\frac{2}{3}}}{\partial_0} \right)} - \eta = \frac{1}{\phi \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} \right)} - f \left(\frac{h_{\text{躍水}}}{q^{\frac{2}{3}}} \right) = f'(\eta). \quad (18)$$

若不考慮水流經過井口出水一面產生的某種水能損失時，可寫成：

$$\frac{z'}{q^{\frac{2}{3}}} = \frac{\partial_{\text{實際}}}{q^{\frac{2}{3}}} - \left[\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{2g \left(\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}} \right)^2} \right]$$

(當斷面Ⅰ—Ⅰ和Ⅲ—Ⅲ內單位能量相等時)；

此處

$$\frac{v_t^2}{2g q^{\frac{2}{3}}} = \frac{1}{2g \left(\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}} \right)^2}.$$

設

$$-\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{2\left(\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}}\right)^2} = \eta_t, \quad (19)$$

得出：

$$\frac{z'}{q^{\frac{2}{3}}} = \frac{\eta_{實際}}{q^{\frac{2}{3}}} - \eta_{t0} \quad (20)$$

在附錄 1 中列出按方程式 (17) 計算的 $\eta = f\left(\frac{h_{躍水}}{q^{\frac{2}{3}}}\right)$ 數值及按方程式 (18) 計算各個係數 η 的 $\frac{z'}{q^{\frac{2}{3}}}$ 數值。使斷面 II—II 和 III—III (圖 3) 內的單位能量相等，可寫成：

$$h_{躍水} + \frac{v_{躍水}^2}{2g} = (d_0 + t) + \frac{v_t^2}{2g},$$

由是得

$$d_0 = h_{躍水} + \frac{v_{躍水}^2}{2g} - \left(t + \frac{v_t^2}{2g}\right), \quad (21)$$

將方程式 (21) 除以 $q^{\frac{2}{3}}$ 得出：

$$\begin{aligned} \frac{d_0}{q^{\frac{2}{3}}} &= \frac{h_{躍水}}{q^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{2\left(\frac{h_{躍水}}{q^{\frac{2}{3}}}\right)^2} \\ &- \left[\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{2\left(\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}}\right)^2} \right] = \eta - \eta_t. \end{aligned} \quad (22)$$

則得

$$d_0 = q^{\frac{2}{3}}(\eta - \eta_t). \quad (23)$$

公式 (23) 中的 η 和 η_t 值可按曲線圖 (圖 4) 求出。該曲線圖係按 (18) 與 (19) 之關係式繪成。

按公式 (23) 求 d_0 值的順序如下：

1. 計算比值 $\frac{t}{q^{\frac{2}{3}}}$ 。