

基本館藏

18273

水流位能保持指標的應用

蘇聯 阿·阿·烏根秋斯著

郭可詮 武 洪 朱鵬程 王鴻筠譯



燃料工業出版社

序 言

關於偉大的共產主義建設——古比雪夫、斯大林格勒、卡霍夫水力發電廠、大土庫曼、南烏克蘭、北克里米亞和伏爾加-頓河運河建築物的設計和研究工作對工程水力學所提出的問題，是要求用一切力量去改進水工建築物的水力計算方法。

阿·阿·烏根秋斯教授所著「水流位能保持指標的應用」的主要目的，是給廣大的水力學者和水力工程人員介紹一個由他提出的新的無尺度數，並幫助設計人員解決一系列工程水力學的問題。

書中指出，在各種水力工程範圍內，如果應用這一個無尺度數，就可以不再使用不完善的富魯得數。

涉及液體經過孔口和寬頂溢流壩流出的各章節，還沒有達到最終階段。在最後的公式中，出現很多未知的係數，這些係數的數值必須由試驗方法來決定。

這些章節目前只能描述和說明水流位能保持指標在解決實際問題時應用的前途。

本書的作者沒有將原則地敘述水力計算的新方法作為自己的任務，僅局限於表示他所建議的無尺度數在現時可以應用到一般的水力計算。

本書問世必然引起蘇聯水力學界的興趣，並證明這一創造性的工作在水力學中用作者建議的新的無尺度數準則的合理性和在解決水力工程上許多問題時的優越性。

本書列有很多的計算表，大大地簡化水力計算時的繁重工作。

本書是在水利地質研究院烏克蘭分院寫成的。

水利地質研究院

目 錄

序言

緒論	4
第一章 水流位能保持指標及其特性	6
§ 1. 水流位能保持指標的研究	6
§ 2. 水流位能保持指標和富魯得數之間的關係	16
§ 3. 水流位能保持指標的臨界值	17
§ 4. 求水壓運動情況下的水流位能保持指標	27
第二章 水流位能保持指標在普通水力學和工程水力學 各種範圍內的應用前途	29
§ 5. 實際液體水流運動方程式的推算, 其中動壓力的分 佈能遵循任何的規律	29
§ 6. 在局部阻力區域內, 應用水流位能保持指標確定平 均流速	36
§ 7. 水流位能保持指標在薄壁孔流出的理論方面的應 用	41
§ 8. 水流位能保持指標在液體由閘門下流出的理論方面 的應用	50
§ 9. 水流位能保持指標在溢流壩理論方面的應用	59
§ 10. 寬頂溢流壩的理論	69
§ 11. 跌水、陡坡和短渠的渠首建築物的水力計算	75
§ 12. 求各種形狀的河槽的臨界深度和水流位能保持指標 臨界值的一般方法	81
§ 13. 水流位能保持指標在水位緩接理論方面的應用	88
§ 14. 變速流自由水面形式的研究	103

§ 15. 直接利用變速流微分方程式繪製自由水面的曲線	107
§ 16. 直接利用變速流微分方程式時分段數目的確定	114
結語	118
附錄	120
表 I—V—爲了確定梯形斷面河槽的臨界深度和某些其他數值	120
表 VI—爲了確定圓形斷面河槽的臨界深度和某些其他數值	125
表 VII—爲了確定蛋形斷面河槽的臨界深度和某些其他數值	126
表 VIII—爲了確定淺盤形斷面河槽的臨界深度和某些其他數值	127
表 IX—爲了確定馬蹄形斷面河槽的臨界深度和某些其他數值	128
表 X 和 XI—爲了確定在水工建築物下游的水流位能保持指標數值	129
表 XII—爲了確定梯形河槽的水流位能保持指標數值和流量模數	139
表 XIII—爲了確定係數 C, 可按照恩·恩·巴甫洛夫斯基院士的完整公式	163

緒 論

爲了解決一般性的和工程的水力學的許多問題，需要求出在水流過水斷面中的位能數值，以及全部能量與動能間的關係。

爲了上述目的，我們建議在水力學中採用一個新的無尺度數，它代表在水流過水斷面中全部的比能 $\mathcal{G}$ 和動比能 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ 的比值：

$$\tau = \frac{\mathcal{G}}{\frac{\alpha v^2}{2g}} = \frac{\frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}}{\frac{\alpha v^2}{2g}}.$$

這個比能的比值，是一個新的無尺度數，我們建議用來研究和解決一般性的和工程的水力學的各種問題。

這個新的無尺度數我們提議稱爲「水流利能保持指標」，因爲它清楚地顯示出全部比能與動比能之間的關係，它明確地確定了保持在水流中的位能成分，因而它表現着水流的狀態。

實際上，在位能成分大的地方，水流利能保持指標的標誌就大，在水流利能轉變爲動能的地方（即 $\frac{p}{\gamma} \approx 0$ ），那裏指標 τ 將等於一。

可見，當水流水深增加時，水流利能保持指標也增加，於是水流變爲「緩流」。

當水深減少時，並且水流位能保持指標亦相應的減少

時，水流流速就增加，而水流具有「急流」的特徵，也就是說，所建議的新的無尺度數可以區別「緩流」和「急流」。

更進一步，將要指出所建議的新的無尺度數，可以極廣泛地並且有效地用來解決許多一般性的和工程的水力學的問題。實際上有可能用水流位能保持指標來研究水流流出孔口的問題，和經過不同形狀的溢流壩的水流運動問題，以及水躍的理論等問題。尤其是當設計消能設備時，對於選擇計算流量可獲得精確的解答。

新的無尺度數，為有關自由水面曲線的許多問題的解決，和變速流運動範圍內，以及河流水力學範圍內的許多其他問題的解決均展開了寬廣的前途。

最後，水流位能保持指標將與富魯得數以簡單的關係聯系起來，並且可以在水工建築物的模型理論中代替後者。

綜合上述，將水力學的大部分章節合理地按新的無尺度數加以理解，這樣提示出在理論和方法的本質上一系列的優越性。

結尾我們指出，我們所研究的第一部分將用以說明新的無尺度數的物理本質和非常有趣味的特性。

在書中的第二部分，將擬定水流位能保持指標在水力學各部分中的應用前途。尤其是將要闡明所建議的無尺度數在溢流壩理論方面，在跌水和短渠的水力計算方面，在變速流運動各種理論部分以及其他等等的應用。

第一章 水流位能保持指標及其特性

§ 1. 水流位能保持指標的研究

根據以上所述，確定水流位能保持指標固有特性的研究是有很大大意義的，在以下的敘述中 也將看到 是非常有意義的。

首先，把研究水流位能保持指標的變化與河流水位的關係作為我們當前的任務，並且先注意水流流量保持不變，而只是它的深度發生變化的變速流運動情況。

為了計算上的簡便起見，我們將研究矩形的河槽。

關於水流位能保持指標的公式寫出如下：

$$\tau = \frac{\frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}}{\frac{\alpha v^2}{2g}} = \frac{h}{\frac{\alpha v^2}{2g}} + 1, \quad (1)$$

對於矩形河槽的情況，如果考慮到等式 $h_{kp} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$ ，則上式可以寫成：

$$\tau = \frac{h}{\frac{\alpha q^2}{2gh^2}} + 1 = 2 \left(\frac{h}{h_{kp}} \right)^3 + 1. \quad (2)$$

假設各種的臨界水深 h_{kp} 與深度 h 的比值，可以很容易的計算出相當於這些比值的水流位能保持指標 τ 的數值。

我們曾經做過這種計算，其計算結果整理在表 1 中，並

且以 $\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 的曲線形式，提示在圖 1 內。

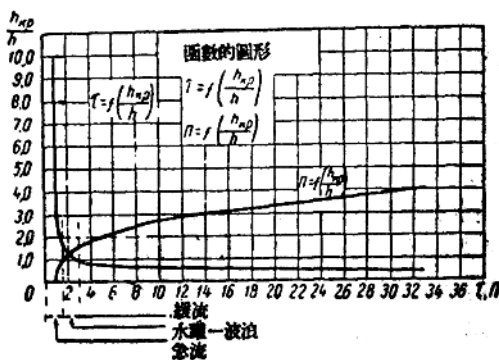


圖 1

表 1

$\frac{h_{kp}}{h}$	τ	$\frac{h_{kp}}{h}$	τ	$\frac{h_{kp}}{h}$	τ
0.1	2.001	0.9	3.74	3.0	1.0750
0.2	251	1.0	3.00	4.0	1.0500
0.5	75	1.1	2.50	5.0	1.0150
0.4	32.3	1.2	2.16	6.0	1.0095
0.5	17.00	1.3	1.81	7.0	1.0058
0.6	10.25	1.4	1.73	8.0	1.0039
0.7	7.04	1.5	1.59	9.0	1.0027
0.8	4.91	2.0	1.25	10.0	1.0020

表示着 水流位能 保持 指標的 變化與 河槽 水位 關係的

$\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 曲線，提示了極大的興趣。

實際上，在這條曲線上很明顯的表現出垂直的和水平的兩段，從一段過渡到另一段是很急劇的。

水平的一段相當於緩流範圍(當 $\tau > 3.0$ 時，並且水深大於臨界水深)，當 $h = h_{kp}$ 時， $\tau = 3$ 時，垂直的一段表現着急流範圍(當 $\tau < 3.0$ 時，水深小於臨界水深)。

從一段過渡到另一段的急劇轉折，是在急流範圍內開始的，這是非常有興趣的，這個急劇區域相當於從所謂「完全水躍」經「水躍波」轉變到緩流區域(如同現有的許多研究資料所證實的，水躍波相當於不等式 $\tau > 1.66$ 或 $Fr < 3.0$ ，式中 Fr 是在水力學中所週知的富魯得數)。

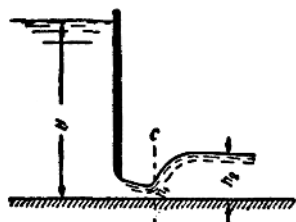


圖 2

根據上述情況，研究從閘門下向平底渠槽洩水的情況，提示了很大的興趣(圖 2)。

略去洩水時能量的損失(即採用流速係數 $\varphi = 1.00$)寫出單位流量的式子，這個式子在二元水流的情況下，將具有下列形式：

$$q = h_1 \sqrt{2g(H - h_1)}.$$

式中 h_1 ——在收縮斷面處的水深；

H ——在構築物前的全部水頭(全部比能)。

將已知的關係式兩邊予以乘方，轉換成下列形式：

$$\frac{q^2}{g} = 2h_1^2(H - h_1)$$

或

$$h_{kp}^3 = 2h_1^2 H - 2h_1^3.$$

以總水頭 H 除所得的式子左右兩方，這樣就得：

$$\left(\frac{h_{kp}}{H}\right)^3 = 2\left(\frac{h_1}{H}\right)^2 - 2\left(\frac{h_1}{H}\right)^3.$$

另一方面，我們可以利用著名的聯系水躍共軛水深 h_1 和 h_2 的關係式：

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{kp}}{h_1}\right)^3} - 1 \right],$$

上式除以總水頭 H 值，得下列形式：

$$\frac{h_2}{H} = \frac{h_1}{2H} \left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{kp}}{h_1}\right)^3} - 1 \right].$$

因此有可能計算函數 $\frac{h_2}{H} = f\left(\frac{h_{kp}}{h_1}\right)$ ，以及按關係式

(2) 計算與其相應的收縮斷面的水流位能保持指標 τ ：

$$\tau_1 = 2\left(\frac{h_1}{h_{kp}}\right)^3 + 1.$$

實際上，給予比值 $\frac{h_1}{H}$ 各種不同的數值，我們就得到一

些比值 $\frac{h_{kp}}{H}$ 和 $\frac{h_2}{h_1}$ （以 $\frac{h_1}{H}$ 除 $\frac{h_{kp}}{H}$ ）。接着我們就很容易計算

出指標 τ_1 ，這樣就可能確定 $\tau_1 = f\left(\frac{h_2}{H}\right)$ 的關係。

在表 2 中所列數字是進行計算後整理的結果，圖 3 畫出上述的 $\tau_1 = f\left(\frac{h_2}{H}\right)$ 函數的曲線，分析此圖，就有可能作出有興趣的結論，這個結論充分地證實上面所得有關水流位能

保持指標 $\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 曲線的特性問題的結論。

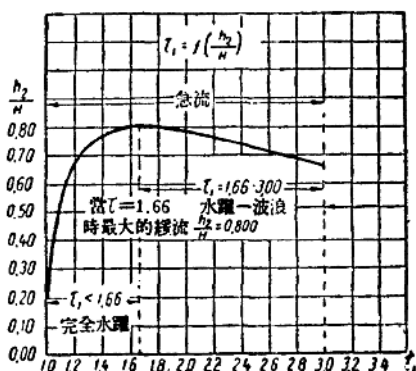


圖 3

實際上， $\tau_1 = f\left(\frac{h_2}{H}\right)$ 曲線的形狀和表 2 的資料證明，當 $\tau_1 = 1.66$ 時，與收縮断面水深 h_1 共軛的水深有最大數值 $h_2 = 0.800 H$ 時，根據現有的試驗資料研究水躍，證明曲線左面的部分（當 $1 < \tau < 1.66$ 時）表現出水深 h_2 有穩定數值，相當於所謂完全水躍的範圍。

相反的，右邊的部分（當 $1.66 < \tau < 3.00$ 時）相當於水深 h_2 不穩定數值，這裏自由表面具有十分明顯的波浪特性，並且發生水力學中稱為「水躍波」的現象。因此比較兩條曲線：

$$\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right) \text{ 和 } \tau_1 = f\left(\frac{h_2}{H}\right),$$

我們深信水躍波區域 ($1.66 < \tau < 3.00$)，確實相當於曲線

$\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 的急劇轉折部分，該處由緩流過渡到急流。

表 2

$\frac{h_1}{H}$	$\frac{h_{kp}}{H}$	$\frac{h_{kp}}{h_1}$	$\frac{h_{kp}}{h_2}$	$\frac{h_2}{H}$	τ_1
0.010	0.058	5.80	0.297	0.195	1.010
0.025	0.107	4.28	0.360	0.300	1.028
0.050	0.168	3.36	0.408	0.411	1.052
0.075	0.218	2.91	0.444	0.491	1.080
0.100	0.262	2.62	0.475	0.552	1.111
0.150	0.336	2.24	0.524	0.642	1.178
0.200	0.400	2.00	0.566	0.706	1.250
0.250	0.465	1.82	0.607	0.750	1.331
0.300	0.501	1.67	0.642	0.780	1.450
0.350	0.542	1.55	0.680	0.797	1.541
0.400	0.577	1.44	0.722	0.800	1.666
0.450	0.607	1.35	0.762	0.797	1.814
0.500	0.630	1.26	0.808	0.780	3.000
0.550	0.648	1.178	0.852	0.760	2.12
0.600	0.660	1.100	0.909	0.726	2.503
0.650	0.665	1.022	0.960	0.683	2.869
0.666	0.666	1.000	1.000	0.666	3.000

因此，在 $\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 曲線上，具有相當於水躍波的波形轉變範圍的急劇轉折，證明所提出的新的無尺度數很好地反映它所表示的現象的物理性質。

補充以上所述，我們還作了下面的研究。

寫出關於總比能的式子如下：

$$\mathcal{J} = h + \frac{\alpha v^4}{2g}.$$

用位能數值 h 除方程式的左右兩端，將得：

$$\frac{\mathcal{J}}{h} = 1 + \frac{\alpha v^2}{2gh} = 1 + \frac{h_{kp}^3}{2h^3} = II. \quad (3)$$

不難確定關係式 $(3) \frac{\mathcal{J}}{h} = II$ ，這個關係本身是水流的總能和位能的比值，這個關係式是一個無尺度數，並且也可以用來判斷保持在水流中的位能成分。

繪製函數 $II = f_1\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 曲線提示了很大的興趣，這使我們能研究出 II 數值的變化與河槽水位變化關係的特徵。

在表 3 中列入 II 數值的計算結果，而在圖 1 繪出了它的曲線圖形。

表 3

$\frac{h_{kp}}{h}$	II	$\frac{h_{kp}}{h}$	II	$\frac{h_{kp}}{h}$	II
0.1	1.0005	0.9	1.3645	3.0	14.50
0.2	1.0040	1.0	1.500	4.0	33.00
0.3	1.0135	1.1	1.665	5.0	63.50
0.4	1.0320	1.2	1.864	6.0	109.00
0.5	1.0625	1.3	2.095	7.0	172.50
0.6	1.1080	1.4	2.370	8.0	257.00
0.7	1.1715	1.5	2.690	9.0	365.50
0.8	1.2560	2.0	5.000	10.0	501.00

研究圖 1，在它的上面同時表示了無尺度數 τ 和 II ，

$\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 和 $\Pi = f_1\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 的曲線，很容易找到這兩個曲線有一個共同點，相當於 $\tau=2$ 和 $\Pi=2$ 。

實際上，依照關係式(2)和(3)，使 $\tau=\Pi$ ，得：

$$2\left(\frac{h}{h_{kp}}\right)^3 + 1 = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)^3,$$

即

$$4\left(\frac{h}{h_{kp}}\right)^3 = \left(\frac{h_{kp}}{h}\right)^3,$$

或

$$\frac{h_{kp}}{h} = 1.26.$$

因此無尺度數 τ 和 Π 的相等，相當於當比率 $\frac{h_{kp}}{h} = 1.26$ 時的河槽充水程度，即當：

$$\tau = 2\left(\frac{1}{1.26}\right)^3 + 1 = 2.00$$

和

$$\Pi = \frac{1}{2}\left(1.26\right)^3 + 1 = 2.00.$$

無尺度數的等式， $\tau=\Pi=2$ ，也很容易在下述的分析基礎上求得。

上面已經證明：

$$\tau = 2\left(\frac{h}{h_{kp}}\right)^3 + 1, \quad (2)$$

$$II = \frac{1}{2} \left(\frac{h_{kp}}{h} \right)^3 + 1. \quad (3)$$

根據方程式(3)，可以寫成：

$$\left(\frac{h}{h_{kp}} \right)^3 = \frac{1}{2(II-1)},$$

由此可得：

$$\tau = 1 + \frac{2}{2(II-1)} = 1 + \frac{1}{II-1} = \frac{II}{II-1}. \quad (4)$$

因此，數值 $\tau = II$ 的等式將在具有下述條件時發生：

$$\tau = II = \frac{II}{II-1},$$

即

$$\tau = II = 2.$$

據此有必要指出等式 $\tau = II = 2$ ，實際上相當於 $\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ 曲線的轉折點，同時適合於表現出「水躍波」現象的轉變區域的平均準則數 $\frac{h_{kp}}{h} = 1.26$ 。

事實上，如上面所指出的從所謂「完全水躍」到緩流，經過「水躍波」的轉變區域，局限於 $\tau = 1.66$ 和 $\tau = 3.00$ 範圍以內。

當 $\tau = 1.66$ 時，水深準則數 $\frac{h_{kp}}{h} = 1.45$ ，當 $\tau = 3.00$ 時，相當於 $\frac{h_{kp}}{h} = 1.00$ ，這樣得出平均值 $\frac{h_{kp}}{h} = \frac{1.45 + 1.00}{2} = 1.225$ ，實際上這個數值當 $\tau = II = 2.0$ 時，接近於 1.26，即 $\frac{h_{kp}}{h} = 1.26$ 。

順便我們願意來說明如下這個情況：「緩流」（當 $\tau > 3.0$ 時）發生在位能較動能佔顯著的優勢時，相反的表現出「完全水躍」的「急流」發生在動能較位能佔顯著的優勢時。可能表現出構成「水躍波」的轉變區域，相當於任何一種能均不佔主要優勢時。

這個區域的臨界點，也就是當 $II = 2$ 時，動能與位能相等，即

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

我們提示在這個臨界點的範圍內，「水躍波」應當表現得非常明顯。

因此，我們深信根據我們的觀點，證明了新的無尺度數 $\tau = f\left(\frac{h_{kp}}{h}\right)$ ，特別明顯地反映着由它所表示的物理性質的現象。

現在，我們研究一下水深依流過的流量，而改變的等速流情況的水流位能保持指標變化特徵。仍舊研究一寬闊的矩形河槽，並且採用河槽糙率係數等於 $n = 0.025$ 和坡降 $J = 0.0001$ 。按照恩·恩·巴甫洛夫斯基院士的完整公式計算係數 C ：

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

式中

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75(\sqrt{n} - 0.10)\sqrt{R},$$

得出我們所需要的數字，整理在表 4 中。在圖 4 上提供了 $\tau = f(h)$ 的關係曲線。

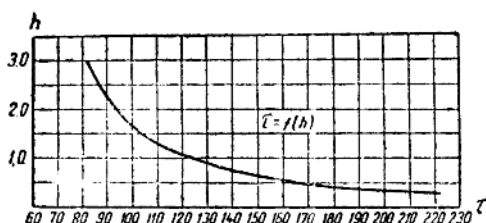


圖 4

表 4

h 公尺	v 公尺/秒	τ	h 公尺	v 公尺/秒	τ
0.3	0.164	222	1.5	0.524	104
0.5	0.240	172	1.7	0.583	98.5
0.7	0.322	145	2.0	0.650	94.0
1.0	0.400	124	2.5	0.757	86.5
1.2	0.456	114	3.0	0.854	81.6

經過研究和分析曲線 $\tau = f(h)$ 和表 4 的數據，可以確定當深度小的時候（即當流速小時），水流位能保持指標現出大的數值。水流位能保持指標的計算數值隨着水深的增大而減少，並且這個指標的變化強度，在小水深範圍內，較大的水深範圍內為劇烈。

§ 2. 水流位能保持指標和富魯得數之間的關係

確定水流位能保持指標 τ 和富魯得無尺度數

$$Fr = \frac{u^2}{gL},$$