

館
內
閱
讀

195476

基本館藏

寬頂堰理論

〔苏联〕斯梅思洛夫著



2
246

科學技術出版社

5122
5/4246

5122
5/4246

寬頂堰理論

[苏联] 斯梅思洛夫 著

俞 嘉 第 譯

科學技術出版社

內 容 提 要

本書介紹苏联寬頂堰的新理論和實驗研究成果。理論中考慮到水流在垂直面內的彎曲,从研究堰的性質开始,包括总論,水流的彎曲,臨界水深,理論方法等;其次計算自由液面曲綫包括各段曲綫的繪制及其公式图表等;最后研究堰的过水能力,包括在平面及空間問題中的各种出流情况,并提出关于水力計算的建議。

本書可供水利工程師及技術人員、研究工作、大專院校教授學生等作参考研究之用。

寬 頂 堰 理 論

ТЕОРИЯ ВОДОСЛИВА С ШИРОКИМ ПОРОГОМ

原 著 者 [苏联] В. В. СМЫСЛОВ

原出版者 ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК
УКРАИНСКОЙ ССР КИЕВ - 1956

譯 者 俞 嘉 第

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海中和印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

統一書号: 15119·828

开本 850×1168 1/32 印張 61/4 插頁 8 字數 171 000

1958 年 8 月第 1 版

1968 年 8 月第 1 次印刷,印數 1~1300

定价: (10) 1.16 元

緒 論

在水工建築物設計中，經常要進行堰的水力計算，尤其是寬頂堰的情形，壩上的放水孔及開敞式泄水道孔口，灌溉渠道網上的調節建築物、壅水建築物和量水建築物的孔口，橋孔及鐵路和公路路基下的無壓涵管等，都是按照寬頂堰的圖式計算的。關於這個問題的著作有許多。寬頂堰的最重要的著作的簡述可以在別列辛斯基 (А. Р. Березинский) 的論文 [1] 內找到。

在水力學中，堰的理論已經研究過很長的時間。在起初的發展階段中，這個理論只限於研究最簡單的水流圖式。以後，堰的水力學問題變得複雜起來了，因為積累的許多實驗資料迫切地要求更全面和精確的計算方法。

寬頂堰水力學的發展和成就特別應該歸功於蘇維埃水力學學派 [別列辛斯基，庫明 (Д. И. Кумин)，彼卡洛夫 (Ф. И. Пикалов)，蘇赫曼爾 (Г. И. Сухомил)，契爾托烏索夫 (М. Д. Чертоусов)，楚格耶夫 (Р. Р. Чугаев)，許華茨 (А. И. Шварц) 等]。蘇聯學者的研究極確切地指出，現有的理論不能充分完備地和準確地反映出表征寬頂堰的現象，並且，要在這個領域內進一步發展，就需要新的、比較嚴整的理論，來把所有有影響的因素以固定而嚴密的系統連系起來。在別列辛斯基 [1] 及阿胡金 (А. Н. Ахутин) [25] 的著作中都着重指出了後一種情由。

必須承認，現在還沒有一個從理論上解釋寬頂堰現象的唯一而公認的方法。因此就造成這樣的情形，各個作者在自己的研究中，經常避免提出原則性的問題，卻把自己引向引導某些經驗系

數，來提出個別問題的解答，而且在最新的水力學手冊中，不是完全免除堰的理論，就是所講的理論方法包含尚在爭論的原理，并且也不是公認的。

上述情由使工程師和設計人員工作困難，他們每次必須將某些計算方法加以分析，以期能從中找出最好的方法。更壞的情形是許多學生沒有一本敘述這個問題的理論基礎的手冊。

這樣，由於蘇聯正在設計和建造大量的水工建築物，所以，從理論上來研究寬頂堰實具有迫切性。此外，它還具有很大的教學上的意義。

在這本獻給讀者的書中，根據單向流動的水力學定律，作了系統地敘述相應於寬頂堰的各種水流圖式的嘗試。本書中用以研究堰的水力現象的理論方法，其基本特點是並不研究一個或者二個孤立斷面（這是舊理論的特點），而是研究整個緊密連續着的流動的全部情形。在烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院水文及水工研究所的作者們集體的論文〔2〕中敘述了一個觀念，在這個觀念的發展中，就很注意計入離心力的問題，這個離心力是由於水流在垂直面內彎曲而在堰的水流中發生的。

在本書中作者採納了烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院院士蘇赫曼爾，工學博士別列辛斯基，工學博士達競可夫（Ю. Н. Данденков）及工學碩士羅佐夫斯基（И. Л. Розовский）的意見，謹此深表謝意。

符 号

A
 B } 常 量
 M

E ——水流比能

I ——惯性力

Π_k ——运动指数

Π_m ——流量指数

ϑ ——断面比能

C ——谢齐 (chézy) 系数

H ——堰前几何水头

H_0 ——堰前总水头

Q ——流量

R ——断面水力半径

Re ——雷诺兹 (Reynolds) 数

Q ——引水渠及泄水渠的断面

a ——流束 (水流) 曲率的无因次参数

b ——溢流孔垂直于水流方向的长度

ρ ——小扰动的传播速度

ϵ ——侧墙倾角的余切 (边坡系数)

f ——波幅, 表示摩擦影响的指数

g ——重力加速度

h ——水深

i ——坡降, 表示水流中的个别流束数量的指数

j ——函数符号

k ——流束 (水流) 的曲率

l ——进口段长度

m ——流量系数

n ——比例系数及各公式中的方次指数,河道糙度系数

p ——堰槛高度,液体的压力

q ——溢流孔的單寬流量

r ——流束在垂直面及水平面內的弯曲半径

s ——底部的压力高度与水深之比,長度

t ——波狀水跃的高度

u ——变量

v ——流速

$\left. \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix} \right\}$ 点的坐标

α ——动能系数,喇叭口收縮的角度

β ——势能系数

γ ——液体的容重

δ ——堰槛沿水流的寬度

σ ——收縮系数

ξ ——阻抗系数

η ——堰頂比能与堰前能量之比

θ ——流束对水平线的傾角

κ ——表面流速与平均流速之比

λ ——摩阻系数

ν ——堰的某断面面积与河道断面面积之比,运动粘滯系数

ρ ——密度

σ ——对流量系数 m 值的修正值,以計入各种因素的影响

τ ——方次指数,表示断面上流束的曲率在垂直平面及水平平面內的变化規律

φ ——流速系数

χ ——表面流束的曲率与水流曲率之比

ψ ——淹沒标准

ω ——在溢水孔范圍內的水流断面

譯 者 序

从水力学的观点来看, 水工建筑物中有許多都是屬於寬頂堰的类型, 例如: 河道上的節制閘、分洪閘、泄水閘以及灌溉渠道上的進水閘、分水閘、量水閘、排水閘等, 其他如無壓涵洞、橋孔等, 都屬於寬頂堰, 寬頂堰的水力計算極為重要。因此有关該方面的著作亦屬不少, 但大多数偏重于实验的研究与分析, 或僅对某些特殊情形進行分析, 至于全面的理論分析則較少。本書对寬頂堰从理論和实验二个方面進行了全面的分析, 从而提出了繪制堰流自由液面曲綫和計算过水能力的方法, 并批判了旧的計算方法的不合理性。特别是对于淹沒程度很大的淹沒堰, 作者提出了合理的計算方法。指出在这种情形下用一般的堰流公式算出的溢流寬度偏大。这对于設計灌溉渠道上的建筑物具有重要的意义。尤其是我國目前農田水利工程大躍進中、中小型灌溉渠道建筑物遍地开花的时候, 更具有重大的經濟意义。总之這本書無論对堰流的研究或者水工建筑物的設計都有参考价值。由于譯者水平有限, 譯文中謬誤之处, 希望讀者多多批評指正。

俞 嘉 第一九五八·四

目 錄

緒 論

符 号

譯者序

第一章 堰的性質的研究	1
第一節 寬頂堰的一般知識	1
第二節 在垂直平面內變形的水流(曲綫水流)的一般关系式	8
第三節 論曲綫水流的临界水深	17
第四節 論用理論方法來研究堰	27
第五節 寬頂堰的性質的研究	30
結 論	45
第二章 堰的自由液面曲綫的計算	49
第六節 在垂直面內變形的水流中壓力和流速在斷面上的分布及流動微分方程式	49
第七節 進口段內自由液面曲綫的計算	59
第八節 堰頂上越過临界水深的水流的自由液面曲綫的繪制	70
第九節 堰頂水深大於临界水深的水流的波狀液面計算和波狀水跃的研究	82
結 論	94
第三章 堰的過水能力的研究	97
第十節 不計水流平面收縮影響的不淹沒堰的過水能力	97
第十一節 計入水流平面收縮影響的不淹沒空閘堰的過水能力	121
第十二節 堰的淹沒標準	130
第十三節 淹沒堰的過水能力	142
結 論	151
建築物孔口水力計算的介紹	155
參考文獻	163
附 錄	167

第一章

堰的性質的研究

第一節 寬頂堰的一般知識

根据巴甫洛夫斯基 (Н. Н. Павловский) [3] 所引用的名詞, 一般当液体溢过擋住水流的牆上的缺口时所得的水力現象就叫做堰。这种堰的定义首先是由于用目前归入量水薄壁堰类的設備来研究它而起的。但在許多以堰的圖式工作的建築物孔口的情形中, 其特征是具有岸墩和堰檻, 它們从兩側和底部收縮水流, 这里当然就决不是牆上的缺口了。因此, 把堰的定义当作因河槽从兩側及底部收縮而变形的明流段^①或許更为普遍。依斯巴希 (С. В. Избаш) [4] 所提出的名詞变形水流着重地指出了这个堰所特有的特点: 由于河槽在較短的河段内急剧改变其边界, 就發生了自由液面和部分流束的剧烈弯曲, 并且还破坏了平行流束流动的性質。換句話說, 不能滿足緩变流^②条件的水流就叫做变形水流。

許多作者 [4, 5, 6] 把堰不是理解为水流, 而是理解为从底部和兩側收縮明流的建築物部分。我們在后面不拟区分这些概念。

寬頂堰还没有明确而公認的定义。巴甫洛夫斯基 [3] 認為寬

① 在一般情形中, 無論是緩流或是急流的。在本書內只研究緩流的收縮。

② 在“流体力学名詞” [16] 一書內採用名詞漸变流。可是我們由于下述理由不予采用。在本書內很注意研究沒有流速不連續面的变形水流的性質, 即此时水流从一个断面过渡到另一个断面时, 其特征是連續而無跳躍地变化的。同时这样的水流可又并不滿足相应于名詞漸变流的条件。

頂堰的必要特征是在堰頂上有近似的平行流束水流段(圖 1, б)。彼卡洛夫[5]也有同樣的說法。可是這樣的定義不夠完善,因為在那樣的堰上也會有無平行流束水流段的水流形式的(圖 1, а 及 б)。米哈依洛夫(К. А. Михайлов)[6]提議,寬頂堰是屬於這樣的堰:它的水平堰頂寬度 δ 大得使阻抗已經開始影響水流的性質了。正象以後要看到的,寬頂堰所特有的現象不僅與阻抗有關,而且也與進水口的幾何形狀(進口溢流面的形狀和平面內側牆的形狀)和水流進入溢水道時的收縮程度有關。因而,這個寬頂堰的定義也不能認為是足夠完善的。

最後,在水工結構設計技術規範(ТУИИ[7])中對寬頂堰規定這樣的條件:

$$(2 \sim 3) H \leq \delta \leq (6 \sim 10) H. \quad (1-1)$$

條件(1-1)只從構造方面去表征寬頂堰,沒有從作用在水流上的力這個觀點來說明堰的特點。

對於以寬頂堰圖式工作的建築物孔口來說,堰高 p 很低(實際上它常常等於零)是其最大的特征。因此以後不僅要十分注意傳統的平面堰的圖式,而且也要十分注意在實用中推廣的空間堰的圖式。在傳統的平面堰的圖式中,水流專借堰的高度發生收縮,而在推廣的空間堰的圖式中,水流主要是由建築物的邊墩予以收縮(參閱圖 2)。

根據實驗研究的資料,可以區別圖 1、2 及 3 上所示的寬頂堰的各種基本圖式。

堰頂相對寬度逐漸增加的那幾個圖式(圖 1),其特點是均為自由出流的情形,此時在溢流孔的後面形成水流自由降落的条件,並且在水流下面的壓力等於大氣壓力。

圖 1а 示水深連續減小的水流圖式,這是堰頂寬度不大時的特點。在這種圖式中水深從堰頂首端的 h_A 值變到末端的水深 h_B 。這一段自由水面曲綫接近於直綫。但是在這一段內,仍可以看到

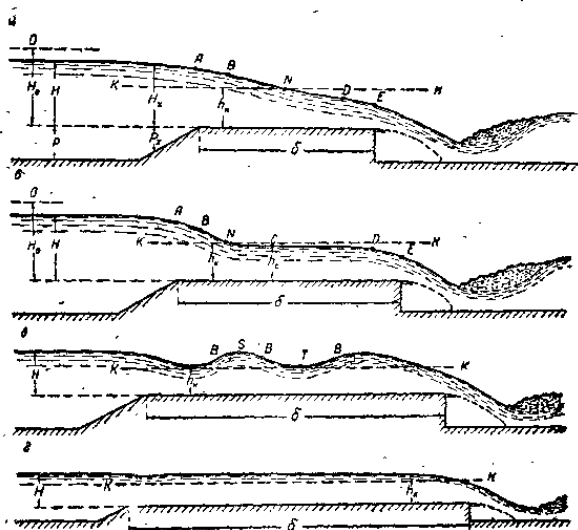


圖 3 自由溢流情形下的寬頂堰基本圖式：

a—水深連續下降的不淹沒堰； b—有近似平行流束水流段的不淹沒堰； c—有波狀水流的自淹沒堰； d—水平渠道。

自由水面曲綫及水流的部分流束向上凸出地彎曲的 AB 及 DE 段，也可以看到稍顯凹形的水流段 BD 。因此，這裡就有兩個自由水面曲綫的反彎點，並且在第一個點上水深較臨界水深為大，而在第二個點上水深較臨界水深為小；可見，水流正好在 BD 段內越過臨界水深。所講的這種水流形式沒有列入技術規範[7]的分類內，但是在實用上却時常遇到它，因此米哈依洛夫[6]建議將它歸入寬頂堰的基本圖式內。

圖 16 示寬頂堰的典型圖式。它的特点是，在堰頂上建立了近似平行流束的水流段 CD 。這段水流以曲綫水流段 $OABC$ 與上游相連接。由圖可以分辨出進口段 OA ，在進口段中水深從 H 減小

到 h_A 。在這一段中的水流情形決定于上游岸邊與溢流孔連接的構造。靠近 $A-A$ 斷面處，水流的特点是自由液面和水流的部分流束顯著地彎曲，在垂直平面內向上凸出（凸形水流）。在空間堰的情形中，該處可以觀察到流束在水平面內顯著地彎曲，及其有關的水流側向收縮的影響。在水流段 OA 的後面，沿堰頂緊接着水流段 ABC ，在這一段水流中，水深進一步比較急劇地減小，水流從 h_A 減小至垂直面內①的收縮水深 h_c 。這段水流的特征是自由液面和部分流束顯著地彎曲。從 A 點到反彎點 B ，水流向上凸出，從 B 點到 C 點，水流向下凸出（凹形水流）。以後，就進入 OD 段，這一段水流稍有回水曲線的形狀，在初步的近似中，可以把它認為是一根水平綫。在堰頂末端的前面，可以觀察到水深顯然減小，因此形成一段凸形水流（所謂降水）。蘇維埃學者們的研究說明了在平行流束水流段 OD 內，水深較臨界水深為小，越過臨界水深是在凹形水流段 BC 範圍內實現的。

圖 16 示堰頂寬度很大時的波狀水流。在這種情形下，可以區別出駐波的波谷段 BTB 和波峯段 BSB 。

波峯的最高點 S 和波谷的最低點 T 之間的差（波幅）可能是很大的。在這種水流中，波谷的最小水深 h_T 一般較臨界水深為大。圖 16 表示淹沒堰的波狀水流，在文獻中對這種水流的敘述雖然早在 1931 年許華英的著作 [8] 中、以後的著作 [2] 中、以及其他研究人員的著作中都會經找到過，可是在技術規範和最新的水力學手冊 [4, 5, 6] 中，却都沒有反映出這種水流。

圖 16 型的水流形式在許多實際情形中常遇到；此外，對於解釋淹沒過程的機械作用來說，它具有非常重大的意義。因此在擬定堰上水流基本形式的分類時忽視這種水流形式是毫無根據的。

最後，當溢流牆的糙度極大或者堰頂寬度極大時，水流即成為

① 在水流有側向收縮影響的情形下，可以觀察相對於水平面內收縮斷面的水深（參閱圖 42 6）。

平底渠道內降水曲綫的形狀(圖 1))。

圖 1 內所示各圖式相當於所謂不淹沒堰, 它的過水能力與下游的水流條件無關。有時圖 1_a 及 1_b 所示各型水流也叫做自淹沒堰, 因為在堰頂上所發生的波動在這裡沿水流向上波及到上游段。

圖 2 所示的各圖式, 下游水位逐漸增加, 它表示非自由泄流的情形, 此時溢流孔後面的水流被泄水渠中的水流頂托, 並且在水流下面的壓力也不同于大氣壓力。

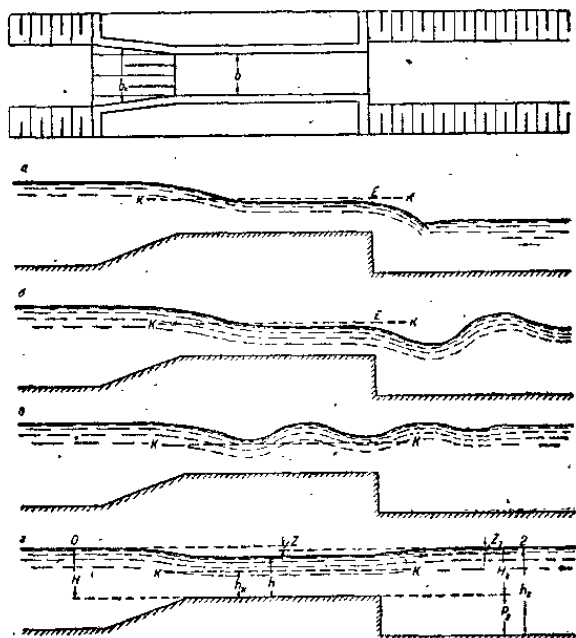


圖 2 非自由泄流情形下的寬頂堰基本圖式:

a—堰後有底流式淹沒水路的淹沒堰; б—堰後有表面水流的淹沒堰;
в—有波狀水流的淹沒堰; г—堰頂有近似水平水流段的淹沒堰。

圖 2a 示在堰頂上有一段平行流束水流的不淹沒堰, 下降的水流以淹沒水躍型和下游相連接。圖 2b 示以表面水躍型相連接。雖然在這些情形下, 断面 E 處水流下面的壓力增高了, 可是 E 點以上的自由液面不發生顯著的變形^①。在沒有跌坎時, 所示的狀態 (圖 2, b) 就不會發生。

圖 2a 和圖 1a 很相似, 只有一點不同, 圖中波狀是由于下游的影響而發生的, 所以圖 2, a 型的堰相當於淹沒堰。這種形式的水流在文獻 [1] 內曾予以說明。

圖 2a 示在淹沒程度很大的水流。在這裡波狀現象實際上並不顯著, 並且可以把堰頂上的水流表面當作是水平的。

上面所講的各種水流形狀都相當於堰頂的進口很平順的條件。當水流急劇地作垂直收縮和平面收縮時, 可以觀察到水流又是另種的形狀。

圖 3a 所示的一種堰, 與圖 1b 相比, 則沒有降水段 DE , 並且平行流束水流的深度也比臨界水深小得多。同時, 雖然下游的水位顯然比堰頂的自由液面水位來得高, 可是堰仍然是不淹沒堰。

圖 3b 示在堰頂上有波狀水躍的水流。圖中在收縮断面 $O-C$ 以前的流動和圖 3a 上所示的流動沒有什麼差別。其後水深在波峯 S 點以前急劇地增大, 形成具有波狀表面的凹形水流段 OB_1S 。圖 3b 和圖 2a 型的水流之間的基本區別是下游的影響沒有達到上游, 並且堰仍然是不淹沒堰。因此在這種情形下收縮水深 h_0 比臨界水深小得多, 但是對圖 2a 上所示的圖式來說, 最小的水深 h_r 常較臨界水深為大。除此以外, 圖中壅水段 CB_1S 較波狀水流 (圖 2a) 陡得多。

圖 3a 說明一種有狹窄的波谷的水流, 這個波谷是由于水流的垂直收縮和平面收縮的影響所引起的。最小水深 h_p 比臨界水深大得多; 堰在這時候已被淹沒。

① 在淺流面傾斜的情形中, 連接情形基本上不變。

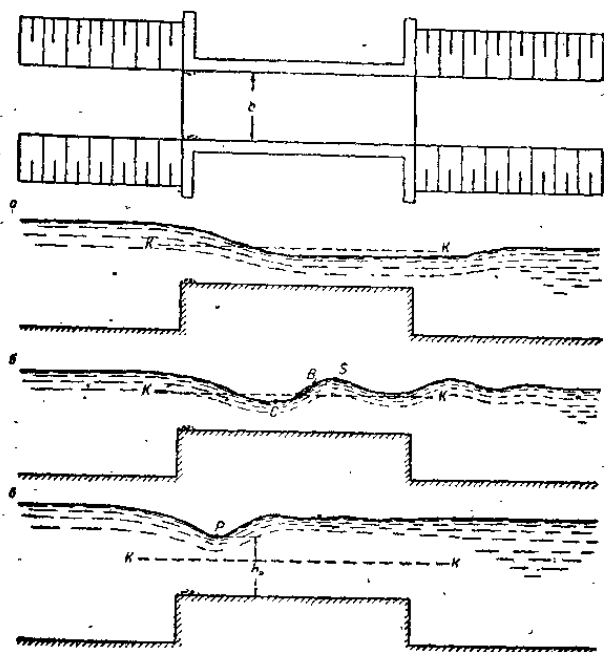


圖 3 進口不平順情形下的寬頂堰基本圖式：

a—堰頂有近似水平水流段的不淹沒堰； b—堰頂有波狀水面的不淹沒堰； c—堰頂有波谷的淹沒堰。

在以寬頂堰圖式工作的水工建築物孔口內，明渠水流的基本流動形式就是這些。

在堰頂相對寬度非常小的情形下，當堰不淹沒時，水流的自由液面就採取圖 4 所示的形狀。這裡的特点是沒有凹形水流段。根據現在的分類，圖 4 型的水流近似於梯形實用堰。在寬頂堰和實用堰之間的過渡範圍內，沿堰頂的自由液面曲線為傾斜直線的形狀。



圖 4 堰頂水平的實用堰。

第二節 在垂直平面內變形的水流 (曲綫水流)的一般關係式

從前面所作的敘述中看出，除了圖 1 及 2 型的水流以外，在堰上所發生的現象與水流在垂直平面內的較大的變形有關。因而，不去研究這種水流的性質而想揭開堰的基本規律是不可能成功的。必須着重指出，不僅在平面堰的情形會發生垂直平面內的變形，而且在空間堰上也會發生，此時水流主要是被建築物的邊墩所收縮。

變形水流不能用一般不勻流的水力學方法來研究，因為不勻流的原始關係式是在流束的較小彎曲和擴散程度可以忽略不計的假定下導出的，就是在緩變流的條件下導出的。我們援引幾個例子來作說明，這些例子可指出在用一般不勻流的水力學方法來研究變形水流時所得出的誤差的大小。圖 5 示直接從實驗得出的自由液面曲綫。圖 5a 的曲綫表示在降水段以前的凸形水流段，圖 5b 的曲綫是堰的曲綫段 ABC，圖 5c 的曲綫示隨着水流的平順收縮、水深的變化情形。圖 5 的水平細綫表示水流對堰頂的總水頭值 H_0 。由於所研究的水流段並不長，所以在初步的近似中可以將總水頭視為不變。圖 5 的虛綫表示比能綫，可按下列不勻流的一般關係式予以計算：

$$E_x = h + \alpha \frac{v^2}{2g} = h + \alpha \frac{Q^2}{2g h^3 b^2},$$