

7
6
5
4
3
2
乙

水文測站叢書

堰閘水文測驗及整編

江苏省水利厅水文总站著



水利电力出版社

序 言

解放以后，随着水利事业的发展，我省許多河流上兴建了不少的水閘和堰坝。为了有效地利用这些水工建筑物去控制水流，調节水量，并驗証、改进工程設計和作好工程管理养护工作，历年來，曾在一些重要堰閘上設立了水文測站。这些測站由于受到閘門启閉影响，無論在建站、測驗和資料整編上都和一般的測站有所不同。通过几年来的工作，对堰閘水文測驗和流量資料整編方法，初步获得一些經驗。現在，社会主义水利建設事业正在全国範圍內飞跃发展，水工建筑物的出現將如雨后春笋，河道大都渠化。肯定地說，利用水工建筑物測流，將是今后流量測驗的重要方法。为了适应这一需要，編成此書，以供水文工作同志的參考。惟因時間倉促，并受水平限制，誤謬难免，尙希給予指正。

江苏省水利厅水文总站

1958年9月

目 录

符 号.....	4
第一章 堰閘出流的一般概念.....	6
§1. 一般堰閘的类型(6) §2. 堰閘出流的几种流态(9) §3. 水跃的形式(10)	
第二章 堰閘出流流量的計算.....	11
§4. 平底槽閘門孔及寬頂堰閘門孔出流流量的計算(11) §5. 实用堰上閘門孔及跌水壁前閘門孔出流流量的計算(15) §6. 薄壁堰、实用堰及跌水出流流量的計算(19) §7. 寬頂堰出流流量的計算(23) §8. 一般堰閘流量計算公式的簡化和归納(26)	
第三章 堰閘水文測站的布設.....	29
§9. 水尺的布設(29) §10. 測流断面的选設(33)	
第四章 堰閘水文站的水文測驗.....	33
§11. 水位的觀測与加測(33) §12. 閘門启閉情况的記載(36) §13. 閘下流态的觀測(37) §14. 水跃位置的觀測(38) §15. 流量測驗(39) §16. 河床变态測驗(41)	
第五章 堰閘站流量資料的整編.....	41
§17. 整編方法的探討(41) §18. 流量系数的計算和整理(43) §19. 水位~流量关系曲綫的繪制(51) §20. 計算流量曲綫的簡便方法(定輪标准曲綫法)(57) §21. 特殊情况的处理(57)	
第六章 同类型堰閘流量系数的綜合研究.....	59
§22. 流量系数的綜合研究(60) §23. 利用定型的流量系数推算流量应行遵守的法則(62) §24. 利用定型流量系数繪制水位~流量关系曲綫(62) §25. 流量系数綜合研究中閘下水位的处理問題(63)	
結 語	
附录 I 弧形閘門开启高度指标校正法.....	65

符 号

本文采用符号代表的意义如下(其中部分符号已在图1中注明):

- Q ——流量(公方/秒)
- φ ——流速系数
- ε ——垂直收缩系数
- b ——闸门或堰坝总宽度(公尺)
- B ——闸上游河渠总宽度(公尺)
- e ——闸门开启高度(公尺)
- g ——重力加速度 $=9.81$ 公尺/秒²
- H ——上游水头, 上游水位减去闸底或堰顶高度(公尺)
- H_0 ——计及行近流速水头的上游水头(公尺)
- h_c ——闸下收缩断面处的水深(公尺) $=\varepsilon \cdot e$
- v ——流速(公尺/秒)
- v_0 —— $o-o$ 断面处平均流速, 即行近流速(公尺/秒)
- v_c —— $c-c$ 断面处平均流速, 即收缩断面处平均流速(公尺/秒)
- h_w ——总水头损失
- h_M ——因局部抗阻引起的水头损失
- ζ_M ——局部抗阻系数
- $\frac{v_0^2}{2g}$ ——行近流速水头(公尺)
- ω ——闸孔或堰顶过水面积(平方公尺)
- Ω ——闸上游断面的过水面积(平方公尺)
- ω_c —— $c-c$ 断面处过水面积, 即收缩断面处过水面积(平方公尺)
- h_z ——闸下水深(公尺)
- μ ——第一流量系数 $=\varphi \cdot \varepsilon$

M ——第二流量系数 $=\mu\sqrt{2g}=4.43\mu$ 或堰流流量系数 $=4.43m$

Z ——閘上下游水位差(公尺),即上游水位减去下游水位之差

Z' ——閘上下游水位差(公尺),即上游水位减去閘下水位之差

Z'_0 ——計及行近流速水头的閘上下游水位差(公尺)

q ——單位閘或堰寬的過閘流量(公方/秒)

σ_1 ——半沉溺系数

H' ——自孔口中心算起的上游水头(公尺)

H'_0 ——自孔口中心算起計及行近流速水头的上游水头(公尺)

H'' ——上游水头减去閘門开启高度的距离(公尺)

h_n ——閘下游水头(公尺),閘下游水位减去閘底或堰頂高度

$h_o, h_{o'}$ ——閘下游水深(公尺)

p ——堰壩下游一側堰頂距离底面高度(公尺)

p_1 ——堰壩上游一側堰頂距离底面高度(公尺)

ε' ——側面收縮系数

m ——自由式堰流第一流量系数 $=\frac{2}{3}\mu$

m_0 ——含蓄行近流速影响的堰流第一流量系数

M_0 ——含蓄行近流速影响的堰流第二流量系数

Φ ——堰流第二流速系数 $=\varphi\sqrt{2g}=4.43\varphi$

C_1 ——側面收縮系数与自由式堰流第二流量系数的乘积 $=\varepsilon' \cdot M$

C_2 ——側面收縮系数与沉溺式堰流第二流速系数的乘积 $=\varepsilon' \cdot \Phi$

σ ——堰流的沉溺系数

h ——寬頂堰堰頂水深(公尺)

h_K ——临界水深(公尺)

H_u ——閘上游水位(公尺)

H_L ——閘下游水位(公尺)

$H_{D.L}$ ——閘下水位(公尺)

h_c'' ——水跃共軛水深(公尺)

J_c'' ——共軛水深的相关函数, $J_c'' = \frac{h_c''}{E_0}$ 由附录Ⅱ第9表中

根据 J_c 或 $\Phi(J_c)$ 值查得。

$$J_c = \frac{h_c}{E_0}, \quad \Phi(J_c) = \frac{q}{\varphi E_0^{3/2}}$$

E_0 ——上游能面水头高度与閘底高度之差(公尺)

δ ——寬頂堰厚度(公尺)

第一章 堰閘出流的一般概念

設在堰閘附近的水文測站和一般河渠中的水文測站有些不同, 因为河渠中的水文測站可从实测成果与明渠水流中的各水力因素寻求相关关系, 根据求得的关系推算任何時間的流量; 而堰閘水文站由于河渠受到人工建筑物的回水影响, 往往水面比降很小, 不便利用, 加以閘門变动时水流极不穩定, 如果仍按一般測站的方法来寻求相关关系是比較困难的。因此“測站规范”中要我們設站时避免变动回水影响。但实际上往往无法避免, 我們既然需要在堰閘附近进行水文測驗, 就应当利用水工建筑物出流的水力因素的一般規律, 首先对它加以印証測驗, 从而利用它的規律来推算流量, 是比較妥善的办法; 因此我們对于堰閘出流的一般規律必須要有明确的認識, 对它才好加以利用。

§1. 一般堰閘的类型

在水工建筑物中所謂的堰閘, 实为閘門孔与溢流堰坝两种建筑物的总称, 在建筑形式上兩者可以分別单独的应用, 亦可以結合应用。

关于一般堰閘的类型在目前常見的有如图1所列各种。图1

中各类閘坝可作如下的說明：

1. 平底槽閘門孔：在閘門底下沒有堰坝建筑，閘門下游無論有无消能設備（消力槽或消力塘）一律称为平底槽閘門孔，如图1的1,a。

2. 寬頂堰上閘門孔：在閘門底部有寬頂堰的建筑物，当閘孔自由出流时，水跃产生在堰頂之上，如图1的2,a。

3. 实用堰上閘門孔：在閘門底部有实用堰建筑物，当自由出流时水跃发生在堰面以下，如图1的3,a。

4. 跌水壁前閘門孔：閘門孔建筑在跌水壁前，水流經過閘孔以后，水跃产生在跌水壁下，如图1的4,a。

5. 迭梁式閘門孔：一般的旧式閘門，以木梁重迭关闭閘孔，称为迭梁式閘門孔，在关闭一部分閘板时水由梁上溢过，即如薄壁堰浪水現象，惟梁頂是平口而不是銳緣，如图1的5,d，为銳緣薄壁堰。

6. 不隆起的寬頂堰：平底槽閘門孔及迭梁式閘門孔，当閘門全部提出水面以后，因为河床断面受到閘牆的束水，使河道的自由水面在閘上游壅高，产生壅流現象，称为不隆起寬頂堰，如图1的1,d。

7. 寬頂堰：頂部寬闊的堰坝，堰頂厚度 $\delta \geq 2.5H$ ，称为寬頂堰，如图1的2,d，当寬頂堰上閘門孔閘門提出水面以后，与此相同。

8. 实用堰：流綫型的堰坝称为实用堰，又称奧奇式滾水坝；当实用堰上閘門孔閘門提出水面以后，与此相同，如图1的3,d。

9. 跌水：河底縱比降驟然下跌（或由人工建造而成）分为上下兩段不連接的縱坡降，水流經此产生跌水現象，称为跌水，如图1的4,d。跌水壁前閘門孔閘門提出水面时与此相同。

10. 薄壁堰：在小河渠中以堰（或堰板）攔阻，水經銳緣的薄壁溢出，称为薄壁堰，或銳緣堰，如图1的5,d。此种堰边常用銳緣鉄板制成。

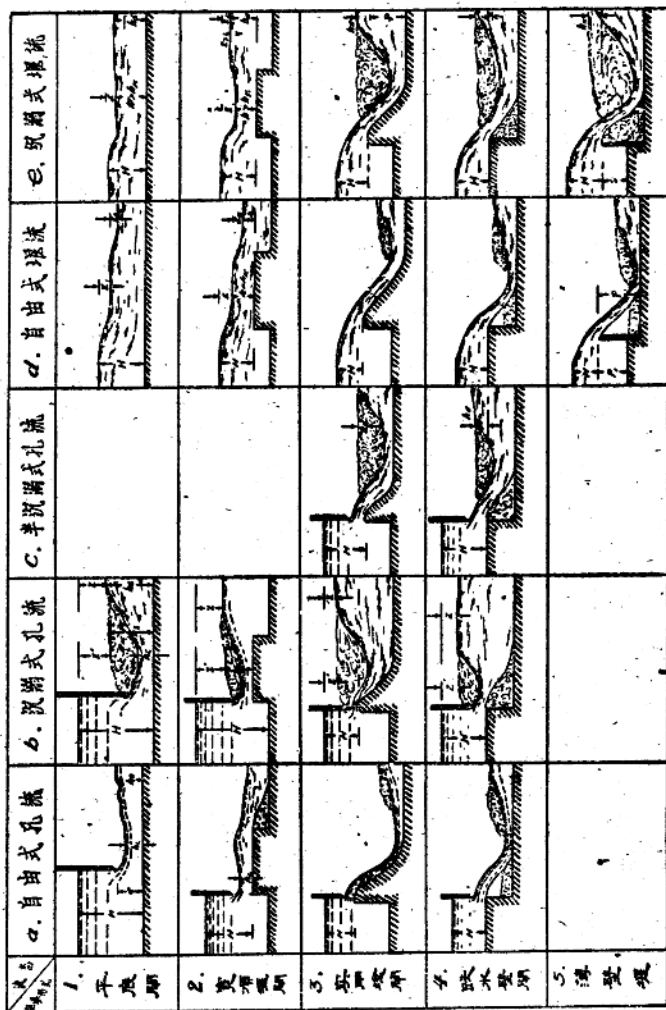


图1

§2. 堰閘出流的几种流态

水流通过堰閘，按其建筑物对于水流的影响来说，可分两种情况：(1)未有閘門设备的堰坝或者虽有閘門，但閘門已經提出水面，水流仅受建筑物的障壁所阻，使水面在堰前升高，不受閘門或胸牆的压缩，这称为堰流；(2)水流通过閘門孔时，有閘門或胸牆等障碍物，对于水流表面有所压缩，这称为孔流。在孔流与堰流中均有自由式及沉溺式等流态，在某些堰上閘門孔还有半沉溺式的流态，分别说明如下：

1. 平底槽閘門孔及寬頂堰閘門孔：若閘下水位低于孔口頂端，亦即閘下游的水位没有漫过水跃淹没收缩断面，使閘孔放出之水可以自由放泄，如图1的1,a及2,a是为自由式孔流。

如果閘下水位高于孔口頂端，即下游水位淹没了水跃，如图1的1,b及2,b均称为沉溺式孔流。

2. 实用堰上閘門孔及跌水壁前閘門孔：水流通过閘門以后直接射出，水跃产生在堰壁或跌水壁以下，且閘下水位低于堰頂或跌水壁頂，如图1的3,a及4,a皆称为自由式孔流。

当閘下水位高于孔口頂端，如图1的3,b及4,b时，称为沉溺式孔流。

当閘下水位高于堰頂，低于閘孔頂端，即介于自由式与沉溺式之間，如图1的3,c及4,c，称为半沉溺式孔流。

3. 实用堰、薄壁堰及跌水壁：当閘門提出水面，且閘下及閘下游(距閘較远在水跃以外)水位低于堰頂，即 $h_0 < p$ 或者下游水位虽然高于堰頂，但是相对水位差 $\frac{z}{p} > 0.7$ ，统称为自由式堰流。如图1的3,d、4,d及5,d。

当閘下及閘下游水位高于堰頂，即 $h_0 > p$ 且相对水位差 $\frac{z}{p} < 0.7$ 时，称为沉溺式堰流。如图1的3,E、4,E及5,E。

4. 平底閘及寬頂堰：当閘門提出水面以后(此时平底閘可以

称为不隆起的寬頂堰), 堰下水头 h_n 或平底閘閘下水深 $h_0 \leq$ 堰頂水深 h , 或堰頂水深 h 等于临界水深 h_c 約等于 $\frac{2}{3}$ 上游水头 H , 如图 1 的 1, d 及 2, d , 称为自由式堰流。

当下游水头 h_n 或平底閘閘下水深 $h_0 >$ 堰頂临界水深 h_c , 如图 1 的 1, e 及 2, e , 称为沉溺式堰流。

§3. 水跃的形式

当水流通过堰閘以后, 在堰閘的下游, 由水深較淺 (小于临界水深) 的一段急流状态突然增加水深 (小于临界水深), 轉变为緩流现象, 叫做水跃 (如图 2)。

水跃形式大体可分为下列几种形式:

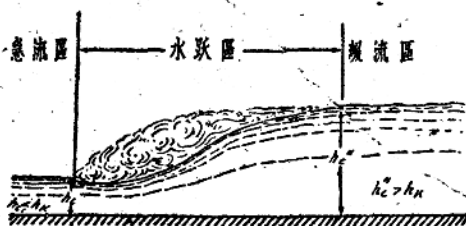


图 2

1. 远軀式水跃: 离开堰閘或閘門有一段較远的距离产生的水跃, 如图 3 的 1 及 2, 称为远軀式水跃。

2. 突涌式水跃或临界状态水跃: 紧靠在出流水舌收縮断面处形成的水跃, 在有实用堰的閘閘, 閘下水面还未淹沒到堰頂, 如在平底閘閘下水面还未淹沒到閘孔頂端, 如图 3 的 3 及 4, 称为突涌式水跃或临界状态水跃。

3. 沉溺式水跃或淹沒水跃: 水跃发生在堰閘下游水面与堰壁 (有堰的) 或閘門 (平底閘) 相鄰接之处, 并使出流水舌完全沉溺其中, 如图 3 的 5 及 6, 称为沉溺式水跃或淹沒水跃。有些实用堰上閘門孔, 因为堰身較高, 閘孔开启高度不大, 水跃虽然已成淹沒式, 但堰頂并未淹沒, 流态仍为自由式孔流。所以水跃形式并不能完全代表閘孔出流的流态, 这是需要注意的。

4. 波狀水跃：凡水跃高度不大，其 $h'' \leq 2h_0$ ，而且具有許多逐漸消失的波浪形狀，水跃波中没有表面的漩滾。如图 3 的 7，称为波狀水跃。

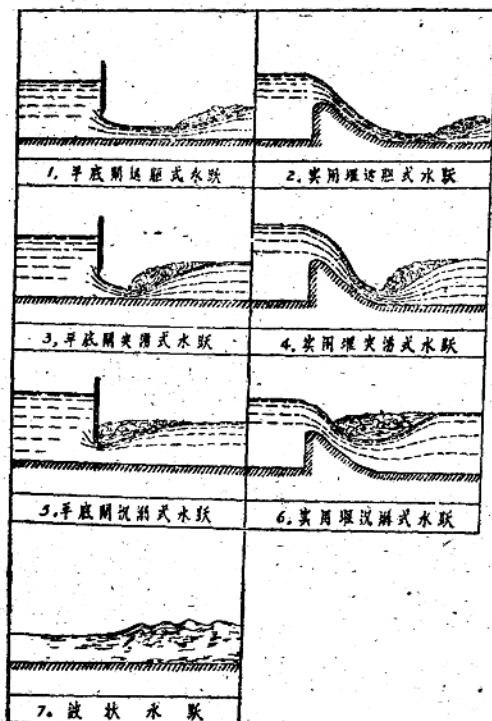


图 3

第二章 堰閘出流流量的計算

§4. 平底槽閘門孔及寬頂堰閘門孔出流流量的計算

1. 平底閘自由式孔流：在閘門未經提出水面時，由閘門下流出的水舌垂直方向即發生收縮。水舌的收縮断面，在平底槽閘門

之后，距离閘門長度約等于孔口高度（如图 4）。

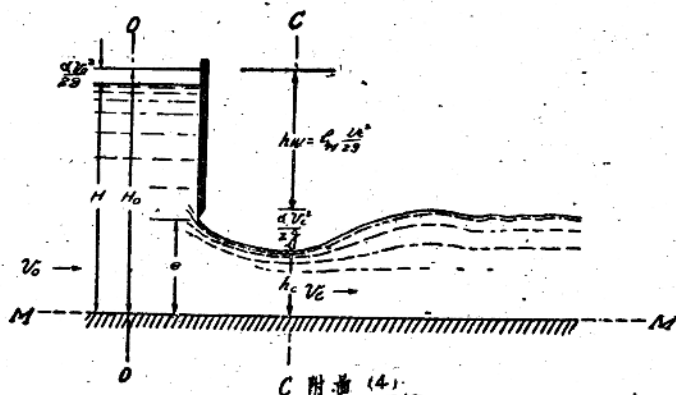


图 4

在水經平底槽閘門孔出流时，其收縮断面的水深可由孔口开启高度乘上一个收縮系数即得：

$$h_c = \epsilon \cdot e \quad (4-1)$$

垂直收縮系数 ϵ 值，根据理論上及研究上的証明与閘門的相对开启之值 $\frac{e}{H}$ 有关，它的数值是随着 $\frac{e}{H}$ 增加而增大，即 $\epsilon = f\left(\frac{e}{H}\right)$ ，（前式表示 ϵ 为 $\frac{e}{H}$ 的函数，也就是 ϵ 值的大小随着 $\frac{e}{H}$ 值的大小而变）。据朱可夫斯基教授测定的收縮系数 ϵ 值如表 1：

表 1 垂直收縮系数 ϵ 之值 $\epsilon = f\left(\frac{e}{H}\right)$

$\frac{e}{H}$	ϵ	$\frac{e}{H}$	ϵ	$\frac{e}{H}$	ϵ	$\frac{e}{H}$	ϵ
0.00	0.611	0.30	0.625	0.55	0.650	0.80	0.720
0.10	0.615	0.35	0.628	0.60	0.660	0.85	0.745
0.15	0.618	0.40	0.630	0.65	0.675	0.90	0.780
0.20	0.620	0.45	0.638	0.70	0.690	0.95	0.835
0.25	0.622	0.50	0.645	0.75	0.705	1.00	1.000

上表当 $\frac{e}{H} > \frac{2}{3}$ 且在自由式出流时閘門將不接触水面，已不是孔口出流，而是堰流，但当閘下有回水影响时（沉溺式孔流），閘門对于自由水面尚有压缩作用，仍为孔口出流，所以 $\frac{e}{H} > 0.65$ 时的 e 值仍然列在表内。

今以图 4 来研究流量计算公式，并以河底面 $M-M$ 作为基准水平面，则可列出对于断面 $O-O$ 和 $C-C$ 的伯诺里方程式，若将閘上自由水面上及閘下收缩断面上的大气压力认为相等，均等于 1 大气压力，并对閘上下断面流速分布不均匀之点略而不计则得：

$$\frac{v_o^2}{2g} + H = \frac{v_c^2}{2g} + h_c + h_w \quad (4-2)$$

按伯诺里方程式是根据能量不灭定律的原理，以 $O-O$ 断面的总水头或称动压力水头（未计及大气压力） $\frac{v_o^2}{2g} + H$ 与 $C-C$ 断面的总水头（同样未计及大气压力） $\frac{v_c^2}{2g} + h_c$ 再加上水流受到閘孔的局部抗阻所受的水头损失 h_w 是应当相等的，所以得 (4-2) 式。式中： $\frac{v_o^2}{2g}$ 代表 $O-O$ 断面上的流速水头，也就是该断面因产生流速 V_o 所消耗的势能； $\frac{v_c^2}{2g}$ 代表 $C-C$ 断面的流速水头，以 $h_w = \zeta_M \frac{v_o^2}{2g}$ 代入 (4-2) 式可改为下式：

$$\frac{v_o^2}{2g} (1 + \zeta_M) = H + \frac{v_o^2}{2g} - h_c \quad (4-3)$$

从上式移项可求得 $C-C$ 收缩断面处之流速为：

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_M}} \times \sqrt{2g \left(H + \frac{v_o^2}{2g} - h_c \right)} \quad (4-4)$$

设令 $1/\sqrt{1 + \zeta_M} = \varphi$ ， $H + \frac{v_o^2}{2g} = H_0$ 代入 (4-4) 式而得下面一个常用的公式：

$$v_c = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h_c)} \quad (4-5)$$

流速系数 φ 值因在不同类型的堰閘有不同的数值，所以最好是从实测流量成果中求得较为可靠，以下各公式中的系数亦同，推求系数的方法在第五章中叙述。根据巴甫洛夫斯基院士实验的记录，经平底槽閘門下出流时的流速系数应采用 $\varphi = 1.00 \sim 0.95$ （通常采用 0.95）。

已知在收缩断面中的流速 v_c ，可从下列等式求得流量：

$$Q = \omega_c \cdot v_c \quad (4-6)$$

将(4-1)式及(4-5)式中之值代入(4-6)式则得：

$$Q = \varphi \varepsilon b \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon e)} \quad (4-7)$$

用 μ 表示流速系数和垂直收缩系数的乘积称为流量系数，即 $\mu = \varepsilon \varphi$ 并以 $M = \mu \sqrt{2g}$ 代入(4-7)式可得最后比较简单的公式：

$$Q = M b e \sqrt{H_0 - \varepsilon e} \quad (4-8)$$

2. 平底閘沉溺式孔流：在閘下收缩断面处水面已被回水淹没，原水深 h_0 变为 h_z ，而 h_z 又常较下游河道正常水深 h_0 为小，即 $h_c < h_z < h_0$ （如图 5），即为沉溺式閘孔出流。

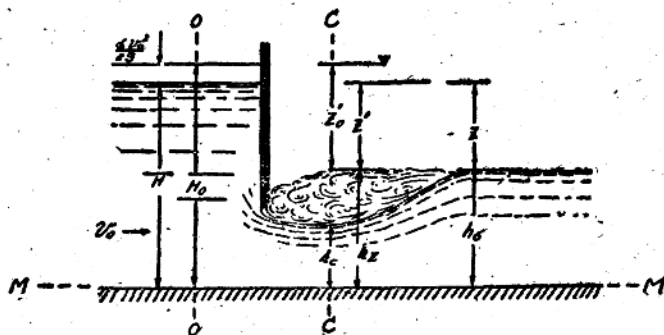


图 5

在图 5 中以河底为基准平面，按照本节第 1 段相同的办法，对于 O—O 及 C—C 断面列出伯诺里方程式，经过整理最后得出与(4-8)式相仿的公式为：

$$Q = Mbe\sqrt{H_0 - h_s} \quad (4-9)$$

上式中与(4-8)式不同之处，仅是根号内原为 se 即 h_c 值，现因沉溺式出流閘下水位增高更换为 h_s 值。

又因 $z'_0 = H_0 - h_s$ ，所以沉溺式閘孔出流的流量公式可以简化为：

$$Q = Mbe\sqrt{Z'_0} \quad (4-10)$$

閘下水位 h_s 处观测比较困难，水力学上介绍一些根据閘下游水深 h_0 直接推算 h_s 的公式，但是由于边界条件不同，有些堰閘因为下游建造一些消能设备，在消力槛下游的水位与消力槛上的水位又不一致，閘下游断面与閘口断面亦甚悬殊，因而推算出来的 h_s 值不能尽与实际相符，难以普遍适用，关于推算的公式，本书仅作简单介绍。以供参考：

根据阿格罗斯金教授公式，如果閘孔出流的流量 Q 及閘下游水深 h_0 为已知应将单位閘宽流量 q 值 ($q = Q/b$) 及 h_c 值 ($h_c = se$) 算出后，可用下式求得閘下水深 h_s 值，即：

$$h_s^2 = h_0^2 - \frac{2q^2}{g} \cdot \frac{h_0 - h_c}{h_0 \cdot h_c} \quad (4-11)$$

亦即：

$$h_s = \sqrt{h_0^2 - \frac{2q^2}{g} \cdot \frac{h_0 - h_c}{h_0 \cdot h_c}} \quad (4-12)$$

如果过閘流量为未知，而流量系数 μ 为已知，则：

$$h_s = \sqrt{h_0^2 - M \left(H_0 - \frac{M}{4} \right) + \frac{M}{2}} \quad (4-13)$$

上式

$$M = 4\mu^2 e^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 \cdot h_c}$$

3. 寬頂堰上閘門孔自由式与沉溺式出流：寬頂堰上閘門孔的情况与平底槽閘門孔完全相似，它的流量计算公式，自由式孔流与(4-8)式相同，沉溺式孔流与(4-9)及(4-10)式相同，惟因閘型略有不同，流量系数应当有些出入。

§5. 实用堰上閘門孔及跌水壁前閘門孔出流流量的计算

1. 实用堰閘：实用堰上矩形閘門孔自由式出流由于在断面各

点处的水头 H 值各不相同，因此水舌各点处的流速也不相同，要计算全孔口的流量，必须先将此孔口的面积分成极小面积的水平带（如图6）。

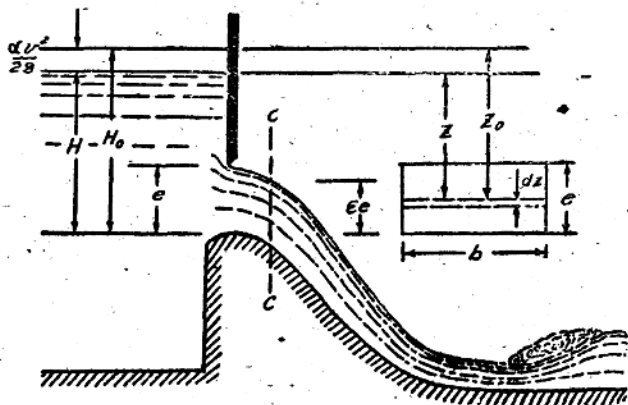


图6

按照计算每一极小水平带射流的流量公式为：

$$dQ = \varphi b \sqrt{2gZ_0} dz \quad (5-1)$$

式中 z_0 为计及行近流速水头的极小面积的水位差

dz 为极小面积的厚度

$$\text{闸孔流量为: } Q = \sum dQ = \sum \varphi b \sqrt{2gZ_0} dz = \varphi b \sqrt{2g} \sum_{H=ee}^{H_0} \sqrt{Z_0} dz \quad (5-2)$$

按照高等数学的法则，将每一极小面积水平带的流量积计（积分）得流量计算公式：

$$Q = \varphi e b \sqrt{2gH_0} \quad (5-3)$$

以 $M = \varphi e \sqrt{2g}$ 则得最后简化公式：

$$Q = M e b \sqrt{H_0} \quad (5-4)$$

(5-3)式中流速系数 φ 值粗略计算时可采用0.95。