灌溉系統構造物之設計與實例

陡槽設計(Design of Chute)

臺灣大學農業工程系講師

洪　　有　　才

一、概述：

陡槽亦稱爲急流工，爲與跌水工具有同樣功用之輸水構造物。當設計者面臨一地形須設置如同跌水工或陡槽之情形時，除考慮地形條件外，經濟條件與流水中含砂量之多少亦應參與判斷，方能得到經濟之目的。含砂量多時，應避免採用陡槽，當在縱斷方向距離短而落差大時，或設於隧道內，則選擇跌水爲佳。一連串跌水之設置，或地面陡坡延長相當距離時，配合土方與構造物之費用，採用陡槽較佳。陡槽本身分爲五段，即進口漸變槽、急流槽、拋射槽、靜水池以及出口漸變槽等。入口漸變槽內尚有控制斷面，控制水深以免上游受到冲刷現象。陡槽斷面有梯形與矩形之分，梯形者受流量之限制，一般用於較小流量(<0.15c.m.s)時。矩形斷面者可用於任何流量，構築材料有混凝土，鋼筋混凝土及漿砌塊石等。

二、設計上應注意事項及其規格

1. 進口出水高參考跌水工設計圖二十。
2. 進口漸變槽長度應大約等於 1.22+1.54Q (Q以秒立方公尺計) 最小 1.5 公尺。
3. 陡坡部份所需出水高度參考跌水工設計圖二十。
4. 計算陡坡出水高度之糙率應採用 0.014，但決定陡坡終點高度時糙率應採用 0.008 以計算流速。
5. 拋射槽之底曲線可應用下列公式計算：

$$y=x\tan\phi+\frac{kx^2}{4h_v\cos^2\phi}$$

$$s=\tan\phi+\frac{kx^2}{2h_v\cos^2\phi}=\frac{dy}{dx}$$

式中　y ＝拋射槽在縱軸之投影

x ＝拋射槽在橫軸之投影

s ＝x點之坡度(可預先假定，約略等於$^1/_2$)

h_v＝拋射槽起點之流速水頭

ϕ ＝陡坡終點與水平所成之角度

K ＝比例常數≦ 0.5 爲垂直方向加速度與重力加速度之比值。

6. 拋射槽應盡可能終止於拋射槽牆頂與靜水池牆頂之交點或終於此交點以上，一般陡坡之放寬至此點爲止。雖在計算上，或將放寬段直延至池底，假設可能陡坡之放寬應自拋射段之起點開始，並拋射槽終端之座標 X、Y 固定以後 K 值及S值常不能得整數。其坡度不得陡於1:1.5，K值不可超過 0.5，以上所述各點不得應用於梯形陡坡，因拋射槽內應力求避免寬度和形狀之變化。
7. 拋射槽自最小放大至靜水池之寬度須先假定其斷面而計算縱向流速、深度、然後檢討其橫向力。

令 V ＝縱向流速

b ＝任何一斷面之寬度。

d ＝任何一斷面之深度，與底垂直。

L ＝沿陡坡兩斷面之間之長度。

K ＝用於計算拋射槽段所用之重力部份。

T ＝水自某一斷面流至另一斷面所需之時間。

V_t 及h_{vt}＝橫向流速，及橫向流速水頭。

假定橫斷面使其寬度與縱向流速成比例並假定壓力爲(1−K)…… (1.2表示選用兩斷面)

則：$\frac{V_1d_1^2}{2}(1-K)+\frac{V_1d_1V_{t1}^2}{g}=\frac{V_2d_2^2}{2}(1-K)+\frac{V_2d_2V_{t2}^2}{g}$

令 $V_{t1}=0$ ，則上式簡化爲：

$$h_{vt2}=\frac{V_1d_1^2(1-K)}{4V_2d_2}-\frac{d_2(1-K)}{4}$$

寬度放寬所需之時間 T 等於$\frac{2L}{V_1+V_2}$

又$b_2=b_1+TV_2$

若不在拋射槽上之各點(1−K)一項可消去。在計算縱向流速時於上式中，b_2 之正確答數必等於或大於供計算之縱向流速 V_2 及深度 d_2 之值，合 (1−K) 各項須要乘以 ϕ 之餘弦，以資校正，然一般此項校正都可略去。

又於射流狀態時由實驗得知其放寬之最大限度可

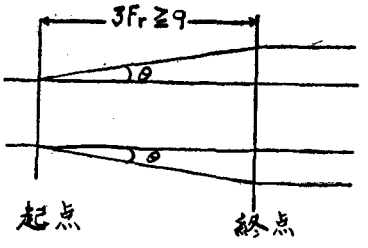
由下式得：$\tan\theta=\frac{1}{3F_r}$，$\theta$：拋射槽放寬之角度

$$F_r=\frac{V}{\sqrt{gd}}\cdots\cdots\text{Froude Number}$$

一般於急流工設計時都令：

$$\tan\theta\leqq\frac{1}{9}$$

$$3F_r\geqq 9$$



8. 靜水池出水高度可依跌水工設計圖二十定之，或依流量多寡有如下之規定：

Q	F_{bp}
0-0.20	35
0.21-0.50	45
0.51-1.0	50
1.1 -1.5	60

Q＝流量以秒立方公尺計。

F_{bp}＝靜水池出水高度以公分計。

9. 靜水池長度及寬度參考跌水工設計

10. 結構設計參考跌水工設計表二及表三。

三、設計例：

假設某一陡槽上下游渠道之水理條件知如下：

	上游	下游	
底　寬 (b)	2.00	2.00m	
水　深 (d)	0.80	0.69	
邊　坡 (z)	1.5	1.5	
糙　率 (n)	0.03	0.02	(爲安全計取0.02.，原爲0.03)
比　降 (s)	0.001	0.001	
流　速 (v)	0.707	0.96	
流　量 (Q)	2.00	2.00	
渠底標高 (EL)	99.60	96.00	

1. 水理計算：

a. 進口：

(i)設流速 Q＝2 00cms 及 0.25cms n＝0.03 時，其各水理因素如下，並求其控制斷面：

	最　大 Q_1＝2.00cms	最　小 Q_2＝0.25cms
渠底寬 (b)	2.00	2.00
水　深 (d)	0.86	0.274
斷面積 (A)	2.83	0.66
潤　週 (P)	5.1	2.985
水力半徑 (R)	0.555	0.2241
流　速 (V)	0.707	0.38
流速水頭 (h)	0.0255	0.00715
比能量 (E)	0.8855	0.28115
$E^{3/2}$	0.834	0.1486
$E^{5/2}$	0.636	0.0147

(ii) Q_1 及 Q_2 爲知已，求 K 值如下：(參考附錄)

$$K_1=\left(\frac{Q_1^2}{g}\right)^{1/3}=0.782 \qquad K_1^{3/2}=0.692$$

$$K_2\ \left(\frac{Q_2^2}{g}\right)^{1/3}=0.185 \qquad K_2^{3/2}=0.08$$

(iii) Q_1時；$\frac{K_1^{3/2}}{E_1^{3/2}}=0.83$　$\frac{K_1^{3/2}}{E_1^{5/2}}=1.086$

Q_2時；$\frac{K_2^{3/2}}{E_2^{3/2}}=0.538$　$\frac{K_2^{3/2}}{E_2^{5/2}}=1.915$

$\therefore\frac{M_1}{M_2}=0.648$　$\frac{N_2}{N_1}=0.567$

由$\frac{M_1}{M_2}=0.648$ 及$\frac{N_2}{N_1}=0.567$ 查圖一得

$a=0.757$

再由a　查表一得　$M=0.838$，$N=1\,396$

$\therefore\ B_c=0.838\times0.83=0.696$

$S=1.396\times1.086=1.514$

故得控制斷面之底寬 $B_c=0.695$m

其邊坡爲 1:1.514 (橫比豎)

(iV)損失水頭計算

(1)控制斷面以上之損失水頭

臨界水深 $d_c=aE=0.757\times0.8855=0.67$m

斷面積求 $A=(0.696+\frac{0.67}{1.514})\times0.67$

$=0.768\text{m}^2$

$\therefore\ V=\frac{2.00}{0.768}=2.61\text{m/sec}$

$$h_v=\frac{(2.61)^2}{19.6}=0.347\text{m}$$

控制斷面及以上等流渠道之水面坡度如下：

(Q=2.00cms 時)

	上游渠道	控制斷面
水　深 d	0.86	0.67
底　寬 b	2.00	0.696
斷面積 A	2.83	0.768
流　速 V	0.707	2.61
流速水頭 h_v	0.0255	0.347
比能量 E	0.885	1.017
潤　週 P	5.1	1.306
水力半徑 R	0.555	0.588
水面坡度 S	0.000988	0.00269

若控制斷面以上之漸變槽長度設爲 2.00m 則其損失水頭計算如下

磨擦損失水頭

$$h_f = L \times S_{mean} = \frac{0.000988+0.00269}{2} \times 2$$

$$= 0.00368$$

斷面變化損失水頭

$$h_s = 0.2\Delta h_v = 0.2(0.347 - 0.0256) = 0.0643$$

總損失水頭

$$h_L = h_f + h_s = 0.00368 + 0.0643 \fallingdotseq 0.0680$$

(2)控制斷面至急流槽進口之損失水頭

令此兩點間之距離爲2.5m，急流槽寬爲2.00 m則

	控制斷面	急流槽進口
水　深 d	0.67	0.3
底　寬 b	0.696	1.20
斷　面 A	0.768	0.36
潤　週 P	1.306	1.80
水力半徑 R	0.588	0.20
流　速 V	2.61	5.56
流速水頭 h_v	0.347	1.57
比能量 E	1.017	1.87
糙　率 n	0.014	0.014
水面坡度 S	0.00269	0.05175

磨擦損失水頭 $h_f = L \times S_{mean} = 2.5 \times \frac{0.00269+0.05175}{2} = 0.068$，

斷面變化損失水頭 $h_s = 0.2(1.57 - 0.347) = 0.245$

總損失水頭 $= 0.0681 + 0.245 = 0.3131$

$\therefore$ 急流槽進口底標高 $= 99.6 + 0.8855 - 0.0680 - 0.3131 - 1.87 = 98.737$

以上所求各斷面之各水理條件列如下：

	能線高度	流速水頭	水面標高	水深	渠底標高
上游漸變槽進口	100.486	0.2055	100.46	0.86	99.6
損失水頭	- 0.064				
控制斷面	100.422	0.347	100.075	0.67	99.405
損失水頭	- 0.313				
急流槽進口	100.109	1.57	98.539	0.30	98.239

(V) 進口漸變槽長度

$$L = 1.22 + 1.54Q = 4.3 \fallingdotseq 4.5\text{m}$$

進口漸變槽出水高度由圖二十得約 30cm

(b) 急流槽：

決定急流槽水理條件時，應採用 n = 0.008

但計算急流槽出水高時，應採用n = 0.014。

急流槽長度定爲 6.5m (i) n = 0.014 時

	急流槽起點	急流槽終點
d	0.3	0.27
b	1.20	1.20
A	0.36	0.297
P	1.80	1.74
R	0.20	0.171
V	5.56	6.74
h_v	1.57	2.310
E	1.87	2.580
n	0.014	0.014
S	0.0518	0.0948

出水高度計算：

急流槽起點：$F_{bc} = 0.1\,(5.56^2 \times 0.3)^{1/2} = 0.1 \times 3.1 = 0.31 \fallingdotseq 0.30$

急流槽終點：$F_{bc} = 0.1(6.74^2 \times 0.27)^{1/2} = 0.1 \times 3.5 = 0.35$

故側壁高 $= d + F_{bc} = 0.3 + 0.3 = 0.6$m(起點)

及 $= 0.27 + 0.35 = 0.62$ (終點)

(ii) n = 0.008時 (決定急流槽終點標高)

	控制斷面	急流槽起點	急流槽終點
d	0.67	0.29	0.22 (假設)
b	0.696	1.20	1.20
A	0.768	0.348	0.264
R	0.588	0.196	0.161
V	2.61	5.75	7.60
h_v	0.347	1.680	2.94
E	1.017	1.97	3.16
n	0.008	0.008	0.008
S	0.000885	0.0163	0.0423

$S_{mean}=0.00864$　　$S_{mean}=0.0293$

$\therefore h_f=2.5\times0.00864=0.0216m$

$h_s=0.2\times(1.680-0.347)=0.267$

$h_f+h_s=0.0216+0.267=0.289$

註：急流槽起點及終點水深之假設爲根據原來地面線在土方平衡狀況下而定，若假設之水深不能使急流槽合於以上之原則，則須重新假設。

∴控制斷面以下各斷面之標高改正爲：

	能線標高	流速水頭	水面標高	水深	渠底標高
控制斷面	100.422	0.347	100.075	0.67	99.405
損失水頭	- 0.289				
急流槽起點	100.133	1.680	98.453	0.29	98.163
損失水頭	- 0.19				
急流槽終點	99.943	2.940	97.003	0.22	96.783

(c) 靜水池：（設計圖表參考跌水工設計）

(i) 水躍時動能損失（上下游能高差）

下游出口渠道底標高　96.00

水　深　0.69

水面標高　96.69

流速水頭　0.024

能線高度　96.714

∴ F（落差）$=100.236-96.714=3.522m$

(ii) 令靜水池寬度爲 2.00m

$$q=\frac{2.00}{2.0}=1.0\ cms\ (單位寬度流量)$$

$$d_c=\sqrt{\frac{12}{9.8}}=0.467m$$

(iii) $F/d_c=3.522/0.467=7.55$查表一（跌水工設計）

(iV) $K=d_2/d_1=13.17$

$d_2/d_c=0.2205$

(V) 由$d_1/d_c=0.2205$ 得 $d_1=0.2205\times0.467=0.103m$

由 $d_2/d_1=13.17$得$d_2=13.17\times0.103=1.32m$

(Vi) $V_1=1/0.103=9.7m/sec$　$h_{v_1}=4.8m$

$V_2=1/1.32=0.76m/sec$　$h_{v_2}=0.03m$

$d_1+h_{v_1}=0.103+4.80=4.903$

$d_2+h_{v_2}+F=1.32+0.03+3.522=4.872$

$4.903\fallingdotseq4.872$ (O.K)

(Vii) 靜水池標高$=96.714-1.35=95.364m$

取用95.35m

(Viii) 靜水池長度：

$$F_r=\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}=\frac{9.7}{\sqrt{9.8\times0.103}}$$

$=9.7>4.5$ 採用第三種靜水池

由圖十五得 $L/d_2=2.7<=2.7\times1.32=3.56m$

採用 4.00m

(iX)射檻、池檻及終檻尺寸之決定：

(1)射檻 (Chute Blocks)

$h_1=W_1=S_1=d_1=0.2m$

(2)池檻 (Baffle Blocks)

$h_3/d_1=2.2$　$\therefore h_3=2.2\times0.103=0.226$

採用 0.25m

$S_3=W_3=0.75$　$h_3=0.19$　採用 0.20m

$0.2h_3=0.2\times0.25=0.05m$　採用 0.10m

(3)終檻 (End Sill)

$h_4/d_1=1.505$　$h_4=1.505\times0.103=0.155$

採用 0.2m

終檻面臨上游之邊坡爲 1:2 （橫比豎）

(X)靜水池出水高度

$$\frac{QV_1d^1}{A_1}=V_1^2d_1=9.7^2\times0.103=9.7$$

由圖二十得 $F_{bp}=0.65m$

(Xi) 靜水池牆高 $H=d_2+hv_2+F_{bp}=2.00m$

(d) 拋射槽：

(i) 拋射槽底曲線由下列拋物線公式求之

$$y=x\tan\phi+\frac{kx^2}{4h_v\cos^2\phi}$$

$$\tan\phi=\frac{98.16-96.78}{6.5}=0.212\quad\phi=12^0$$

$\cos\phi=4.98$　$ces^2\phi=0.96$，又 $h_v=2.94$

$y=96.78-95.35=1.43$

得 $1.43=0.212x+\frac{kx^2}{11.27}$ ……(1)

$0.5=0.212+\frac{kx}{5.635}$ ……(2)

解①、②得

$x=4.02$　$k=0.403$

將 x=4.02 等分爲 3，即每區間爲 1.34m 則每段點之關係得如下：

x	1.34	2.68	4.02
y	0.352	0.825	1.43

(ii) 拋射槽擴大之檢討

V(m/sec)　b(m)　d(m)

拋射槽起點	7.6	1.20	0.22
拋射槽終點	9.7	2.00	0.103

拋射槽長度=4.02m　　K=0.403

由式 $h_{vt2}=\frac{V_{t2}^2}{2g}=\frac{V_1d_1^2(1-K)}{4V_2d_2}-\frac{d_2(1-K)}{4}$

$=\frac{7.6\times(0.22)^2\times0.597}{4\times9.7\times0.103}$

$-\frac{0.103\times0.597}{4}$

$=0.055-0.0258=0.0192$

$V_{t2}=(2g\times h_{vt2})^{1/2}=(19.6\times0.0192)^{1/2}$

$=0.614$

$T=\frac{2L}{V_1+V_2}=\frac{2\times4.02}{7.6+9.7}=0.588$

$\therefore\ b_2=b_1+TV_2=1.2+0.588\times0.614=1.6$

$b_2=1.6<2.0$

又 $F_r=\frac{7.6}{\sqrt{9.8\times0.22}}=5.16$

$\therefore\ \tan\phi=\frac{1}{5.16\times3}=\frac{1}{15.48}<\frac{1}{9}$

$\therefore$ 靜水池寬度仍可採用 2.00m

（e）出口漸度槽

$L_2=\frac{4.06-2}{2\tan22°30'}=2.50m$

採用 4.00m　　F_{bc}採用 0.3m

2. 結構設計參考跌水工設計及本設計圖二

四、設計圖

表一　M, M, $\frac{M^{5/3}}{N}$, $MA^{3/2}$, 及 $Na^{5/2}$值 (a=0.10～0.80)

a	M	N	$\frac{M^{5/3}}{N}$	$Ma^{3/2}$	$Na^{5/2}$	a	M	N	$\frac{M^{5/3}}{N}$	$Ma^{3/2}$	$Na^{5/2}$
.10	14.50	-70.41	- 1.22	.46	- .22	.677	1.748	.131	19.4	.975	.049
.20	7.41	-17.29	- 1.63	.66	- .31	.678	1.739	.143	17.5	.972	.054
.25	5.99	-10.89	- 1.81	.75	- .34	.679	1.730	.156	15.9	.969	.059
.30	5.03	- 7.38	- 2.00	.88	- .36	.680	1.722	.169	14.6	.966	.064
.35	4.34	- 5.23	- 2.21	.90	- .38	.681	1.713	.182	13.5	.964	.069
.40	3.80	- 3.80	- 2.44	.96	- .385	.682	1.704	.195	12.4	.961	.075
.45	3.37	- 2.78	- 2.72	1.02	- .38	.683	1.695	.208	11.6	.958	.080
.50	3.00	- 2.00	- 3.12	1.061	- .354	.684	1.687	.222	10.8	.955	.085
.51	2.93	- 1.86	- 3.22	1.068	- .346	.685	1.678	.235	10.1	.952	.091
.52	2.86	- 1.73	- 3.34	1.073	- .338	.686	1.669	.248	9.47	.949	.096
.53	2.80	- 1.60	- 3.46	1.078	- .328	.687	1.660	.261	8.91	.945	.102
.54	2.73	- 1.48	- 6.61	1.082	- .317	.688	1.651	.275	8.40	.942	.107
.55	2.66	- 1.36	- 3.77	1.086	- .304	.689	1.642	.288	7.94	.939	.113
.56	2.60	- 1.24	- 3.97	1.088	- .290	.690	1.633	.301	7.51	.936	.119
.57	2.53	- 1.12	- 4.20	1.089	- .274	.691	1.623	.315	7.12	.932	.125
.58	2.46	- 1.00	- 4.48	1.088	- .257	.692	1.614	.329	6.76	.929	.130
.59	2.40	- .89	- 4.82	1.087	- .238	.693	1.604	.342	6.42	.925	.136
.60	2.33	- .78	- 5.27	1.083	- .217	.694	1.595	.356	6.11	.922	.142
.61	2.26	- .66	- 5.87	1.078	- .193	.695	1.585	.370	5.82	.918	.148
.62	2.19	- .55	- 6.72	1.070	- .166	.696	1.575	.384	5.55	.915	.155
.63	2.12	- .44	- 8.03	1.060	- .137	.697	1.566	.398	5.30	.911	.161
.64	2.05	- .32	- 10.3	1.048	- .105	.698	1.556	.412	5.07	.907	.167
.65	1.97	- .20	- 15.3	1.033	- .069	.699	1.546	.426	4.85	.903	.173
.660	1.892	- .0819	- 35.3	1.015	- .029	.700	1.536	.440	4.65	.900	.180
.661	1.883	- .0697	- 41.2	1.013	- .025	.701	1.526	.454	4.46	.896	.187
.662	1.875	- .0575	- 49.6	1.011	- .020	.702	1.517	.468	4.28	.892	.193
.663	1.867	- .0452	-662.6	1.009	- .016	.703	1.507	.482	4.11	.888	.200
.664	1.859	- .0329	- 85.4	1.006	- .012	.704	1.496	.497	3.95	.884	.206
.665	1.851	- .0206	-135	1.003	- .007	.705	1.487	.511	3.79	.880	.213
.666	1.838	.000	00	1.00	0	.706	1.477	.525	3.65	.876	.220
.667	1.835	.00405	679	1.00	.001	.707	1.467	.540	3.51	.871	.227
.668	1.826	.0166	164	.997	.006	.708	1.456	.555	3.38	.867	.234
.669	1.818	.0290	93.3	.995	.011	.709	1.446	.569	3.25	.863	.241
.670	1.809	.0418	64.3	.993	.015	.710	1.435	.584	3.13	.858	.248
.671	1.800	.0543	48.9	.990	.020	.711	1.424	.598	3.02	.854	.255
.672	1.792	.0669	39.3	.988	.025	.712	1.414	.613	2.91	.849	.263
.673	1.783	.0795	32.8	.985	.029	.713	1.403	.629	2.80	.844	.270
.674	1.774	.0922	28.1	.983	.034	.714	1.392	.644	2.70	.839	.277
.675	1.766	.105	24.5	.980	.039	.715	1.381	.659	2.60	.835	.285
.676	1.757	.118	21.7	.977	.044	.716	1.371	.674	2.51	.830	.293

.717	1.360	.690	2.42	.825	.300	.762	.760	1.500	.422	.505	.760
.718	1.348	.705	2.33	.820	.308	.763	.744	1.521	.401	.495	.774
.719	1.337	.721	2.25	.815	.316	.764	.727	1.543	.381	.485	.787
.720	1.326	.737	2.17	.809	.324	.765	.710	1.565	.362	.475	.801
.721	1.314	.753	2.10	.804	.332	.766	.694	1.586	.343	.465	.815
.722	1.303	.768	2.02	.799	.340						
.723	1.291	.784	1.95	.793	.348	.767	.677	1.609	.324	.454	.829
.724	1.280	.800	1.88	.788	.357	.768	.660	1.631	.307	.444	.843
.725	1.268	.817	1.82	.782	.365	.769	.642	1.653	.289	.433	.857
.726	1.256	.833	1.75	.777	.374	.770	.625	1.676	.272	.422	.872
.727	1.244	.849	1.70	.771	.382	.771	.607	1.699	.256	.411	.887
.728	1.232	.865	1.64	.765	.391						
.729	1.220	.882	1.58	.759	.400	.772	.588	1.722	.240	.400	.902
.730	1.208	.899	1.53	.753	.408	.773	.571	1.745	.225	.388	.917
.731	1.196	.915	1.47	.747	.417	.774	.553	1.769	.210	.376	.932
.732	1.184	.932	1.42	.741	.426	.775	.534	1.793	.196	.365	.948
.733	1.171	.949	1.37	.735	.436	.776	.516	1.817	.183	.353	.964
.734	1.159	.966	1.33	.728	.445						
.735	1.146	.983	1.28	.722	.454	.777	.497	1.841	.170	.340	.979
.736	1.133	1.001	1.23	.715	.464	.778	.478	1.865	.157	.328	.996
.737	1.120	1.018	1.18	.709	.474	.779	.459	1.890	.145	.315	1.013
.738	1.107	1.036	1·14	.702	.484	.780	.439	1.915	.133	.303	1.029
.739	1.094	1.053	1.10	.695	.493	.781	.420	1.940	.122	.290	1.046
.740	1.081	1.071	1.06	.688	.504						
.741	1.068	1.089	1.02	.681	.514	.782	.400	1.966	.111	.277	1.063
.742	1.055	1.107	.985	.674	.524	.783	.380	1.991	.110	.263	1.080
.743	1.041	1.125	.949	.666	.535	.784	.359	2.017	.0903	.250	1.098
.744	1.027	1.144	.913	.659	.545	.785	.339	2.044	.0808	.236	1.116
.745	1.014	1.162	.879	.651	.556	.786	.318	2.070	.0718	.222	1.134
.746	1.000	1.181	.845	.644	.567						
.747	.986	1.200	.813	.636	.577	.787	.297	2.097	.0632	.207	1.152
.748	.971	1.219	.781	.628	.589	.788	.276	2.124	.0551	.193	1.170
.749	.957	1.238	.751	.620	.600	.789	.254	2.151	.0475	.178	1.189
.750	.943	1.257	.721	.612	.612	.790	.233	2.178	.0404	.163	1.208
.751	.928	1.276	.692	.604	.624	.791	.210	2.206	.0337	.148	1.228
.752	.914	1.296	.664	.596	.635	.792	.188	2.234	.0275	.133	1.247
.753	.899	1.316	.636	.588	.647	.793	.166	2.262	.0220	.117	1.267
.754	.884	1.335	.610	.579	.659	.794	.143	2.291	.0170	.101	1.287
.755	.869	1.355	.534	.570	.671	.795	.120	2.320	.0125	.085	1.308
.756	.854	1.375	.558	.561	.683	.796	.0963	2.349	.0086	.068	1.328
.757	.838	1.396	.534	.552	.696	.797	.0726	2.379	.0053	.052	1.349
.758	.823	1.416	.510	.543	.708	.798	.0487	2.409	.0027	.035	1.371
.759	.807	1.437	.487	.534	.721	.799	.0245	2.440	.0009	.018	1.392
.760	.791	1.457	.465	.525	.734	.800	—	2.471	—	—	1.414
.761	.776	1.479	.443	.515	.747	—	—	—	—	—	—

附錄一：臨界流 (Critical flow)

矩形梯形或三角形控制斷面的水理設計用下列特別符號及公式。

A. 控制斷面的水理計算用下列符號：

A＝流水斷面積，平方呎計，

$a = \frac{d_c}{E}$，d_c所佔全能部分

B_c＝控制處底寬，呎計

b ＝寬，以呎計

d ＝水深，以呎計

d_c＝相當于 Q 的臨界深度，以呎計

E ＝在底部以上之全能高度，以呎計

g ＝重力加速度，假定爲 32.16呎/秒^2

h_v＝流速水頭，以呎計

h_c＝臨界深度之流速水頭，以呎計

$K = \frac{Q^{2/3}}{g^{1/3}}$，流量 Q 流徑一呎寬之長方形槽之臨界深度。

（如流水槽爲矩形，則控制處之流速水頭爲臨界深之一半，故

$Q = K\sqrt{2g\frac{K}{2}}$，$K = Q^{2/3}/g^{1/3}$）

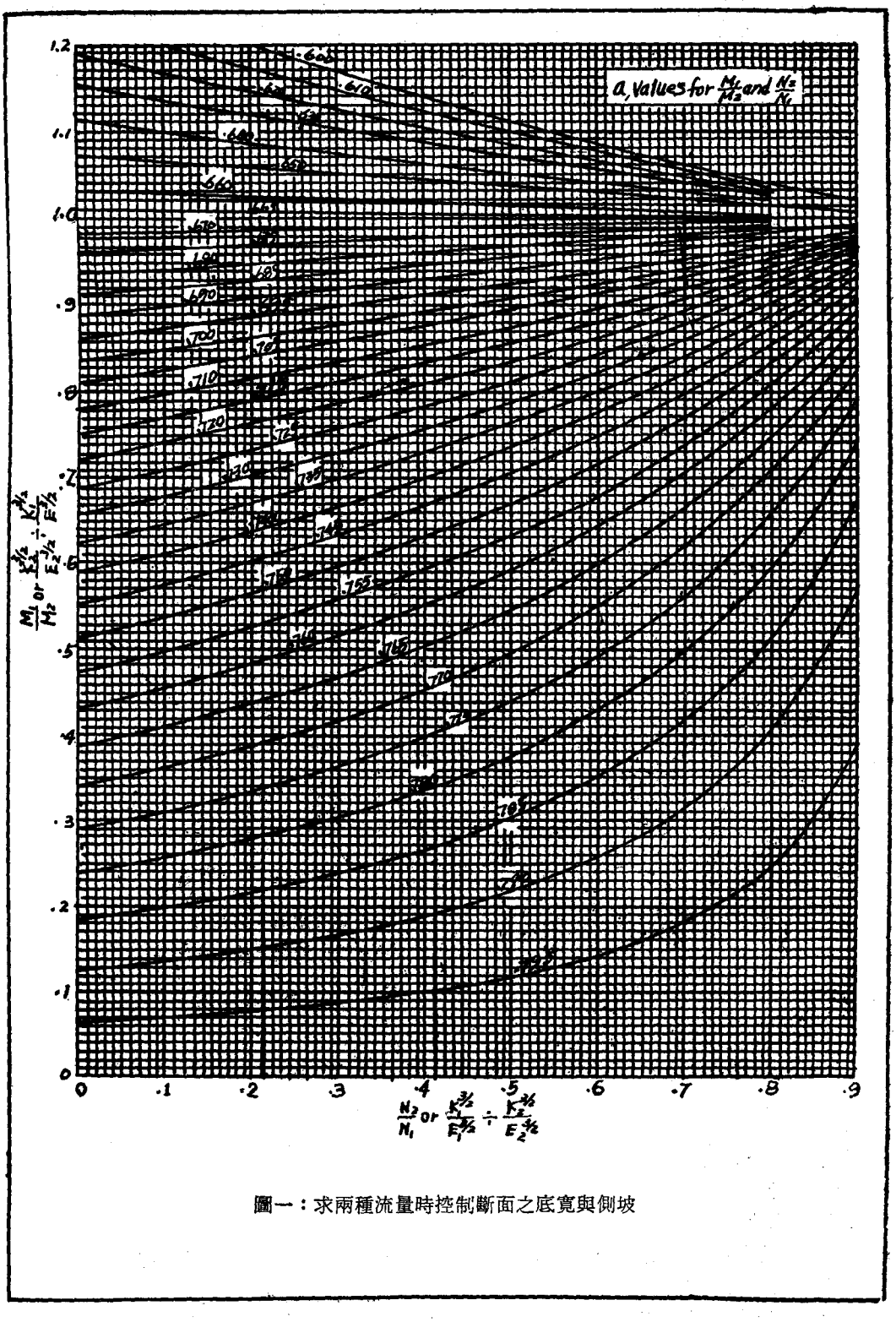
M＝某式之簡號

N ＝某式之簡號

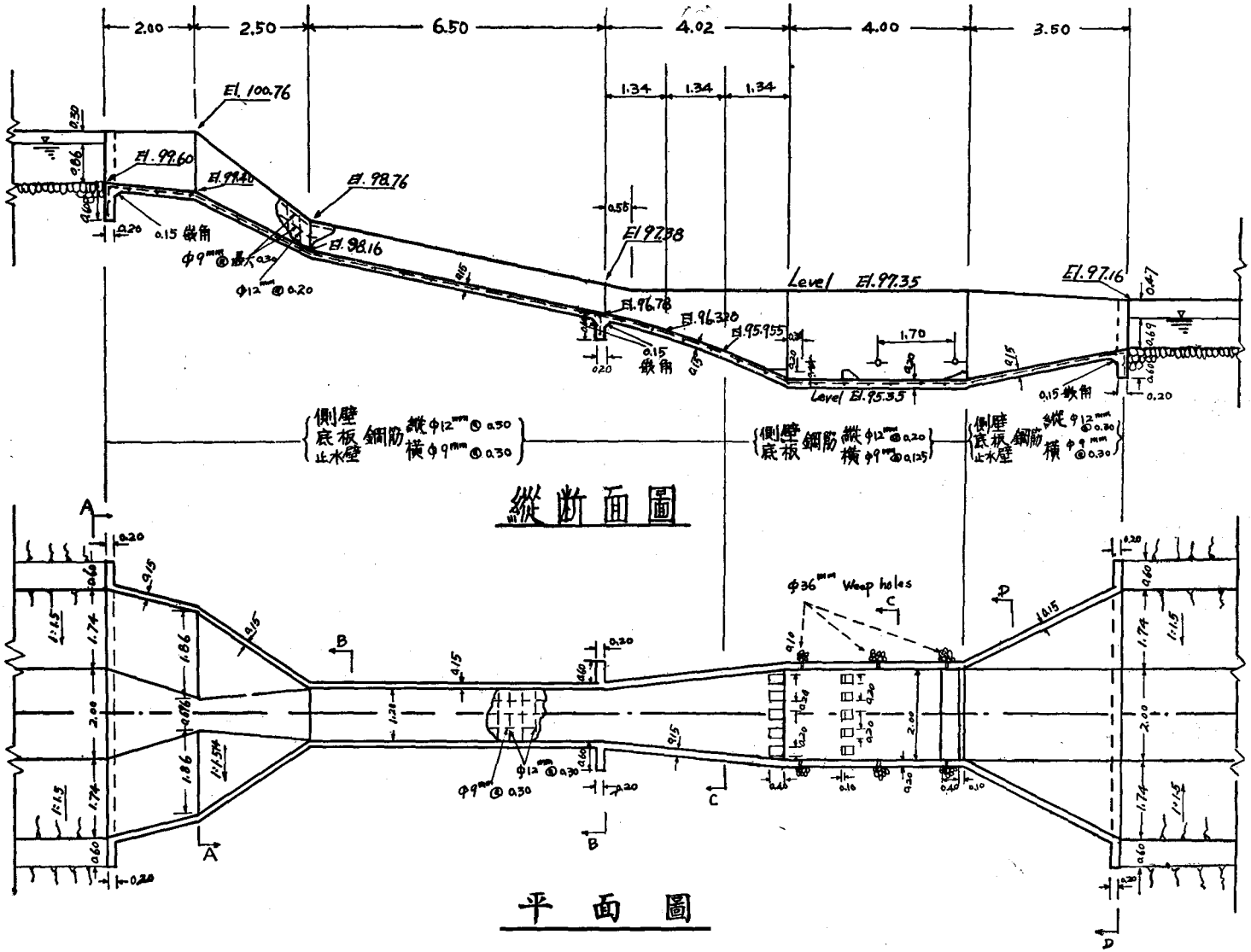
Q ＝全部流量，以秒立方呎訂

q ＝一呎寬矩形槽之流量，以秒立方尺計

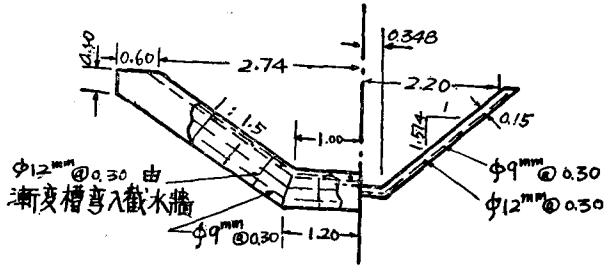
S ＝牆或挖方之邊坡（橫比豎）



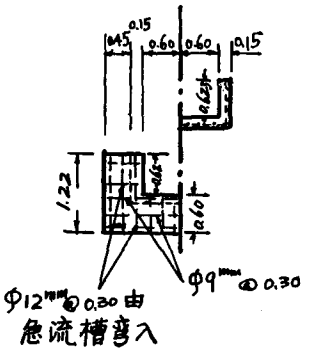
圖一：求兩種流量時控制斷面之底寬與側坡


2.00
2.50
6.50
4.02
4.00
3.50
1.34
1.34
1.34
El. 100.76
El. 99.60
El. 99.40
El. 98.76
El. 98.16
El 97.38
El. 96.78
El. 96.30
El. 95.95
Level El. 97.35
El. 97.16
Level El. 95.35
0.15 斜角
1.70
側壁 底板 止水壁 鋼筋 縱 φ12mm @ 0.30 橫 φ9mm @ 0.30
側壁 底板 鋼筋 縱 φ12mm @ 0.20 橫 φ9mm @ 0.125
縱斷面圖
φ36mm Weep holes
φ12mm @ 0.30
φ9mm @ 0.30
平面圖

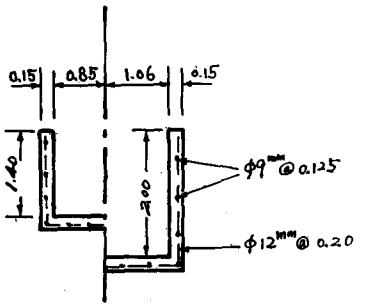
圖二：陡槽設計圖 (a)



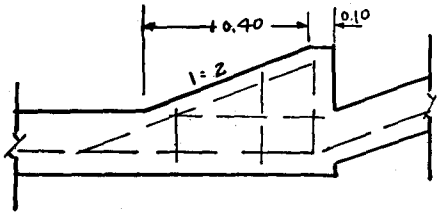
斷面 A-A



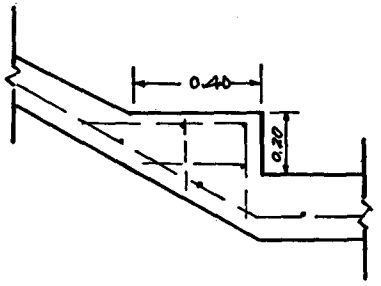
斷面 B-B



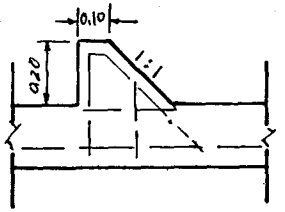
斷面 C--C



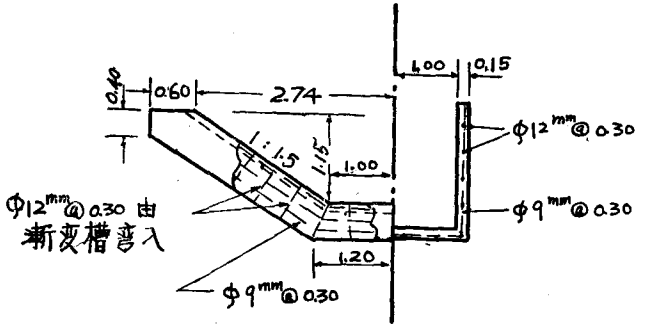
Detail of End Sill



Detail of Chute Block



Detail of Baffle Block



斷面 D-D

(b)

T ＝水面頂寬，以呎計

V ＝縱向流速，以秒呎計

一切符號帶 C者均表未臨界流情形。

B. 以下公式及表一爲矩形，梯形及三角形控制斷面設計之用：

$$A=\frac{T+B}{2}\cdot d$$

$$\frac{Q^2}{g}=\frac{A_c^3}{T_c}=\frac{(T_c+B_c)^3}{8T_c}\cdot d_c^3 \text{（臨界流情形）}$$

$$2h_c=\frac{A_c}{T_c}$$

以上公式，見 Julian Hinds 著「水工設計中之水躍及臨界深度」，原文爲 "The Hydraulic Jump and Critical Depth in the Design of Hydralic Structures"，載 Engineering News Record 第85卷。

$$d_c=\frac{Q^{2/3}}{g^{1/3}}\cdot\frac{2T_c^{1/3}}{(T_c+B_c)}=\frac{2KT_c^{1/3}}{(T_c+B_c)}=aE$$

$$h_c=\frac{V^2}{2g}=\frac{Q^2}{2gA_c^2}=\frac{2Q^2}{g(T_c+B_c)^2d_c^2}$$

$$=\frac{2K^3}{(T_c+B_c)^2}\cdot\frac{(T_c+B_c)^2}{4K^2T_c^{2/3}}$$

$$=\frac{K}{2T_c^{2/3}}=(1-a)E$$

$$T_c=\left[\frac{1}{2(1-a)}\right]^{3/2}\left[\frac{K}{E}\right]^{3/2}$$

$$d_c(1-a)=ah_c \text{或} \frac{2KT_c^{1/3}}{(T_c+B_c)}(1-a)=\frac{Ka}{2T_c^{2/3}}$$

$$a=\frac{4T}{(T_c+B_c)}(1-a)$$

$$B_c=T_c\left[\frac{4(1-a)}{a}-1\right]=\left[\frac{1}{2(1-a)}\right]^{3/2}\left[\frac{4(1-a)}{a}-1\right]\left[\frac{K}{E}\right]^{3/2}$$

$$S=\frac{T_c-B_c}{2d_c}=\frac{T_c-T_c\left[\frac{4(1-a)}{a}-1\right]}{2aE}=\frac{\left[\frac{1}{2(1-a)}\right]^{3/2}\left[2-\frac{4(1-a)}{a}\right]\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}}{2a}$$

設 $M=\left[\frac{1}{2(1-a)}\right]^{3/2}\left[\frac{4(1-a)}{a}-1\right]$

$$N=\left[\frac{1}{2(1-a)}\right]^{3/2}\left[2-\frac{4(1-a)}{a}\right]\cdot\frac{1}{2a}$$

則 $B_c=M\left[\frac{K}{E}\right]^{3/2}$

$$S=N\left[\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}\right]$$

用下列公式計算未知數頗爲便利

$$\frac{M^{5/3}}{N}=\frac{B_c^{5/3}}{KS};\quad M_a^{3/2}=\frac{B_cd_c^{3/2}}{K^{3/2}};$$

$$N_a^{5/2}=\frac{Sd_c^{5/2}}{K^{3/2}}\cdot\quad M, N, \frac{M^{5/3}}{N}, M_a^{3/2}$$

及 $N^{5/2}$ 值（a=0.10－0.80）表一。

附錄二：梯形控制斷面解式

梯形控制斷面，有關於六個項目，三項爲已知，三項爲未知，共20種不同配合，此20種配合的解式如下：

已知，求	解式
Q, B_c, E　S, d_c, h_c	用 $B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$ 求M；a 值可決定；$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$；$d_c=aE$；$h_c=(1-a)E$
Q, B_c d_c　S, E, h_c	由 $\frac{B_cd_c^{3/2}}{K^{3/2}}=Ma^{3/2}$ 求a；$E=\frac{d_c}{a}$；$h_c=(1-a)E$；$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{2/2}}$，有二 a 值可用，即有兩種解答
Q, B_c, h_c　S, E, d_c	$V=\sqrt{2gh_c}$；$\frac{Q}{V}=A_c$，$T_c=\frac{A_c}{2h_c}$；$d_c=\frac{2A_c}{T_c+B_c}$；$S=\frac{T_c-B_c}{2d_c}$；$E=d_c+h_c$
Q, S, E　B_c d_c h_c	用 $S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$ 求 N 及 a；$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$；$d_c=aE$；$h_c=(1-a)E$
Q, S, d_c　B_c, E, h_c	$\frac{Sd_c^{5/2}}{K^{3/2}}=Na^{5/2}$ 求a；$E=\frac{d_c}{a}$；$h_c=E-d_c$；$B_c=K\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$；負號邊坡有兩個 a 值
Q, S, h_c　B_c, E, d_c	$V=\sqrt{2gh_c}$；$\frac{Q}{V_c}=A_c$，$T_c=\frac{A_c}{2h_c}$　$d_c=\frac{2A_c}{T_c+B_c}$　$=\frac{T_c-B_c}{2S}$　$T^2-B_c^2=4A_cS$；$B=\sqrt{T_c^2-4A_cS}$；$E=d+h_c$

, S, E　Q, d_c, h_c　$\frac{B_c}{SE}=\frac{M}{N}$ 求 $\frac{M}{N}$ 及 a;

$V_c=\sqrt{2gh_c}$; $Q=(B_cd_c+Sd_c^2)V_c$;

$d_c=aE$; $h_c=E(1-a)$

B_c, S, d_c　Q, E, h_c　$T_c=B_c+2Sd_c$;

$A_c=B_cd_c+Sd_c^2$; $h_c=\frac{A_c}{2T_c}$;

$E=d_c+h_c$; $V_c=\sqrt{2gh_c}$　$Q=A_cV_c$

B_c, S, h_c　Q, E, d_c　$2h_c=\frac{A_c}{T_c}=\frac{(B_c+Sd_c)d_c}{B_c+2Sd_c}$

$d_c^2+d_c\left(\frac{B_c}{2S}-4h_c\right)=\frac{2h_cB_c}{S}$

$d_c=\pm\sqrt{\frac{2h_cB_c}{S}+\left[\frac{B_c}{2S}-2h_c\right]^2}-\frac{B_c}{2S}+2h_c$

如S爲 "+" 號用 "+" 如S爲 "−" 號用 "−"

$Q=A_c\sqrt{2gh}$;　$E=d_c+h_c$

Q, B_c, S　E, d_c, h_c 用 $\frac{B_c^{5/3}}{KS}=\frac{M^{5/3}}{N}$; 求 a

$E=\left[\frac{M}{B_c}\right]^{2/3}K$; $d_c=aE$; $h_c=(1-a)E$

Q, E, d_c　B_c, S, h_c　$\frac{d_c}{E}=a$; $h_c=E-d_c$;

$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$;　$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

Q, E, h_c　B_c, S, d_c　$E-h_c=d_c$; $\frac{d_c}{E}=a$;

$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$;　$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

B_c, E, d_c　Q, S, h_c　$\frac{d_c}{E}=a$;　$h_c=E-d_c$;

$K^{3/2}=\frac{B_c}{M}E^{3/2}$　$Q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

S, E, d_c　Q, B_c, h_c　$\frac{d_c}{E}=a$; $h_c=E-d_c$;

$K^{3/2}=\frac{S}{N}E^{5/2}$　$Q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$

B_c, d_c h_c　Q, S, E　$d_c+h_c=E$; $\frac{d_c}{E}=a$;

$K^{3/2}=\frac{B_c}{M}E^{3/2}$　$Q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

S, d_c, h_c　Q, B_c, E　$d_c+h_c=E$, $\frac{d_c}{E}=a$;

$K^{3/2}=\frac{S}{N}E^{5/2}$　$q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$

Q, d_c, h_c　B_c, S, E　$\frac{Q}{\sqrt{g}}=K^{3/2}$;

$d_c+h_c=E$, $\frac{d_c}{E}=a$;　$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$;

$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

B_c, E, h_c　Q, S, d_c　$E-h_c=d_c$;　$\frac{d_c}{E}=a$;

$K^{3/2}=\frac{B_c}{M}E^{3/2}$　$Q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

S, E, h_c　Q, B_c, d_c　$E-h_c=d_c$; $\frac{d_c}{E}=a$;

$K^{3/2}=\frac{S}{N}E^{5/2}$　$Q=K^{3/2}\sqrt{g}$;

$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$

E, d_c, h_c　Q, B_c, S　$\frac{d_c}{E}=a$;　$B_c=M\frac{K^{3/2}}{E^{3/2}}$;

$S=N\frac{K^{3/2}}{E^{5/2}}$

Q 值視所用之 K 值而定

註：$K=\frac{Q^{2/3}}{g^{1/3}}$ 流量 Q 流經一單位寬 (呎或米) 之長方形槽之臨界水深。

參 考 文 獻

1. Canals and Related Structures　U.S.B.R.
2. 中國農工程學報十卷四期　跌水工設計　洪有才
3. 灌溉工程設計講義　洪有才
4. 土地改良事業計劃設計基準　第三篇第五部　日本農林省農地局
5. 中國農業工程學會通信第十期，論流量小於 3 立公尺混凝土陡槽之設計原則　楊建業　林克明