

論流量小於3秒立方公尺混凝土陡槽之設計原則(一)

(General Descriptron Chute Design ($Q \leq 3C.M.S$))

楊 建 業

林 克 明

前言： 渠道經過陡坡或地形突變之處，渠線之坡度為流速所限，不能依照地面之坡度，而必須選擇適當之地點建築跌水或陡槽，以消耗其過大之落差，然跌水工因常受地形上及經濟上之各因素所限，其應用有時不同。陡槽即為一段坡度很大之急水槽，或用渡槽及水管亦可，其流速頗大，故必須為一段特別設計之水渠以抵抗其侵蝕作用，陡槽可代替一個或一組之跌水，其結構可分為(1)入口，(2)急水槽，(3)拋射槽，(4)靜水池(5)出口，五部而只少亦需分為三部分即(1)入口，(2)急水槽，(3)出口。本省地形陡峻，於水利工程上陡槽之應用極為普遍，茲只概略列舉流量小於3C.M.S.時其混凝土陡槽之設計準則及其應注意之各點以供讀者參考。

[I] 水理計算及其應注意之事項

(一) 入口：

(1) 入口出水高度的最小值如下表：

表 I	
d	F_{b1}
0~1.5	30
1.6~2.0	35
2.1~3.0	50

d = 水深以公尺計

F_{b1} = 漸變段出水高度以公分計

(2) 入口漸變段之長度應大約等於 $1.22 + 1.54Q$ …… (Q為流量立方公尺) 而當 Q 為 0~2.0 秒公尺時最小需要 1.5 公尺。

(3) 控制斷面寬度之決定(就土渠且為部份流量而言)應使漸變段起點之流速不得超過 0.8 公尺/秒，對於直的漸變段，決定控制斷面標高應使在臨界深度時，正常流量的能線高度應比漸變段起點同一流量之能線高度低予兩點(控制點及漸變段起點)流速水頭差之百分之二十。在實驗漸變段起點在同一部份流量的流速時亦須假定同樣的百分損失。然漸變段起點之流速應足以平衡控制點之能量線所需之深度之流速。若於控制點設有插板槽時決

定控制點之底高必須用最大之損失，並且控制點底高不得高於渠底。

(二) 陡 坡：

(4) 陡坡(矩形或梯形)所需之最小出水高度如下表。

表 II	
Q	F_{b2}
0~0.20	30
0.21~0.50	35
0.51~0.8	45

Q = 流量以秒立方公尺計

F_{b2} = 陡槽出水高度以公分計

(5) 陡坡出水高度之計算必須用 Kutter 氏之粗糙率 $n=0.014$ 或用中國農業工程學會通訊第九期「傾斜式跌水工之設計」第4圖求之。陡坡槽之高度以垂直高度表示之。出水高度應在渠底之垂直線上計算之。第4圖(參考農工通訊第九期)所表示之 Q, V, 及 d/A 諸值應取所要計算點之諸值。

(6) 計算陡坡流速時，深度為與坡底垂直而流速水頭則於此垂直線上計算，而其長度則應沿陡坡方向計算之。

(7) 由於拋射槽及靜水池之設計，其流速應算至放射段起點並用 Kutter 氏之粗糙率 $n=0.010$ 計算之。拋射段之計算應用下列公式：

$$Y = x \tan\phi + \frac{kx^3}{4h_v \cos^2\phi}$$

$$S = \tan\phi + \frac{kx}{2h_v \cos^3\phi} = \frac{dy}{dx}$$

式中：y = 拋射段在縱軸之投影點

x = 拋射段在橫軸之投影點

s = x 點之坡度

h_v = 拋射槽起點之流速水頭

ϕ = 拋射槽起點陡坡與水平所成之角度

k = 一比例數 ≤ 0.5 ，則垂直方向加速與重力加速度之比。

拋射槽應盡可能地終止于拋射槽壩頂與靜水池壩頂之交點或終於此交點以上，一般陡坡之放寬至此點為止。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，並拋射槽末端之坐標 x, y ，固定以後 K 值及坡度 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。

(8) 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 及 h_v = 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為 $(1-k)$ …… ($1, 2$ 表示選用之兩斷面)

$$\text{則：} \frac{v_1 d_1^2}{2} (1-k) + \frac{v_1 d_1 v_1^2}{g} = \frac{v_2 d_2^2}{2} (1-k) + \frac{v_2 d_2 v_2^2}{g}$$

令 $V_1 = 0$ 則上式簡化為：

$$h_{v2} = \frac{v_1 d_1 (1-k)}{4v_2 d_2} - \frac{d_2 (1-k)}{4}$$

寬度放寬所需之時間 T 等於 $\frac{2L}{v_1 + v_2}$

$$\text{又 } b_2 = b_1 + Tv_2$$

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，含 $(1-k)$ 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可由下式得之：

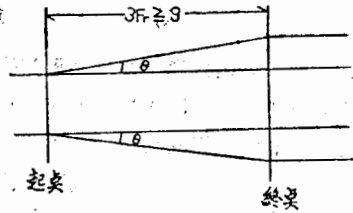
$$\tan \theta = \frac{1}{3Fr} \quad \theta: \text{拋射槽放寬之角度。}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}} \quad \dots \dots \text{Froude Number}$$

一般於急流工設計時都令：

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

$$3Fr \geq 9$$



(三) 靜水池： (詳細設計參考農工通訊第九期傾斜式跌水工之設計)

(9) 靜水池所需之最小出水高度如下表：

表	III
Q	F_{1p}
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_{1p} = 靜水池出水高度以公分計。

(10) 靜水池之出水高度可由第 4 圖 (參閱農工通訊第九期) 求得之。式 $\frac{Qvd}{A}$ 所表示之 V 為靜水池起點之射流流速， d 及 A 各為此點之水深及水流斷面積。

靜水池之計算所用之符號如下：

	靜水池終點	靜水池以下之渠內
水深	d_2	d_3
流速水頭	h_{v2}	h_{v3}
底高	G_2	G_3

d_3 及 h_{v3} 各值自渠道斷面或資料得之。靜水池壩高可用下式計算：

$$\text{壩高} = G_3 + d_3 + h_{v3} + \text{出水高度} - h_{v2} - G_2 \dots \dots \text{以公尺計。}$$

(11) 靜水池長度：以 Froude Number 之值 $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$ 由第 6 圖 (農工通訊第九期)

求得之。當其 Froude Number 等於 4.5 以上之高溢水道時應用第二種靜水池，若 Froude Number 為 4.5 以上之小渠道時應用第三種靜水池 [請參考農工通訊第九期傾斜式跌水工之設計一(9)]。

(12) 靜水池池寬要 13 公分遞加，其寬度之決定要視挖方及混凝土之價格為衡量之標準，若流量在 5 C. M. S. 以下將下式可用以計算矩形靜水池寬：

$$b = \frac{60}{Q + 10} \sqrt{Q}$$

Q = 流量以秒立方公尺計。

b = 靜水池之寬度以公尺計。

(13) 計算靜水池內各種力時，拋射槽起點之摩擦率亦可應用於靜水池，下列符號可用於矩形靜水池。

	拋射段起點	靜水池起點	靜水池終點	靜水池以下渠道
水深	d_t	d_1	d_2	d_3
流速水頭	h_{v1}	h_{v1}	h_{v2}	h_{v3}
摩擦比降	f			
底標高	G_t	G_1	G_2	G_3

設拋射槽之起點到靜水池起點之間距為 L， ϕ 為拋射槽起點底面與水平面交角，f 為摩擦率。

則下列各式可成立：

(A) 對梯形及矩形時：

$$(1) G_t + d_t \cos\phi + h_{v1} - Lf = G_1 + d_1 + h_{v1}$$

$$(2) G_2 + d_2 + h_{v2} = G_3 + d_3 + h_{v3}$$

d_3 及 h_{v3} 之計算須用 Kutter 氏糙率：

$$n = 0.020 \text{——土渠}$$

$$n = 0.012 \text{——有混凝土內面工渠道}$$

(B) 對矩形時亦可用下式：

$$(3) \left(\frac{d_1^2}{2} + 2d_1 h_{v1} \right) 1.10 = \frac{d_2^2}{2} + 2d_2 h_{v2}$$

(14) 流量頗小時 S (邊坡) 可用 1:1.25 於較大靜水池時其最經濟之邊坡為 1:0.5

(四) 出口：

(15) 出口漸變段所需之出水高度之最小值與第一節所述入口漸變段所需之最小出水高度相等，然因顧及池內波浪計 $\frac{Qvd}{A}$ 之值自 6~9 時其出水高度以直線比例略有增加，標準如下表：

表 II

$\frac{Qvd}{A}$	較入口出水高度增加數
6	0.125 F_{hp}
9	0.250 F_{hp}

式中 Qvd/A 作為靜水池之起點， F_{hp} 為靜水池之出水高度如前所述。

(16) 在出口漸變段終點之水流斷面盡可能使其在靜水池終點斷面與正常渠道斷面之間，並且水面寬要依一個方向繼續變化。

〔II〕 結構計算應注意之事項

(一) 一般注意事項

(17) 主鋼筋要與邊牆垂直地排列而以其水平間隔為間隔。

(18) 矩形斷面之寬度在 0~1.8 公尺而牆高為 0~2.3 公尺時要有 5 公分之嵌角 (fillet) 若斷面寬更大或牆高更高時要有 8 公分或更大之嵌角。

(19) 一般縱向排列之鋼筋量為混凝土斷面積之 0.35% 並平均排列之 (參考表 V)

(20) 當水深為 0~1 公尺時混凝土末端截水牆 (Cut off) 之尺度應為 15^m × 60^m，水深為 1m~2m 時則截水牆為 20^m × 75^m。

(22) 經過控制點之第一個坡度為 ≥ 0.15 時在控制點須要有 45^m 之截水牆，若坡度小於 0.15 時第一個截水牆一般都設於控制點下漸縮斷面之末端與陡坡之間。

(22) 陡坡之形狀自梯形改變為矩形斷面時，其截水設備應設在邊坡為 1:1 之處，或拋射段起點，其餘截水牆應以 30m 為間隔設於坡度可能變化之處。

(23) 於縱斷面圖上須記明樁號及標高於坡度有變化之點，拋射槽起點及終點。

入口漸變段床底及陡坡與靜水池相接處之底，及靜水池與出口漸變段相接處之底，各應用詳圖表示之，並陡坡之邊牆及其主鋼筋之排列要以詳圖表示之。

(24) 可由表 V 及表 II 求出混凝土厚度及縱向鋼筋量。

縱方向之鋼筋量為混凝土斷面之 0.35 % 時所需之間隔如下表：

靜水池 底寬公分	底厚 公分	φ13mm 鋼筋於所需底數	底線以上牆之垂直高度	牆厚以公分計		底線以上牆所需φ13mm 鋼筋數	渠槽
				頂	底		
30	10	2	40 cm	10	10	2	梯形 1:1.5
45~60	10	3	41~60	10	10	3	" "
75~90	10	4	61~70	10	10	4	" "
105~120	10	5	71以上	10	10	φ13mm@30cm	" "
60	13	4	51~60	13	13	2	矩形
75	13	5	61~80	13	13	3	"
90~105	13	6	81~100	13	13	4	"
120~135	13	7	101~130	13	13	5	"
150	13	8	131~160	13	13	6	"
90	14~15	6	161~190	13	13	7	"
105	14~15	7	81~100	13	14~15	4	"
120~135	14~15	8	101~120	13	14~15	5	"
150~165	14~15	9	121~150	13	14~15	6	"
180~195	14~15	11	151~170	13	14~15	7	"
120~135	17~18	9	171~190	13	14~15	8	"
150	17~18	10	110	15	15	5	"
165~180	17~18	12	100~130	15	15	6	"
195~210	17~18	13	131~150	15	15	7	"
225~240	17~18	15	160~180	15	15	8	"
120	19~20	10	181~200	15	15	9	"
135~150	19~20	12	201~220	15	15	10	"
165~180	19~20	14	221~240	15	15	11	"
195~210	19~20	15	120	15	17~18	6	"
225~240	19~20	17	120~140	15	17~18	7	"

底

牆

表 VI

混凝土厚度及副鋼筋由下表求之：

條 件	項 目	位 置	牆頂厚度	牆底厚度	底 厚	縱 向 鋼 筋 所 需 之 間 隔
高 0~120cm	垂 直 牆		13cm最小	13cm最小		表 V
高 121~180cm	"		13cm最小	15cm最小		"
高 181~300cm	"		15cm最小			"
高 200cm或大於	"			18cm最小		"
垂直高 0~150cm	1½ 或 1¼ ~ 1		10cm最小	10cm最小		"
垂直高 180~200cm	"		13cm最小	13cm最小		"
10cm控制點之頂	渠 尾	入 口	10cm	10cm	10cm	"
13cm控制點之頂	"	入 口	13cm	13cm	13cm	φ13mm@ 30cm
13cm靜水池牆頂	"	出 口	13cm	13cm		φ13mm@ 25cm
15cm靜水池牆頂	"	出 口	15cm	15cm		φ13mm@ 20cm
流量 0~3.C.M.S.	"	出 口			與靜水池頂同	與靜水池底同
堰		入 口		頂厚+5cm 最 小	頂厚+5cm 最 小	表 V
流量 0~2.C.M.S.	靜 水 池	短形斷面			最 小 厚 度	表 V

註：使用 0.35% 鋼筋時表 IV 不適用。

(二) 入 口：

(25) 於縱斷面圖要表示出堤頂高度且其挖土不得大於堤高，無內面工漸變段之長度一般為 3 公尺並在漸變段末端要把測點，底坡標高，底寬及邊坡等示在圖上。

(26) 入口漸變段只有 2 公尺長者，設控制點於漸變段末端且在漸變段上游端要設截水牆，其牆頂為水平。

入口漸變段 2 公尺長時其控制斷面牆高幾乎要等於上游截水牆之標高，於上游端及控制斷面處之標高要表示之，控制段牆高要記到公分使控制點牆頂標高不致高於上游混凝土之標高。

(三) 陡 坡

(27) 一般流量在 0~0.14 秒立方公尺之範圍內時可採用梯形陡坡，流量在 0.15~0.28 秒立方公尺或大於此範圍時梯形陡坡仍可用之，然其上游坡度須緩和，若有拋射槽時可自其上部 3 公尺處漸變為矩形陡坡，陡坡之牆高須計至公分。

(四) 靜 水 池

(28) 一般流量在 0~0.14 秒立方公尺之範圍內且無內面工漸變段時可用梯形靜水池，流量在

0.15~0.28 秒立方公尺範圍內或更大時一般都用矩形池。

(29) 靜水池之壁高要計至公分，除表 VI 所示之牆壁最小厚度以外，在壁底之厚度以能抗拒彎曲力矩為度。

靜水池所需之主鋼筋為 $\geq \phi 13\text{mm}$ 而其間隔為 $\leq 15\text{cm}$ 。

(五) 出 口

(30) 一般於出口漸變段之挖土深大於堤高，若小於堤高時堤頂要表示於縱斷面圖上。

於無內面工漸變段時一般其長度為一公尺並於圖上記出漸變段末端之測點底坡標高，底寬及邊坡。

以上所述不過列舉大概，並期望有益於讀者設計之參考，本篇本擬附設計範例，然因公務繁忙，不克同時刊載，將留待下期出刊，惟自顧疏漏誤謬之處定所難免，尚乞各位讀者不吝教正。

參考文獻：1, Canal and Related Structures—Bureau of Reclamation
2, Tentative rules for design of Concrete Chutes for flows up to 100 second—feet—C. R. Burky