

專 論

灌溉渠道坡度及斷面設計

徐 田 璋

1 引 言

灌溉渠道與頭首工是在灌溉系統內最重要的二部份。良好的頭首工佈置及設計，使引水容易，能得必要時引進灌溉需要水量，並可減少維持費用。良好的渠道佈置，斷面及坡度之設計與頭首工相同，能必要時將引進的灌溉水量在短時間內全部送到耕地，並可減少維持及管理費用。

在渠道佈置內渠道之坡度及渠道斷面是決定渠道良好之兩大因素。因渠道之坡度及渠道斷面不易修改，如要修改等於新建系統之故也。但過去一般水利技術人員，對渠道坡度及斷面之設計無多大注重，往往使良好設計之各種構造物，無法發揮其充分之效力及增加維持管理費用，故在本章參考安定渠道之原理對各種渠道坡度及斷面之簡易設計方法，介紹作各水利技術人員之參考。

2 經濟斷面之設計

在灌溉渠道，決定其斷面時要考慮 (a) 水理上有利之斷面 (b) 滲透較小之斷面 (c) 通水安全之斷面 (d) 挖填方可平衡之斷面 (e) 水流不冲刷之斷面 (f) 泥沙不沉積之斷面等六點。其中 (b) (e) 兩點可用內面工之方式解決，(f) 是在頭首工設計時考慮引水流速時可解決，(d) 是在渠道佈置要考慮外 (a) (c) 兩點是完全由渠道斷面單獨可考慮者，則按滿寧氏公式

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

但 V = 渠道平均流速 (m/sec)

n = 粗度係數

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

R = 水力半徑 (m)

S = 渠道坡度

Q = 計劃流量 (m³/sec)

A = 渠道流水斷面 (m²)

設渠道斷面內 b = 底寬 d = 水深 邊坡 1 : m = 垂直 : 水平

$$K = \frac{b}{d} \quad M = 2\sqrt{1+m^2} \quad P = \text{潤邊時}$$

$$A = d(b+md)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{d(b+md)}{b+dM} = \frac{d^2(K+m)}{d(K+M)}$$

$$= \frac{d(K+m)}{K+M}$$

$$Q = \frac{S^{1/2}}{n} \times d^2(K+m) \times \left\{ \frac{d(K+m)}{K+M} \right\}^{2/3}$$

$$= \frac{S^{1/2}}{n} \times d^3 \times \frac{(K+m)^{5/2}}{(K+M)^{2/3}}$$

按水理上有理斷面則經濟通水斷面之條件為

$$b = 2d \tan \frac{\theta}{2} = 2d + \frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} = 2d \times$$

$$\left(1 - \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} \right) \left\{ \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \right\}$$

$$= (\sqrt{1+m^2} - m) 2d \quad \text{但 } \theta = \text{邊坡與水平之角度}$$

則 $\frac{b}{d} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) = K$

$$K+m = 2\sqrt{1+m^2} - 2m + m = 2\sqrt{1+m^2} - m$$

$$= M - m$$

$$K+M = M + 2\sqrt{1+m^2} - 2m = 2M - 2m$$

則 $Q = \frac{1}{n} \times S^{1/2} \times d^3 \times \frac{(M-m)^{5/2}}{2^{2/3}(M-m)^{2/3}}$

$$= \frac{1}{n} \times S^{1/2} \times d^3 \times \frac{(M-m)}{2^{2/3}}$$

由上式如 Q, S, n, m 決定時可得 d 值

由 $b = 2dK = 2d(\sqrt{1+m^2} - m)$ 可得 b 值

本算法甚複雜可應用次圖容易求 d, b 值

如 $Q = 2.885 \text{ m}^3/\text{sec} \quad n = 0.014 \quad S = \frac{1}{1000} \quad m = 1.25$

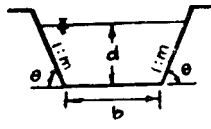
用下圖求經濟斷面之底寬 b 及水深 d 的步驟如下。

(a) n 軸之 0.014 點與 S 軸之 0.001 點連一直線在 t 軸上得一點 ①。

(b) ① 點與 Q 軸之 2.885 點連一直線，延長在 W 軸上得一點 ②。

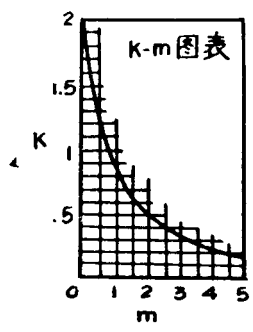
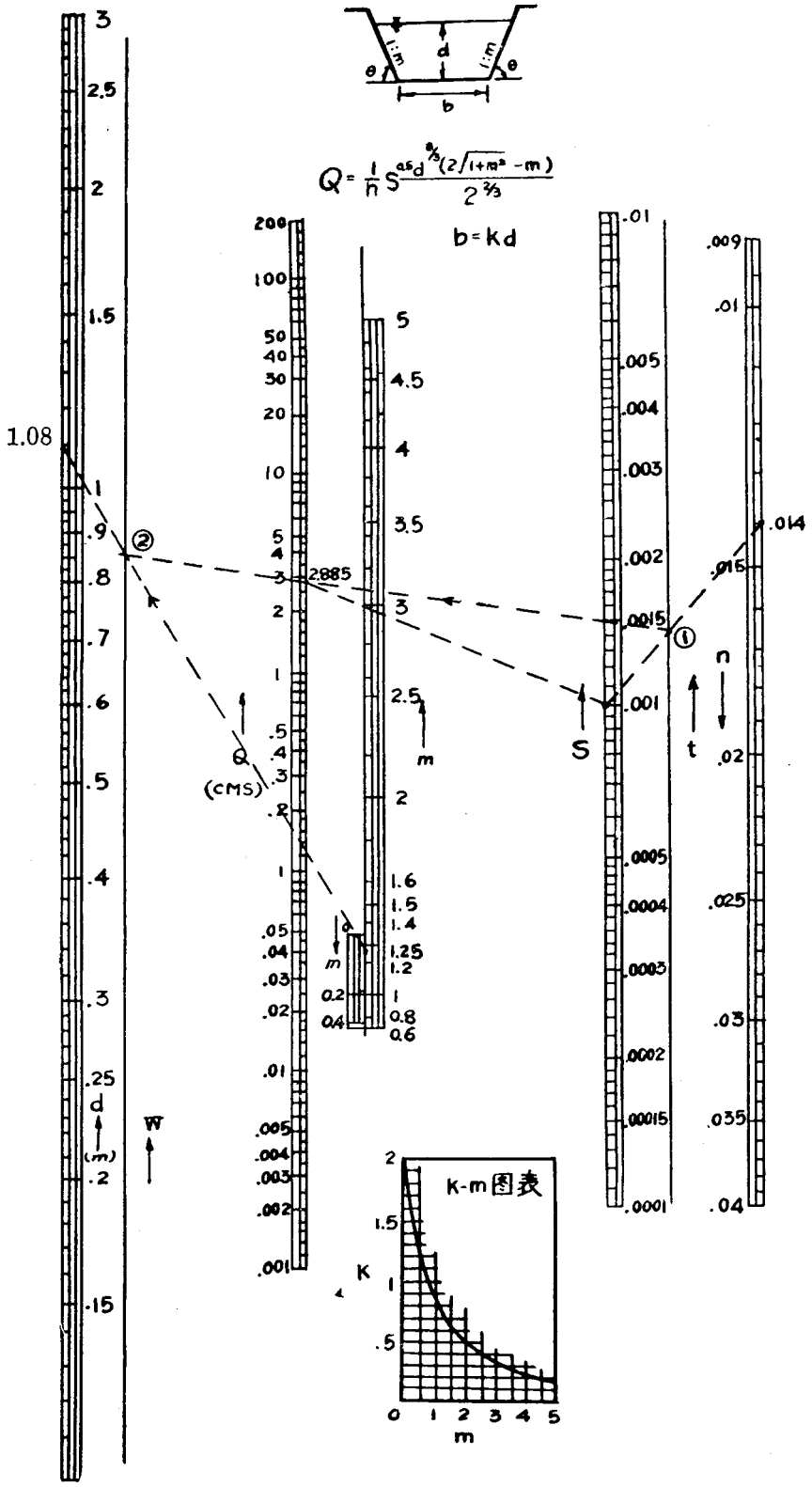
(c) ② 點與 m 軸在 1.25 點連一直線延長到 d 軸上得 1.08，則 1.08 公尺係經濟斷面之水深。

(d) 由 $K-m$ 圖表 $m = 1.25$ 得 $K = 0.73$ 則底寬 $b = Kd = 0.73 + 1.08 = 0.7884 \div 0.8$



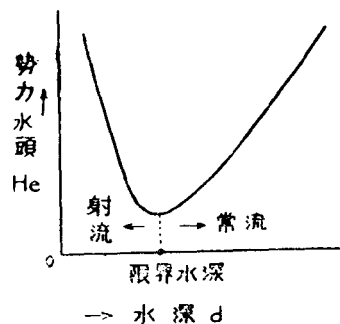
$$Q = \frac{1}{n} S^{.67} d^{.85} (2\sqrt{1+m^2} - m) 2^{.67}$$

$$b = kd$$



i 水深 d 之限制

指定流量在指定斷面之渠道流下時，其勢力水頭 $H + \frac{V^2}{2g}$ 隨其流速而變化。其中使勢力水頭 H_0 為最少之水深，稱為限界水深，水深較限界水深為大時稱為常流，小時稱為射流如下圖。



在渠道設計時發生射流之渠道稱為急流工，必需加內面工才能保持渠道之安全，但該內面工之設計與普通流渠道內面工之設計不同，必需增加混凝土之厚度或用鐵筋混凝土並需增加出水高度。

按理，渠道斷面，用限界水深作設計水深，可得最經濟斷面，但渠道內面工之施工，按現有設備，不可能完全符合圖面，使水深維持一樣，故採用限界水深設計之渠道甚容易變成常流與射流相互變化之渠道，在設計上或保養上甚不利。一般情形，渠道斷面之設計水深，宜在離限界水深 5 公分以上較為理想。

ii 無內面工渠道之坡度

無內面工之渠道，經過長時期之運用後，渠底與邊坡，不發生冲刷，水流中之含有物亦不發生沉澱，則可稱為穩定。但灌溉渠道，其流量不定及水流中之含有物常有變化，故在臺灣一般應用之肯納第氏公式，在通流計劃流量時，似可勉強維持渠道之不冲刷外在較小流量時多發生淤積現象。為免淤積現象應為在頭首工設計時限制其流入流速在渠道流速以下，或另設沉砂池較為合理。在渠道系統根本上無法同時兼顧淤積與冲刷問題

。在本章內淤積問題，設在頭首工已考慮，無需再在渠道設計時考慮之假定下，簡述不冲刷渠道之坡度設計。

按萊茵氏 (Mr. Lane) 之清水渠道之設計原則，為渠道之不冲刷，需水流拖引力與渠身最小抵抗力平衡。在渠身對水流冲刷之最小抵抗力是發生在渠道坡面。

a) 拖引力 在穩定渠道其水面坡度為 S ，潤邊長為 P ，通水斷面為 A ，流水之單位重量為 w ，流水之重量在流向之分力為 F 時 則

$$F = A w \sin \theta \quad \theta = \text{水面與水平線之交角}$$

$$Q \text{ 不大時 } S = \sin \theta \approx \tan \theta$$

$$\therefore F = A W S$$

$$R \text{ 為水力半徑時 } R = \frac{A}{P}$$

$$\text{則 } F = P R W S$$

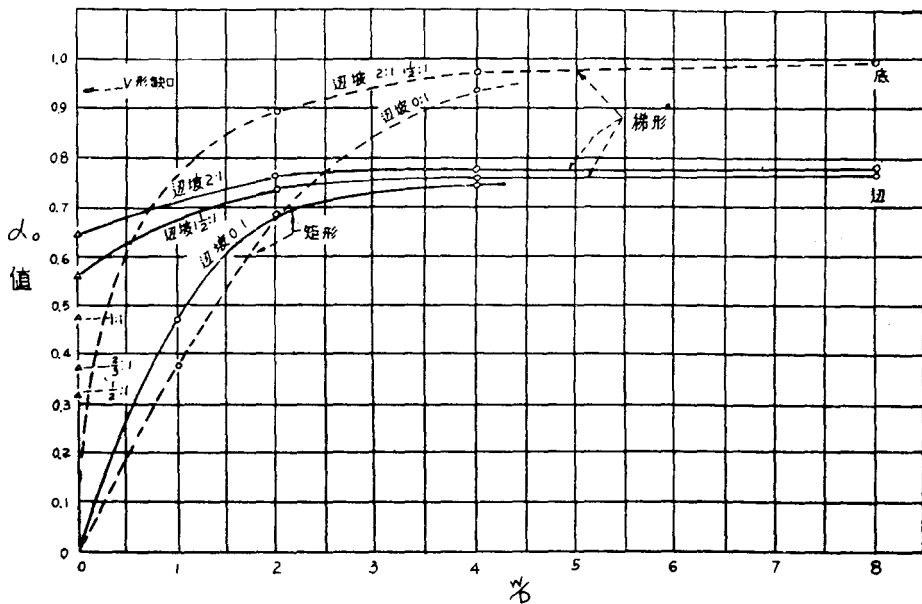
$$\frac{F}{P} = R W S = F_0 \text{ 單位長度之拖引力}$$

$$\text{設 } R = \alpha_0 D \quad D = \text{水深時}$$

$$F_0 = \alpha_0 W D S$$

如水深在水面寬之 $1/30$ 以下時 $\alpha_0 \approx 1$

渠道中其各點之流速不同，故拖引力仍不同，經爾生 (Olsen) 與佛洛勒 (Florey) 兩氏用薄膜比擬法 (Membrane Analogy) 分析及定差等法研究結果得渠道底邊最大拖引力係數與底寬水深比之關係圖可作 α_0 值之用。按該圖表示底部所受拖引力較邊坡為大。



渠道底邊最大拖引力係數與底寬水深比之關係圖

(b) 粗粒及無凝聚性土料抵抗水流之拖引力

渠道由粗粒無凝聚性土料組成時，其對水流拖引抵抗力之大小，以渠道土粒之大小而定。其中渠邊土粒不僅須抵抗水流之拖引力，同時亦須抵抗本身之重量分力，故其抵抗力較渠底為小。為便於設計萊茵氏建議用下式作兩者之比較。

$$K = \cos\varphi \sqrt{1 - \frac{\tan\varphi}{\tan\theta}}$$

但 K = 渠邊土粒開始運動與渠底土粒開始運動所需水流拖引力之比值

φ = 邊坡角度

θ = 土壤之休止角

渠底土粒所能承受之推移力為 F_0 時

$$F_0 = CW(W_s - 1)d$$

c = 常數

d = 平均粒徑，普通用 d_{75} 代表

W_s = 土粒之比重

W = 流水之單位重量

萊茵氏根據各種有關資料之研究分析結果，認為 C 值等於 0.06 假設土粒之比重為 2.65 時

$$F_0 = 0.06 \times 1.000(2.65 - 1)d \text{ kg/m}^2 = 99d \text{ kg/m}$$

在渠邊之 F_0 值為 $99Kd \text{ kg/m}^2$

(c) 不發生冲刷之坡度

由 (a) (b) 所述，拖引力 F_0 與土粒之抵抗力 F_0 相等時渠道土粒方能免沖走，則 $F_0 \geq F_0$ 時渠道才能免冲刷。

故 $0.06W(W_s - 1)d \geq \alpha_0 WSD$

$$S \leq \frac{0.06(W_s - 1)d}{\alpha_0 D}$$

如 d_{75} 等於 25 公厘，底寬 5 公尺，水深 2.5 公尺，邊坡垂直 1 比水平 2 時其限制坡度如下：但土粒比重設為 2.65

$$S \leq \frac{0.06(W_s - 1)d}{\alpha_0 D} = \frac{0.06(2.65 - 1) \times 0.025}{\alpha_0 \times 2.5}$$

由渠道底邊最大拖引力係數與底寬水深比之關係圖，渠底之係數 $\alpha_b = 0.89$ 渠邊之係數 $\alpha_s = 0.76$

則按渠底

$$S_b \leq \frac{0.06 \times 1.65 \times 0.025}{0.89 \times 2.5} = \frac{0.002475}{2.225} \div \frac{1.1}{1000}$$

如渠道土粒靜止角為 30° 時由 $K = \cos\varphi \sqrt{1 - \frac{\tan\varphi}{\tan\theta}}$

$\div 0.48$

則按渠邊

$$S_s \leq \frac{0.06 \times 1.65 \times 0.025 \times 0.48}{0.76 \times 2.5} = \frac{0.001188}{1.9}$$

$$\div \frac{0.63}{1000}$$

與肯納等氏之無含砂水流之不生沖積流速 $V_s = 0.552CD^{0.5}$ 比較如下。

$V_s = 0.552CD^{0.5}$ 粗砂之 C 值為 1.09。

$$\text{則 } V_s = 0.552 \times 1.09 \times D^{0.5} = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$n = 0.03 \quad R = \frac{A}{P} = 1.53$$

$$\text{則 } S^{1/2} = \frac{0.602 \times 2.5^{1/2} \times 0.03}{1.53^{2/3}} = 0.02152$$

$$S = 0.02152^2 = 0.0004631104 \div \frac{0.46}{1000} < S_a < S_b$$

3 修改原有固定渠道之斷面計算

原有渠道如固定，可能在長年月之經流之下，渠道之情況已適合所流水量，不發生沖積，故其潤邊，水力半徑，粗度係數等應可作決定斷面之參考。設新舊渠道之流量為 Q 及 Q_1 ，渠道坡度為 S 及 S_1 ，通水斷面為 A 及 A_1 ，潤邊為 P 及 P_1 ，水力半徑為 R 及 R_1 ，粗度係數為 n 及 n_1 ，平均流速為 V 及 V_1 ，並 $Q = Q_1$ 時 則

$$A \times \frac{1}{n} \times S^{1/2} \times R^{2/3} = A_1 \times \frac{1}{n_1} \times S_1^{1/2} \times R_1^{2/3}$$

如原有斷面已不發生沖積現象，則原斷面之水力半徑，及粗度係數可作新斷面之用。則 $R = R_1$ $n = n_1$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{\frac{1}{n_1} \times S_1^{1/2} \times R_1^{2/3}}{\frac{1}{n} \times S^{1/2} \times R^{2/3}} = \frac{S_1^{1/2}}{S^{1/2}}$$

$$\text{則 } A = \frac{A_1 \times S_1^{1/2}}{S^{1/2}}$$

如新設渠道之 S 決定時可得 A 值，但 A 值需要考慮原有渠道之 R 來決定水深 d 。

$$\text{則 } R = \frac{A}{P} = \frac{A}{b + 2d\sqrt{1+m^2}}$$

$$A = (b + md)d = bd + md^2$$

$$b = \frac{A - md^2}{d}$$

$$R = \frac{A}{\frac{A - md^2}{d} + 2d\sqrt{1+m^2}}$$

$$= \frac{Ad}{A - md^2 + 2d^2\sqrt{1+m^2}}$$

$$RA + Rd^2(2\sqrt{1+m^2} - m) = Ad$$

$$R = R_1 \quad \text{則 } R_1(2\sqrt{1+m^2} - m)d^2 - Ad^2 +$$

$$R_1A = 0$$

R_1 , m 及 A 為已知數故由上式可求 d 值。