

# 螺旋流與渠首泥砂之控制

## Spiral Flow and Sediment Control on Headworks

郭 朝 雄

*In designing the diversion head works on alluvial rivers, the most difficult thing is that how to conduct as much as possible the bed load materials go with main flow, thereby avoiding its expensive removal from the canal. Any of the following methods: (a) adjusting the canal section in such a way as to increase the silt carrying capacity of water. (b) preventing the coarse sediment particles from entering the irrigation or power canals, or (c) removing the sediment materials by means of special devices, etc. can attain to the purpose of silting protection, but virtually, the proper choice of the intake site is of paramount importance.*

*It was found, by model studies and practical experiences, that the spiral flow induced by deviation of the flow from main course into the intake plays a important role in bed load movement into the intake. At the same time, the spiral flow of main flow in the concave side or that induced by the concave guide wall has evident action in preventing desilting effects.*

*This paper is intended to introduce the effect of the spiral flow on sediment control at diversion head works. Proper operation of sluiceway will be discussed about too.*

### 一、引 言

自沖積層河川引水入灌溉或發電用渠道，最大之困難莫過於如何避免河床質進渠，使其盡量隨本流遠去。因為渠道水流流速及挾砂能力，遠較天然河流者為小，若渠首之泥砂控制不得法，則渠道內勢必發生嚴重之淤積，斷面日減，阻碍水流之暢通而影響灌溉或發電，或甚至粗粒泥砂經渠首流入農田淤積，變良田為荒廢，減少農作物之生產量。因此一般灌溉工程之維護，常以淤積泥砂之清除最為重要，費用亦最鉅。以濁水溪灌區為例，灌溉其下游 95,000 公頃之濁幹線，八堡圳、荊仔埤圳等 19 條幹支渠之年平均淤積砂量達 106 萬立方公尺，其年清除費用估計不下 300 萬元。所淤積之砂石，每年利用斷水期間實施疏濬清除，堆積於渠道兩岸，年積月累形成沙堤，進而侵及兩岸農田，以致渠底隨淤積而提高，不斷發生決堤災害。

在灌溉或水力發電工程，防止泥砂之淤積通常有下述三大類方法：

- 防止河床質進入渠首。
- 加設特別設施，如沉沙池、砂阱等，以排除已進渠之淤砂。
- 設計適當之渠道斷面，使其在可容許範圍內增

加流速以便輸送泥砂。

其中 c 法首由 Kennedy 氏，經廣泛之研究，在印度發表所謂不沖淤公式，即  $V = kd^n$ 。a、b 兩法通常需要浩大工程費，或須要特別謹慎之渠首工位置選擇及佈置。

經研究河床質進渠之實態，發現進水口前因分流而發生之螺旋流實為河床質進渠之主要動力。但另一方面，河川主流內之螺旋流，或在進水口前適當誘發之螺旋流，有防止河床質進渠及促進排砂效果之作用。

### 二、河性及水流特性

#### 1. 河床之昇降：

串流陡峻狹谷之河流，流至廣大平緩之平原後，流速驟然降低，將大部分攜帶河床質堆放於河道上。其堆積由河道中心形成漸及兩傍，故河流自高就低而分散亂流，以河谷出口為頂點之沖積扇狀地 (alluvial fan) 乃形成。

位於扇狀地內河段，河床坡度頗陡，但在末端坡度突然變緩，河床質之輸送條件起變化，對河床之安定有重大影響 (圖 1)

根據河川形態學 (Fluvial Morphology) 之觀點，河川無時不在尋求平衡，即在維持  $Q_s d \sim Q_w S$  之關係。這是一個平衡狀態之公式，假如四變數中有任

何一數變動，則其他一個或更多個變數亦隨之而變動（式中  $Q_s$  為泥砂量， $d$  為泥砂粒徑， $Q_w$  為流量， $S$  為河川坡度）。

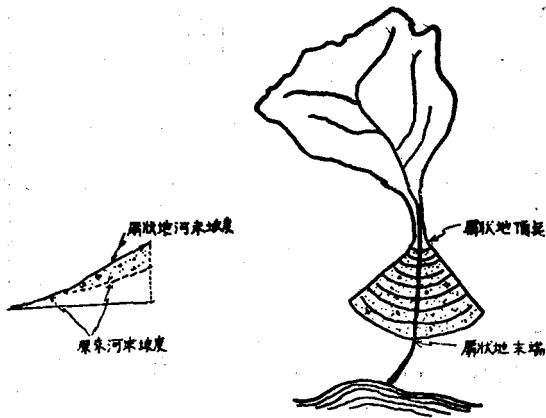


圖 1 扇狀地河川坡度

設河川流量  $Q_w$  因上游之引水或其他原因而減少，則為保持平衡， $S$  必增加，亦即河床必淤高（但假定  $Q_s$ 、 $d$  均不變）。同理，如  $Q_w$  不變而  $Q_s$  增加（如因山崩或支流攜帶大量泥砂入主流），則河床亦必淤高，本省東部銅門發電廠之被埋沒即為其一例。反之，若  $Q_s$  或  $d$  減少，或  $Q_w$  增加，結果將發生河床之降低。攔河堤或水庫完成後，其下游河床之降低即因下游  $Q_s$  減少而導致  $S$  之減少。因此，不設攔河堤引水時，不可不注意河床昇降之趨勢。

在河床有上昇趨勢之河段內，水流不穩定成亂流，但在河床有下降趨勢之河段內，則發生偏流，其大部分流水集中於一河槽內繼續侵蝕一邊河岸，而對岸則繼續淤積。

## 2. 河流之蛇行：

天然河道流水不直而必蛇行。在穩定河槽內，蛇行通常有相當規則之軌跡，但如河床上昇或下降，或枯水流量因上游之引水，放水而發生重大變化時，蛇行軌跡即發生變化。新建水力發電廠尾水放流後，其下游河槽通常有顯著之改道，形成另一蛇行軌跡而影響原有河邊進水口之引水，是為屢見之事實。

蛇行之原因極為複雜，如地球之轉動作用及水流之推動影響所產生之加速度，剩餘能量，水位流量之變化，水流因樹木、突岸等障礙物而分散等，此外，流砂之來源與數量亦為蛇行重要原因之一，美國水道試驗站且證實如流水清淨，則蛇行將不致於或不甚發生，但河岸冲刷一旦發生，蛇行即行形成且繼續發展至下游。

河槽水位及流量之變化對蛇行流路，泥砂移動情形，據美國水道試驗站之實驗為圖 2 所示。由圖可知

，高水時凹岸刷深，泥砂即淤積在二相鄰彎曲段中間，但在低水時水流沖擊河彎上游，場岸物質淤積於河彎凹岸深水地點，同時兩彎中間段底部泥砂發生移動而淤積在下游河彎深水處，換言之，高水有擾亂低水蛇

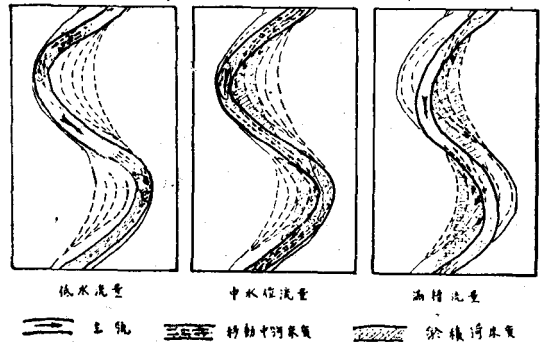


圖 2 流量變化對河床，河床質移動之影響

行流路之作用。該試驗並指出，高水時期水面坡度較為均勻，但低水時期兩彎中間段之水面坡度則頗陡，而在彎曲點附近之水面坡度則較為平緩，此點坡度之變化情形已足於說明低水時期沖淤現象。

## 3. 螺旋流：

螺旋流之發生一般相信有如下原因：(1) 河槽之摩擦阻力，(2) 離心力使水質點由直線運動改變方向，(3) 流速垂直分佈之不均等等原因。

根據 Shukry 在實驗室水槽之實驗，入口處稍許擾亂已足以使深水層移到一邊，而產生單股螺旋流。在直線長渠因水流為求左右槽邊剪力之平衡，自然發展成二股方向相反之螺旋流。在彎曲段則因表層水質點所受離心力，遠較底層所受者為大，表層水質點乃向凹岸流。但根據流水連續原理 (Principle of continuity)，河底同量之水必向凸岸流，於是形成斷面內之二次流 (Secondary flow)。流水在平面上之主流與橫向二次流所合成者即為螺旋流 (Spiral flow) (圖 3) 如河流為右彎，則發生反時針方向螺

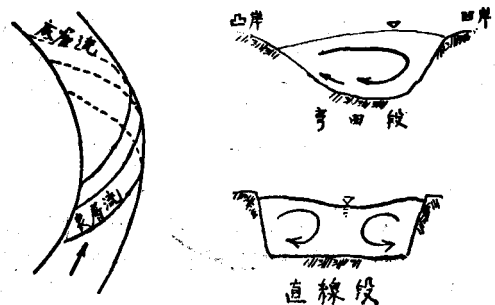


圖 3 螺旋流

旋流，如為左彎，則反之。

水流開始彎曲後，其螺旋流因受來自直線段螺旋流之影響而不能安全形成，螺旋流強度亦微弱。至彎曲中點前後始能完全獨立，強度亦最強。此螺旋流強度  $S_{xy}$  根據 Shukry 氏之定義為，斷面內橫向流速  $V_{xy}$  ( $V$ 之橫向分速) 之動能與該斷面流速  $V$  之動能百分比，即

$$S_{xy} = \frac{V_{xy}^2}{V^2} \times 100$$

Shukry 氏在鐵槽內常流 (Subcritical flow) 所作試驗結果，發現

- (1)  $S_{xy}$  隨半徑與水面寬度比之增加而減少，但在  $r_c/b$  等於 3 時  $S_{xy}$  為最小。
- (2)  $S_{xy}$  隨水深 ( $y$ ) 與寬度 ( $b$ ) 比之減少而減少。
- (3) 水流偏向角度愈大， $S_{xy}$  亦愈大，以數值為例，當  $\theta/180^\circ$  由 0，亦即直線，變化為 0.5 時， $S_{xy}$  則由 0.5 增加為 1.0。換言之， $90^\circ$  彎曲時之  $S_{xy}$  為直線時之 2 倍。

表層水質點向河底流動時，將衝力傳予底層水，因而增加凹岸邊流速，凸岸則減少流速。因此部分或全部被刷凹岸河床質將被堆放在岸邊，形成如圖 4 之不對稱斷面。Riplay 研究彎曲段河槽斷面後，認為如曲率半徑  $r$  大於  $40\sqrt{A}$  (但  $A$  為河槽通水斷面積)，則河槽尚可穩定，否則河槽斷面易變化。

A. Schoklitich 經實驗觀察彎曲河段內河床質之移動情形，結果發現河床質流至彎曲起點時，部分河床質即開始按顆粒大小分離，細砂將沿曲線前進，粗砂則較難變向而直接被輸送至彎曲頂點之深潭 (圖 37)，進入渦流範圍內，並淤積在頂點附近。河床質粗細之分離現象，在彎曲段之下游即消失，故再度發生均勻沉澱，形成原有斷面。

上述螺旋流，在直線河段內成對發生，但在彎曲段則僅剩為單方向螺旋流，其對河床沖淤情形在洪水漲水時期與退水時期，又完全相反，如圖 4 所示。由於漲水期與退水期螺旋流方向完全相反，漲水期河床質由兩岸向河槽中心移動，而退水期河床質則向兩岸

移動。(洪水漲水期水面漂淨物均進中在兩傍沿岸流，退水期漂浮物集中在河道中心漂流，此乃漲水，退水期螺旋流方向完全相反之明證)。

退水期河彎部分水面坡度特別平緩，流水所挾帶泥砂遂將沉澱在凹岸上半段 (圖 5)，因此設在凹岸邊之進水口如位置不妥當，洪水過後仍可能因淤砂而發生引水困難之現象，河道寬闊且彎曲在  $90^\circ \sim 180^\circ$  時尤易發生此現象。如隘寮溪舊進水口 (約位於  $120^\circ$  處) 之失敗則為一例。

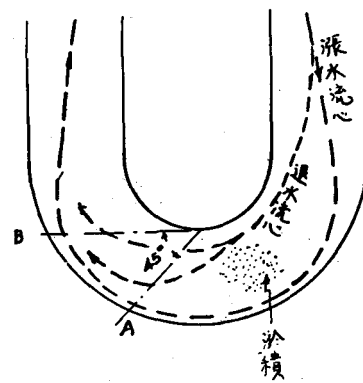


圖 5 漲水退水期流心之變化

### 三、河床質進渠之實態

#### 1. 河床質之輸送及其分佈

流水在其行進過程中，常可挾帶砂石俱下，所挾持之物質有三種不同移動方式，即(1)懸浮、(2)接觸或拖引及(3)跳躍，普通以一法或以三法混合將砂粒輸送。較重土粒沿河床或在河床上附近移動，故稱之為河床移動質 (Bed load Sediment)，推動河床質之作用力稱之為掃流力 (Tractive force)。但較小土粒因常被亂流向上推舉，並在水中擴散，故稱之為浮淤物質 (Suspended material)。

承受掃流力之河床質，以滾動開始顆粒之移動，再發展為跳躍 (Saltation) 及堆積。當河床上剪斷力，亦即掃流力超過某一極限值，則發生堆積層之移動。此移動層之厚度，依河川坡度之大小，橋墩等之局部冲刷之有無而有極端之差異。日本富士川在水深 8.5 公尺時之移動層，據觀測會達 20 公尺，萊茵河亦有數公尺之紀錄，在日本利根川之緩坡度河段 ( $S = 1/2,500$ ) 之實測亦會達 1.5 公尺。

較粗土粒係沿河床移動，但細泥之分佈，則幾乎遍佈於每一深度。水流所含泥砂量之分佈情形為如圖 6、7、8 所示。圖 6 為正規分佈，但一般均如圖 7 及 8 之

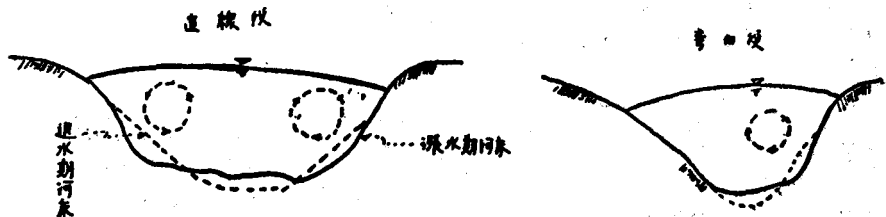


圖 4 螺旋流對河床斷面之影響

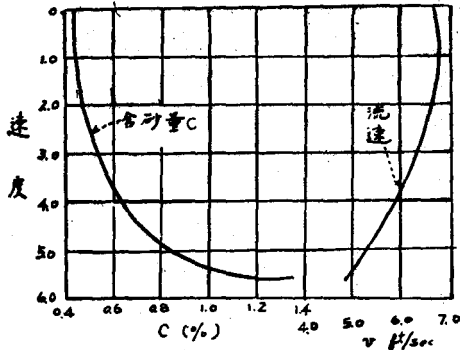


圖6 垂直方向之含砂量分佈

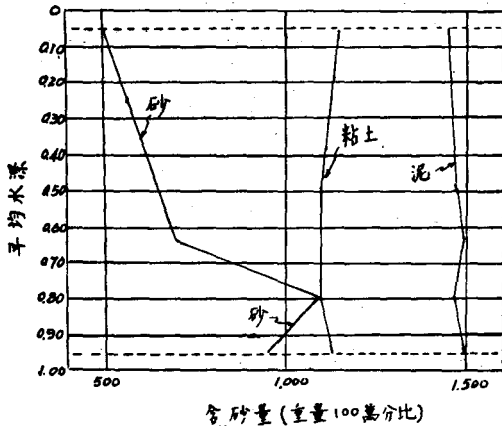


圖7 尼羅河洪水期河床質垂直分佈

不規則分佈。圖8為日本利根川之實測結果圖中A、B……等為斷面符號(請參閱圖14)。

美國和印度之專家們經多次試驗後認為,浮游物質在河流断面內之分佈極為不均勻,近於河底者數量劇增,而表層者則較為稀薄,在密士失必河之觀測,

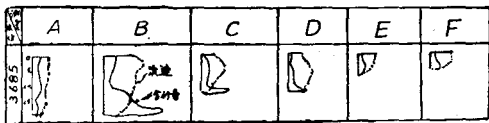


圖8 利根川含砂量分佈

底層浮游物質含量較之表層增加6%,但在萊茵河之觀測,則增加88%(流速每秒2.5公尺)。天然水道挾携浮游物質之能力,殊無標準,含砂量之變化亦大,即在同一水位,含砂量亦輒有不同,圖8即為其一例。

## 2. 直線河道上之分流與河床質之移動

為明瞭從直線段河道引水時之河床質進渠情形, H. Bulle, A. Schoklitsch等曾分別進行模型試驗,

圖9、10為H. Bulle氏之試驗結果。據該試驗(定床試驗),從直線段河道引水時,引水角之變化對防止河床質之進渠似無多大效果。由圖9可知,當引水量約為主流流量之一半,而引水角為常用之 $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 間

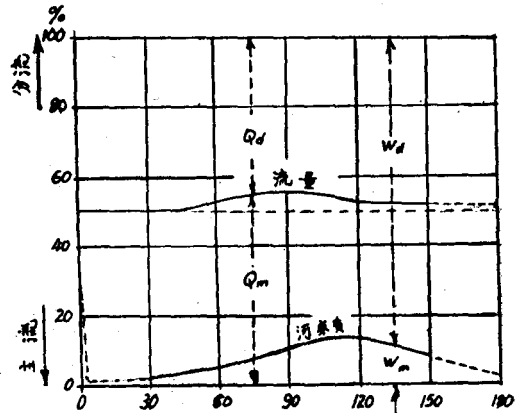


圖9 由直線段河川引水時河川質進渠量與分流角關係圖(引水量為主流之一半)

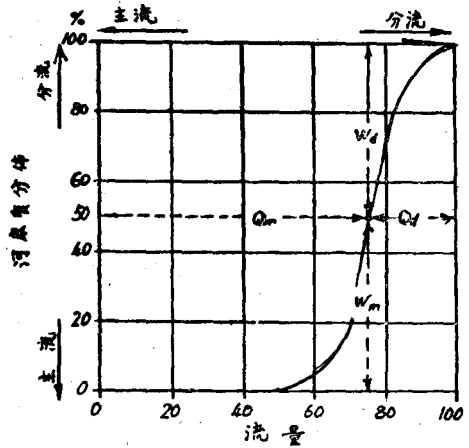


圖10 主流流量比與進渠河川質(直線段引水)

時,竟有主流之90%以上河床質進渠。將引水角固定為 $30^{\circ}$ 而變化引水量時,進渠河床質之變化情形為圖10所示。該圖指出,當引水量超過主流之60%時,所有河床質均轉向而流進分流內。動床模型之同一試驗結果,進渠砂量雖不如定床試驗之嚴重,但仍有相似之趨勢。

上述為在直線段河道上不設攔河堤引水時之情形,對於設有攔河堤時之結果仍與上述相似。

自直線段河川引水入渠時,分流挾帶大量河床質入渠之現象,可用水力動力學作簡單之說明。

設 $v$ 為與進水口断面垂直之流速,則 $v = \mu \sqrt{2g\Delta h}$

X-X 斷面內 (圖11) 水頭  $\Delta h$  之流速  $v$  在垂直 (水深) 方向之變化小 (但在平面上之變化: 則由對岸向渠道方向增加)。因為近水面點, 如 A 點之流速比深水處, 如 B 點之流速為大, 因此離水面愈深, 由  $v$  與  $V$  (主流流速)

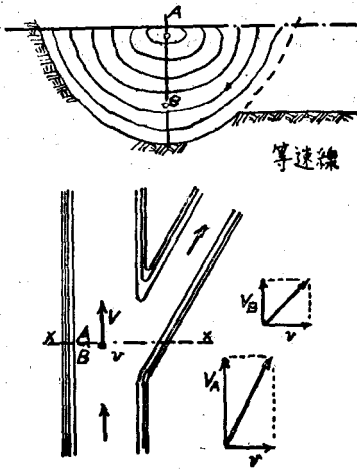


圖11 渠首前流速分佈情形

所合成之角度愈大, 結果含砂較多之底層水進渠, 而較清表層水則大部分順主流而下。

水流分流時, 因變向而發生離心力, 對斷面內二次流之形成及螺旋流之強度有密切關係。因為螺旋流之底層為向彎曲中心流, 亦即流向進水口 (圖12), 且冲刷河床, 因此彎流之離心力對推送河床質入渠有顯著之影響。此離心力根據 C. P. Lindner 氏之研究, 與引水角  $K$ , 半徑  $r$  有一定關係, 圖13為其結果。

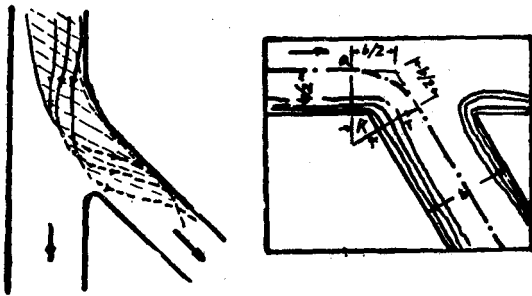


圖12 進口螺旋流

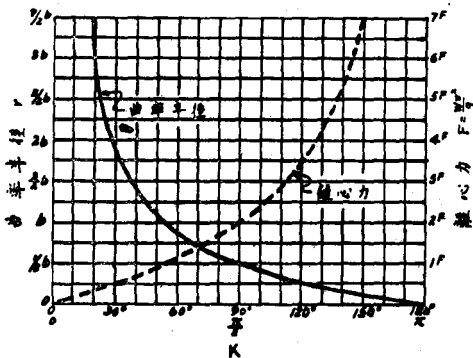


圖13 分流角度與曲率半徑離心力關係圖

### 3. 彎曲水流與河床質之進渠

上節已指出水流彎曲時, 河床質有按顆粒大小分離之趨勢。但此項螺旋流推移河床質之效果, 僅在凹岸段持續, 過之即行消失。圖3顯示彎曲部螺旋流為向曲線內流, 故大部分河床質亦隨螺旋流方向移動, 再由圖12可知, 分流之變向亦產生一股螺旋流, 如果主流之螺旋流強度大於分流之螺旋流, 則河床質之進渠量當可減少 (詳見四、1 節 F. Habermass 氏之實驗), 否則押運河床質之底層流, 將自 a 點 (圖13) 開始推送河床質入渠, 使其在渠中螺旋流作用減弱之處沉積。

上述河床質進渠現象, 可由日本利根川見沼代渠首工 (圖14、16) 之實測結果得更進一步之了解, 該渠首工共有11孔閘板, 經由各閘進渠之水流含砂量為圖15所示。由圖吾人可發現堰上加高插板時 (圖28)

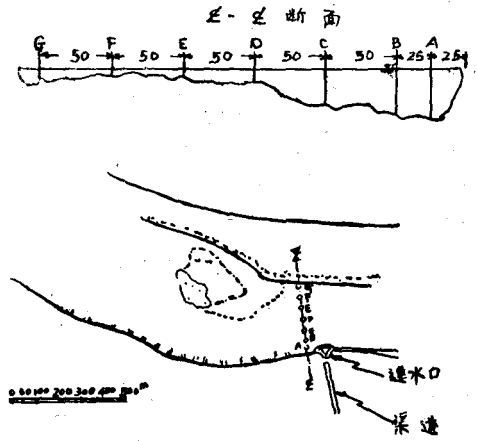
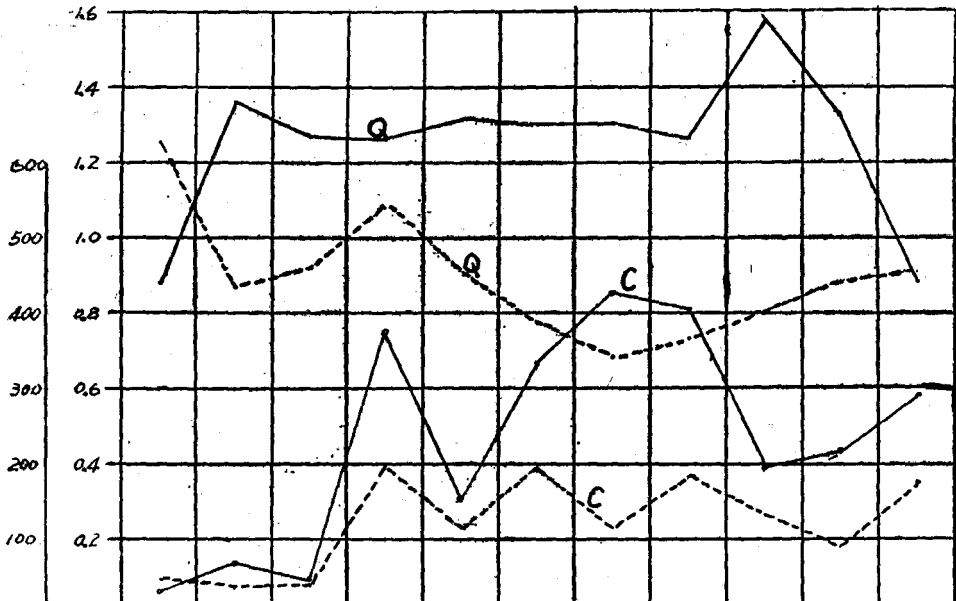


圖14 利根川見沼代渠首工附近平面圖

: 含砂量顯然較無插板時為低, 且各孔含砂量均比較均勻。無插板時, 中下游側各閘孔之含砂量異常高, 其原因經分析圖16之流線則可知為螺旋流之作用。

由圖16之流線可知, 深水處流線彎曲較大 (該實現用簡單浮子測定, 故所得深水處流線似不甚正確, 實際上其彎曲度應更大), 進水口下游側之流線曲度且較上游者為大。至於表面流, 則彎曲較小有順主流逸流之趨勢, 因此下游測各孔含砂量之高似為必然之結果, 主流與分流之螺旋流方向相反, 其分界處發生滯流帶, 河床質遂沉積於此 (圖17), 進水口下游河床常淤高, 上述現象亦為主要原因之一。另一方面, 下游河床之淤高將促進螺旋流之淘刷作用, 使下游側進水閘孔之含砂量愈高。

河川流水因彎向產生離心力提高下游水面, 並淘



插板号码	No.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	計
流量 Q	有插板 1.252	0.872	0.916	1.080	0.916	0.772	0.680	0.932	0.808	0.884	0.908	35.16
無插板	0.880	1.368	1.272	1.260	1.316	1.308	1.304	1.260	1.572	1.320	0.884	47.98
含砂量 C (%)	有 " 47	36	39	193	112	197	118	182	131	89	177	約 118
無 " 35	68	45	372	155	334	428	408	195	220	292	" 230	
流砂量 S (%)	有 " 59	31	36	209	103	152	80	170	106	79	161	
無 " 31	93	57	468	204	437	558	513	307	288	246		
平均流速 V	有 " 1.926	1.453	1.908	1.800	1.728	1.403	1.539	1.634	1.393	1.603	1.713	
無 " 0.978	1.121	1.034	1.050	1.020	1.060	1.051	1.032	1.267	1.073	0.938		

圖15 插與含砂量 —— 有插板 - - - - - 無插板

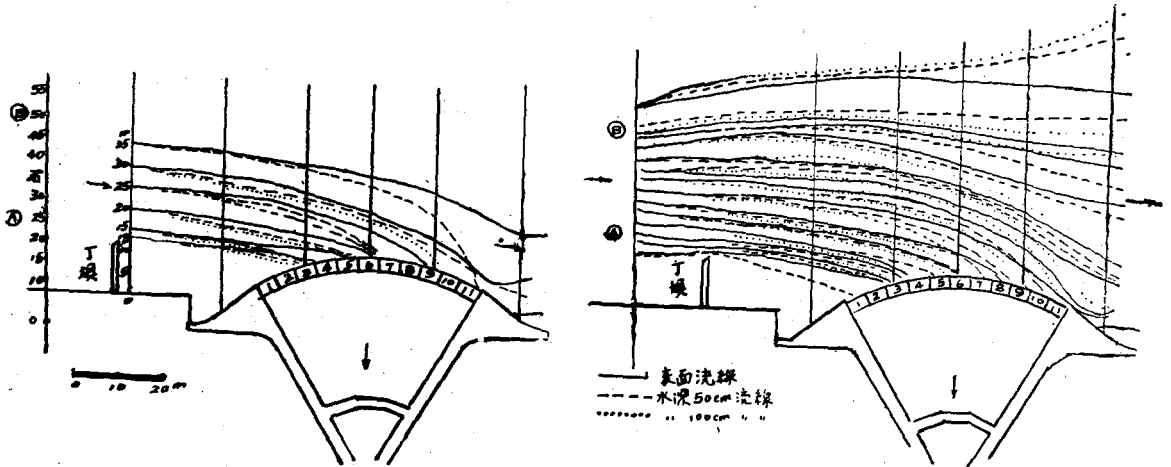


圖16 見沼代渠首工主流流線變化、

刷河床之現象，在主流與分流流量比值小時愈為顯著，是以枯水期進渠河床質之

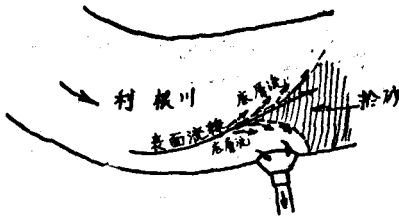


圖 17

粒徑與量均較大（見下節表 1）。

#### 4. 引水量之變化對河床質進渠之影響。

H. Bulle 氏之模型試驗曾經指出（圖 10）分流量超過主流流量之 60% 時，全部移動河床質的入渠。上述利根川見沼代渠首工亦曾有類似之測驗，表 1 為其

表 1 利根川含砂量與進水口含砂量

利 根 川		進 水 口		Qm/Qd	Cd/Cm	備註
流 量 Qm	含砂量 Cm	流 量 Qd	含砂量 Cd			
628	463	20.5	243	30.6	53	
491	559	17.4	161	27.7	29	
560	394	20.5	100	27.3	26	
628	501	31.0	605	20.3	120	
324	484	20.5	391	15.9	81	
430	343	34.6	259	12.4	76	
324	210	27.6	38	11.7	18	
228	119	27.6	56	8.3	47	
182	81	23.9	175	7.6	201	
182	111	27.6	223	6.9	202	
154	46	25.6	74	6.0	161	
182	118	31.0	169	5.9	144	
182	131	34.6	204	5.3	156	
154	124	32.8	233	4.7	188	
113	114	49.5	255	2.3	223	
100	74	45.9	118	2.1	160	加高插板
100	74	47.6	231	2.1	312	未加高插板

結果，圖 18 為其圖示。由該測驗吾人並未能發現流量與進渠河床質量間有何密切關係，但有一明顯之趨勢，則主、分流流量比愈小，分流之含砂量愈高，當  $Q_d/Q_m$  小於 10 時，分流之含砂量竟大於主流之含砂量。主流流量一定而變化引水量時之河床質進渠情形，該測驗雖未進行有系統之調查，但由上表仍可發現主流流量差不多相等而引水量增加時，進渠含砂量亦增加。

主流流量比愈小，進渠含砂量愈高之現象可歸因於引水流速之影響。蓋如果引水量一定而主流流量

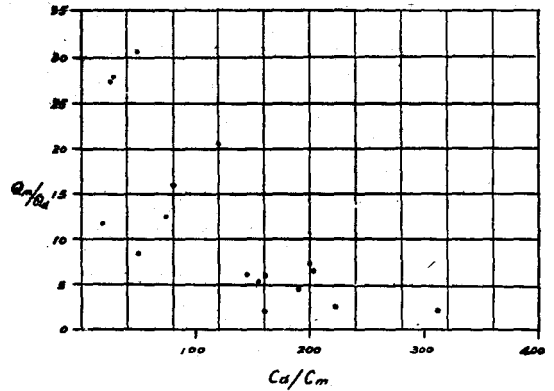


圖 18 主流分之流量比與含砂量比

減少（亦則主流水位降低），或主流水位一定而增加引水量時，則勢必增加引水流速，結果攪亂進水口前河床致挾砂進渠（圖 27）。

### 四、控制河床質進渠之措施

#### 1. 渠首工位置

從彎曲河道引水時，主流螺旋流強度因位置不同而異，因此如有可能，引水構造物應設在螺旋流強度作用強烈之處，同時攔河堤沖刷閘應佈置在螺旋流作用範圍內。

F. Habermass 氏曾以定床模型試驗，觀察螺旋流推送河床質入渠之情形（圖 19）。據此，引入主流流量之一半水進渠時，主分渠河床質之分佈情形如下。

第一種佈置：分渠 100%，主流 0%

第二種佈置：分渠 50%，主流 50%

第三種佈置：分渠 5%，主流 95%

第四種佈置：分渠 100%，主流 0%

第五種佈置：分渠 0%，主流 100%

第四種佈置因分流之螺旋流與主流者同方向，而促進河床質之進渠，為最劣佈置，第一種佈置亦然。第 2、3 及 5 種佈置之情形較佳。就第二種佈置而言，分流設在曲線上半段尾，在該處因螺旋流尚未完全發展成功，且被分流偏向所發生之螺旋流減弱其強度，故仍有不少河床質進渠。第三及第五為最優佈置，蓋在曲線下半段螺旋流已完全形成，同時未受分流反方向螺旋流作用之影響而被削減其強度也。

F. Habermass 氏之另一動床模型試驗結果，在數值上雖與上述略有出入，但其趨勢則相似。

根據理論與實際，進水口應盡可能設在河道彎曲段凹岸，並以設在彎曲下半段為原則。如為 90° 彎曲

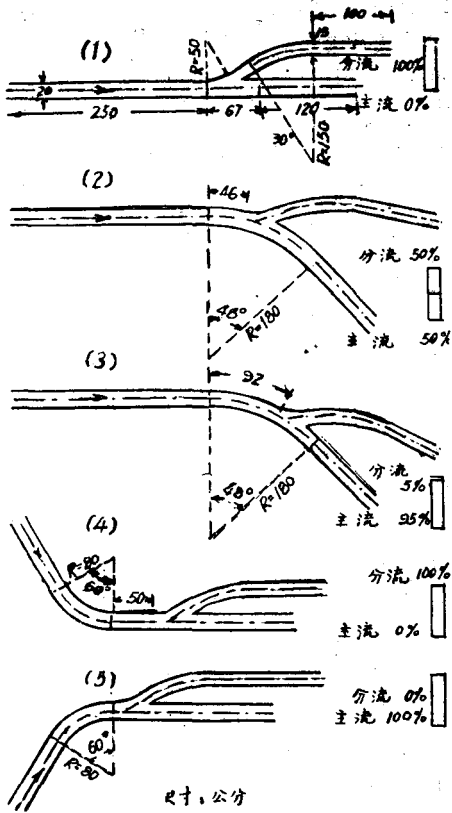


圖19 分水位置與河床質分佈

，則宜設在內角45°至90°之範圍內(圖20A、B間)。如為180°彎曲，則以設在內角135°至180°間之範圍內為宜(圖5A、B間)。如F. Habermass氏之實驗結果所示，在凹岸緊接彎曲之下游直線段，亦可收防砂之效果，但如離曲線終點過遠，防砂效果則為0。

如進水口設在凸岸邊之直線段則各種防淤措施已無顯著之效果。在這種情形下，須有充分之水頭，高出河床之渠首門檻(Intake Sill)及冲刷開始能充分發揮其作用。

2. 引水角度

以上所論均在強調水流偏向時，所發現螺旋流對挾砂進渠現象之重要性。H. Bull氏雖認為引水角在30°至90°間變化時，對河床質進渠量並無顯著之變化

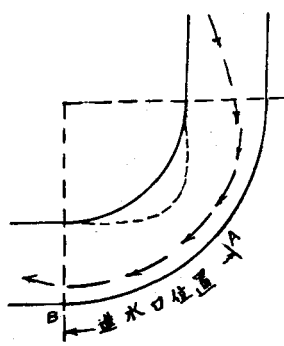


圖20 進水口位置(90°彎曲)

，但目前已漸漸被認為引水角仍以小角度為宜。茲以水流動力學觀點再研討引水角之大小如下。

過去大多數進水口，以90°角度引水者佔絕大多數，但其缺點可由圖21可知為，流線不沿曲線流入進水口而以φ角入渠。因此流線與構造物曲線分離，在兩側形成滯留或渦流帶。佈置不良或形狀不佳之橋墩亦為渦流發生之原因，進水口水流之縮流將使流水斷面積較預計者為小，流速將超出設計數值，致增加水頭損失，並攪亂渠前河床增加含砂率。水頭損失

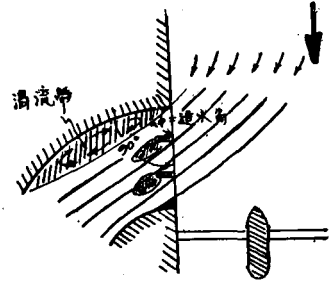


圖21

一項在水力發電工程上關係尤為重大。以水角度引水時，很顯然地仍有縮束現象發生，惟其程度較輕微而已。進水口形狀為直線狀時，兩內側亦發生渦流，如圖23。

過去會有不少學者欲藉模型試驗決定適當之進水口角度，但那些試驗明顯的指出理想之分水角度係隨主分流流量比而變，如分流比值小，則分流角應小，反之則角度應增大

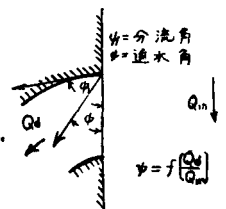


圖22

(圖21)換言之，每一進水口均互異其理想之引水角，同時各進水口之某一引水角度僅能適應於某一流量之流況。因此自防止河床質進渠為觀點決定引水角時，應根據引水期間河床質最多時之主分流流量比決定之(通常河水之含砂量以洪水期為最高，而當時之分流比為最小)。根據Schoklitsch氏之觀測，

$$Q_m/Q_d = 0.2 \sim 0.3 \text{ 時, } \phi = 20^\circ \sim 30^\circ$$

$$Q_m/Q_d = 1.0 \text{ 時, } \phi = 45^\circ \sim 60^\circ$$

從理論演譯，φ與qm, qd之關係為

$$\cos \phi = \frac{b}{B} = \frac{q_m}{q_d}$$

因此如果vm = 0, qm ÷ 0時，亦即從蓄水庫引水時，φ = 90°，如vm, qm均較大，則引水角須較小。

根據模型試驗之結果，主張引水角之大小與進渠河床質量間無密切關係之學者，事實上係對大量引水之攔河發電廠之模型試驗結果而言，而與引水量僅佔主流量流量一小部分之灌溉工程有顯著的不同。1953



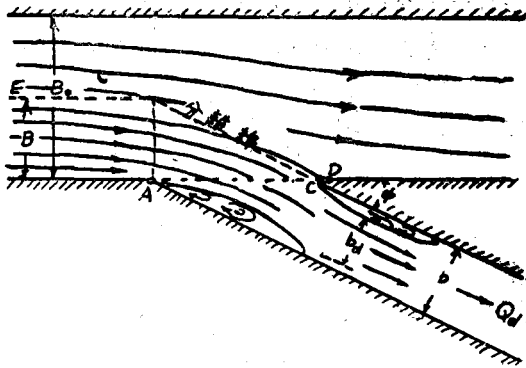


圖 23

年在羅馬舉行之第18屆國際航海會議，會對引水角討論，結果認為盡量減少河床質進渠，引水角仍以小角度為宜，事實上古代阿拉伯之工程師們早已體會到此原則，他們自尼羅河引水時，將進水口設在凹岸，並盡量使引水方向與主流彎曲正切。如果須自直線段河道引水，則盡量以小角度引水。就最近趨勢而言，歐洲大陸之渠首工程多數已採用 $30^\circ$ 之引水角。

### 3. 渠首工佈置與構造

因實地條件之限制，只能在直線段河道上設進水口時，則宜佈置渠首工使其能在渠首自然產生螺旋流。圖24為其一例，將渠首稍為伸入河道內，水流則被迫變向而形成螺旋流。圖中a之構造在引水前池（Intake bay）內設有沉砂池及排砂道，適用於有多量河床質時，b之構造則適於河床質較少時。

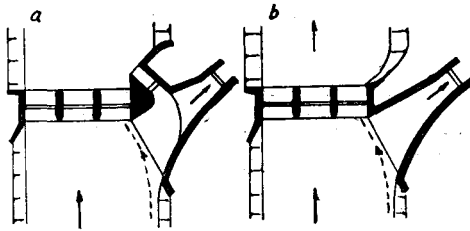


圖 24

當分流量  $Q_d$  僅為主流流量  $Q_m$  之一小部分時，自進水口伸出一道分流牆亦可減少河床質之入渠（圖25）此分流牆的目的在於限制進渠流量，使主流中多餘流量被迫轉向而形成螺旋流。圖26為特殊佈置，以人工開鑿彎曲水道，使其在進水口前發生螺旋流，類似佈置可見之於印度之灌溉工程。

河流中河床質之分佈情形由圖6、7及圖8可知，以底層流之含砂率特高，因此引入表層較清水流當可減少進渠含砂量。根據此觀點，埃及多數引水

工程會在渠首前橫建低潛堰（Sand Screen），以引用表層清水（圖29）

日本利根川沼代灌溉工程渠首工（圖16、28）之形式亦同。這些引水構造物有些相當有成就，但有些却沒有成功。其失敗之原因有二，即堰上流速太大及堰前河床淤高。

堰頂流速如過大，水流型態即發生變化，水流被攪亂致使砂粒昇揚混入渠內。因此堰頂流速必須限制，據Abdel Azim Ismail工程師之意見，堰頂水深不能大於堰前河流（或幹渠）水深之 $1/4 \sim 1/3$ ，其流速則不可超過渠中流速。

由於堰頂水深流速均受限制，通常需要較長堰堤（因此常採用弧形佈置），工程費增大，但仍可抵消疏濬渠道之莫大費用。利根川沼代渠首低堰為高2.2

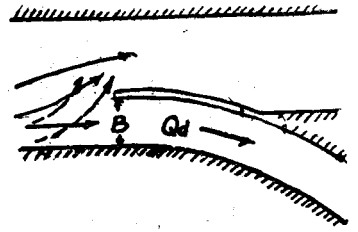


圖 25

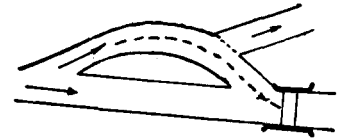


圖 26

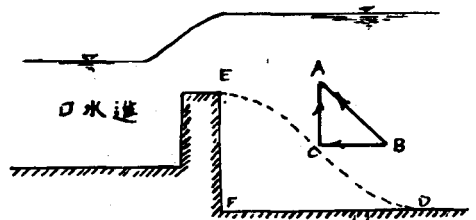


圖 27

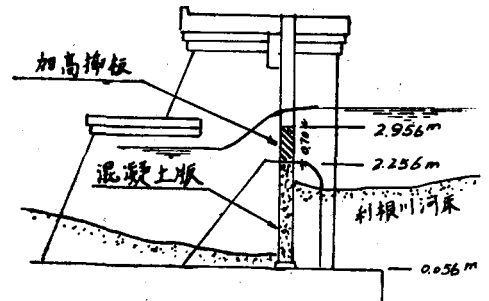


圖 28

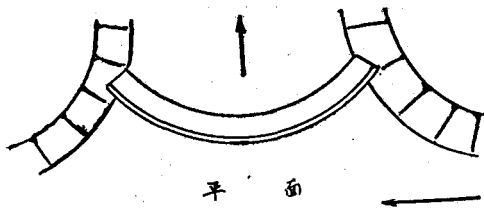
公尺之混凝土插板，但由於堰前河床受螺旋流影響而淤高，須再加插板以防止泥砂越堰進渠，經試驗加70公分高插板後，含砂量平均均減少50%（圖33），效果頗為顯著。

由上述可知，防止河床質進渠，原則上必須減小水流在渠首因轉向發生之螺旋強度。採用較小引水角為一法，而設計渠首構造物使其抵消螺旋流亦為一法。Leliavsky氏所提議渠首傾斜堰即為其例（圖29），在埃及多處渠首工實施後均有良好之結果。該堰以下游堰頂比上游堰頂為高，其傾斜坡度與渦流水面坡度成平行。根據理論與精密測驗結果，彎流或渦流之水面與水重及離心力之合力成垂直，因此

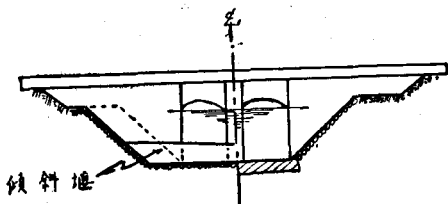
$$S = \frac{Wv^2}{gr} = \frac{v^2}{gr}$$

但  $r = \frac{b}{2} \tan \frac{\pi - K}{2}$  (符號請參閱圖13)

$$\therefore S = \frac{2v^2}{bg} \tan \frac{K}{2}$$



平面



正面

圖 29

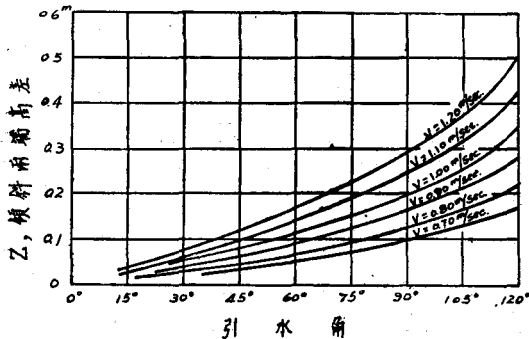


圖 30

因此實際堰頂上下游端之高差 Z 為

$$Z = bS = \frac{2v^2}{g} \tan \frac{K}{2}$$

圖30為上式之圖示。堰頂之傾斜可用直線傾斜，亦可分段傾斜，只要下游堰頂比上游堰頂高出Z則可

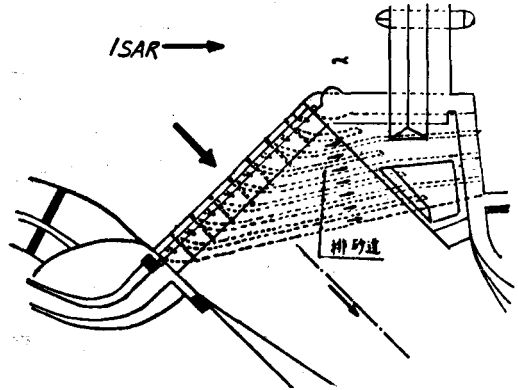


圖 31

分離底層流與表層流，使底層流順排砂暗渠排洩，僅引入表層流亦可防止河床質之進渠（圖31），但此類構造物通常需要浩大工程費，而且需要豐富之河川流量，故不實用。分離表層與底層流之最簡單方法為加設懸檻（Over hang Sill），如圖32、33所示。根據在利根川沼代渠首工所進行實驗，有懸檻伸出

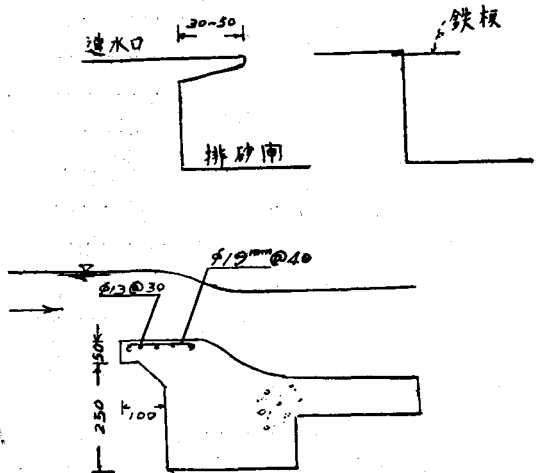


圖 32

堰頂流量	溢流量	溢流量	
角	2.665	1.9165	7.632
邊	4.100	1.3245	23.885

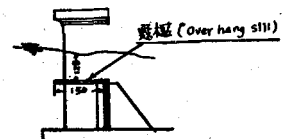


圖33 利根川懸檻試驗

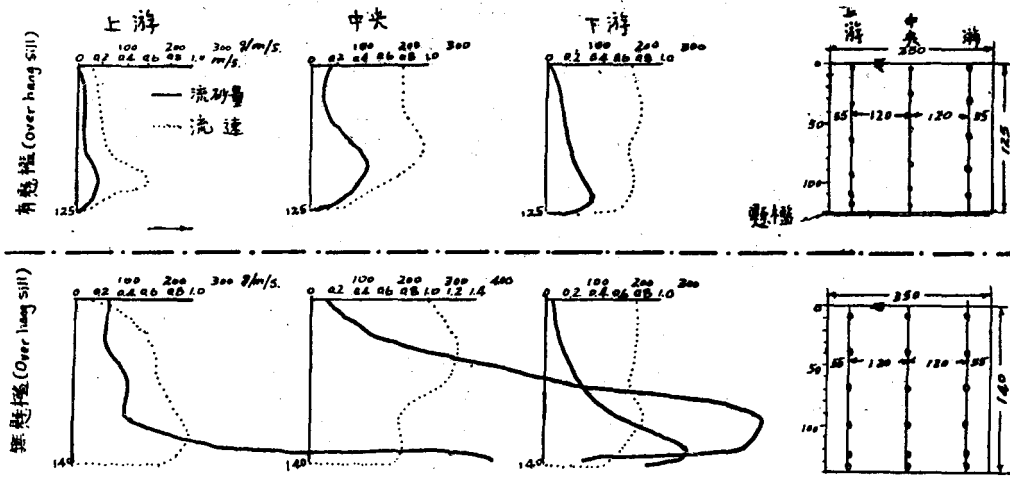


圖34 懸檻與流砂量

河中時進渠含砂量僅及無懸檻時之  $1/4$ 。再由流砂量分佈曲線(圖34)可知，懸檻有防止底層粗粒砂進渠之功效，本法之唯一缺點為進口水頭損失增大，但除非為水力發電進水口，其水頭損失通常不致於成嚴重問題。

#### 4. 排砂道

進水口前門檻 (Inlet Sill) 如能保持距河床適當之高度，雖然可以防止底層流河床質之進渠，但其效果並非如吾人所預期之大(尤其是渠首工設於直線段河岸上時為然)，蓋河床質淤積至門檻高程，防砂作用已完全失效矣。門檻愈高，防砂效果愈為顯著，但常因而必須加大進水口寬度，致超出排砂閘排砂有效範圍，同時工程費亦大增。排除沉積在進水口前沉砂，須設法增加排砂流速。攔河堰如為活動堰，則可啓開近於渠首之閘門以增加流速，如為固定堰，則須建沖刷閘。沖刷道之一般佈置如前示圖24，a式佈置適於河床質較多時，b式佈置則適於含砂量較少河川，惟一般而言b式佈置通常已可收效，複雜的構造究竟需要浩大工程費，有時甚至得不償失，放宜藉模型試驗決定，或參考實例慎重研究。

欲充分發揮排砂閘之排砂效果，可將(1)排砂流速增加，(2)利用螺旋流，(3)採用適當的排砂時期、排砂時間及排砂方法。

關於排砂流速，吾人須注意閘前護坦坡度須能產生足以沖洗淤積砂礫之掃流力。當然排砂道排砂流速應比進水口流速為大，且只需要在  $2\text{m/sec}$  以上。根據水流拖引力淤砂顆粒形狀，淤砂滑動係數等因素推算沖刷流速與砂粒粒徑之關係有不少公式可應用，

其中最簡單者為  $v=3.5d$  但實際上所需要之流速約為上式計算值之  $2\sim 3$  倍，排砂閘前護坦上加設木板或鐵板以減少摩擦阻力，增加排砂流速之措施雖不實用，但仍有實例可見。由沖刷流速與計劃排砂流量即可決定所需護坦坡度及排砂閘通水面積。關於排砂閘通水面積，須記住狹而深之上游排砂空間，較易於控制沉澱物；而寬淺之排砂空間，沉澱物易於擴大範圍，且經沖刷後不易保持沖刷流槽。據日本面河第一攔河堰之模型試驗，如排砂面積為一定，則狹而深之排砂閘(排砂閘底檻較低)之排砂效果比寬而淺之排砂閘排砂效果為佳。因此，如有充分水頭以資應用，則宜設計排砂閘為孔口形式。

排砂閘向上淤延伸之有效排砂範圍，依閘前排砂流速，泥砂淤積情形，排砂時期及時間之如何而異。但顯然的，離開閘門愈遠，排砂效果愈小，是以進水口寬不得超過排砂有效範圍。另一方面，為避免進水口下游端與排砂閘橋墩間發生之渦流，將攪亂沉砂致促進泥砂進渠首，排砂閘上游端橋墩不可緊接進水口下游端，而以離開  $3\sim 5$  公尺為宜。日本明治用水渠首工之橋墩距進水口下游端達  $6$  公尺之遠，崎玉縣神流渠首工相距  $5$  公尺，長野縣埴科渠首工則離開  $3$  公尺。

由前述已知，螺旋流作用對於河床質之運行有極重要之影響。為設法在渠首前形成曲度適當之水流，除可採用前示圖27之佈置外，在排砂閘前設置曲線形導流牆 (Guide wall) 亦證明對防淤、排砂有令人滿意之效果。導流牆之研究以其長度、曲度、方向，與渠口間距離等之設計為最重要，而以印度、巴基斯坦等國研究較早，但美國墾務局丹佛水工試驗室

Martin及Carls兩氏對於曲線導流牆之研究尤有特殊心得，所得資料極有參考價值。該導流牆效果試驗證明導流牆尚有阻止粗粒砂進渠之效果，同時證明曲線牆較直線牆性能更為優異。

圖35為Courtland渠首工冲刷開前不同形狀導流牆之模型試驗結果。在渠首流量為200c.f.s.，冲刷間流量為400c.f.s.之情形下，原設計案冲刷間含砂量 $C_s$ 與渠首含砂量 $C_h$ 之比值僅有0.68，變更設計第一案時為0.22。如設置曲線導流牆使之誘發二次流，則河床質將受離心力作用而向曲線內移動。在第四、五、六案各不同佈置中，以第四案效果最優， $C_s/C_h$ 值

高達6.63，第五案則不如理想，第六案（上游護岸與進水口成60°角度）之結果稍低，為5.13。第七案設計為另加漩渦管（Uortex tube），故 $C_s/C_h$ 值特高為10.5，但因構造複雜且工程費亦大，故不實用。

Bartley 攔河堤亦有類似之模型試驗，圖36表示各不同形狀導流牆之佈置。根據該試驗，原設計即無導流牆時之含砂量比率 $C_s/C_h$ 僅有0.13，可見極大部分泥砂進渠。加設曲線導流牆之後比值有顯著之增加，而以第四案效果為最大（ $C_s/C_h = 6.69$ ）。除導流牆之外，再加暗渠於排砂閘前排除底層流，則 $C_s/C_h$ 值更大，但暗渠易被漂流物所堵，且工程費大，致未被

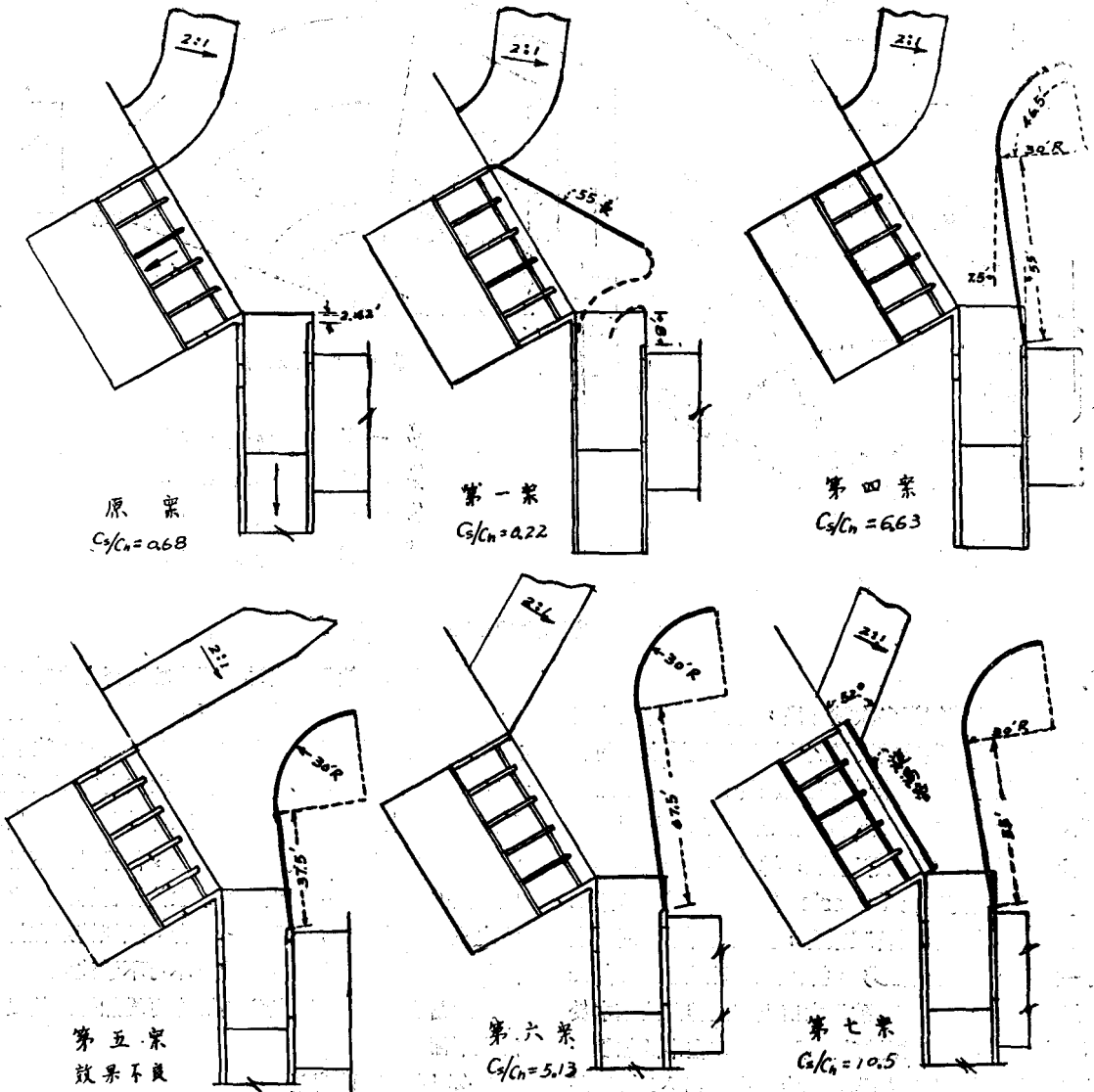
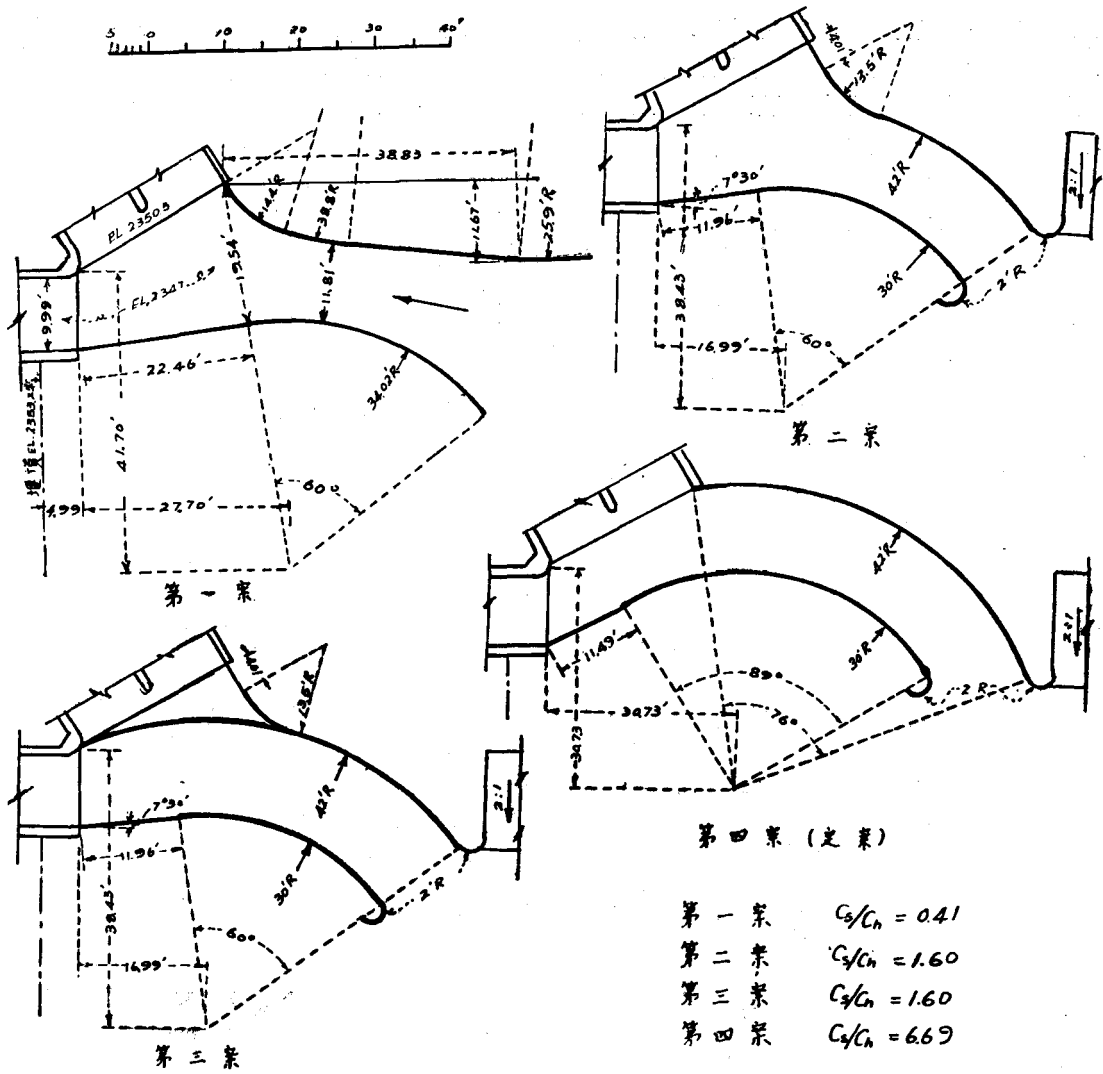


圖35 導流牆模型試驗



第一案	$C_d/C_h = 0.41$
第二案	$C_d/C_h = 1.60$
第三案	$C_d/C_h = 1.60$
第四案	$C_d/C_h = 6.69$

圖36 導流牆模型試驗

採用。

曲線導流牆經過多次試驗後，發現相鄰導流牆間流槽，或導流牆與渠首門檻間流槽應盡量減小其間隔，俾能增加流速使河床質能向曲線內側移動。當然流速不能過大，致使河床質昇揚入渠。如果流槽內流速不大，則雖有曲線導流牆，排砂效果仍難提高，Republic 攔河坝及 Superior 渠首工之實驗結果即為如此。日本埴科渠首工原有 7 公尺寬排砂閘門，僅有一道導流牆（直線形），排砂流速原預定 3.3m/sec，但因閘前流槽過寬，致進口水上游處排砂流速水於 2.0m/sec，無法發揮排砂作用。後來在中間加設一道導流槽，流速始能提高至預定速度，10 公分徑砂石乃得以排除。

排砂流速既然為決定冲刷閘成功與否之決定性因子，吾人不能不考慮到冲刷閘下游河床之淤高問題，尤其在緩流河川為然。蓋所排除泥砂如無法輸往下游，排砂道下游河床之淤高將造成尾水位之昇高減少排砂閘上下游水頭。上述埴科渠首工排砂閘，經改良導流牆後之初期，排砂效果顯有改進，但排砂道下游形成砂洲而且日愈昇高擴大，致尾水位影響排砂閘之排洩水流，排砂作用開始再度受威脅。類似情形在河床質粒徑大之緩流河川常可發生，不可不予注意。

適當之排砂時期及排砂時間亦可增加排砂效果，詳見下節。

#### 4. 引水及排砂管理

河川流水所含懸浮質係來自水源，因此流域內發

生驟雨，含砂量即劇增。一般而言，河川水位達某一水位以上時，或流域內降雨強度達某一程度以上時，流水含砂量有明顯之增加。表二為在利根川實測之結果。由表可知，不同時期之含砂量及泥砂粒徑均有不

同之變化，但尤可注意者為洪水時期之含砂量以浮游細泥為多，而枯水時期則以大粒徑泥砂為最多。因粒徑愈小流下速度愈大，故洪水初期之浮游細泥較多，較粗砂粒則於洪水後半期始陸續流達。因此有放淤作

表二 利根川不同流況含砂量 (gr/m<sup>3</sup>)

流 況	粒 徑								計	0.150 mm 以上計
	0.074 mm 以下	0.074~ 0.140	0.140~ 0.221	0.221~ 0.381	0.381~ 0.864	0.864~ 1.900	1.900 mm 以上			
洪水，水位高於EL.4.20m	367.0	86.0	31.2	26.7	26.4	4.0	2.1	543.4	90.5	
豐水，水位4.20~4.00	62.5	45.6	26.4	24.6	28.1	2.8	2.1	192.1	84.0	
平水，水位4.00~3.70	22.6	35.7	47.7	89.5	102.2	8.8	2.5	309.0	250.7	
枯水，水位低於3.70	23.2	50.3	85.7	132.4	143.7	20.0	5.4	460.7	435.8	

用之渠道，或洪水期仍有引水必要之渠道，則應於洪水峯達到前引水，而於洪水後半期關閉閘門，或減少啓開度以減少進渠泥砂。至於確實關閉時間及關閉時間之長短，則當憑過去經驗及河川與渠道所含泥砂之觀測結果定之，此種觀測工作每日至少應舉行一次。

啓開冲刷閘宣洩河水時，河川水位即降低，但因而增加水流水力坡降，加強沉澱物運動能力並促進沉澱物進渠。因此冲刷閘啓開時，渠首閘門均需關閉。反之抬高河川水位時，因其效果恰與此相反，故閘門可啓開。如果部分河川流量須由堰壩宣洩時，應以首先開放距進水口最遠之洩水道，待前一洩水道全部啓開後，再逐向渠道方向啓開第二洩水道增加洩水面積，始不致於促進河床質進渠。渠道通水時，為避免渠口水位降低，將洩水閘關閉並且不使其漏水，以保持進水口前水面靜止，此即所謂河面靜水制度 (the still pond system)，在印度各地採用此法，結果據稱甚著成效。

當進水口前河道淤積時，需要關閉渠首閘門以利冲刷，此項冲刷工作多在雨期以前進行，蓋此可以浚深渠槽，宣洩河水。根據面河第一攔河壩之模型試驗，排砂閘前一旦形成之流槽不易移動，換言之，啓開排砂閘將淤積泥砂冲刷成一流槽之後，此流槽於高水期雖再被淤滿，但再度排砂後仍可發現與前類似之流槽存在。一般而言，排砂計劃流量愈大，則排除砂量亦愈多，同時所造成之流槽亦愈寬且深，但如此則減少排砂之機會。反之如流量小，其排砂機會雖增多，但一次排砂量既少，而且如果河床質粒徑大，其排砂效果更不顯著。因此究應如何，唯視實地情況而定。

排砂閘上游如有充分之淤砂空間時，則應俟其淤滿後始啓開冲刷閘，否則淤砂在排砂過程當中，有向進水口移動之趨勢，此現象在排砂閘無導流槽時尤為顯著。啓開排砂閘後，近排砂閘處壩前蓄水即沿壩面

向閘門移動，壩前堆積淤砂遂向進水口方向崩坍，冲刷亦沿此方向發生，結果形成沿壩面之流槽 (圖37中之不良流槽)。首先啓開多門排砂閘中最最近於渠首之一門時，亦發生類似現象。此類流槽形成後，淤砂因向進水口流動，以致進水口前之淤砂難於排除。造成不良流槽之另一原因為排砂時間過長。根據面河攔河壩之模型試驗，如若排砂時間過久，排砂閘上游之流槽有逐漸移動至河川原有流槽，亦即逐漸遠離渠首之趨勢。因此，在無導流槽之排砂閘，排砂時間宜妥為限制。

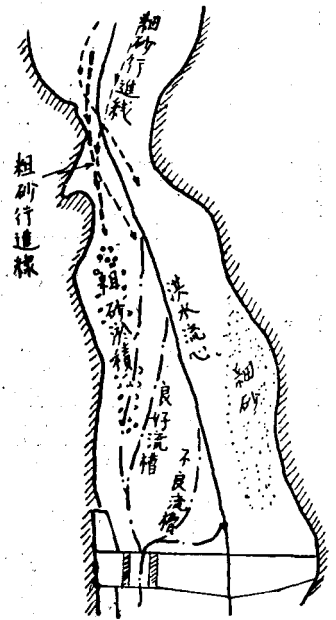


圖37 流槽移動情形

美國墾務局水工試驗室在Courtland渠首工模型試驗時，發現間歇性排砂可將大量淤砂排除，前示圖35之原設計在繼續排砂時之 $C_a/C_h$ 值僅有0.68，但閘門全開5分鐘後流量大於計劃流量，再以計劃流量繼續排砂55分鐘，如此間歇排砂時，閘門全開時之 $C_a/C_h$ 值竟高達4.27，而55分鐘照計劃流量排砂時之 $C_a/C_h$ 值為0.71，排砂效果顯有很大改善。間歇性排砂法雖可提高排砂效能，但進渠流量變化大，渠中水位動盪不定，如為土質渠道，則易發生嚴重之岸坡冲刷，因此本法適於引水量小，或有內面工之渠道系統渠首工。

## 五、結 論

防止河床質進渠，雖然可以水工構造物之適當設計而得以達成，但明瞭螺旋流之作用情形將進水口位置妥為選擇或佈置，則往往可以最少經費而收最大效果。但吾人須注意，當以堰堤提高河川水位時，前述螺旋流之有利作用已不復存在或不顯著。提高水位愈高，接近流速愈低，在彎曲段作用於水流之離心力既減弱，螺旋流之作用即隨之而減小。如將水位提高甚多。則急銳轉彎河岸所有之有利條件及優良埧址（指位置之適當）之利益將顯同無效，因為主流螺旋流減弱，無法抑制分流之螺旋作用，沉澱物之進渠再也無法或有效的控制。因此，提高水位高，且分流流量大時，將進水口位置慎重地選定在凹岸上之某一點，似已無多大意義，而防止泥砂進渠之措施，僅有賴於各項特殊排砂設施及排砂方法。以理論推定影響螺旋流強度之水深極限值，實為一件難事，同時亦與其他因素如河床質之特性等有關，因此對每一重要工程宜藉模型試驗以資判斷。

提高門檻高程，或設傾斜堰皆可防止河床質之入渠，但懸檻之構造既簡單，效果亦極佳，似值得推薦。

排砂閘前加設曲線形導流牆，將流水約束在槽內使其發生螺旋流，對增加排砂效果有異常良好之貢獻。但其曲度，與排砂閘所成角度，長度等尚無適當定

規可循，是以宜先進行模型試驗，否則難預期有如何良好之排砂效果。

本文底稿承蒙聯合國糧農組織章元義先生，臺大教授張建勳先生評閱，得其甚多指示。章先生，水利局吳東源工程司、李寶根課長、臺大洪有才先生並提供寶貴資料，謹此誌謝。

## 參 考 書 籍

- ① 鄧祥雲：怎麼樣認識天然河流
- ② 安藝皎一：河相論
- ③ 本間仁：河川工學
- ④ 橋本規明：新河川工法
- ⑤ ECAFE Sediment Problem
- ⑥ Ven-Te Chow Open Channel Hydraulics
- ⑦ Linsley, Kohler, Paulhus Applied Hydrology
- ⑧ E.W. Lane The Importance of Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering
- ⑨ E. Mosonyi Water Power Development.
- ⑩ Serge Leliavsky : Irrigation and Hydraulic Design
- ⑪ C. P. Lindner Diversion from Alluvial Stream
- ⑫ Harold M. Martin & E.J. Carlson : Model Study of Sediment Control on Diversion Dams
- ⑬ 小松義郎：粒砂量，粒徑之實態及減少進渠砂量之方法
- ⑭ 辻正造，桑野定美：急流河川上渠首工之排砂
- ⑮ 野知浩之：渠首工之設計
- ⑯ 水路研究會：水路第7、8號(渠首工專刊)

計 測 儀 器  
測 量 儀 器  
氣 象 儀 器

計 算 器  
土 壤 試 驗 儀 器  
玻 璃 儀 器 與 試 藥

# 文 昌 儀 器 行

地 址：台 南 市 中 正 路 23 號

電 話：2 3 8 7